Komeko 2014

KOMAG

Instytut Techniki Górniczej

INNOWACYJNE I PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA TECHNIKI I TECHNOLOGIE PRZERÓBKI SUROWCÓW MINERALNYCH

BEZPIECZEŃSTWO - JAKOŚĆ - EFEKTYWNOŚĆ

Gliwice 2014

ISBN 978-83-60708-80-4

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Komeko 2014

Instytut Techniki Górniczej

Praca zbiorowa

Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych

Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność

Monografia

Gliwice 2014

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Redakcja naukowa monografii:
Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Dr inż. Antoni Kozieł

Redaktor techniczny:
Mgr Anna Okulińska

Recenzenci:
Dr hab. inż. Jolanta Biegańska, prof. nadzw. w Pol. Śl.
Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek
Dr inż. Antoni Kozieł
Prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
Dr hab. inż. Jan Sidor, prof. nadzw. AGH
Dr inż. Daniel Kowol
Dr inż. Piotr Matusiak

Wydawca: Instytut Techniki Górniczej KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, tel.: 32 2374100, 2374512

Skład i druk: Komdruk-Komag sp. z o.o.
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice, tel.: 32 2374651, 2374563

Projekt okładki: Natalia Król

ISBN 978-83-60708-80-4

Nakład: 100 egz.
Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wprowadzenie

Szczyt Klimatyczny COP19/CMP9, który odbył się w 2013 roku w Warszawie wskazał na problem energetyki opartej na węglu. Przeciwnicy stosowania węgla, jako podstawowego surowca energetycznego wskazują na odnawialne źródła energii, które mają powstrzymać zachodzące zmiany klimatu naszego globu. Niewątpliwie wymogi środowiskowe stawiane przez Unię Europejską stawiają barierę dla górnictwa węgla. Proponowane są rozwiązania, których zrealizowanie może zająć dziesięciolecia, nie dając pewności ich skuteczności technologicznej i ekonomicznej. Unia odwraca się od węgla nie dając realnej alternatywy. Tymczasem Polska pokrywa 95 procent swojego zapotrzebowania energetycznego węglem spalanym w elektrowniach. Węgiel daje gwarancję ciepła i taniej energii. Pomimo stanowiska UE warto inwestować w energetyczny węgiel. Powstające w ostatnich latach technologie gospodarowania energią oraz zaawansowanego wytwarzania maszyn i urządzeń dla przemysłu surowców mineralnych mogą istotnie wpłynąć na rozwój gospodarczy Polski. Część z nich jest jeszcze obecnie zbyt ryzykowna lub kosztowna dla wielu przedsiębiorców. Jednak na tle globalizacji i rosnącej konkurencji wdrażanie nowych technologii jest konieczne. Dotyczy to również innowacyjnych i przyjaznych dla środowiska technik i technologii przeróbki surowców mineralnych.

W niniejszej monografii prezentujemy wyniki analiz, prac naukowych, badawczych i wdrożeniowych zrealizowanych w ostatnim okresie w wyższych uczelniach, instytutach badawczych, jednostkach Polskiej Akademii Nauk oraz w przedsiębiorstwach produkujących i użytkujących maszyny i urządzenia do przeróbki surowców mineralnych.

W sześciu rozdziałach zawarto tematykę związaną z:

- alternatywnymi źródłami energii,
- innowacyjnymi technologiami i technikami zagospodarowania odpadów z procesów eksploatacji surowców mineralnych,
- nowymi rozwiązaniami maszyn i urządzeń zwiększającymi wydajność procesów przeróbczych,
- nowoczesnymi systemami sterowania procesami wzbogacania,
- technologiami i maszynami przeznaczonymi do procesu flotacji,

oraz z ekologicznymi aspektami procesów przeróbki.

Przedstawiona tematyka jest odpowiedzią na wymagania i potrzeby rynkowe, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa, jakości i efektywności procesów przeróbczych oraz ochrony środowiska.

Redaktorzy naukowi monografii dziękują wszystkim autorom oraz zespołowi redakcyjnemu za jej wydanie. Wyrażają jednocześnie nadzieję, że prezentowane technologie i techniki znajdą zastosowanie w praktyce przemysłowej.

prof. dr hab. inż. Adam Klich
dr inż. Antoni Kozieł

Gliwice, marzec 2014 r. Redaktorzy naukowi monografi

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Spis treści

str.

1. ALTERNATYWNE ŹRÓDŁA ENERGII

1.1. Surowce strategiczne – studium pozyskiwania w Polsce 7
1.2. Biogaz – alternatywne źródło energii 21
1.3. Biogaz z odpadów – zagrożenia i ich usuwanie 33
1.4. Warianty technologiczne wykorzystania paliw z odpadów w energetyce 49

2. INNOWACYJNE TECHNOLOGIE I TECHNIKI ZAGOSPODAROWYWANIA ODPADÓW Z PROCESÓW EKSPLOATACJI SUROWCÓW MINERALNYCH

2.1. Aspekty środowiskowe i prawne dotyczące odpadów powstających podczas procesu hydraulicznego szczelinowania złóż łupków gazonośnych 57
2.2. Badania możliwości usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych 65
2.3. Skuteczność suchego odkamieniania węgla koksowego metodą separacji na powietrznych stołach koncentracyjnych 81
2.4. Badania właściwości odpadów z procesu flotacyjnego wzbogacania węgla kamiennego w świetle wymagań formalno-prawnych 93
2.5. Zagospodarowanie fosfogipsu na cele nieprzemysłowe 107
2.6. Wybrane zagadnienia odzyskiwania miedzi z materiałów wtórnych, w tym ze zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego ZSEE 119

3. NOWE ROZWIĄZANIA MASZYN I URZĄDZEŃ ZWIĘKSZAJĄCE WYDAJNOŚĆ PROCESÓW PRZERÓBCZYCH

3.1. Rozwój konstrukcji kruszarek udarowych – odśrodkowych 133
3.2. Rozdrabniacze i mieszalniki konstrukcji KOMAG 147
3.3. Możliwości stosowania cyklonów z cieczą ciężką w polskim górnictwie węglowym 159
3.4. Przesiewacze wibracyjne projektowane i konstruowane do procesów pomocniczych w instalacjach przeróbki surowców mineralnych 171
3.5. Problemy techniczno-technologiczne klasyfikacji przy użyciu przesiewaczy wibracyjnych o łamanej linii pokładu sitowego 183
3.6. Przesiewacz dwuczęstościowy – podsumowanie programu badań 193
3.7. Projektowanie automatycznych systemów poboru próbek węgla dla EDF Rybnik z wykorzystaniem modelowania 3D 203
3.8. Zwiększenie wydajności stacji odwadniania odpadów flotacyjnych poprzez zastosowanie nowoczesnej prasy filtracyjnej 219
3.9. Wdrożenie nowego typu wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej w KWK „Sośnica-Makoszowy", Ruch „Sośnica" 233

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3.10. Zastosowanie bezinwazyjnych przepływomierzy sonarowych SONARtrack® w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin 247
3.11. Próby techniczne i stanowiskowe grudkownika mułów węglowych 261
3.12. Możliwości zastosowania małogabarytowego urządzenia odpylającego w zakładach przeróbki mechanicznej węgla 279

4. NOWOCZESNE SYSTEMY STEROWANIA PROCESAMI WZBOGACANIA

4.1. Metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach węglowych 287
4.2. Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki 299

5. TECHNOLOGIE I URZĄDZENIA PRZEZNACZONE DO PROCESÓW FLOTACJI

5.1. Możliwości zastosowania procesu flotacji pianowej do wzbogacania „sedymentu" z wirówek sedymentacyjno-sitowych 311
5.2. Kolektory do flotacji węgla kamiennego na bazie olejów popirolitycznych 323

6. EKOLOGICZNE ASPEKTY PROCESÓW PRZERÓBKI

6.1. Charakterystyka i możliwości zastosowania jonitów w technologii wody i ścieków 333
6.2. Usuwanie jonów ołowiu z roztworów wodnych za pomocą sorbentów naturalnych i żywic jonowymiennych 353

DODATEK

Analiza porównawcza skuteczności odwadniania i rozdziału materiału na sitach OSO z wkładami stalowymi i poliuretanowymi 369

Indeks autorów 387

Streszczenia w języku polskim i angielskim 389

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Surowce strategiczne – studium pozyskiwania w Polsce

Katarzyna Biel, Wiesław Blaschke, Beata Witkowska-Kita – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie

1. Wprowadzenie

Zgodnie z propozycjami Komisji Europejskiej politykę surowcową opracowują służby geologiczne krajów członkowskich, a na forum Unii Europejskiej ich stowarzyszenie – Eurogeosurveys, przy współudziale innych organów oraz stowarzyszeń producentów i użytkowników surowców mineralnych.

Bilansowanie zasobów kopalin to obowiązek administracji geologicznej wynikający z ustawy *Prawo geologiczne i górnicze*. Polska jest liderem w Unii Europejskiej w zakresie opracowania takich baz danych. Należą do nich:

- *„Bilans Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polski i Świata*" jest opracowywany corocznie od 1993 r. przez zespół Pracowni Polityki Surowcowej w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. Jest on realizowany na zamówienie Głównego Geologa Kraju, działającego w imieniu Ministra Środowiska, a finansowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Od pierwszego wydania Bilans jest publikacją porównywalną do wydawnictw z tego zakresu, znanych w wielu innych krajach Unii Europejskiej oraz OECD (http://www.min-pan.krakow.pl/pliki/Bilans-Gospodarki-Surowcami-Mineralnymi-Polski-i-Swiata-2009.pdf),
- Opracowywanie „*Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce"* powierzono Państwowemu Instytutowi Geologicznemu - Państwowemu Instytutowi Badawczemu, pełniącemu funkcję państwowej służby geologicznej. Źródłem informacji o zasobach złóż kopalin, niezbędnych do sporządzenia „*Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce*", są zatwierdzane, a następnie przesyłane m.in. do Narodowego Archiwum Geologicznego, dokumentacje geologiczne złóż kopalin, przekazywane przez organy administracji geologicznej - Ministra Środowiska, marszałków województw oraz starostów powiatowych (http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce).

Bazy te są opracowywane na zamówienie Głównego Geologa Kraju – wiceministra w Ministerstwie Środowiska. Minister Środowiska jako organ administracji geologicznej i organ koncesyjny nadzoruje gospodarkę zasobami złóż kopalin strategicznych (m.in. węgla kamiennego, węgla brunatnego, ropy naftowej, gazu ziemnego, rud metali, kopalin chemicznych oraz solanek, wód termalnych i leczniczych). Natomiast dla pozostałych kopalin właściwymi organami są marszałkowie województw i starostowie.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Opracowanie listy surowców krytycznych, strategicznych i deficytowych odbywa się w ramach działań Inicjatywy ds. Surowców (*Raw Materials Initiative)* i leży w obszarze działań Grupy ds. Podaży Surowców Mineralnych *(Raw Materials Supply Group).* Unia Europejska powołała zespół roboczy do przeprowadzenia analizy zapotrzebowania na surowce mineralne przez gospodarkę krajów wspólnoty. Zespół naukowy Ad-hoc Working Group dokonał analizy 41 minerałów i metali (*Critical raw materials for the EU – Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. EU Commissision Enterprise and Industry. 2010*).

Uwzględniono szereg czynników mających wpływ na gospodarkę Unii Europejskiej. Z ważniejszych należy wymienić m. in.: stopień uzależnienia krajów Unii Europejskiej od importerów analizowanych surowców mineralnych, podaż i popyt na te surowce, strukturę geograficzną ich produkcji i zużycia, ryzyko podaży na rynkach aż do 2030 r. itp. W Aneksie V do raportu zestawiono dostępne informacje na temat następujących surowców: aluminium, antymon, baryt, boksyt, bentonit, beryl, bor, chrom, kaolin, kobalt, miedź, diatomit, szpat polny, fluoryt, gal, german, grafit, gips, ind, żelazo, wapień, lit, magnetyt, magnez, mangan, molibden, nikiel, niob, perlit, platynowce, metale ziem rzadkich, ren, kwarcyt, srebro, talk, tantal, tellur, tytan, tungsten, wanad, cynk. Kolejność wymienionych surowców jest zgodna z kolejnością przedstawioną w aneksie V. Według Raportu Zespołu popyt na te minerały i metale będzie rósł za względu na wzrost gospodarczy krajów rozwijających się, a także pojawienie się nowych innowacyjnych technologii. Surowce te wykorzystywane są na przykład do produkcji: kolektorów słonecznych, samochodów elektrycznych, telefonów komórkowych, produkcji telewizorów LCD itd.

Dotychczasowe badania pozwoliły na wstępny podział wytypowanych do badań 41 kopalin/surowców na trzy grupy o różnym stopniu krytyczności. Z uwagi na fakt, że istniały ogromne rozbieżności w sposobie zbierania, ewidencjonowania i opracowywania materiałów statystycznych przez kilka lat prowadzono konsultacje oraz opracowywano założenia metodologii badań.

Niniejszy rozdział dotyczy grupy 12 kopalin/surowców o bardzo wysokim znaczeniu ekonomicznym i specyficznych uwarunkowaniach związanych z krytycznością i ryzykiem niedoboru podaży: ren, tellur, żelazo, aluminium, boksyty, magnezyt, molibden, mangan, wanad, cynk, nikiel, chrom, zwanych surowcami strategicznymi. Wśród nich zwracają uwagę surowce masowo wykorzystywane w kluczowych branżach przemysłowych: żelazo i aluminium oraz tzw. tradycyjne składniki stali stopowych, tj. wanad, chrom, mangan i molibden.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Zawartość surowców strategicznych w skorupie ziemskiej oraz ich rozmieszczenie w Polsce wraz ze źródłami ich pochodzenia

Głównym źródłem pozyskiwania surowców mineralnych jest litosfera zbudowana z minerałów, które tworzą skały. Około 99% masy skorupy ziemskiej stanowi 9 pierwiastków, do których należą: tlen, krzem, glin, żelazo, wapń, sód, potas, magnez i tytan. Pozostały 1% stanowią pierwiastki, o dużym znaczeniu gospodarczym: miedź, cyna, cynk, ołów, nikiel, żelazo, metale szlachetne i metale uszlachetniające stal. Drugim źródłem pozyskiwania surowców mineralnych jest hydrosfera. W największej ilości występują w wodzie, takie pierwiastki jak: wodór, tlen, chlor, sód, siarka, magnez, wapń, potas, węgiel i brom. Pozostałe pierwiastki występują w ilościach śladowych. Trzecie źródło surowców to atmosfera. Prawie całkowitą objętość atmosfery stanowią azot, tlen i argon.

Polska jest krajem zasobnym w surowce mineralne. Lokuje się w ścisłej czołówce państw o największych na świecie zasobach m.in. węgla kamiennego i brunatnego, rud miedzi, cynku i ołowiu, a także siarki, soli kamiennej i surowców budowlanych.

Omawiane surowce krytyczne pod względem geologicznym należą do surowców:

- metalicznych, w tym: rud metali żelaznych (żelazo, mangan, chrom i nikiel) i rud metali lekkich (glin),
- niemetalicznych, w tym: surowców chemicznych (baryt, magnezyt).

Wanad jest pierwiastkiem dość powszechnie występującym (23 miejsce) w skorupie ziemskiej, jego zawartość wynosi 0,0135% wag. Liczne minerały wanadu występują w dużym rozproszeniu. Główne minerały wanadu to: patronit, V_2S_5*nS, wanadynit, $Pb_5(VO_4)_2Cl$ oraz karnotyt, $K(UO_2)VO_4$*1,5H_2O. Wanad jest typowym pierwiastkiem współwystępującym (głównie z glinem), podlega koncentracji głównie w magmowych skałach ilastych oraz utworach ilastych. Tworzy skupiska w zwietrzelinach m.in. w laterytach oraz w osadowych rudach żelaza. Większe koncentracje wanadu występują w łupkach bitumicznych i miedzionośnych. Samodzielne złoża jego rud są małe i na ogół już wyeksploatowane. Wanad wydobywa się ze złóż magmowych, infiltracyjnych i osadowych. W Polsce odnotowano obecność wanadu (0,4% V_2O_5) w złożach rud żelaza w rejonie Suwałk, w dolnośląskich łupkach miedzionośnych (0,035% V_2O_5), w bitumicznych łupkach ordowickich w północno-wschodniej Polsce (0,15% V_2O_5). Ponadto, wanad w stanie mocno rozproszonym występuje w węglach kamiennych na Górnym Śląsku. Najważniejszymi źródłami wanadu są: wanadonośne rudy tytanomagnetytowe, ciężkie ropy naftowe, niektóre boksyty, fosforyty oraz złom stali szlachetnych. W Polsce wanad nie jest pozyskiwany z żadnych potencjalnych źródeł. Z surowców wtórnych pozyskuje się tlenki wanadu, które stanowią materiał wyjściowy dla wanadu metalicznego oraz stopów i związków wanadu.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Chrom jest pierwiastkiem powszechnie występującym w skorupie ziemskiej (21 miejsce), a jego zawartość wynosi 0,02% wag. Najczęściej chrom występuje w ultrazasadowych skałach magmowych, głównie w postaci spineli chromowych, których najważniejszym minerałem jest chromit ($FeCr_2O_4$) oraz krokoit ($PbCrO_4$). Spinele chromowe są odporne na działanie czynników hydrotermalnych oraz wietrzeniowych. W Polsce nie rozpoznano złóż chromitów (jedyne pierwotne źródło chromu) oraz brak jest perspektyw na ich odkrycie. W związku z brakiem złóż chromitów w Polsce, nie odnotowano także krajowej produkcji. W Hucie Łaziska S.A. do końca 1998 r. produkowano żelazochrom na bazie chromitów metalurgicznych.

Molibden jest pierwiastkiem rozproszonym w skorupie ziemskiej, jego zawartość wynosi 0,15 ppm. Molibden podlega dużej bioakumulacji, stąd jest nagromadzony w niektórych pokładach węgli, ropie naftowej i łupkach bitumicznych. Jego średnia zawartość w węglach świata wynosi 5 ppm, a w popiołach >200 ppm. Popioły ropy naftowej zawierają nawet do 2000 ppm. Molibden wytworach magmowych występuje w niewielkich ilościach. W zasadowych skałach magmowych molibden jest rozproszony wśród minerałów skałotwórczych. W skałach kwaśnych może występować jako molibdenit.

Główne minerały molibdenu to: molibdenit (MoS_2), wulfenite ($PbMoO_4$), powellit ($CaMoO_4$).

Około 1/3 światowej podaży molibdenu pochodzi z samodzielnych złóż molibdenitu. Pozostała część pochodzi ze wzbogacania rud miedzi ze złoż typu porfirowego oraz ze źródeł wtórnych (zużyte katalizatory). W Polsce, zasoby molibdenu występują w złożach rud miedzi Monokliny Przedsudeckiej, a także w złożach węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W 2008 r. rozpoznano złoże rud molibdenu z wolframem i miedzią typu porfirowego Myszków (550,8 mln Mg), którego zasoby molibdenu wynoszą 295 tys. Mg.

W 2009 r. w kopalni KGHM „Polska Miedź" wydobyto urobek zawierający 1380 Mg molibdenu. W procesie wzbogacania rud miedzi do koncentratu miedziowego przechodzi ok. 44% molibdenu, natomiast podczas przerobu hutniczego ww. rud, molibden koncentruje się w odpadach. Ze względu na brak opłacalnej technologii nie stosuje się procesów odzysku molibdenu z odpadów.

Mangan zajmuje 13 miejsce wśród pierwiastków składowych budujących skorupę ziemską. Jego zawartość w skorupie ziemskiej wynosi ok. 0,095% wag. W przyrodzie mangan nie występuje w stanie rodzimym, natomiast tworzy on szereg minerałów. Spośród licznych minerałów manganu znaczenie praktyczne mają jego czarne tlenki m.in. hausmanit, manganit, piroluzyt oraz kryptomelan. Czernie manganowe występują w okolicach Pińczowa i Starachowic w postaci lokalnych skupień gniazdowych, stosowanych w przemyśle szklarskim i chemicznym. Związki manganu stanowią zanieczyszczenie rud żelaza.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W Polsce nie rozpoznano złóż rud manganu i brak jest perspektyw na ich odkrycie. W Polsce od 1999 r. prowadzono produkcję żelazomanganianu na bazie importowanych rud i koncentratów manganu w Hucie „Pokój" S.A. w Rudzie Śląskiej. W 2001 r. firma STALMAG Sp. z o.o. w Rudzie Śląskiej przejęła produkcję żelazomanganu wielkopiecowego.

Zawartość renu w skorupie ziemskiej jest niewielka i wynosi ok. $1*10^{-7}$%. Ren jest silnie rozproszonym metalem w skorupie ziemskiej. W skałach magmowych jego zawartość wynosi ok. 0,1 ppb. Ren nie tworzy żadnych samodzielnych minerałów, lecz wchodzi w skład niektórych minerałów ziem rzadkich tj. np.: kolumbit, molibdenit i gadolinit.

Podczas wietrzenia skał powstaje jon renu(VII), ReO_4^-, który jest łatwo rozpuszczalny, ale podlega sorpcji, a następnie koncentracji w różnych złożach skał osadowych.

W Polsce ren występuje jako domieszka w cechsztyńskich rudach miedzi monokliny przedsudeckiej w okolicach Lubina, które eksploatowane są przez KGHM Polska Miedź S.A.

Obecność renu stwierdzona została także w łupkach bitumicznych, węglach kamiennych i brunatnych oraz w ropie naftowej. Zawartość renu w łupkach, związana z obecnością substancji organicznej, jest bardzo zróżnicowana - waha się w granicach od 0,3 do 1,0 ppm, a nawet 10–20 ppm, zawsze wykazując związek z molibdenem. Ren w węglach nie został dobrze rozpoznany, a stwierdzone ilości kształtowały się na poziomie ok. 1,3 ppm. W ropie naftowej zawartość renu waha się w granicach od 0,005 do 0,2 ppm i nie wykazuje zależności od jakości ropy. Najważniejszym wtórnym źródłem renu jest molibdenit z porfirowych złóż rud molibdenu i Cu-Mo, gdzie osiąga koncentrację w granicach 0,025% - 0,07%. W procesie wzbogacania udział renu wzrasta do 5-20 ppm w koncentracie. Niektóre koncentraty zawierają do 18,8 kg renu na 1 Mg MoS_2. Ren jest również odzyskiwany w postaci renianu(VII) amonu z odpadowych pyłów przetwórstwa hutniczego koncentratów rud miedzi i Zn-Pb. Ren w postaci renianu(VII) amonu jest pozyskiwany przez KGHM Ecoren (spółce zależnej KGHM Polska Miedź S.A.), zgodnie z nowatorską technologią przetwarzania kwaśnego roztworu płuczkowego, wycofywanego z obiegu technologicznego HM Głogów II (200 tys. m^3/rok). Wiosną 2010 r. na terenie Legnickiego Parku Technologicznego LETIA zakończono budowę instalacji do produkcji renu metalicznego (do 3,5 Mg/rok renu), co awansuje Polskę do wąskiego grona wytwórców tego metalu na świecie, czyniąc ją równocześnie jedynym producentem renu z własnych złóż w Europie.

Żelazo jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków w skorupie ziemskiej. Rozpowszechnienie wynosi 5,2% wagowe. Żelazo koncentruje się w skałach magmowych (zawartość do 10%). W skałach

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

osadowych zawartość żelaza wynosi 0,4-4,8%, przy czym najniższe zawartości przypadają na wapienie i dolomity. W Polsce rudy żelaza występują pomiędzy Częstochową a Zawierciem oraz w rejonie Suwałk. Podstawowymi surowcami żelaza są: rudy i koncentraty o zróżnicowanym składzie mineralnym, surówka, tj. stop żelaza ze znaczną zawartością węgla (ok. 4,5%), stal, żeliwo i staliwo odlewnicze.

W Polsce brak jest złóż rud żelaza o znaczeniu gospodarczym, jak i perspektyw na ich odkrycie. W Polsce nie wydobywa się rud żelaza, ani nie produkuje ich koncentratów.

Nikiel jest pierwiastkiem o średnim rozpowszechnieniu w skorupie ziemskiej, jego zawartość w litosferze wynosi $7,5*10^{-3}$% wag. Nikiel, obok żelaza, stanowi podstawowy składnik jądra kuli ziemskiej. Do najważniejszych minerałów, które współtworzy nikiel zaliczyć należy: smaltyn $CoAs_2$ i kobaltyn CoAsS. Nikiel występuje w ilościach śladowych w rudach miedzi, zwłaszcza w łupkach miedzionośnych, w niektórych węglach kopalnych i ropie naftowej oraz w meteorytach.

Nikiel pozyskiwany jest głównie z rud krzemianowych (Dolny Śląsk) i laterytowych w formie żelazoniklu i tlenku niklu. Natomiast z rud siarczkowych niklowo-miedziowych pozyskiwany jest w postaci koncentratów rud niklu. Rudy krzemianowe niklu tworzą samodzielne złoże Szklary, którego eksploatacja zakończyła się w 1983 r.. Ponadto rudy krzemianowe niklu są kopaliną, która towarzyszy magnezytowi w złożu Grochów. Pierwotnym źródłem niklu w Polsce są złoża rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej. Jego zawartość w ww. złożu wynosi ok. 50 ppm. Duże koncentracje tego pierwiastka odnotowano w łupkach miedzionośnych ok. 200-280 ppm. Zasoby niklu na 2009 r. wyniosły ok. 56 tys. Mg. W Polsce surowce niklu produkowane są w Hucie Miedzi Głogów oraz Hucie Miedzi Legnica należących do spółki KGHM Polska Miedź S.A.. Ponadto odnotowano nieznaczną krajową produkcję niklu stopowego (5-41 Mg/rok).

Cynk jest pierwiastkiem powszechnie występującym w skorupie ziemskiej (25 miejsce), a jego zawartość wynosi $7*10^{-3}$% wag. Cynk występuje w ilościach śladowych w prawie wszystkich skałach magmowych, osadowych oraz metamorficznych. Najczęściej cynk współwystępuje z miedzią w złożach polimetalicznych, a złoża rud cynkowych przeważnie występują z rudami ołowianymi. Pierwotnym źródłem cynku w Polsce są złoża rud siarczkowych cynkowo-ołowiowych w rejonie Zagłębia Śląsko-Krakowskiego oraz złoża rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej. Zasoby złóż rud siarczkowych cynkowo-ołowiowych wyniosły w 2009 r. ok. 90 mln Mg rudy, natomiast zawartość cynku w złożach rud miedzi jest bardzo mała (maks. 0,3%). Występowanie rud cynkowych, zawierających cynk, ołów, srebro oraz kadm, odnotowano w rejonie Olkusza (23% łącznych zasobów rudy). Wtórne źródła cynku są

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wykorzystywane w małym stopniu. Do wtórnych źródeł można zaliczyć: złom cynku, złom stopów cynku oraz odpady z przemysłu cynkowego i ołowiowego. Złom cynkowy przetwarzany jest głównie na cynk metaliczny, złom stopów cynku na nowe stopy, natomiast odpady na tlenek cynku.

Aluminium jest trzecim (po tlenie i krzemie) najpowszechniej występującym pierwiastkiem w skorupie ziemskiej. Jego zawartość w skorupie ziemskiej wynosi ok. 7,45% wag. W przyrodzie aluminium występuje m.in. w następujących minerałach: hydrargilicie $Al(OH)_3$, kaolinicie $[Al_2(OH)_4][Si_2O_5]$, silimanicie Al_2SiO_5, albicie $Na[AlSi_3O_8]$, ortoklazie $K[AlSi_3O_8]$, boksycie $Al_2O_3*H_2O$, kriolicie $Na_3[AlF_6]$, korundzie Al_2O_3, gibbsycie $Al(OH)_3$ i innych. Licznie występuje również w skałach np. w granicie, gnejsie, porfirze oraz w bazalcie. Istotnymi surowcami glinu są boksyt AlO(OH) i kriolit Na_3AlF_6. Z boksytu wydziela się czysty tlenek glinu, poprzez uwolnienie go od towarzyszącego żelaza i krzemionki. W Polsce glin występuje w niewielkich ilościach w postaci: hydrargilitu $Al(OH)_3$ w Nowej Rudzie oraz w okolicach Jordanowa na Dolnym Śląsku, diasporu w Jordanowie na Dolnym Śląsku, a nefelinu w bazaltach z Dolnego Śląska, w fonolitach z Bogatyni oraz w cieszynitach z okolic Bielska i Cieszyna.

Tellur jest jednym z pierwiastków o najniższej koncentracji w skorupie ziemskiej (tellur występuje w ilości $1*10^{-7}$). Udział źródeł wtórnych w łącznej podaży telluru jest znikomy. W Polsce nie ma perspektyw na odkrycie złóż kopalin telluru. Niewielkie jego ilości stwierdzono w złożach rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej.

Tellur podlega silnej sorpcji przez wodorotlenki żelaza i substancje organiczne, nagromadzany jest w pokładach węgli (0,02-2 ppm). Tellur jest jednym z pierwiastków o najniższej koncentracji w skorupie ziemskiej. Znanych jest kilkadziesiąt jego minerałów, nietworzących jednak własnych złóż. Nie prowadzi się odzysku telluru ze szlamów anodowych powstających po elektrorafinacji miedzi ze względu na nikłe koncentracje telluru w produktach przejściowych KGHM „Polska Miedź" SA.

Boksyt jest ilastą skałą osadową składającą się głównie ze związków glinu – wodorotlenku i tlenku (hydrargilitu, boehmitu lub diasporu). Zawiera też minerały ilaste, krzemionkę, tlenki i wodorotlenki żelaza. Boksyty są opisywane następującym wzorem: $FeO(OH)*Al_2O_3*2H_2O$. W Polsce boksyt występuje m.in. koło Nowej Rudy na Dolnym Śląsku oraz Lubelskim Zagłębiu Węglowym (między Parczewem a Radzyniem Podlaskim), a także w północnej części GZW (w okolicach Mierzęcic i Najdziszowa). W kraju nie wydobywa się boksytów ponieważ złoża są niewielkie i nie przedstawiają wartości przemysłowej.

Magnezyt występuje w zbitych lub gruboziarnistych skupieniach (przypominających porcelanę) lub w skupieniach ziarnistych, nerkowatych bądź

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

włóknistych. Rzadko tworzy dobrze wykształcone kryształy. Jest minerałem metamorficznym, hydrotermalnym, hipergenicznym (pod wpływem wody i dwutlenku węgla), tworzy żyły przecinające serpentynity. Jest składnikiem wielu skał osadowych. W Polsce rozpoznanych i eksploatowanych jest 6 złóż magnezytów. Znajdują się w masywach Grochowej-Braszowice (złoża Braszowice i Grochów) i Szklar (złoże Szklary) koło Ząbkowic Śląskich oraz w masywie Gogołów-Jordanów (złoże Wiry). W wyniku wieloletniej eksploatacji, wiele mniejszych złóż w masywach Grochowej-Braszowice i Sobótki zostało wyeksploatowanych.

3. Technologie pozyskiwania surowców strategicznych

W wyniku analizy ww. zidentyfikowanych technologii stwierdzono, że najbardziej rozpoznawalną metodą wzbogacania poszczególnych surowców jest przeróbka ich rud, które są nośnikami wielu metali. Proces przeróbki rud znalazł zastosowanie w odniesieniu do następujących surowców: żelazo, molibden, mangan, wanad, cynk, nikiel i chrom.

Rudy poddaje się przeróbce w celu:

- polepszenia składu chemicznego,
- ujednolicenia rudy pod względem właściwości chemicznych oraz fizyko-chemicznych,
- zapewnienia odpowiedniej wielkości kawałków rudy.

Ponieważ wydobywane rudy najczęściej nie nadają się do bezpośredniej przeróbki, istotnym procesem jest wielostopniowe wzbogacanie rud. Wzbogacanie rud metali podzielić można na: wzbogacanie mechaniczne oraz chemiczne.

Do najistotniejszych metod wzbogacania mechanicznego zaliczyć należy:

- metody grawitacyjne – zastosowano w przypadku manganu, wanadu i chromu,
- wzbogacanie na drodze klasyfikacji – zastosowano w przypadku magnezytów,
- wzbogacanie w cieczach ciężkich – zastosowano w przypadku żelaza, manganu i cynku,
- wzbogacanie w hydrocyklonach – zastosowano w przypadku żelaza, manganu i cynku,
- wzbogacanie na stołach koncentracyjnych – zastosowano w przypadku żelaza,
- wzbogacanie magnetyczne – zastosowano w przypadku żelaza, cynku i chromu,
- wzbogacanie na drodze elektrolizy – zastosowano w przypadku aluminium.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Do najistotniejszych metod wzbogacania chemicznego zaliczyć należy:

- suchy sposób wzbogacania (prażenie, spiekanie, destylacja) - zastosowano w przypadku żelaza, magnezytów i boksytów,
- mokry sposób wzbogacania (przemywanie, ługowanie) - zastosowano w przypadku żelaza,
- flotację – zastosowano w przypadku żelaza, manganu, wanadu, cynku i niklu.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie technologii zidentyfikowanych podczas realizacji niniejszej pracy.

Zestawienie technologii pozyskiwania surowców strategicznych

Tabela 1

surowiec	**technologia**
ren	– przeróbka koncentratów molibdenitowych, – przeróbka rud miedzi, – odzysk renu w postaci nadrenianu (VII) amonu metodą strąceniową z kwasów płuczkowych (technologia wycofana), – odzysk renu z kwasów płuczących gazy pieca zawiesinowego
tellur	– produkcja telluru związana jest z pozyskiwaniem metali szlachetnych ze szlamów anodowych hutnictwa miedzi (2-8% Te) oraz w mniejszym zakresie ołowiu. Wymaga prowadzenia procesów hydrometalurgicznych oraz rafinacji surowego telluru przez destylację lub topienie strefowe
żelazo	– wzbogacanie ręczne wraz z przemywaniem rudy żelaza, – wzbogacanie przez przemywanie rud limonitowych, – przemywanie rud żelaza przed procesem wzbogacania, – wzbogacanie rud syderytowych w cieczach ciężkich, – wzbogacanie rud w cyklonach z cieczą ciężką, – wzbogacanie rud żelaza w osadzarkach, – wzbogacanie rud hematytowych na stołach koncentracyjnych, – wzbogacanie rud hematytowych we wzbogacalnikach zwojowych, – wzbogacanie flotacyjno-magnetyczne drobnowpryśniętej rudy magnetytowo-hematytowej, – wzbogacanie magnetyczne skarnowej rudy magnetytowej, – przeróbka rud magnetytowych, – przeróbka rud hematytowych, – przeróbka przez prażenie rud syderytowych, – przeróbka rud syderytowych, – przeróbka rud magnetytowo-hematytowych, – przeróbka rud magnetytowo-ilmenitowych, – przeróbka rud kompleksowych, – przeróbka rud pirytowych

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

surowiec	technologia
aluminium	– elektrolityczna metoda otrzymywania aluminium metodą Hall-Héroulta, – przeprowadzenie boksytu w łatwo rozpuszczalny glinian sodu: – metodą mokrą Bayer'a – w tym procesie otrzymany czysty tlenek glinu przetwarza się na czysty metal w procesie Hall-Héroulta, – metodą suchą – w tym procesie tworzy się glinian sodu i tlenek żelaza(III)
boksyt	– ponad 90% ilości całkowitej boksytów wydobywa się odkrywkowo, a urobek na ogół nie jest poddawany procesom wzbogacania, – w niektórych zakładach operacje przeróbcze (suszenie lub prażenie boksytów w temperaturze 600 ºC w piecach obrotowych) polegają na kruszeniu, przesiewaniu i płukaniu urobku w celu odseparowania materiału obcego
magnezyt	– rozdrobnienie, sortowanie i klasyfikacja urobku magneztyzowo-serpentynitowego, – prażenie magnezytu
molibden	– wzbogacanie rud kwarcowo-molibdenitowych, – rozdzielanie koncentratów kolektywnych molibdenitowo-scheelitowych, – wydzielanie kolektywnego koncentratu miedziowo-molibdenowego, – rozdzielanie kolektywnego koncentratu miedziowo-molibdenowego
mangan	– wzbogacanie ręczne i grawitacyjne rud manganu, – wzbogacanie rud manganu w cieczach ciężkich, – wzbogacanie rud manganu w osadzarkach, – grawitacyjne wzbogacanie rud manganu, – wzbogacanie rud manganu we wzbogacalnikach magnetycznych, – wzbogacanie rud manganu metodą magnetohydrodynamiczną, – kolektywna i selektywna flotacja rud manganu, – wzbogacanie flotacyjne rud manganu o różnej zawartości manganu w nadawie, – wzbogacanie manganowych rud tlenkowo-węglanowych
wanad	– wzbogacanie grawitacyjne rud wanadu, – wzbogacanie flotacyjne rudy Pb-V, – wzbogacanie flotacyjne rud wanadu, – wydzielanie koncentratów żelazowo-wanadowych z rud tytanomagnetytowych
cynk	– wzbogacanie utlenionych rud ołowiu w cieczach ciężkich, – wzbogacanie galeny w osadzarkach, – wzbogacanie rud cynkowo-ołowiowo-miedziowych z zastosowaniem stołów koncentracyjnych, – wzbogacanie częściowo utlenionych rud ołowiu z zastosowaniem wzbogacalników zwojowych,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

surowiec	technologia
	– wydzielanie franklinitu z utlenionych rud cynku na drodze wzbogacania magnetycznego, – wzbogacanie rud cynku metodą grawitacyjno-flotacyjną, – flotacja selektywna rud cynkowo-miedziowych, – flotacja kolektywno-selektywna rud cynkowo-miedziowych, – wzbogacanie uzupełniające koncentratów cynku, – flotacja selektywna rud cynkowo-ołowiowych, – flotacja kolektywna rud cynkowo-ołowiowych, – flotacja kolektywna rud miedziowo-cynkowo-ołowiowo-żelazowych, – flotacja kolektywno-selektywna rud miedziowo-cynkowo-ołowiowo-żelazowych
nikiel	– magnetyczno-flotacyjne wzbogacanie rud miedziowo-niklowych, – selektywna flotacja miedzi z rud miedziowo-niklowych, – kolektywna flotacja rud miedziowo-niklowych, – kolektywno-selektywna flotacja rud miedziowo-niklowych, – kolektywna flotacja rud miedziowo-niklowych z późniejszym rozdziałem na ciągi flotacji miedzi i flotacji niklu, – wzbogacanie flotacyjne kamienia niklowego
chrom	– ręczne wzbogacanie rud chromu, – wzbogacanie grawitacyjne grubowpryśniętych rud chromu, – wzbogacanie grawitacyjne drobnowpryśniętych rud chromu, – wzbogacanie magnetyczne rud chromu, – przeróbka rud chromu ze złóż pierwotnych, – przeróbka rud chromu ze złóż okruchowych.

4. Podsumowanie

1. Bilansowanie zasobów kopalin to obowiązek administracji geologicznej wynikający z ustawy *Prawo geologiczne i górnicze*. Polska jest liderem w Unii Europejskiej w zakresie opracowania takich baz danych. Należą do nich:
   – *„Bilans Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polski i Świata*",
   – *„Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce"*.

   Bazy te są opracowywane na zamówienie Głównego Geologa Kraju – wiceministra w Ministerstwie Środowiska.
2. Opracowanie listy surowców krytycznych, strategicznych i deficytowych odbywa się w ramach działań Inicjatywy ds. Surowców (*Raw Materials Initiative)* i leży w obszarze działań Grupy ds. Podaży Surowców Mineralnych *(Raw Materials Supply Group)*. Unia Europejska powołała zespół roboczy do przeprowadzenia analizy zapotrzebowania na surowce

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

mineralne przez gospodarkę krajów wspólnoty. Zespół naukowy Ad-hoc Working Group dokonał analizy 41 minerałów i metali.

3. Niniejszy rozdział dotyczy grupy 12 kopalin/surowców o bardzo wysokim znaczeniu ekonomicznym i specyficznych uwarunkowaniach związanych z krytycznością i ryzykiem niedoboru podaży: ren, tellur, żelazo, aluminium, boksyty, magnezyt, molibden, mangan, wanad, cynk, nikiel, chrom (zwane surowcami strategicznymi). Wśród nich zwracają uwagę surowce masowo wykorzystywane w kluczowych branżach przemysłowych (żelazo, aluminium) oraz tzw. surowce np. tradycyjne składniki stali stopowych (wanad, chrom, mangan, molibden).
4. Zestawienie możliwości pozyskiwania surowców strategicznych:

– wanad	Wanad nie jest pozyskiwany z żadnych potencjalnych źródeł. Z surowców wtórnych pozyskuje się tlenki wanadu, które stanowią materiał wyjściowy dla wanadu metalicznego oraz stopów i związków wanadu.
– chrom	Nie rozpoznano złóż chromitów (jedyne pierwotne źródło chromu) oraz brak jest perspektyw na ich odkrycie. W związku z brakiem złóż chromitów w Polsce, nie odnotowano także krajowej produkcji.
– molibdenu	Zasoby występują w złożach rud miedzi Monokliny Przedsudeckiej, a także w złożach węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W 2008 r. rozpoznano złoże rud Mo z W i Cu typu porfirowego Myszków.
– mangan	Nie rozpoznano złóż rud manganu i brak jest perspektyw na ich odkrycie.
– ren	Ren występuje jako domieszka w cechsztyńskich rudach miedzi monokliny przedsudeckiej w okolicach Lubina.
– żelazo	Rudy żelaza występują pomiędzy Częstochową a Zawierciem oraz w rejonie Suwałk. W Polsce brak jest złóż rud żelaza o znaczeniu gospodarczym, jak i perspektyw na ich odkrycie. W Polsce nie wydobywa się rud żelaza, ani nie produkuje ich koncentratów
– nikiel	Nikiel pozyskiwany jest głównie z rud krzemianowych (Dolny Śląsk) i laterytowych w formie żelazoniklu i tlenku niklu. Rudy krzemianowe niklu tworzą samodzielne złoże Szklary, którego eksploatacja zakończyła się w 1983 r. Rudy krzemianowe niklu są kopaliną, która towarzyszy magnezytowi w złożu Grochów. Pierwotnym źródłem niklu w Polsce są złoża rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej.
– cynk	Pierwotnym źródłem cynku w Polsce są złoża rud siarczkowych cynkowo-ołowiowych w rejonie Zagłębia Śląsko-Krakowskiego oraz złoża rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej. Występowanie rud cynkowych, zawierających cynk, ołów, srebro oraz kadm, odnotowano w rejonie Olkusza.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

– aluminium	W Polsce glin występuje w niewielkich ilościach w postaci: hydrargilitu $Al(OH)_3$ w Nowej Rudzie oraz w okolicach Jordanowa na Dolnym Śląsku, diasporu w Jordanowie na Dolnym Śląsku, a nefelinu w bazaltach z Dolnego Śląska, w fonolitach z Bogatyni oraz w cieszynitach z okolic Bielska i Cieszyna.
– tellur	W Polsce nie ma perspektyw na odkrycie złóż kopalin telluru. Niewielkie jego ilości stwierdzono w złożach rud miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej.
– boksyt	Boksyt występuje m.in. koło Nowej Rudy na Dolnym Śląsku oraz Lubelskim Zagłębiu Węglowym (między Parczewem a Radzyniem Podlaskim), a także w północnej części GZW (w okolicach Mierzęcic i Najdziszowa. W kraju nie wydobywa się boksytów ponieważ złoża są niewielkie i nie przedstawiają wartości przemysłowej.
– magnezyt	rozpoznanych i eksploatowanych jest 6 złóż magnezytów. Znajdują się w masywach Grochowej-Braszowice (złoża Braszowice i Grochów) i Szklar (złoże Szklary) koło Ząbkowic Śląskich oraz w masywie Gogołów-Jordanów (złoże Wiry).

5. W wyniku analizy zidentyfikowanych technologii stwierdzono, iż najbardziej rozpoznawalną metodą wzbogacania poszczególnych surowców jest przeróbka ich rud. Proces przeróbki rud znalazł zastosowanie w odniesieniu do następujących surowców: żelazo, molibden, mangan, wanad, cynk, nikiel i chrom.
6. Wydobywane rudy najczęściej nie nadają się do bezpośredniej przeróbki, istotnym procesem jest wielostopniowe wzbogacanie rud:
   a) metody wzbogacania mechanicznego to:
      - metody grawitacyjne – zastosowano w przypadku manganu, wanadu i chromu,
      - wzbogacanie na drodze klasyfikacji – zastosowano w przypadku magnezytów,
      - wzbogacanie w cieczach ciężkich – zastosowano w przypadku żelaza, manganu i cynku,
      - wzbogacanie w hydrocyklonach – zastosowano w przypadku żelaza, manganu i cynku,
      - wzbogacanie na stołach koncentracyjnych – zastosowano w przypadku żelaza,
      - wzbogacanie magnetyczne – zastosowano w przypadku żelaza, cynku i chromu,
      - wzbogacanie na drodze elektrolizy – zastosowano w przypadku aluminium.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

b) metody wzbogacania chemicznego to:
   - suchy sposób wzbogacania (prażenie, spiekanie, destylacja) - zastosowano w przypadku żelaza, magnezytów i boksytów,
   - mokry sposób wzbogacania (przemywanie, ługowanie) - zastosowano w przypadku żelaza,
   - flotacja – zastosowano w przypadku żelaza, manganu, wanadu, cynku i niklu.

Literatura

1. Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2009. Wyd. IGSMiE PAN 2011 r.
2. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce, ISSN 1425-2910, Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012.
3. Bolewski A., Manecki A.: Mineralogia opisowa, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1984 r. (skrypt uczelniany nr 932).
4. Chodyniecka L., Zawiślak L.: Mineralogia i petrografia kopalin metalicznych i chemicznych, Politechnika Śląska, Gliwice 1987 r. (skrypt uczelniany Nr 1356).
5. Gruszczyk H.: Nauka o złożach, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 1984 r.
6. Kabata-Pendias A.: Biogeochemia pierwiastków śladowych, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1993 r.
7. Kijewski P., Wirth H.: Ren - występowanie w złożu rud miedzi, produkcja i jej perpektywy, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Nr 81, 2011 r.
8. Mała encyklopedia technologii przeróbki kopalin. Inżynieria Mineralna, pod red.: Blaschke W., Blaschke Z., Tom 20-22. Wyd. PTPK 2007 – 2008.
9. Surowce mineralne Polski, Surowce skalne – surowce węglanowe, praca zbiorowa pod redakcją Romana Neya, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2000 r., r. 9.
10. Surowce mineralne Polski, Surowce metaliczne – cynk, ołów, praca zbiorowa pod redakcją Romana Neya, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 1997 r., r. 1, 2 i 3.
11. Surowce Mineralne Świata. Tom Ni, Co, pod red. Blaschke W., Blaschke Z Wyd. Geologiczne 1984r., s.21, 130, 152, 180.
12. Surowce Mineralne Świata. Tom Fe, pod red. Blaschke W., Blaschke Z Wyd. Geologiczne 1979 r., s. 37, 306, 322,
13. Surowce Mineralne Świata. Tom Zn, Pb, Cd, pod red. Blaschke W., Blaschke Z. Wyd. Geologiczne 1978 r., s.39, 258, 276.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Biogaz – alternatywne źródło energii

Joanna Kazimierowicz – Politechnika Białostocka

1. Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną rodzi potrzebę poszukiwania nowych jej źródeł. Powinny być one trwałe i bezpieczne z punktu widzenia szeroko pojętego środowiska. W związku z tym szczególna uwaga środowisk naukowych, organizacji społecznych, jak również agend rządowych, nakierowana jest na problem emisji gazów cieplarnianych, zwłaszcza ditlenku węgla (CO_2), podtlenku azotu (N_2O) oraz metanu (CH_4) z różnorodnych sektorów gospodarki. Bezpieczeństwo energetyczne kraju, w tym także bezpieczeństwo ekonomiczne oraz obraz środowiska, w którym egzystujemy, będzie zależne od tego, jak pokierujemy sektorem energetycznym w najbliższych latach [33, 8].

Źródła energii można podzielić na dwie zasadnicze grupy. Pierwszą z nich stanowią źródła konwencjonalne (nieodnawialne), do których należą paliwa. Nie mogą być one odtworzone, bądź ich odtworzenie zajmuje bardzo dużo czasu. Zalicza się do nich między innymi: węgiel kamienny i brunatny, gaz ziemny, ropę naftową, pierwiastki promieniotwórcze. Druga grupa, czyli źródła niekonwencjonalne, to zasoby, które praktycznie nie ulegają wyczerpaniu. Należą do nich na przykład: promieniowanie Słońca, wiatr, woda, pływy morskie, biomasa – masa pochodzenia organicznego roślinnego lub zwierzęcego.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE, w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, wprowadza szereg wskazań i regulacji dotyczących między innymi stosowania biogazu rolniczego w procesie pozyskiwania energii elektrycznej i ciepła. Zwraca uwagę, iż wykorzystanie surowców, takich jak: nawóz pochodzenia zwierzęcego, mokry obornik, a także innych odpadów organicznych do produkcji biogazu, daje znaczne korzyści dla środowiska. Wynikają one przede wszystkim ze znacznej oszczędności w emisji gazów cieplarnianych. Cecha ta wskazywana jest przy wykorzystaniu biogazu jako źródła energii elektrycznej i cieplnej, a także przy stosowaniu go jako biopaliwo [8].

2. Konwencjonalne źródła energii i energia jądrowa – ich wpływ na środowisko

Pozyskiwanie i wykorzystywanie konwencjonalnych źródeł energii negatywnie wpływa na środowisko. Najważniejsze efekty uboczne wynikające z pozyskiwania i wykorzystania tych źródeł to [10]:

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- węgiel kamienny:
  - pozyskiwanie – degradacja terenu, hałdy górnicze (zmiany krajobrazu), zmiana stosunków wodnych (negatywny wpływ na leśnictwo i rolnictwo), odprowadzanie zasolonych wód pokopalnianych, zapadanie się budynków, emisja CH_4,
  - wykorzystanie – emisja CO_2, NO_x, SO_2, pyłów do atmosfery, powstawanie popiołów (także radioaktywnych) i żużli;
- węgiel brunatny:
  - pozyskiwanie – zmiany krajobrazu, degradacja terenu, zmiana stosunków wodnych, emisja CH_4,
  - wykorzystanie – emisja CO_2, NO_x, SO_2, pyłów do atmosfery, powstawanie popiołów;
- gaz ziemny:
  - wykorzystanie – emisja CO_2, NO_x, SO_2 (w śladowych ilościach i lotnych niemetalowych węglowodorów, które są prekursorami gazów cieplarnianych;
- ropa naftowa i paliwa ropopochodne:
  - pozyskiwanie – skażenie lądów i wód przy niekontrolowanych wyciekach,
  - wykorzystanie – emisja CO_2, NO_x, SO_2 oraz powstawanie odpadów stałych w rafineriach.

Bezpieczny transport surowców energetycznych, takich jak ropa naftowa i jej pochodne, stwarza dodatkowy problem, a zaniedbania w tej kwestii mogą skutkować poważnymi katastrofami ekologicznymi.

Także energetyka jądrowa, mimo że nie powoduje efektu cieplarnianego i zmian klimatycznych, traktowana jest jako niekorzystna dla środowiska. Kraje europejskie, zdając sobie sprawę z rosnącego zapotrzebowania na energię i tempa wyczerpywania się surowców energetycznych, planują budowę nowych obiektów tego typu. Wbrew powszechnie panującej opinii elektrownie jądrowe są relatywnie bezpieczne. Istotny problem stanowi jednak transport i składowanie promieniotwórczych odpadów. Przewiduje się, że energetyka jądrowa, mimo tych problemów, będzie nadal rozwijana. Umożliwia ona dywersyfikację źródeł energii oraz zapewnia stabilne dostawy energii, co wiąże się ze zwiększeniem bezpieczeństwa energetycznego krajów [4]. Skutkiem ubocznym pozyskiwania pierwiastków promieniotwórczych jest degradacja terenu, zaś wykorzystanie wymaga specjalnego składowania silnie radioaktywnych odpadów.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3. Niekonwencjonalne źródła energii

Odnawialne źródła energii stanowią doskonałą alternatywę dla paliw kopalnych. Ich wykorzystywanie zmniejsza szkodliwe oddziaływanie energetyki na środowisko naturalne, głównie poprzez ograniczenie emisji szkodliwych substancji, zwłaszcza gazów cieplarnianych. Do odnawialnych źródeł energii zaliczyć można: energię wody, energię wiatru, energię geotermalną, energię słoneczną, biogaz, odpady komunalne, biopaliwa stałe, biopaliwa ciekłe, biopłyny, ciepło otoczenia.

Energia wody określana jest przez wielkość energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach wodnych na dopływie naturalnym. Energia kinetyczna wiatru wykorzystywana jest do produkcji energii elektrycznej w turbinach wiatrowych. Potencjał elektrowni wiatrowych, podobnie jak elektrowni wodnych, jest określany przez możliwości generowania przez nie energii elektrycznej. Energia geotermalna jest ciepłem pozyskiwanym z wnętrza ziemi w postaci gorącej wody lub pary wodnej. Użytkowana jest bezpośrednio jako ciepło grzewcze na potrzeby komunalne, jak również w procesach produkcyjnych w rolnictwie. Przy wykorzystaniu pary suchej lub solanki o wysokiej entalpii, energia geotermalna może być wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej. Energia promieniowania słonecznego przetwarzana jest na energię cieplną lub energię elektryczną, dzięki zastosowaniu: termicznych elektrowni słonecznych, ogniw fotowoltaicznych do bezpośredniego wytwarzania energii elektrycznej lub płaskich, turbowo-próżniowych bądź innego typu cieczowych lub powietrznych kolektorów słonecznych. Kolektory stosowane są do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, wody w basenach kąpielowych, ogrzewania pomieszczeń, procesach suszarniczych i chemicznych. Biogaz jest gazem palnym, składającym się w przeważającej części z metanu i ditlenku węgla. Uzyskiwany jest w procesie beztlenowej fermentacji biomasy. Paliwa odpadowe, pochodzące z palnych odpadów przemysłowych i komunalnych, takich jak na przykład: tworzywa sztuczne, guma, odpady olejów mają postać stałą lub ciekłą i zaliczane są (w zależności od tego, czy ulegają biodegradacji) do paliw odnawialnych, bądź nieodnawialnych. Do paliw odnawialnych zaliczane są odnawialne stałe odpady komunalne o pochodzeniu biologicznym, spalane w odpowiednio przystosowanych instalacjach. To głównie odpady z gospodarstw domowych, szpitali, sektora usług, które zawierają frakcje organiczne, ulegające biodegradacji. Biopaliwa stałe to niekopalne, organiczne substancje o pochodzeniu organicznym. Mogą być wykorzystywane, do produkcji ciepła lub wytwarzania energii elektrycznej, w charakterze paliwa. Do biopaliw stałych zaliczyć można drewno opałowe w postaci okrąglaków, polan, zrębków, jak również pelety, brykiety i odpady z leśnictwa. Do grupy tej należy także węgiel drzewny. Biopaliwa ciekłe dla transportu wytwarzane są z biomasy lub biodegradowalnych frakcji odpadów, czyli z surowców pochodzenia

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

organicznego. Zaliczyć do tej grupy można, między innymi, bioetanol, biodiesel, biom etanol, biodimetyloeter, bio-ETBE, bio-MTBE, naturalne oleje roślinne. Stosowane są jako biokomponenty dodawane do paliw silnikowych wytwarzanych z ropy naftowej. Biopłyny, czyli inne biopaliwa ciekłe, są stosowane w celach innych niż transportowe. Znalazły zastosowanie w wytwarzaniu energii ciepła i chłodu, energii elektrycznej. Przy określaniu udziału energii ze źródeł odnawialnych uwzględnia się także ciepło pochodzące z pomp ciepła, wykorzystujących energię otoczenia: z powietrza atmosferycznego, z gruntu, z wód gruntowych i powierzchniowych [2].

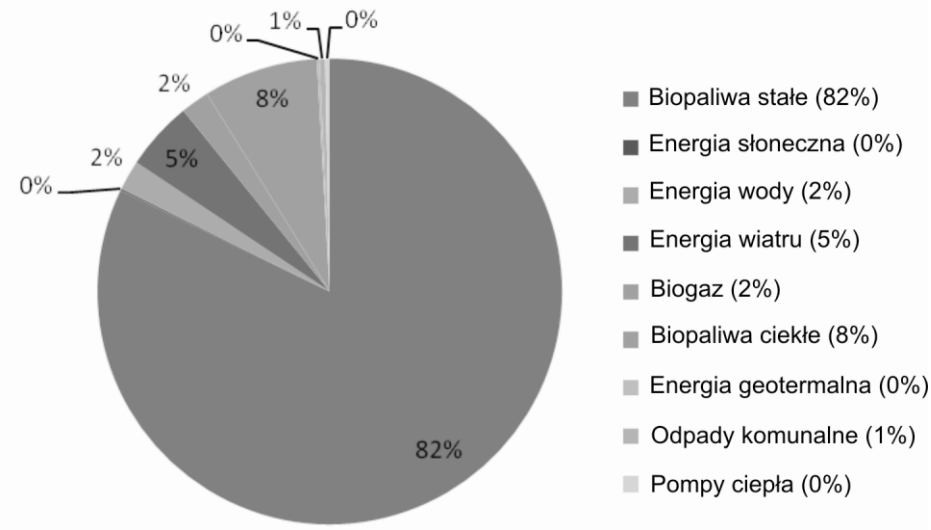
W tabeli 1 przedstawiono udział nośników energii odnawialnej w łącznym pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w latach 2007 – 2012. Na rysunku 1 pokazano jak w 2012 r. kształtował się udział poszczególnych nośników energii niekonwencjonalnej.

Udział poszczególnych nośników energii odnawialnej w łącznym pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w latach 2007 - 20122

Tabela 1

Wyszczególnienie	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Biopaliwa stałe	91,03%	87,48%	85,77%	85,29%	84,99%	82,16%
Energia słoneczna	0,01%	0,02%	0,11%	0,12%	0,14%	0,15%
Energia wody	4,17%	3,42%	3,37%	3,65%	2,68%	2,06%
Energia wiatru	0,92%	1,33%	1,53%	2,08%	3,69%	4,80%
Biogaz	1,33%	1,78%	1,62%	1,67%	1,83%	1,98%
Biopaliwa ciekłe	2,27%	5,47%	7,04%	6,64%	5,76%	7,97%
Energia geotermalna	0,22%	0,23%	0,24%	0,20%	0,17%	0,19%
Odpady komunalne	0,02%	0,00%	0,01%	0,04%	0,43%	0,38%
Pompy ciepła	0,03%	0,27%	0,30%	0,31%	0,30%	0,31%

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Udział poszczególnych nośników energii odnawialnej w pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w roku 2012 [źródło: opracowanie własne na podstawie [2]]

W analizowanych latach największą pozycję w bilansie energii odnawialnej stanowi energia biopaliw stałych. Udział pozostałych nośników energii odnawialnej zmienia się z tendencją wzrostową energii biopaliw ciekłych, wiatru, biogazu i słonecznej oraz tendencją spadku dla energii wody.

4. Biogaz

Biogaz jest paliwem powstającym w procesie fermentacji metanowej odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Wytwarzany jest w instalacjach przy zapewnieniu optymalnych warunków przebiegu fermentacji metanowej. Jest on gazem palnym, który składa się głównie z metanu i ditlenku węgla oraz śladowych ilości H_2S, NH_3, H_2O. Wartość opałowa biogazu waha się od 17 do 27 MJ/m^3 [7].

Cykl beztlenowych reakcji biochemicznych składa się z następujących etapów [1]:

- hydrolizy – polimery (węglowodory, tłuszcze i białka) rozkładane są do monomerów (cukrów prostych, gliceryny, aminokwasów, kwasów tłuszczowych),
- acidogenezy – monomery przekształcane są do krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, alkoholi, wodoru, ditlenku węgla i metanu,
- acetogenezy – kwasy tłuszczowe przekształcane są w kwas octowy, wodór i ditlenek węgla,
- metanogenezy – z kwasu octowego i wodoru powstaje mieszanina metanu i ditlenku węgla – produkt końcowy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W zależności od substratów i warunków procesu skład biogazu może się znacznie wahać.

Biogaz może powstawać samorzutnie w procesach rozkładu substancji organicznych bądź może być produkowany celowo.

Podstawowe składniki i zanieczyszczenia biogazu pokazano w tabeli 2.

Składniki i zanieczyszczenia biogazu [6]

Tabela 2

Składnik	Zawartość	Działanie
Metan	45-70%	– określa wartość opałową, – przy zawartości >45% biogaz jest palny, – przy zawartości 5-15% biogaz tworzy z powietrzem mieszankę wybuchową.
Dwutlenek węgla	25-50%	– obniża wartość opałową, – powoduje korozję (nisko skoncentrowany kwas węglowy), gdy gaz jest wilgotny, – uszkadza alkaliczne komórki paliwa.
Siarkowodór	0-0,5%	– powoduje korozję urządzeń i rur (wielu producentów silników określa maksymalne stężenie 0,05%), przy zawartości powyżej 40 mgm^{-3} przeprowadza się odsiarczanie gazu, – emisje SO_2 za palnikami, emisje H_2S przy niedoskonałym spalaniu, – zmniejsza działanie katalizatorów.
Amoniak	0-0,05%	– emisje NO_x za palnikami.
Para wodna	1-5%	– powoduje korozję urządzeń, – kondensat może uszkadzać urządzenia i instalacje, – ryzyko zamarzania systemów rurowych i dysz.
Pył	>5 pm	– blokuje dysze i komórki paliwa.
Azot	0-5%	– obniża wartość opałową biogazu. Przy wysokich temperaturach spalania tworzy dwu- i trójtlenki (NO_2, NO_3).
Siloksany	0-50 mgm^{-3}	– działają ściernie i uszkadzają silniki.

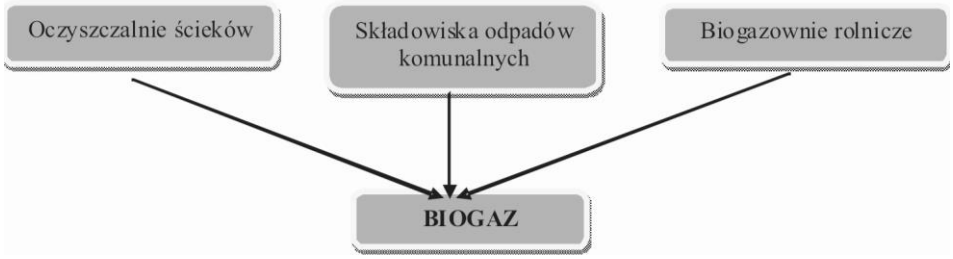
5. Uwarunkowania technologiczne pozyskiwania biogazu

Zgodnie z definicją Unii Europejskiej, biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (wraz z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, a także podatne na rozkład biologiczny frakcje

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

odpadów miejskich i przemysłowych. Takie rozumienie powoduje, że istnieje szerokie spektrum możliwości pozyskania energii odnawialnej [9].

Można wyróżnić trzy najważniejsze miejsca pozyskiwania biogazu, co przedstawiono na rysunku 2:



Rys.2. Miejsca powstawania biogazu [źródło: opracowanie własne]

Skład i właściwości różnych typów biogazu [5]

Tabela 3

Występujące substancje/właściwości	**Jednostka**	**Biogaz**		
		ściekowy	**rolniczy**	**składowiskowy**
Metan	%	65-75	45-75	45-55
Dwutlenek węgla	%	20-35	25-55	25-30
Tlenek węgla	%	<0,2	<0,2	<0,2
Azot	%	3,4	0,01-5,00	10-25
Tlen	%	0,5	0,01-2,00	1-5
Wodór	%	ilości śladowe	0,5	0,00
Siarkowodór	$mgNm^{-3}$	<800	10-30	<800
Amoniak	$mgNm^{-3}$	ilości śladowe	0,01-2,50	ilości śladowe
Siloksany	$mgNm^{-3}$	<0,1-5,0	ilości śladowe	<0,1-5,0
CFC	$mgNm^{-3}$	0	20-1000	nie występuje
Kaloryczność (brutto)	$kWhNm^{-3}$	6,6-8,2	5,5-8,2	5,0-6,1
Kaloryczność (netto)	$kWhNm^{-3}$	6,0-7,5	5,0-7,5	4,5-5,5
Gęstość normalna	$kgNm^{-3}$	1,16	1,16	1,27
Gęstość względna odniesiona do powietrza	$kgNm^{-3}$	0,9	0,9	1,1
Punkt rosy	°C	35	35	0-25

W oczyszczalniach ścieków biogaz powstaje w wyniku fermentacji osadu czynnego w komorach fermentacyjnych osadów ściekowych.

W biogazowniach rolniczych pozyskuje się biogaz w wyniku fermentacji gnojowicy lub obornika. Źródłem biomasy do wytwarzania biogazu mogą być celowo uprawiane rośliny energetyczne.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Na składowiskach odpadów komunalnych biogaz powstaje samorzutnie w wyniku biodegradacji składowanych odpadów organicznych. Pozyskuje się go w instalacjach odgazowania składowisk.

Podstawowe cechy oraz skład trzech typów biogazu przedstawiono w tabeli 3.

Występujące składniki oraz ich udział procentowy zależą przede wszystkim od zastosowanych substratów, typu instalacji, obciążenia komory fermentacyjnej. Nawet niewielka zmiana parametrów, na przykład temperatury, wpływa na skład biogazu. Wynika z tego jednoznacznie, iż cały proces powstawania biogazu powinien być okresowo bądź ciągle kontrolowany.

6. Wykorzystanie biogazu

Techniczne możliwości wykorzystania energii zawartej w biogazie obejmują [1]:

- wytwarzanie energii elektrycznej w silnikach gazowych z generatorem prądu,
- bezpośrednie spalanie w urządzeniach cieplnych, kotłach gazowych,
- kogenerację lub trigenerację (skojarzona produkcja energii elektrycznej i cieplnej),
- wytwarzanie biom etanu, który może być:
  - wykorzystany jako paliwo transportowe,
  - wykorzystany w procesach technologicznych, takich jak produkcja metanolu,
  - zatłoczony do sieci dystrybucyjnych gazu ziemnego.

7. Bilans biogazu w latach 2003 – 2012 w Polsce

Ilość pozyskiwanego biogazu systematycznie rośnie, co zostało pokazane na rysunku 3. Bilans został przedstawiony w tabeli 4. Pozyskanie biogazu w 2012 r. było większe o 22,7% do roku poprzedniego. Na wsad przemian energetycznych zużyto 52,3% pozyskanego biogazu, a 47,7% stanowiło zużycie końcowe (finalne), z czego większość w jednostkach zaliczanych do handlu i usług (79,4%).

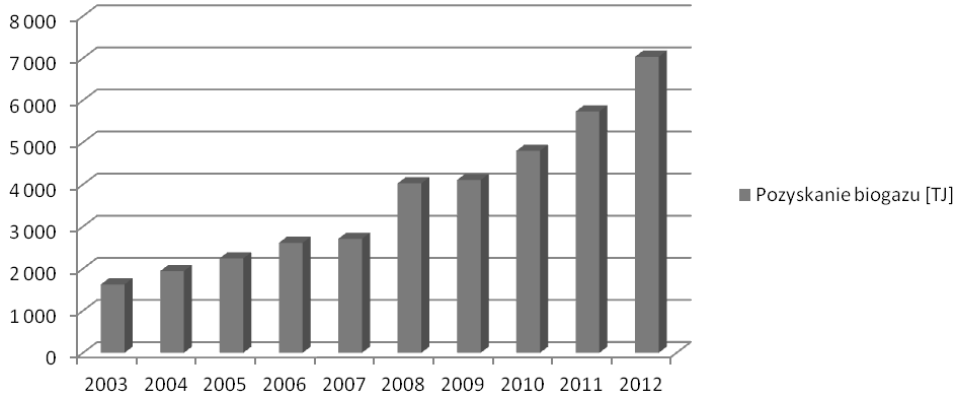
Do 2010 r. paliwo to w większości było wykorzystywane na wsad przemian energetycznych, a w latach 2011 i 2012 nastąpiła zmiana tych proporcji na rzecz zwiększenia wykorzystywania biogazu w zużyciu finalnym. Wykorzystanie biogazu przedstawiono na rysunku 4.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Bilans biogazu w latach 2003 – 2012 [TJ] w Polsce, źródło: [2]

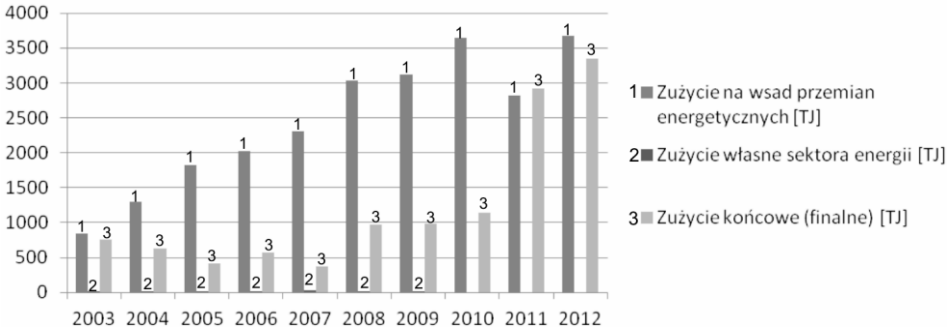
Tabela 4

Wyszczególnienie	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Pozyskanie	**1624**	**1941**	**2243**	**2613**	**2708**	**4026**	**4104**	**4797**	**5732**	**7033**
Zużycie na wsad przemian z tego:	**843**	**1293**	**1820**	**2021**	**2305**	**3038**	**3123**	**3653**	**2817**	**3680**
elektrociepłownie zawodowe	-	57	21	18	15	-	-	-	-	-
ciepłownie zawodowe	19	-	-	2	4	19	16	6	6	6
elektrociepłownie przemysłowe	823	1236	1798	2001	2286	3017	3096	3638	2801	3665
ciepłownie przemysłowe	1	-	1	-	-	2	11	9	10	9
Zużycie własne sektora energii	**18**	**16**	**12**	**15**	**28**	**17**	**3**	**-**	**-**	**-**
Zużycie końcowe (finalne) z tego:	**763**	**632**	**411**	**577**	**375**	**971**	**978**	**1144**	**2915**	**3353**
przemysł spożywczy i tytoniowy	63	74	68	72	84	94	109	101	145	208
papierniczy, poligraficzny	-	-	-	-	-	-	18	49	69	82
budownictwo	-	-	-	-	-	1	3	-	-	-
handel i usługi	700	558	343	505	291	876	847	994	2430	2663
rolnictwo i leśnictwo	-	-	-	-	-	-	-	-	271	400

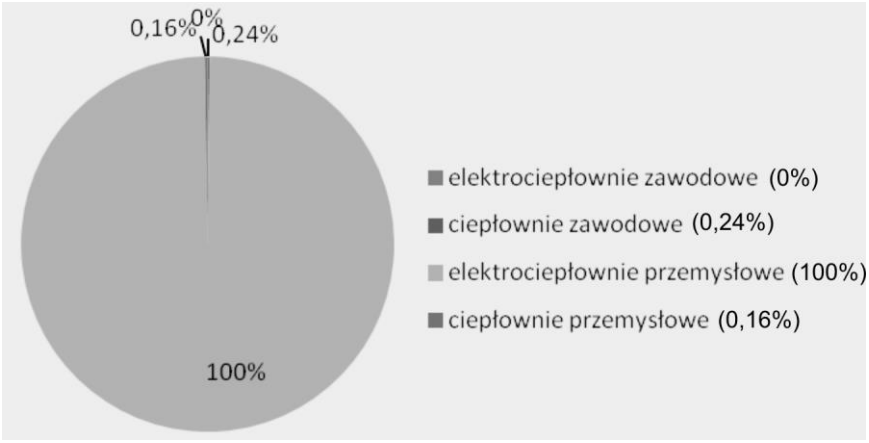


Rys.3. Pozyskiwanie biogazu w latach 2003 – 2012,
źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

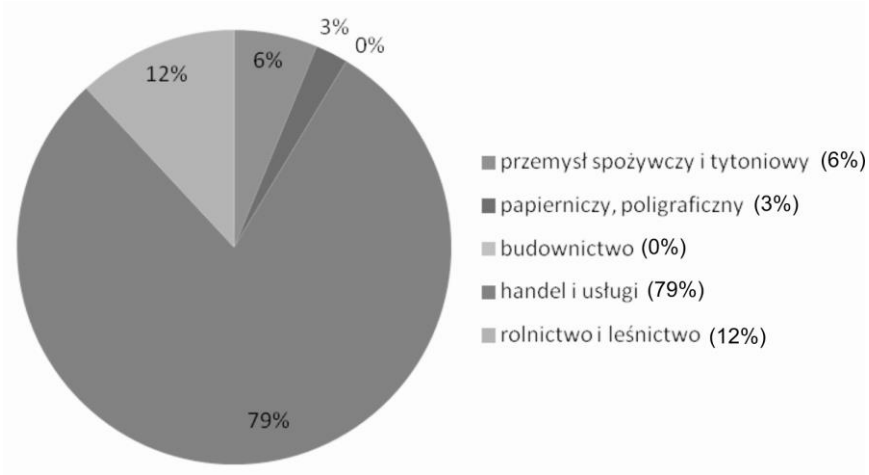
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.4. Zużycie biogazu w latach 2003 – 2012,
źródło: opracowanie własne na podstawie [2]



Rys.5. Zużycie biogazu na wsad przemian energetycznych w 2012 r.,
źródło: opracowanie własne na podstawie [2]



Rys.6. Zużycie końcowe biogazu w 2012 r.,
źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Szczegółowe zużycie biogazu w roku 2012 w elektrociepłowniach i ciepłowniach pokazano na rysunku nr 5, natomiast procentowe zużycie finalne na rysunku 6.

8. Podsumowanie

Rozwój energetyki odnawialnej należy do priorytetowych zadań, gdyż udział energii odnawialnej w bilansie paliwowo-energetycznym kraju powinien kształtować się na wymaganym przez Unię Europejską poziomie.

Fermentacja metanowa, umożliwia produkcję czystego ekologicznie paliwa, jakim jest biogaz oraz utylizację szkodliwych odpadów. Jest także ważnym przedsięwzięciem zmniejszającym obciążenie środowiska szkodliwymi substancjami.

W prognozach rozwoju sektora energetycznego biogaz słusznie uwzględniany jest jako nośnik energii, który będzie miał znaczący udział w zakresie produkcji energii, pochodzącej z zasobów odnawialnych. Obserwuje się ciągły wzrost zarówno produkcji biogazu, jak i jego wykorzystania.

Biogazownie mają duży potencjał energetyczny. Są więc realną alternatywą wobec wyczerpujących się zasobów paliw kopalnych.

Literatura

1. Dudek J., Zaleska-Bartosz J.: Pozyskiwania i wykorzystanie biogazu do celów energetycznych. Problemy Ekologii, vol. 14, nr 1, styczeń-luty 2010.
2. Główny Urząd Statystyczny: Energia ze źródeł odnawialnych w 2012 r. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa 2013.
3. Gołaszewski J.: Biomasa – zrównoważona energia a zrównoważone rolnictwo. Materiały konferencyjne publikowane w ramach wystawy targowej Polagra 2012. Dostęp: http://czystaenergia.pl/pdf/polagra2012/2.pdf, 8. 02. 2014.
4. Kruk H.: Wykorzystanie źródeł energii a bezpieczeństwo energetyczne i ekologiczne Polski. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, nr 72, luty 2012.
5. Leśniewicz N.: Projekt technologiczny instalacji do produkcji biogazu z gnojowicy dla gospodarstwa o koncentracji zwierząt w zakresie 100-200 SD. 2009.
6. Lewandowski W.M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT. Warszawa, s. 432. 2006.
7. Marczak H.: Zmieszane odpady komunalne źródłem energii odnawialnej. Inżynieria Ekologiczna, nr 27, 2011.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

8. Namyślak Ł.: Ocena obciążenia środowiska przy produkcji energii elektrycznej przy pomocy metody LCA. Inżynieria Rolnicza 2012: Z.4(139) T.1, s. 285-293.
9. Pilarski K., Adamski M.: Perspectives of biogas production with taking into consideration reaction mechanism in the range of quantitative and qualitative analyses of fermentation processes. Journal of Research and Application in Agriculture Engineering, vol. 54 (2): 81-86, 2009.
10. Radwański E., Skowroński P.: Strategiczne problemy rozwoju polskiej energetyki w aspekcie ekologicznym, [w:] Energetyka a środowisko, H. Sasinowski (red.), Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1996.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Biogaz z odpadów – zagrożenia i ich usuwanie

Jolanta Biegańska, Ireneusz Stanuch – Politechnika Śląska

1. Wstęp

Gwałtowny wzrost ilości odpadów, wynikający z postępu cywilizacyjnego w XXI wieku i negatywny ich wpływ na środowisko w wyniku niewłaściwego postępowania, spowodował konieczność poszukiwania skutecznych metod zagospodarowania. Mimo opracowania różnych technologii zmierzających do odzysku surowców lub energii zawartej w odpadach składowanie jest nadal nieodłącznym elementem gospodarki odpadami – szczególnie komunalnymi. Istnieje możliwość wykorzystania odpadów biodegradowalnych pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych zdeponowanych na składowisku, a każde składowisko odpadów można traktować jako bioreaktor. Oczywiście uzależnione to jest od składu deponowanych na nim odpadów. Przeprowadzone badania [1] podają o znacznym, bo ponad 50% udziale odpadów biodegradowalnych w całym strumieniu (resztki pochodzenia roślinnego i zwierzęcego 33%, papier 21%).

W Polsce składowiska odpadów mają dominujący wpływ na emisję metanu z tzw. źródeł antropogennych. Metan jest wartościowym nośnikiem energii, wytwarzanym z substancji organicznych podczas złożonego pod względem biochemicznym procesu, jakim jest stabilizacja beztlenowa.

Dyrektywa Rady Europejskiej 99/31/WE z 26 kwietnia 1999 roku w sprawie składowania odpadów wymaga ograniczenia zawartości substancji biodegradowalnych deponowanych na składowiskach do 75% masy wyjściowej w ciągu 5 lat od wdrożenia, do 50% w ciągu 8 lat, do 35% w ciągu 15 lat. Za moment wdrożenia przyjmuje się 1 maja 2004 roku, a punktem odniesienia jest ilość odpadów wytworzona w 1995 r. Oznacza to, że w Polsce będą musiały w najbliższych latach powstać instalacje do unieszkodliwiania tych odpadów w sposób inny niż przez składowanie.

2. Biogaz – terminologia prawna

Biogaz to [2] gaz palny powstały z biomasy lub biodegradowalnych odpadów. Jeżeli jest generowany w sposób naturalny na terenach podmokłych (torfowiska) nosi nazwę gazu błotnego (gnilnego).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zgodnie z polskimi aktami prawnymi [3, 4] biogaz to:

- gaz palny, produkt fermentacji anaerobowej związków pochodzenia organicznego (np. ścieki, odpady komunalne, odchody zwierzęce, gnojowica, odpady przemysłu rolno-spożywczego, biomasa), a częściowo także ich gnicia powstający w biogazowni,
- paliwo gazowe otrzymywane z surowców rolniczych, produktów ubocznych rolnictwa, płynnych lub stałych odchodów zwierzęcych, produktów ubocznych lub pozostałości przemysłu rolno-spożywczego lub biomasy leśnej w procesie fermentacji metanowej.

Biogaz jest produktem czterostopniowego procesu mezofilnej (temp. 30-37ºC) fermentacji beztlenowej, który zachodzi w zamkniętej komorze fermentacyjnej. Do głównych czynników wpływających na przebieg procesu zaliczamy temperaturę (30-40ºC), czas retencji (12-36 dni), obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń organicznych, odczyn pH (bakterie metanogenne wymagają pH 7-7,7), mieszanie biomasy i obecność inhibitorów reakcji (np. amoniak, chrom).

3. Składniki biogazu i oddziaływanie na środowisko

Głównymi składnikami biogazu są oczywiście metan i ditlenek węgla. Wśród składników biogazu są również tlen, azot oraz śladowe niejednokrotnie ilości produktów rozkładu związków organicznych (siarkowodór, aldehyd octowy, amoniak itp.). Obecność tych ostatnich związków jest o tyle istotna, że są one czynnikami decydującymi o złowonnym charakterze emitowanego ze składowiska gazu.

Biogaz może być spalany w kotle w celu uzyskania energii cieplnej wykorzystanej do ogrzewania pomieszczeń, lub w silniku gazowym napędzającym generator prądu.

Skład biogazu w pionowym przekroju złoża nie jest stały. Ilość i jakość tego gazu zależą głównie od morfologii i procentowej zawartości części organicznych deponowanych odpadów oraz od ich wilgotności, efektywnego zagęszczania, a także przykrycia izolacyjnego w trakcie eksploatacji składowiska. Szacuje się, że ze 100 m^3 biogazu można wyprodukować około 560-600 kWh energii elektrycznej. Ze składowiska o powierzchni około 15 ha można uzyskać od 20 do 60 GWh energii w ciągu roku, jeżeli roczna masa składowanych odpadów wynosi około 180 tys. Mg.

Typowe składniki i zanieczyszczenia biogazu przedstawiono w tabeli 1 [5, 6].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Typowe składniki i zanieczyszczenia biogazu [5, 6]

Tabela 1

Składnik	Zawartość	Efekt działania
Metan (CH_4)	45-70%	– Określa wartość opałową. – Przy zawartości >45% jest palny. – Przy zawartości 5-15% tworzy z powietrzem mieszankę wybuchową.
Ditlenek węgla (CO_2)	25-50%	– Obniża wartość opałową. – Powoduje korozję (nisko skoncentrowany kwas węglowy), gdy gaz jest wilgotny. – Uszkadza alkaliczne komórki paliwa.
Siarkowodór (H_2S)	0-0,5%	– Powoduje korozję urządzeń i rur (wielu producentów silników określa maks. stężenie 0,05%), przy zawartości powyżej 40 mgm^{-3} przeprowadza się odsiarczanie gazu. – Emisje SO_2 za palnikami, emisje H_2S przy niedoskonałym spalaniu. – Zmniejsza działanie katalizatorów.
Amoniak (NH_3)	0-0,05%	– Emisje NO_x za palnikami.
Para wodna	1-5%	– Powoduje korozję urządzeń. – Kondensat może uszkadzać urządzenia i instalacje. – Ryzyko zamarzania systemów rurowych i dysz.
Pył	>5 pm	– Blokuje dysze i komórki paliwa.
Azot (N_2)	0-5%	– Obniża wartość opałową biogazu. Przy wysokich temp. spalania tworzy di- i tritlenki (NO_2, NO_3).
Siloksany	0-50 mgm^{-3}	– Działają ściernie i uszkadzają silniki.

Metan

Metan, w mieszaninie z powietrzem, jest gazem palnym. Jego dolna granica wybuchowości wynosi 5%, natomiast górna 15%. Przypadki samozapłonów i wybuchów na składowiskach były przyczyną podjęcia decyzji o ich odgazowywaniu. Emisja metanu wywołuje 20-25 krotnie większy efekt cieplarniany niż emisja ditlenku węgla. Stwarza też bezpośrednie zagrożenie uduszenia ludzi i zwierząt, szczególnie w zagłębieniach terenu, studzienkach itp.

Metan emitowany z odpadów wywiera negatywny wpływ na rośliny (blokuje dostęp tlenu do warstwy korzeniowej) i zakłóca rekultywację składowisk.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Innym zagrożeniem biogazowym jest efekt cieplarniany. Obecnie szacuje się, że 10% metanu sprzyjającego powstawaniu efektu cieplarnianego pochodzi ze składowisk odpadów komunalnych i biogazowni energetycznych.

Ditlenek węgla

Ditlenek węgla w małych stężeniach nie jest trujący, w większych jest szkodliwy dla zdrowia, a nawet zabójczy. Stopniowanie zagrożeń wynikających ze wzrostu stężenia ditlenku węgla w powietrzu wdychanym zamieszczono w tabeli 2 [7].

Zagrożenia dla zdrowia i życia powodowane stężeniami dwutlenku węgla [7]

Tabela 2

Wielkość stężeń CO_2 powietrza wdychanego	**Rodzaj zagrożeń dla zdrowia i życia człowieka**
900 mg/m^3	Maksymalne dopuszczalne stężenie nie zagrażające zdrowiu
59 000 mg/m^3	Jeszcze dopuszczalne w czasie 0,5-1godz.
98 000 mg/m^3	Zagraża życiu po 0,5 godz.
177 000 mg/m^3	Następuje śmierć po 10 min.

Narażanie na działanie ditlenku węgla ma miejsce najczęściej w zamkniętych pomieszczeniach (pompownia), gdzie dochodzi do wypierania tlenu z powietrza atmosferycznego przez zwiększające się stężenie ditlenku węgla.

Jeżeli ilość tlenu spada do 17% objętości w powietrzu pomieszczenia instalacji gazowych zagraża to zdrowiu obsługi. Przy spadku tlenu poniżej 14% w powietrzu wdychanym może dojść do uduszenia.

Siarkowodór

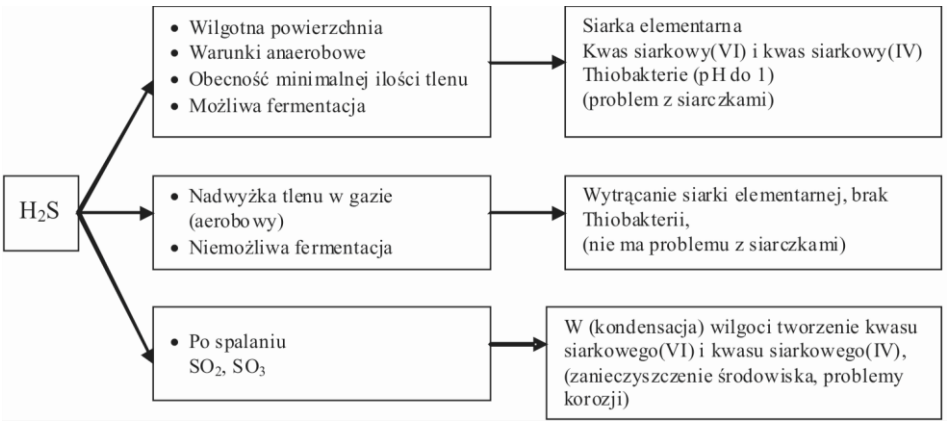
Siarkowodór jest to bezbarwny, palny związek o nieprzyjemnym zapachu zepsutych jaj. Ma on negatywny wpływ na przebieg procesu spalania. Charakteryzuje się wysoką toksycznością wobec organizmów żywych. Nawet przy niskich stężeniach zaobserwować można negatywne oddziaływanie H_2S na układ nerwowy, a stężenia wyższe od 375 ppm powodują zaburzenia funkcji układu oddechowego oraz zatrucia, mogące ostatecznie doprowadzić do śmierci. Do wad siarkowodoru zalicza się korozyjne działanie w stosunku do betonu i stali.

Powstające w czasie spalania siarkowodoru tlenki siarki zanieczyszczają atmosferę [8].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Siarkowodór będący produktem beztlenowej fermentacji materii organicznej, jako trucizna komórkowa (w postaci wolnej) już przy 50 mg/l hamuje proces rozkładu substratu. Wyższe stężenia siarkowodoru w biogazie prowadzą do korozji bloków cieplno-energetycznych oraz kotłów grzewczych.

Zachowanie się siarkowodoru w różnych skrajnych warunkach przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Zachowanie się siarkowodoru w różnych warunkach [9]

Stopniowanie zagrożeń wynikających ze wzrostu stężenia siarkowodoru w powietrzu wdychanym zamieszczono w tabeli 3 [10].

Wzrost stężeń siarkowodoru w powietrzu wdychanym i jego oddziaływanie na zdrowie i życie [10]

Tabela 3

Stężenie H_2S w powietrzu wdychanym	**Zagrożenia dla zdrowia i życia**
0,15 mg/m^3	Dopuszczalny próg zapachowy powietrza
15 mg/m^3	Maksymalne dopuszczalne stężenie progowe
100 mg/m^3	Silne obciążenie zapachowe
100 – 200 mg/m^3	Swędzenie oczu i śluzówek
300 – 425 mg/m^3	Wdychanie z objawami bólu i zawrotów głowy
425 – 700 mg/m^3	Utrata orientacji, duszność
1010 mg/m^3	Stężenie zagrażające śmiercią w ciągu 1 godz. (LC_{50})
> 1200 mg/m^3	Natychmiastowa śmierć

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Amoniak

Obecność amoniaku jest wynikiem rozkładu organicznych połączeń azotu. Amoniak hamuje proces metanogenezy przy stężeniu 1500 mg/dm^3, natomiast jest toksyczny przy stężeniu powyżej 3000 mg/dm^3. Jego wpływ jest większy przy wysokiej wartości pH.

Wchłania się głównie z dróg oddechowych, a także przez skórę i błony śluzowe. W zetknięciu z wilgotną powierzchnią błon śluzowych tworzy wodorotlenek amonowy o silnym działaniu żrącym, wywołującym nieżyty oskrzeli, a w ostrych zatruciach obrzęk płuc. Może również powodować obrzęk spojówek i zmętnienie rogówki. Amoniak stwarza również zagrożenie dla środowiska – przyczynia się do zakwaszania gleby. Po przedostaniu się do wód powierzchniowych powoduje ich eutrofizację.

Siloksany

Siloksany to związki krzemoorganiczne występujące w biogazach. Przy wykorzystaniu biogazu do celów energetycznych stanowią bardzo duże zagrożenie dla instalacji i silników. Po spalaniu gazu zawierającego siloksany w komorze spalania, na tłokach i innych elementach tworzy się powłoka w strukturze i budowie przypominająca szkło – odkładanie się krzemionki (ditlenku krzemu, SiO_2), trwale niszczące silnik i znacznie skracające ich okres eksploatacji.

W biogazie składowiskowym występują liniowe siloksany (pentamethyldisiloxane, hexamethyldisiloxane – MM, octamethyltrisiloxane – MDM i decamethyltetrasiloxane – MD2M), mające strukturę chemiczną $(CH_3)_2SiO$). Cykliczne siloksany mają taką samą podstawową strukturę jak liniowe, ale są pozbawione 2 grup metylowych. Siloksany mają wysokie masy cząsteczkowe (162,4 dla MM do 444,9 dla D6), wysokie temperatury wrzenia (100,5 °C dla MM do 245 °C dla D6) i niskie prężności par. Dlatego związki te są wystarczająco lotne by mogły być wprowadzone do biogazu [11].

Szacuje się, że około 0,1-0,5% siloksanów pozostaje w silnikach i turbinach w postaci depozytu [12]. Zakładając stechiometryczne spalanie można napisać następującą reakcję powstawania ditlenku krzemu:

$$C_{10}Si_5H_{30}O_5 + 15O_2 \rightarrow 5SiO_2 + 10CO_2 + 15H_2O$$

Przyjmując, że w ciągu roku masa siloksanów wprowadzana do silnika wyniesie [12] około 87,41 kg i z tego 0,5% nie zostanie usunięta to jako depozyt w silnikach pozostaje 0,045 kg SiO_2. Taka ilość w zupełności wystarcza do spowodowania uszkodzenia silnika.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Biogaz wymaga zastosowania procesów oczyszczania z siloksanów i związków siarki. Istotnym etapem w oczyszczaniu biogazu jest właściwa detekcja zawartości siloksanów [13].

Ryzyko wybuchu

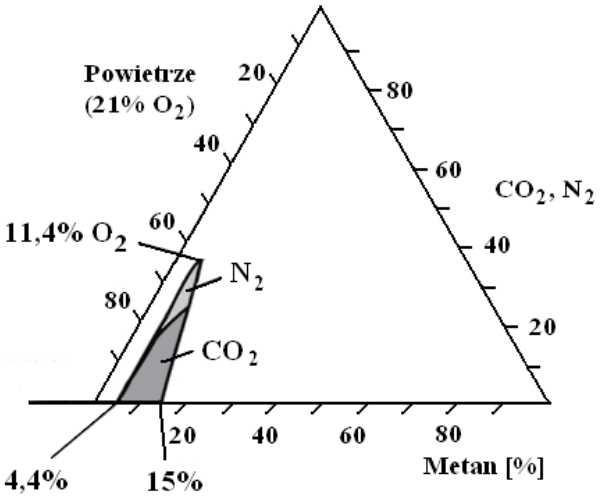
W określonych warunkach biogaz z powietrzem może tworzyć mieszaninę wybuchową (tabela 4). Do samozapłonu i jego wybuchu może dojść na źle uszczelnionych i niedokładnie ubijanych składowiskach.

Właściwości składników biogazu, gdzie NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie w pomieszczeniu [14]

Tabela 4

Wielkość	Jednostka	CH_4	CO_2	H_2S	CO	H
Gęstość	kg/m^3	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Stosunek gęstości do powietrza	-	0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Temperatura zapłonu	^{o}C	300	-	270	605	585
Wybuchowość	% obj.	4,4-16,5	-	4,3-45,5	10,9-75,6	4-77
Wartość NDS-2	ppm	n.a.	5000	10	30	n.a.

Biogaz ze względu na swoje właściwości wybuchowe zagraża przede wszystkim zdrowiu i życiu ludzi obsługujących instalacje gazowe. Ponadto istnieje niebezpieczeństwo eksplozji biogazu migrującego ze składowisk komunalnych posadowionych na nieuszczelnionych podłożach ziemnych. Gaz ten może penetrować przez pory warstwy ziemnej nawet na duże odległości.



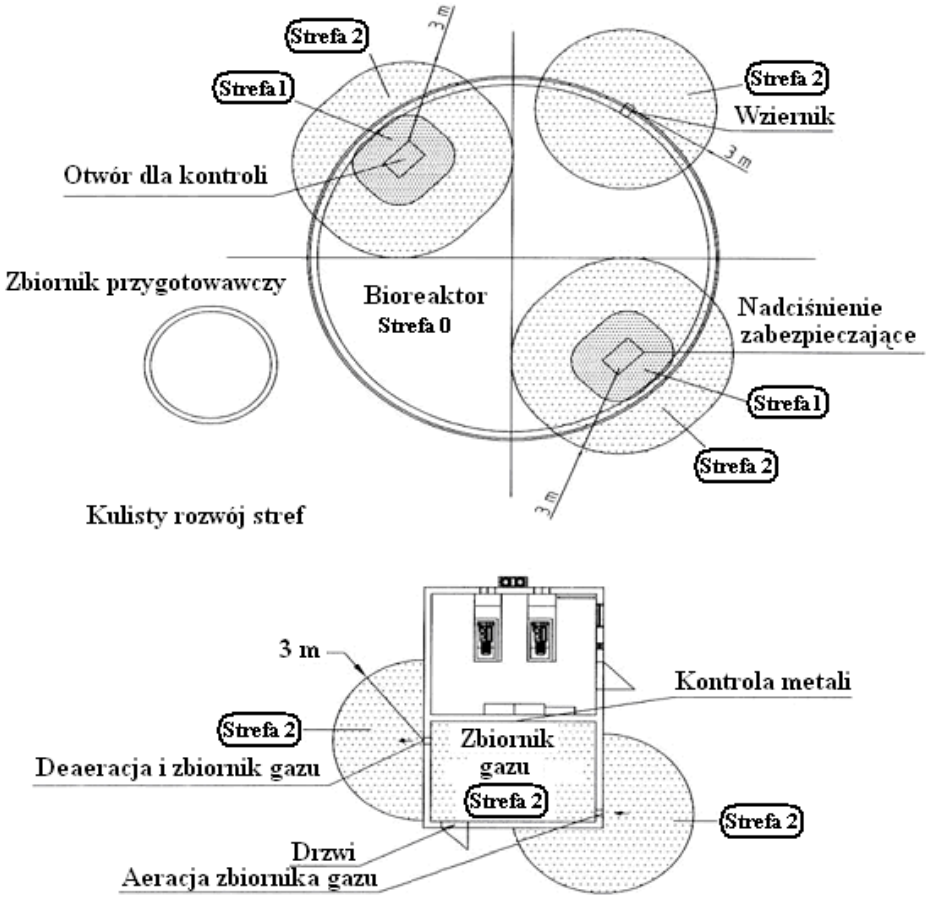
Rys.2. Diagram trzech głównych komponentów biogazu (CH_4, CO_2, O_2) z oznaczeniem pola możliwego wybuchu gazu [15]

Na rysunku 2 pokazano zakres wybuchowości trzech głównych komponentów gazowych: metanu, ditlenku węgla i tlenu atmosferycznego [15].

Biogaz o składzie 55% CH_4, 40% CO_2 i 5% O_2 nie jest wybuchowy. Z kolei zawartość: 11,5% objętości metanu (CH_4), 7,5% ditlenku węgla (CO_2) i 81% powietrza może powodować wybuchy atmosferyczne. Za groźną sytuację wybuchową uznaje się stężenie metanu poniżej 30% objętości, a tlenu powyżej 3% [16, 17].

W przypadkach, gdy stężenie CH_4 dochodzi do $\leq 25\%$, a $O_2 \geq 6\%$ należy wyłączyć instalację sprężarki gazowej, gdyż alarmowa zmiana składu biogazu może doprowadzić do spalania wybuchowego i zniszczenia instalacji.

Wyodrębniono [14] trzy strefy zagrożenia wybuchem (rys. 3).



Rys.3. Obszary zagrożone wybuchem w biogazowni [14]

Strefa 0 – atmosfera wybuchowa występuje stale lub w przeważającym okresie czasu. Obszar biogazowni nie jest objęty tą strefą.

Strefa 1 – obejmuje obszary, w których atmosfera wybuchowa występuje sporadycznie. Mogą to być obszary w bliższym otoczeniu otworów wlotowych magazynu gazu lub od strony układu przewodzącego gaz w komorze gnilnej, w pobliżu urządzeń spustowych, zabezpieczeń przed nadciśnieniem lub pochodni gazowych. W obrębie 1 metra (w miejscu swobodnego przewietrzania) wokół tych obszarów należy stosować środki bezpieczeństwa strefy 1. Zakres ten rozszerza się w pomieszczeniach zamkniętych do około 4,5 metra.

Strefa 2 – nie ma zagrożenia wystąpienia wybuchowych mieszanek gazowo – powietrznych. Istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia wybuchem w krótkich okresach czasu (przy pracach serwisowych lub w razie wystąpienia awarii). Dotyczy to otworów wlotowych, jak również wnętrza fermentatora oraz bliższego otoczenia otworów napowietrzających i odpowietrzających przy magazynach gazu.

4. Oczyszczanie i wzbogacanie biogazu

Wykorzystanie biogazu wiąże się z usunięciem zanieczyszczeń, które w różny sposób wpływają na pracę instalacji. W pierwszej fazie oczyszczania gaz należy pozbawić maksymalnej ilości wilgoci i zanieczyszczeń stałych, przenoszonych w strumieniu gazu. Usunięcie ich przedłuża żywotność systemu odgazowania, elementów stacji pompowej i pochodni oraz urządzeń do wykorzystania energii.

Proces oczyszczania prowadzi się w odwadniaczach, separatorach skroplin i filtrach.

Faza kolejna to usuwanie z gazu związków śladowych, które negatywnie wpływają na żywotność, efektywność i emisje z urządzeń wykorzystania gazu. Są to związki:

- siarki (np. siarkowodór, merkaptany),
- chlorowców (np. węglowodory chlorowcopochodne),
- krzemu (np. siloksany).

Siarkowodór usuwać można metodami:

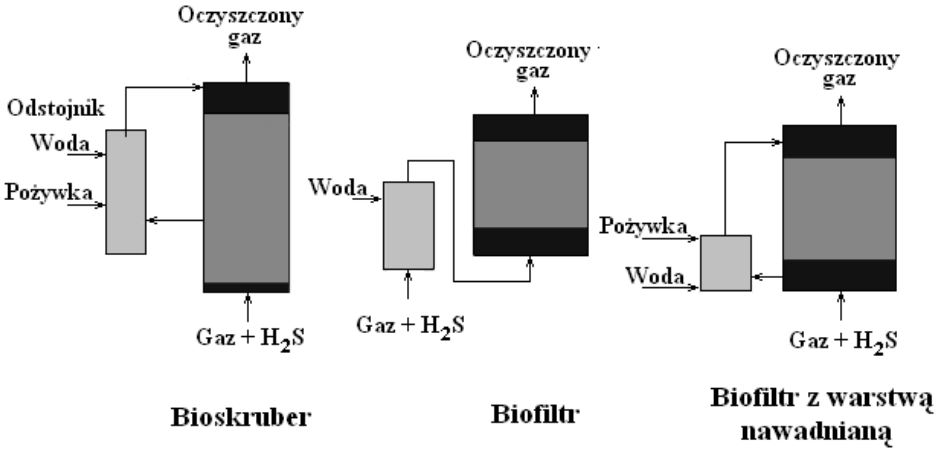
- fizycznymi (przemywanie wodą i adsorpcja na węglu aktywnym),
- chemicznymi (reakcje z wodorotlenkiem lub chlorkiem żelaza, wodorotlenkiem sodu),
- procesami odsiarczania biologicznego (szczepy bakterii).

Stwierdzono, że procesy biologiczne wymagają o 62% mniej nakładów finansowych niż chemiczna absorpcja. Mogą być prowadzone w temperaturze otoczenia i przy ciśnieniu atmosferycznym, co również jest ich zaletą. Metody

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

biologiczne nie generują wtórnych zanieczyszczeń, przez co nie wywołują negatywnego wpływu na środowisko. Metody biologiczne usuwania H_2S umożliwiają odzysk zawartej w siarkowodorze siarki.

W praktyce do biologicznego odsiarczania biogazu najczęściej stosowane są bioskrubery, biofiltry oraz biofiltry z warstwą nawadnianą (rys. 4).



Rys.4. Typy instalacji do biologicznego oczyszczania biogazu [18]

Zanieczyszczenia zawarte w gazach są sorbowane i przenoszone do fazy wodnej, a następnie rozkładane przez drobnoustroje do związków nieorganicznych – ditlenku węgla, wody i soli mineralnych.

Węglowodory chlorowcopochodne usuwane są za pomocą technologii absorpcji na specjalnie dobranych płynach na bazie węglowodorów, adsorpcji na węglu aktywnym oraz technologią kriogeniczną.

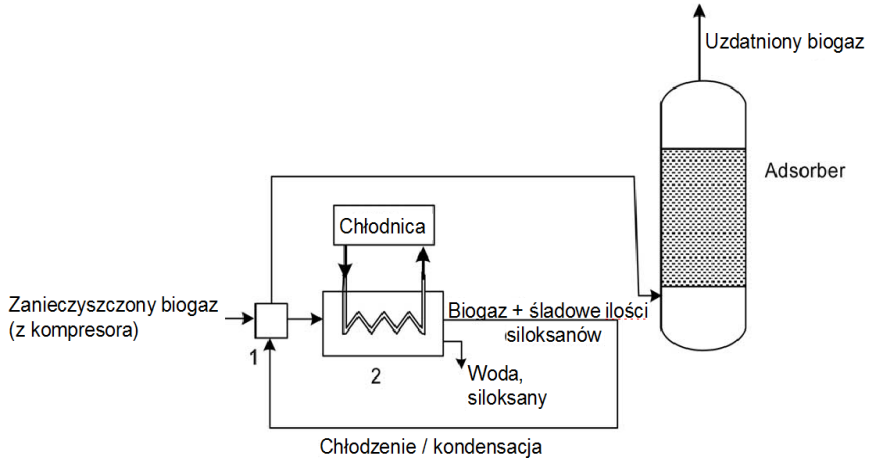
Siloksany usuwane mogą być metodami adsorpcji, absorpcji, biologicznie, przy użyciu membran.

Adsorpcja na nieregenerowanych stałych złożach węgla aktywnego lub grafitu jest najbardziej powszechną metodą usuwania siloksanów [19]. Urządzenie składa się z wymiennika ciepła w komorze chłodzenia, gdzie sprężony gaz w obiegu jest oziębiany przez system wężownic wypełniony czynnikiem chłodniczym, który jest pompowany i recyrkuluje z chłodziarki. Zazwyczaj proces chłodzenia/kondensacji stosowany jest do obróbki wstępnej gazu przed użyciem węgla aktywnego (rys. 5) [20].

Absorpcja jest drugim istotnym procesem, który ma zastosowanie przy usuwaniu siloksanów. Rozróżnić można absorpcję fizyczną i chemiczną. Absorpcję chemiczną stosuje się do usuwania siloksanów, gdyż są one niszczone przez mocne zasady i kwasy, przy odpowiednio niskich i wysokich wartościach pH [21]. W absorpcji chemicznej najczęściej stosuje się spolimeryzowanie siloksanów poprzez katalizę za pomocą mocnych kwasów

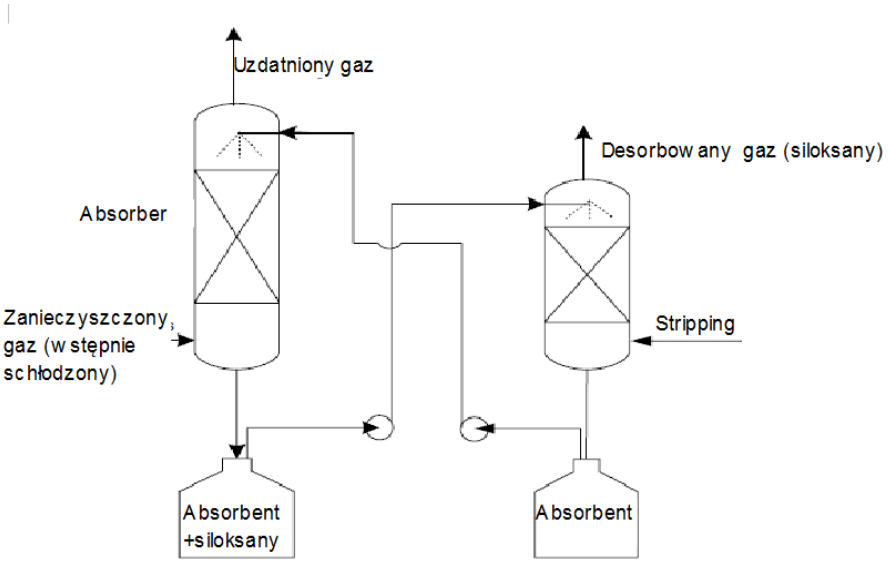
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

i zasad. Rysunek 6 przedstawia system usuwania siloksanów z biogazu z regeneracją zużytego roztworu absorpcyjnego. Absorpcja przy użyciu wody jest często wstępnym krokiem zwiększenia skuteczności kolejnych adsorpcji.



1 - wymiennik ciepła gaz-gaz; 2 - wymiennik ciepła gaz-ciecz

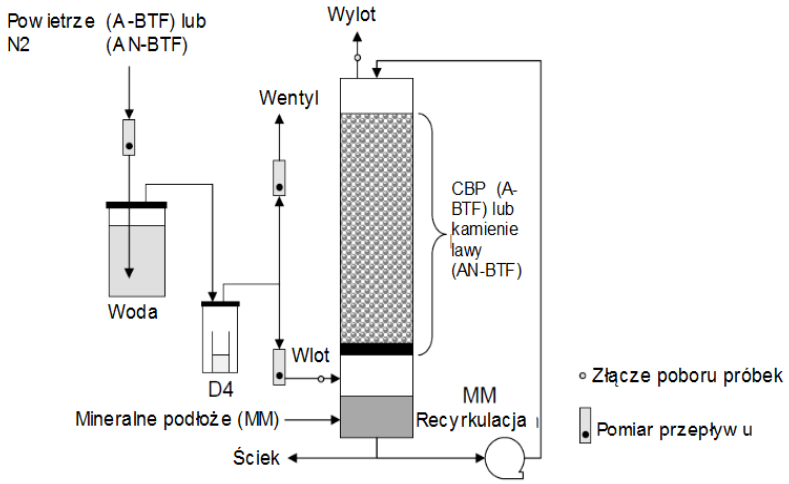
Rys.5. Schemat oczyszczania biogazu z siloksanów za pomocą chłodzenia/kondensacji i adsorpcji [20]



Rys.6. System absorpcji usuwania siloksanów z biogazu z regeneracją zużytego roztworu absorpcyjnego [20]

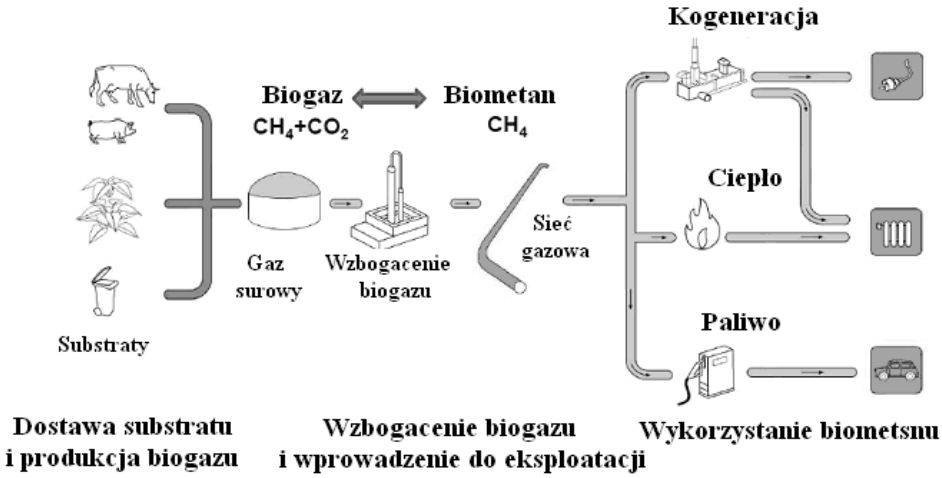
Usuwanie biologiczne jest również możliwe do zastosowania, chociaż siloksany są stabilne wobec rozkładu chemicznego i biochemicznego. Przetestowano (w skali laboratoryjnej) [22] skuteczność usuwania siloksanów na drodze biofiltracji anaerobowej i aerobowej (rys. 7).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



A-BTF – biofiltracja aerobowa, N-BTF – biofiltracja anaerobowa

Rys.7. Schemat ideowy biofiltra z nawadnianą warstwą usuwającego D4 [22]



Rys.8. Łańcuch technologiczny wzbogacania biogazu do jakości gazu ziemnego [23]

Inną metodą wspominaną w literaturze jest stosowanie membran separujących gazy. Oznacza to zasadę selektywnej przepuszczalności siloksanów przez roztwór i dyfuzję przez membranę wykonaną z gęstego materiału polimerowego.

Biogaz pozbawiony zanieczyszczeń, zanim zostanie wykorzystany (doprowadzony do sieci), musi zostać wzbogacony tak, aby jego jakość dorównywała gazowi ziemnemu.

Główną różnicą pomiędzy biogazem a gazem ziemnym jest zawartość metanu. Zawartość metanu w biogazie na ogół wynosi do 70%. W gazie ziemnym zawartość metanu dochodzi do prawie 100%, w zależności od

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

lokalizacji. Dostarczanie do sieci niewzbogaconego biogazu stworzyłoby duży problem dla odbiorców gazu, gdyż większość urządzeń na gaz jest przystosowana do pracy na gazie o określonej zawartości metanu. Wzbogacanie biogazu do jakości gazu ziemnego [23] odbywa się w technologicznym łańcuchu (rys. 8).

Wybór technologii wzbogacania biogazu zależy od uwarunkowań lokalnych oraz sposobu wykorzystania gazu.

5. Podsumowanie

W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania (wymuszony prawem) odzyskiem różnych substancji z odpadów, jak również efektywnym ich zagospodarowaniem. Przejawem takiej działalności jest również pozyskiwanie biogazu z odpadów. Dotyczy to głównie odpadów komunalnych, w tym składowanych na składowiskach. Otrzymywany biogaz stanowi korzystne źródło energii i może być wykorzystany na różne cele, a nie tylko spalany bezużytecznie w pochodniach. Ze względu na różny skład odpadów komunalnych powstający biogaz zawiera szereg zanieczyszczeń, które w różny sposób wpływają na zdrowie ludzi, stan środowiska i pracę urządzeń, które biogaz transportują i eksploatują. Jakość biogazu otrzymanego z odpadów nie dorównuje jakości gazu ziemnego, stąd opracowano szereg metod i urządzeń do jego skutecznego oczyszczania i wzbogacania.

Literatura

1. Kurek S., Małucha K., Toch R., Zemanek J.: Wyznaczanie procentowego składu frakcji w odpadach komunalnych w zależności o systemu zbiórki Materiały konferencyjne: IV Ogólnopolska Młodzieżowa Konferencja Naukowa „Nowe tendencje rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich", 100-103, 2008.
2. Dyrektywa 2001/77/WE, zawarta w rozporządzeniu ministra gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii (Dz. U. Nr 261, poz. 2187, z późn. zm.).
3. Prawo energetyczne (Dz. U. Nr 89/2006, poz. 625, z późn. zm.).
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz. U. Nr 156/2008 r., poz. 969, ze zm. - § 2 pkt 1).

5. Huber S., Mair K.: Untersuchung zur Biogaszusammensetzung bei Anlagen aus der Landwirtschaft. Ergebnisbericht des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz, 1997.
6. Lewandowski W.M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT. Warszawa, 432, 2006.
7. Biogas, Verwertung und Aufbereitung ATV-09, Hennef 1997.
8. Truong L. i Abatzoglou N.: A H_2S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. Biomass and Bioenergy, 29, 142-151, 2005.
9. Feldmann H., Hersel O., Richter T.: Bauen für die Landwirtschaft. Behälterbau – Biogas, 2/2010.
10. Stępniak S.: Zagrożenia eksploatacyjne instalacji biogazowych, Rynek Instalacyjny 5/2008, 90-99.
11. Tower S., Tower P.: Guaranteed Removal of Siloxanes From Landfill and Digester. Applied Filter Technology, Snohomish, WA USA, 13.07 2007 r., 2-4, 6.
12. Tower P.: Removal of siloxanes from landfill gas by SAG^{TM} polymorphous porous graphite treatment systems, SWANA 26thLandfill Gas Symposium March 27, 2003.
13. Diatczyk J., Diatczyk J., Kapka - Skrzypczak L., Komarzyniec G., Pawłat J., Pawłowski K.: Problem zanieczyszczeń siloksanowych w instalacjach biogazowych, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 7a, Vol. 88, 138-139, 2012.
14. Schulz W.: From feedstock to feed – In. Processing biogas for natural gas networks, Renewable Energy World, Vol. 7, Nr 3, 116-125, 2004.
15. Stachowitz W. H.: DAS-IB GmbH. Biogas. Auswirkungen: Arbeitshschutz-Deponiegas. Kiel 2004., Deublein D. and Steinhauser A.: Biogas from Waste and Renewable Resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2008.
16. Nowakowski S., Banasiak G.: Zalecenia do budowy i eksploatacji instalacji do wydobywania i wykorzystywaniu gazu z wysypisk, OBREM, Warszawa – Łódź, lipiec 1999.
17. Sicherheitsregeln für Deponien. GUV 17.4 Budesverband der Unfallversicherungsträger-BAGUV, München 1993.
18. Findlay G., Nirmalakhandan N.: Biological treatment of airstreams contaminated with Vos: an overview, Water Science and Technology, Vol.34, No 3-4, 565-571, 1996.
19. Ajhar M, Travesset M, Yüce S, Melin T.: Siloxane removal from landfill and digester gas - A technology overview. Bioresource Technol. Vol. 101, 2913-2923, 2010.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

20. Soreanu G.: Approaches concerning siloxane removal from biogas - a review. Canadian Biosystems Engineering, Vol.53, 2011.
21. Schweigkofler M, Niessner R.: Removal of siloxanes in biogases. J Hazard Mater. B83, 183-196, 2001.
22. Popat, S.C., Deshusses, M.A.: Biological Removal of Siloxanes from Landfill and Digester Gases: Opportunities and Challenges. Environmental Science & Technology, 42(22), 8510-8515, 2008.
23. Scholwin F.: Institute for Biogas, www.biogasundenergie.de

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

… ogromny postęp, jaki dokonał się w ostatnich latach w technologii wybierania ścianowego w górnictwie węglowym, umożliwia operatorom sterowanie pracą urządzeń wchodzących w skład kompleksów ścianowych ze znacznej odległości, zmniejszając w ten sposób ryzyko pracy w warunkach dużego zagrożenia pyłem. Przykładem najnowocześniejszego rozwiązania jest system zdalnego sterowania (ROC – Remote Operation Center), zastosowany w kompleksie ścianowym firmy Joy Global. Ten kluczowy komponent układu sterowania kompleksem wykorzystuje nowatorski system Faceboss. Zaproponowane rozwiązanie wychodzi naprzeciw nowym przepisom, obowiązującym w USA od 2010 roku, znacznie obniżającym poziom dopuszczalnego zapylenia w miejscach pracy górników.

World Coal 2014 nr 1 s.10

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Warianty technologiczne wykorzystania paliw z odpadów w energetyce

Ryszard Wasielewski, Sławomir Stelmach - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

1. Wprowadzenie

Paliwa produkowane z odpadów znajdują coraz szersze zastosowanie przemysłowe w krajach Unii Europejskiej. Są one chętnie wykorzystywane w energochłonnych gałęziach przemysłu, takich jak np. produkcja klinkieru czy przemysł celulozowo-papierniczy, a także w sektorze energetycznym, co jest uzasadnione zarówno ze względów ekonomicznych, jak i ekologicznych [1, 2]. Odzysk energii z odpadów prowadzony w instalacjach energetyki zawodowej jest wprawdzie w warunkach krajowych zagadnieniem nowym, jednakże w najbliższej przyszłości jego skala i znaczenie będą rosły.

Stosowanie tych paliw w procesach współspalania pozwala zarówno oszczędzać zasoby paliw kopalnych, a także przyczynia się do zmniejszenia emisji CO_2. Należy jednak podkreślić, że przemysł energetyczny jest zainteresowany wyłącznie pozyskiwaniem paliwa o ściśle zdefiniowanych cechach użytkowych i charakterystyce fizykochemicznej. W praktyce (z uwagi na wymagania techniczne i eksploatacyjne) nie ma możliwości wprowadzania do instalacji energetycznej odpadów (lub paliwa z nich wytworzonego) o nieznanym pochodzeniu i przypadkowych właściwościach. Fakt ten w zasadzie wyklucza bezpośrednie energetyczne wykorzystanie odpadów bez ich wstępnego przerobu.

Wprowadzenie w ostatnim okresie czasu w krajach UE jednolitych zasad klasyfikacji stałych paliw z odpadów (nazwanych *Solid Recovered Fuels* - SRF) oraz metodyki badawczej dla określania jakości tych paliw winno dodatkowo umocnić ich obecność na rynku nośników energii, a także ułatwić międzynarodowy obrót tym towarem [3]. Należy zaznaczyć, że według systemu opracowanego przez CEN - SRF może być wytwarzane wyłącznie z odpadów innych niż niebezpieczne i stosowane tylko w instalacjach spełniających standardy emisyjne, wynikające z Dyrektywy 2000/76/EC, dotyczącej spalania odpadów. W skład SRF nie mogą przy tym wchodzić paliwa kopalne [4]. Instalacje energetyki zawodowej mogą być zainteresowane wykorzystaniem paliw z odpadów o cechach charakterystycznych dla SRF.

W Polsce wykorzystanie stałych paliw alternatywnych do produkcji energii elektrycznej i ciepła jest dotychczas znikome. Powodem takiego stanu rzeczy jest szereg utrudnień – stanowiących bariery zarówno natury formalno-prawnej, jak i technicznej - przed którymi staje producent energii zamierzający realizować energetyczny odzysk odpadów [5, 6].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Sytuacja prawna paliw alternatywnych w kraju

Określenie „paliwo alternatywne" funkcjonuje w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206). Wyróżnia ono kategorię odpadów palnych, określając je jako „paliwa alternatywne" (kod 19 12 10). Należy zauważyć, że są to odpady inne niż niebezpieczne.

Proces współspalania paliw alternatywnych z węglem kamiennym jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której proces ten zachodzi jest instalacją współspalania odpadów.

Przywołana kwalifikacja współspalanej substancji (traktowanej jako odpad, a nie jako paliwo) oraz klasyfikacja procesu technologicznego współspalania paliw alternatywnych (jako procesu przekształcania termicznego odpadów), determinuje konieczność spełnienia przez instalację, w której proces ma być prowadzony, odpowiednich wymagań, zarówno formalno-prawnych, jak i technicznych.

Należy tu wymienić przede wszystkim następujące przepisy rangi ustawowej, odnoszące się do przedmiotowego zagadnienia:

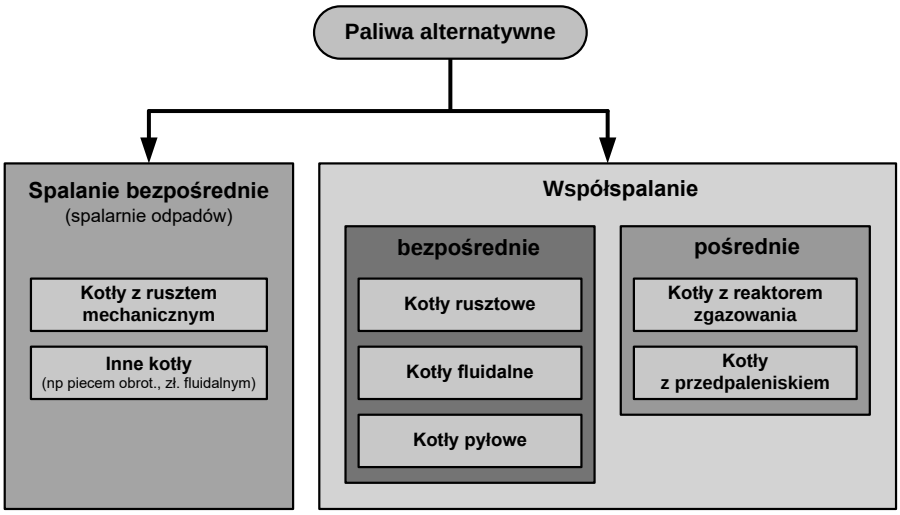
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627) z późn. zm.,
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. Nr 0, poz. 21),
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U. Nr 54 poz. 348) z późn. zm.,

a także rozporządzenia wykonawcze, wydane na podstawie delegacji zawartych w tych ustawach.

3. Warianty technologiczne wykorzystania paliw alternatywnych w energetyce

Jak wcześniej wspomniano paliwa z wytworzone z odpadów wprowadzane do instalacji energetycznej powinny posiadać ściśle zdefiniowane cechy użytkowe i charakterystykę fizykochemiczną. Takie wymagania spełnić może paliwo typu SRF produkowane w instalacjach stosujących odpowiednie systemy kontroli jakości. Energetyczne wykorzystanie SRF może odbywać się przy użyciu różnych technologii, spośród których największy potencjał i znaczenie praktyczne posiadają technologie współspalania wykorzystujące kotły pyłowe, rusztowe, a zwłaszcza fluidalne [7, 8] (rys. 1). Poniżej omówiono realizację procesu współspalania SRF w wybranych układach technologicznych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Możliwości technologiczne odzysku energii z paliw alternatywnych w energetyce

3.1. Współspalanie w kotłach pyłowych

Spalanie w kotłach pyłowych jest najbardziej rozpowszechnioną technologią stosowaną w produkcji energii elektrycznej z węgli kopalnych. Jeżeli w instalacji kotła pyłowego współspalane ma być paliwo z odpadów, to musi być ono bardzo drobno zmielone, jednak niekoniecznie do takiej granulacji jak węgiel, ponieważ może być ono spalane również w niezależnych palnikach. Instalacje energetyczne wyposażone w kotły pyłowe są wysoko efektywne, jednak koszty wytwarzania energii są wyraźnie uzależnione od nakładów ponoszonych na wstępne przygotowanie paliwa. Dla SRF wytworzonego z segregowanych odpadów komunalnych, mielenie musi być prowadzone osobno, ze względu na zawartość odpadowych tworzyw sztucznych, co wymaga wykorzystania specjalnego wyposażenia (rozdrabniaczy i młynów). Koszty tej operacji są wysokie i sprawiają, że wykorzystanie tego typu paliw w kotłach pyłowych jest mało atrakcyjne [8]. Znacznie łatwiejsze w realizacji jest współspalanie w kotłach pyłowych SRF zawierających dużo frakcji drzewnej, czy osadów ściekowych.

Instalacje energetyczne wyposażone w kotły pyłowe można przystosować do współspalania paliw typu SRF po modernizacji układów przygotowania węgla lub inwestycji dotyczących układu wstępnej preparacji SRF, polegającej na ich rozdrobnieniu.

3.2. Współspalanie w kotłach rusztowych

Kotły z ruchomym rusztem mechanicznym są zwykle stosowane w instalacjach pracujących w małej i średniej skali (30-150 MWth). Kotły te

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

cechuje ograniczona wydajność i niższa w porównaniu z paleniskami pyłowymi sprawność spalania. Jest to spowodowane małą intensywnością mieszania paliwa na ruszcie, a także przepadem przez otwory w ruszcie małych niedopalonych cząstek paliwa. Istnieją jednak pozytywne doświadczenia wykorzystywania w kotłach z rusztem mechanicznym także paliw wytwarzanych z odpadów [8]. Podstawowym warunkiem energetycznego wykorzystania paliw z odpadów w kotłach rusztowych jest dobre mieszanie paliwa na ruszcie, aby przeciwdziałać niekorzystnym efektom w postaci nierównomiernego rozkładu temperatury na powierzchni warstwy paliwa, co z kolei prowadzi do żużlowania i uszkodzeń ścian komory paleniskowej, a także przepaleń i uszkodzeń rusztu. Poszukiwanie rozwiązań powyższych problemów doprowadziło to skonstruowania nowych typów rusztów, podobnych do rusztów typowych spalarni odpadów komunalnych. Ruszty te są nachylone i podzielone na kilka sekcji. Ilość powietrza podawanego do poszczególnych sekcji jest kontrolowana indywidualnie. Ruszt wykonuje ruchy powodujące przesyp materiału, co zapewnia dobre wypalenie zawartej w nim substancji palnej. Znaczną uwagę kładzie się również na system kontroli procesu spalania, polegający na stałej obserwacji zmian temperatury na powierzchni rusztu. Wykorzystuje się do tego celu specjalne kamery termowizyjne oraz komputerowo sterowane systemy wspomagania procesu spalania w określonych obszarach rusztu poprzez zmiany w wielkości dozowania oraz prędkości przesuwu rusztu.

W kotłach z rusztem mechanicznym zwykle wykorzystywane są paliwa o granulacji 0÷25 mm z poniżej 25% zawartości frakcji 0÷2 mm. Jednym z często spotykanych problemów jest znacznie wyższa wartość opałowa niektórych rodzajów odpadów (np. tworzywa sztuczne, odpady gumowe) w stosunku do tradycyjnie stosowanych paliw kopalnych. Może to powodować konieczność stosowania specjalnych rusztów chłodzonych wodą lub odpowiedniego doboru składników mieszanek paliwowych.

Zastępowanie części paliwa kopalnego przez paliwo z odpadów w instalacjach wyposażonych w kotły z rusztem mechanicznym może generować problemy eksploatacyjne, co jednak nie stanowi bariery uniemożliwiającej całkowicie ich wykorzystywanie do tego celu.

3.3. Współspalanie w kotłach fluidalnych

W kotłach fluidalnych paliwo spala się w złożu materiału inertnego pozostającego na powierzchni rusztu, przez które przepływa powietrze konieczne dla fluidyzacji złoża oraz spalenia paliwa. Paliwo, wprowadzone jest do złoża grawitacyjnie, podajnikiem ślimakowym, lub pneumatycznym i jest mieszane z materiałem złoża w sposób ciągły. Istnieją dwa główne typy kotłów wykorzystujących złoże fluidalne: ze złożem pęcherzykowym (BFB) oraz ze

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

złożem cyrkulującym (CFB). Materiał wynoszony ze złoża z gazami spalinowymi jest separowany w cyklonie i zawracany do złoża. Temperatura spalania jest dosyć niska i wynosi z reguły około 850-950ºC. Do typowych cech eksploatacyjnych kotłów fluidalnych należą: rozmiar cząstki paliwa, który musi mieścić się w ścisłym przedziale (< 50 mm) oraz możliwość dodawania stałych sorbentów do złoża, dla związania emitowanych w procesie spalania substancji stanowiących zanieczyszczenia, takich jak SO_2, niezależnie od stosowania innego wyposażenia dla oczyszczania spalin. Instalacje wyposażone w kotły ze złożem fluidalnym wykazują dużą elastyczność w stosunku do parametrów paliwa, ponieważ materiał złoża ma dużą pojemność i bezwładność termiczną, przy udziale paliwa w złożu na poziomie około 5% [8]. Z reguły nie obserwuje się żadnych problemów technologicznych dopóki system urządzeń podających pozwala na transportowanie paliwa do złoża fluidalnego. Spalanie paliw z odpadów w kotłach fluidalnych ze złożem pęcherzykowym wymaga obróbki wstępnej paliwa. Wymagana jest redukcja wymiarów ziarna do poniżej 50 mm.

Podkreślić należy, że koncepcja spalania paliwa w złożu fluidalnym sprzyja możliwości współspalania SRF, a kocioł fluidalny - spośród wszystkich typów kotłów energetycznych - jest najmniej wrażliwy na problemy eksploatacyjne występujące przy spalaniu SRF.

3.4. Współspalanie w kotłach wykorzystujących przedpalenisko lub reaktor zgazowania

W instalacjach energetycznych współspalających biomasę lub odpady spotyka się także rozwiązania wykorzystujące przedpalenisko lub reaktor zgazowania [5]. Taki układ technologiczny posiada wiele zalet. Jest bardziej elastyczny w stosunku do zmian w odbiorze wytworzonej energii obserwowanych w różnych porach roku. Pozwala na zastosowanie rozwiązań technicznych specjalnie zaprojektowanych dla biomasy lub odpadów, bez zmian w konstrukcji podstawowego kotła, w którym spala się paliwo kopalne. Pozwala to na wyodrębnienie wymagań dla paliwa z odpadów niezależnie od paliwa głównego stosowanego do kotła. Nie bez znaczenia jest także możliwość osobnego odbioru odpadów paleniskowych (popiołu i żużla) z obydwu procesów, dzięki czemu łatwiejsze jest ich zagospodarowanie.

Należy jednak pamiętać, że zarówno spaliny, jak i gaz wytworzony z odpadów w urządzeniu towarzyszącym muszą spełniać warunki nakładane dla procesu termicznego przekształcania odpadów (w tym czasu przebywania spalin w obszarze temperatury > 850ºC, po ostatnim doprowadzeniu powietrza, na poziomie co najmniej 2 sekund, przy zawartości chloru w spalanym materiale poniżej 1%). Instalacja składająca się z przedpaleniska lub reaktora zgazowania oraz kocioł są pod tym względem rozpatrywane wspólnie, łącznie z wymaganiami emisyjnymi dla wspólnego emitora.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Spaliny z przedpaleniska lub gaz wytworzony w reaktorze zgazowania trafiają do kotła (najczęściej pyłowego), gdzie są dopalane/spalane. Czas przebywania spalin w obszarze wysokich temperatur jest dłuższy niż w standardowym kotle, co stwarza korzystniejsze warunki do pełnej destrukcji wielu substancji organicznych stanowiących zanieczyszczenia.

Instalacje energetyczne wytwarzają znaczne ilości produktów ubocznych (popiół lotny i żużel), które w dużym stopniu są wykorzystywane do produkcji materiałów budowlanych. Z punktu widzenia ekonomii oraz ochrony środowiska, zagadnieniem o podstawowym znaczeniu jest to, by stosowanie SRF nie stanowiło przeszkody dla tego rodzaju metody zagospodarowania ubocznych produktów współspalania. W tym aspekcie, przyczyną problemów może być wysoka zawartość chloru oraz alkaliów w paliwach wytwarzanych z odpadów komunalnych.

4. Problemy technologiczne przy współspalaniu

Mimo niewątpliwych korzyści ekologicznych płynących z wykorzystania SRF w energetyce, stwierdzono jednak występowanie niekorzystnych zjawisk korozyjno-erozyjnych [6]. Efektem wprowadzenia dodatkowego paliwa, jakim jest SRF jest zmiana składu chemicznego strumienia spalin oraz zmiana parametrów wpływających na intensywność konwekcyjnej wymiany ciepła. Zmiana ilości i właściwości cząstek stałych unoszonych przez spaliny, spowodowana współspalaniem, powoduje również zmianę emisyjności spalin. Stwierdzono, że nawet przy niewielkich udziałach masowych współspalanych paliw typu SRF można odnotować zmianę temperatury mięknienia i topnienia popiołu. Powoduje to szybszy przyrost osadów na powierzchniach ogrzewalnych, powiększenie ich rozmiarów w stosunku do spalania samego węgla, a także intensyfikuje procesy korozyjne. W konsekwencji oddziaływuje to na ilość ciepła przejętego przez poszczególne powierzchnie. W efekcie następuje zmiana rozkładów temperatury spalin i czynników ogrzewczych w kotle.

Dlatego też w przypadku rozpoczęcia współspalania SRF w istniejących obiektach energetycznych należy prowadzić regularną kontrolę stanu powierzchni ogrzewalnych oraz powierzchni przegrzewaczy.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy można ocenić, że współspalanie paliw wytwarzanych z odpadów jest możliwe w różnych wariantach technologicznych, które mają specyficzne wymagania w zakresie wstępnego przygotowania spalanego materiału. Należy pamiętać, że paliwa z odpadów

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

różnią się właściwościami fizykochemicznymi od typowych paliw kopalnych. Mogą również z tego powodu powodować niekorzystne zjawiska erozyjno-korozyjne w konstrukcjach instalacji kotłowych. Jedną z najważniejszych barier dla upowszechnienia stosowania paliw alternatywnych w istniejących elektrowniach i elektrociepłowniach jest ich formalny status – są one odpadem, a nie paliwem. Zawierają one jednak często dosyć duży udział frakcji biodegradowalnej pochodzenia biogenicznego i fakt ten może dostarczyć podmiotom podejmującym ich współspalanie dodatkowych korzyści związanych z zaliczeniem części wytworzonej energii do tzw. „energii zielonej", jak również rozliczaniem emisji ditlenku węgla. Konieczne jest jednak stworzenie mechanizmów umożliwiających zaliczenie części energii wytwarzanej z ich wykorzystaniem do energii odnawialnej [9].

Literatura

1. Refuse derived fuel, current practice and perspectives – Final Report, European Commission – Directorate General Environment, 2003.
2. Van Tubergen J.: "SRF: an important contribution to achieving environmental and energy-related goals" Waste Management and Solid Recovered Fuels Potential in the Enlarged European Union", Workshop Proceedings, Larnaca (Cypr), 20-23 czerwca, 2006.
3. Van Tubergen J., Glorius T., Waeyenbergh E.: Classification of Solid Recovered Fuels, ERFO, 2005.
4. Sobolewski A., Wasielewski R., Stelmach S.: Stałe paliwa wtórne dla energetyki, Paliwa z odpadów - tom VI, Pr. zbior. pod red. Janusza W. Wandrasza i Krzysztofa Pikonia; Wyd. HELION, Gliwice; 2007, s. 23-28.
5. Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce, Praca zbior. pod red. M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis, Wyd. IChPW Zabrze, 2007, s. 311-323.
6. Wasielewski R., Sobolewski A.: Rozdział IV – Propozycje procedury bilansowania i certyfikacji energii wytwarzanej z paliw alternatywnych, Przewodnik metodyczny: Procedury bilansowania i rozliczania energii wytwarzanej w procesach współspalania, Wyd. Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie, Warszawa, 2007.
7. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, European Commission, 2006.
8. Krajenbrink G.W., Temmink H.M.G., Zeevalking J.A., Frankenhaeuser M.: Fuel and energy recovery, Report TNO-MEP – R98/220, 1999.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

9. Wasielewski R., Stelmach S., Sobolewski A., Zuwała J.: Propozycje w zakresie bilansowania energii odnawialnej z wykorzystaniem stałych paliw wtórnych, Polityka Energetyczna, 2007, 10, 2, s. 331-340.

The research presented herein was financed by the Knowledge and Innovation Community InnoEnergy (KIC SE) during course of the Project "CoalGas".

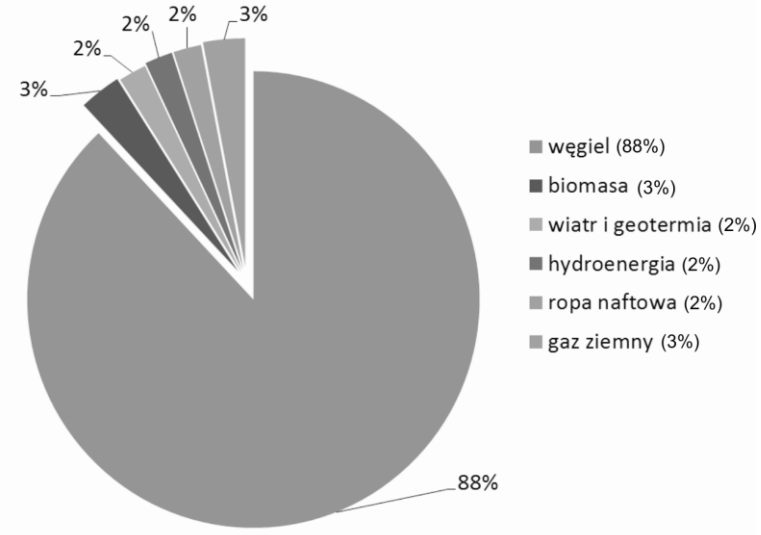
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Aspekty środowiskowe i prawne dotyczące odpadów powstających podczas procesu hydraulicznego szczelinowania złóż łupków gazonośnych

Marcin Lutyński – Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Wysokie ceny gazu ziemnego oraz potrzeba dywersyfikacji dostaw tego surowca zainicjowały zainteresowanie możliwościami eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce. Nadzieje związane z odkryciem zasobów, które początkowo szacowano na około 5,3 bln m^3 zostały zweryfikowane w ostatnim raporcie PIG, gdzie zasoby wydobywane szacuje się na około 346,1 mld m^3 do 767,9 mld m^3 gazu [8]. Niemniej jednak zasoby te plasują Polskę na trzecim miejscu w Europie pod względem zasobów wydobywanych gazu łupkowego. Eksploatacja złóż tego gazu pozwoliłaby Polsce na uniezależnienie się od dostaw tego surowca z Federacji Rosyjskiej i zmniejszenie stopnia zależności energetycznej kraju, która na tle Unii Europejskiej i tak jest stosunkowo niska (21%) i opiera się głównie na produkcji energii elektrycznej z węgla (rys. 1).



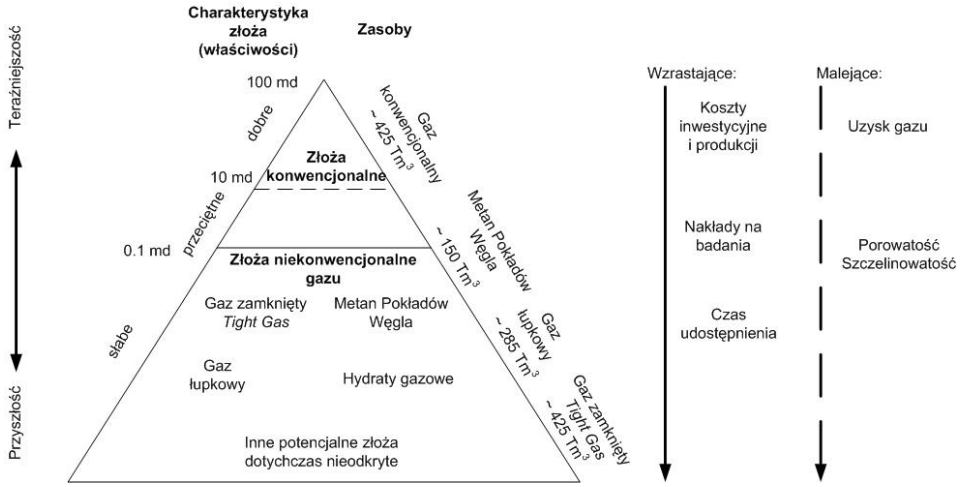
Rys.1. Struktura paliw służących do produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2012 r. [10]

Poszukiwania oraz eksploatację tego typu złóż rozpoczęto w Stanach Zjednoczonych ponad dwie dekady temu. Obecnie najczęściej za złoża gazu niekonwencjonalnego uważa się trzy typy złóż: gaz ziemny zamknięty lub

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

uwięziony (*tight gas*), gaz łupkowy (*shale gas*) oraz metan pokładów węgla kamiennego (c*oalbed methane*). Za perspektywiczne złoża niekonwencjonalne gazu, który powstaje podczas przetworzenia lub konwersji z innej fazy, uważa się hydraty gazowe, gaz z przetwarzania łupków roponośnych, gaz powstały ze zgazowania węgla (zarówno podziemnego, jak i powierzchniowego) oraz biogaz. W 2007 roku produkcja gazu ze złóż niekonwencjonalnych stanowiła 42% całkowitego wydobycia gazu ziemnego w USA i według prognoz udział ten ma się zwiększyć do 64% w 2020 roku [14].

Globalne zasoby gazu złóż niekonwencjonalnych są znacznie większe aniżeli gazu złóż konwencjonalnych (rys. 2). Jednakże koszty związane z pozyskaniem gazu złóż niekonwencjonalnych są proporcjonalnie wyższe. Dotyczy to zarówno nakładów inwestycyjnych, jak i kosztów eksploatacji. Inne są także wymogi techniczne związane z pozyskaniem tego gazu.



Rys.2. Schemat ilustrujący stosunek globalnych zasobów gazu ze złóż niekonwencjonalnych i konwencjonalnych, nakładów inwestycyjnych, charakterystyki złoża oraz uzysku gazu. Źródło: opracowano na podstawie [1]

Z punktu widzenia zasobów gazu niekonwencjonalnego w Polsce szczególnie interesujące wydają się być zasoby gazu łupkowego znajdujące się w utworach dolnego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim, a także zasoby gazu ziemnego zamkniętego w utworach czerwonego spągowca.

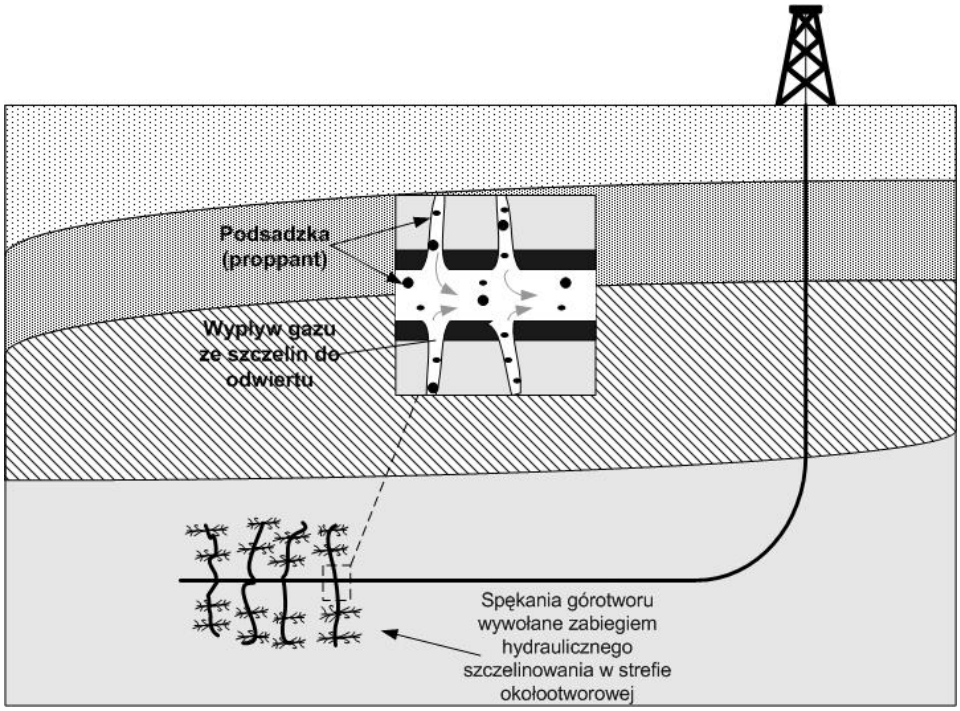
W związku z potencjalnymi korzyściami, które płyną z możliwości eksploatacji tego typu złóż, Ministerstwo Środowiska wydało od 2010 roku szereg koncesji na poszukiwanie gazu łupkowego (*shale gas*) oraz gazu ziemnego zamkniętego [6].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Technologie udostępniania i eksploatacji złóż gazu łupkowego

Eksploatację niekonwencjonalnych złóż umożliwiły dwie technologie, które uległy rozwinięciu na początku lat 90-tych ubiegłego wieku tj.:

- wiercenia kierunkowe,
- metoda hydraulicznego szczelinowania, czyli intensyfikacji wydobycia gazu.



Rys.3. Spękania wywołane procesem hydraulicznego szczelinowania w odwiercie poziomym. Źródło: opracowanie własne

Wcześniej łupki, w których zalegał gaz, nie były brane pod uwagę jako potencjalne zasoby wydobywalnego gazu z uwagi na bardzo niską przepuszczalność, która wynosi 0,001 – 0,0001 mD stąd użycie konwencjonalnych metod wydobycia gazu nie przynosiło wymaganych rezultatów. Zastosowanie otworów kierunkowych, a w szczególności otworów poziomych, pozwoliło na odsłonięcie większej powierzchni złoża niż w przypadku odwiertów pionowych i tym samym zwiększenie uzysku gazu jednocześnie obniżając koszty i zmniejszając wpływ na środowisko (mniejsza ilość odwiertów przypadająca na tę samą powierzchnię terenu). Gaz ziemny w łupkach występuje w formie wolnej w porach oraz w obrębie naturalnych szczelin oraz jako gaz zaadsorbowany w mikroporach, nanoporach tj. na substancji organicznej i minerałach ilastych. W celu uwolnienia gazu ze złoża łupkowego należy w pierwszej kolejności wykonać szczelinowanie górotworu,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

czyli wtłoczyć wodę z dodatkiem chemikaliów (tzw. *slickwater*) pod wysokim ciśnieniem, która powoduje powstanie gęstej sieci szczelin łączących pory skalne i tworzących ścieżki migracji gazu do otworu (rys. 3). Przepuszczalność szczeliny utrzymywana jest poprzez zatłaczanie podsadzki (proppantu) czyli drobnoziarnistego materiału, takiego jak np. piasek, boksyt lub proppantu ceramicznego. Powstałe szczeliny powodują przepływ gazu do otworu zgodnie z prawem Darcy, natomiast desorpcja gazu z matrycy lub z mikroporów jest wypływem dyfuzyjnym zgodnym z prawem Fick'a. Część płynu użytego do procesu hydraulicznego szczelinowania (woda, dodatki chemiczne oraz proppant), a także części stałe wymyte z górotworu zostają wypompowane z powrotem na powierzchnię i stanowią wodę zwrotną tzw. *flowback water*.

Pomimo skomplikowanego i stosunkowo kosztownego systemu udostępniania złoża typowy odwiert w złożu gazu łupkowego jest w stanie dostarczać gaz przez okres do 30 lat. Średni uzysk gazu w odwiertach na złożu Marcellu Shale w USA na początku produkcji wynosił około 80 000 m^3/dzień spadając do około 16000 m^3/dzień po pięciu latach, 8000 m^3/dzień po 10-ciu latach, a następnie do około 3% rocznie [7].

3. Obieg płynów szczelinujących i powstające odpady

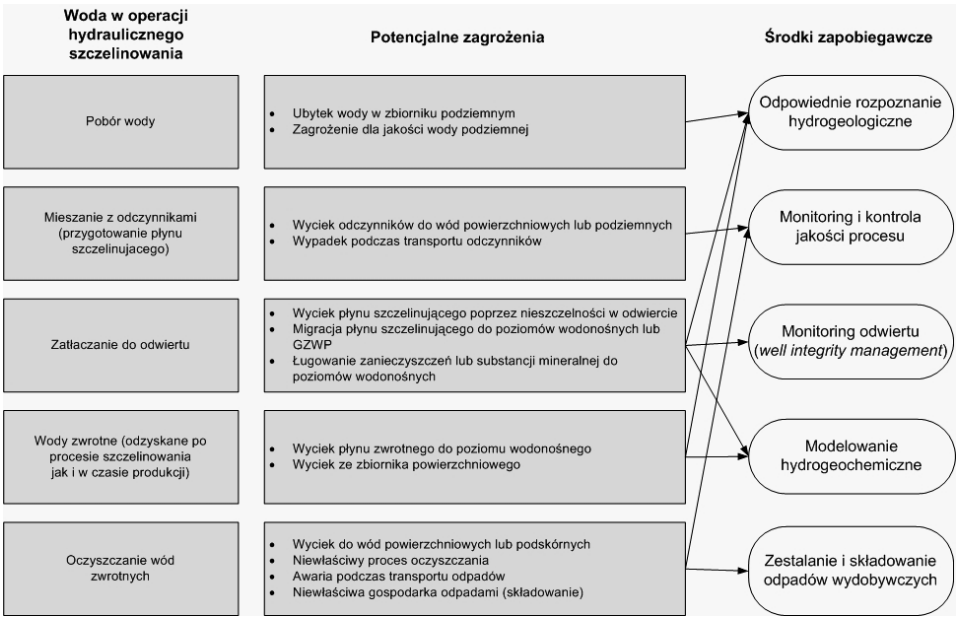
Płyny szczelinujące są mieszaniną wody oraz dodatków chemicznych (nie przekraczających 0,5% objętości), które mają na celu m.in.:

- rozpuszczenie minerałów w złożu i tym samym inicjację szczelin,
- zmniejszenie lepkości płynu,
- żelowanie płynu w celu jego zagęszczenia i tym samym równomierne rozłożenie proppantu w suspensji,
- regulacje ph płynu,
- ograniczenie korozyjności płynu,
- ograniczenie osadzania się kamienia w rurach.

Skład płynów szczelinujących jest zazwyczaj strzeżony tajemnicą handlową.Na ogół zawierają one dodatki różnego rodzaju kwasów (np. solny, cytrynowy), gumy guar, izopropanolu, soli boranowych i pochodnych ropy naftowej. Problemem jednakże nie jest koncentracja tych związków w samym płynie szczelinującym, lecz objętość płynu jaki musi zostać użyty do pojedynczej operacji szczelinowania. W zależności od złoża do pojedynczego odwiertu zużywa się od 8 do 16 tyś. m^3 wody w celu przeprowadzenia kompletnej operacji szczelinowania. Istotnym problemem z punktu widzenia ochrony środowiska jest utylizacja wody zwrotnej z procesu szczelinowania. Woda zwrotna, która jest wypompowywania z odwiertu stanowi od 10% do

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

75% objętości wody, która była pierwotnie zatłoczona w celu przeprowadzenia operacji szczelinowania [8, 3, 15]. Woda ta może zostać oczyszczona i ponownie wykorzystana do procesu, lecz problemem jest duża zawartość stałych związków rozpuszczonych (TDS) oraz innych związków, które zostały wypłukane z górotworu. Zawartość stałych związków rozpuszczonych może wahać się od 5000 mg/dm^3 do 100 000 mg/dm^3 [4, 5]. Ponadto, wody zwrotne często zawierają wysokie zawartości jonów baru, bromu, wapnia, chloru, żelaza, magnezu, sodu, strontu lub węglanów [15]. Należy się także spodziewać związków promieniotwórczych, a także lotnych związków organicznych. Z uwagi na wysoką zawartość stałych związków rozpuszczonych i jonów wapnia wody zwrotne mogą mieć odczyn zasadowy na poziomie pH 8. Obieg wody podczas operacji hydraulicznego szczelinowania wraz z potencjalnymi zagrożeniami oraz środkami zapobiegawczymi przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Obieg wody w procesie hydraulicznego szczelinowania wraz z potencjalnymi zagrożeniami oraz środkami zapobiegawczymi (Źródło: opracowanie własne)

Najczęstszym sposobem utylizacji wód zwrotnych w USA jest ich ponowne zatłoczenie do górotworu, wprowadzenie do wód powierzchniowych lub transport do oczyszczalni ścieków. Wody te zazwyczaj nie są oczyszczane i ponownie używane do operacji szczelinowania ze względu na wspomnianą wysoką zawartość stałych związków rozpuszczonych (TDS), które w tak znacznej ilości trudno jest usunąć, aby uzyskać odpowiednią jakość dla płynu szczelinującego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Regulacje prawne w Polsce a problem gospodarki odpadami wydobywczymi

W Polsce problem gospodarki odpadami wydobywczymi, do których zalicza się wody zwrotne z procesu szczelinowania (Podgrupa 01 05 - Płuczki wiertnicze i inne odpady wiertnicze wg Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów), jest regulowany Ustawą z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych [11]. Ustawa ta ma na celu ograniczenie powstawania odpadów wydobywczych oraz ograniczenie ich niekorzystnego oddziaływania na środowisko. Jednocześnie, określa zasady gospodarowania tymi odpadami oraz zasady prowadzenia obiektów unieszkodliwiania odpadów, a także procedury związane z uzyskiwaniem zezwoleń i pozwoleń związanych z gospodarką odpadami wydobywczymi. Według ustawy każdy posiadacz odpadów wydobywczych jest obowiązany do stosowania takich technologii, które w pierwszej kolejności pozwolą na ograniczenie ich powstawania, ograniczenie ich ewentualnego negatywnego oddziaływania na środowisko oraz do poddania ich odzyskowi, a jeżeli z przyczyn technologicznych jest on niemożliwy lub nie jest uzasadniony z przyczyn ekonomicznych, do ich unieszkodliwienia, zgodnie z wymaganiami ochrony środowiska lub programem gospodarowania odpadami wydobywczymi przy uwzględnieniu najlepszych dostępnych technik, o których mowa w art. 3 pkt 10 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska [12]. W przypadku, gdy odpady wydobywcze uznane zostaną za niebezpieczne ich składowanie nie może trwać dłużej niż 6 miesięcy, natomiast jeżeli odpady nie są niebezpieczne nie dłużej niż 12 miesięcy. Po tym czasie odpady należy unieszkodliwić. Przed przystąpieniem do działalności posiadacz odpadów powinien przedłożyć właściwemu organowi program gospodarowania odpadami wydobywczymi. W związku z tym należy zaprojektować odpowiednią instalację oczyszczania wód zwrotnych już na etapie uzyskiwania pozwolenia na rozpoczęcie udostępniania złoża. Należy się spodziewać, że powstałe odpady będą zawierać sporą ilość proppantu wypłukanego ze złoża, który można w prosty sposób odzyskać i unieszkodliwić. Odpady płynne mogą zostać unieszkodliwione jedynie poprzez oczyszczanie, ponieważ ich ponowne zatłoczenie do górotworu wydaje się problematyczne z uwagi na zapisy Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze, która traktuje taką operację jako składowanie odpadów wymagające koncesji, jednocześnie uniemożliwiając składowanie odpadów płynnych (zawierających ponad 95% wody) [13].

Problemem w oczyszczaniu wód zwrotnych jest ich zróżnicowany skład chemiczny, który zmienia się w czasie oraz w zależności od lokalizacji odwiertu. Woda zwrotna, która powraca w krótkim czasie po zabiegu szczelinowania jest znacznie czystsza aniżeli ta, która pojawia się po okresie dwóch tygodniu od momentu zwiercenia korka. Naturalnie stopień

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zanieczyszczenia wody jest również zależny od budowy litologicznej złoża, która zmienna jest w zależności od lokalizacji odwiertu. Przykładem może być zmienność stężenia jonów baru w wodzie zwrotnej ze złoża łupków gazonośnych Marcellus. Stężenie jonów baru wahało się od 3000 mg/dm^3 w południowo-zachodniej części złoża do 17000 mg/dm^3 w północno-wschodniej [2].

Do najnowszych metod wstępnego oczyszczania i recyklingu wód zwrotnych można zaliczyć m.in. [9]:

- filtrację na filtrach 25 mikronów, a następnie mieszanie ze świeża wodą (w stosunku około 20:80) i chemikaliami,
- elektrokoagulację zanieczyszczeń w jednostkach mobilnych.

5. Podsumowanie

Złoża łupków gazonośnych, które w najbliższych latach mogą stanowić perspektywę dla niezależności energetycznej Polski wobec importu gazu ziemnego, to nie tylko wyzwanie technologiczne w zakresie udostępniania i eksploatacji, ale także w zakresie ochrony środowiska. W przypadku stosowania konwencjonalnych technologii szczelinowania hydraulicznego problem ten stanowią zanieczyszczone wody zwrotne, które należy traktować jako odpady płynne lub też, w przypadku oczyszczenia, należy unieszkodliwić odpady stałe wyseparowane z tych wód. Według obowiązujących aktów prawnych w zakresie gospodarki odpadami wydobywczymi projekt instalacji do oczyszczania wód zwrotnych powinien powstać już na etapie udostępniania złoża. Powszechnie w USA metody unieszkodliwiania odpadów tj. ponownie ich zatłaczanie do górotworu wobec restrykcyjnych norm środowiskowych oraz obowiązującej Ustawy Prawo Geologiczne i Górnicze nie mogą być stosowanie w Polsce. Należy zatem opracować metody, które najlepiej będą się sprawdzać w polskich warunkach biorąc pod uwagę lokalizację złóż łupków gazonośnych w Polsce oraz ich budowę geologiczną, a co za tym idzie – chemizm wód zwrotnych. Alternatywą może być ewentualna inna technologia intensyfikacji wydobycia jak np. suche szczelinowanie za pomocą CO_2 lub N_2.

Literatura

1. Aguilera R.F., Harding T., Krause F., Aguilera R.: Natural gas production from Tight Gas formations: A global perspective. Materiały Konferencyjne 19th World Petroleum Congress, Madrid, Hiszpania, 29.06-3.07, 2008.
2. Blauch M.E., Myers R.R., Moore T. R., Lipinski B.A.: Marcellus Shale Post-Frac Flowback Waters—Where is All the Salt Coming from and What are the Implications?" SPE 125740-MS, 2009.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3. Ewing J.: Taking a proactive approach to water recycling Barnett Shale. Presented at Fort Worth Business Press Barnett Shale Symposium. www.barnettshalenews.com/dosuments/EwingPres.pdf, 2008.
4. Hayes T.: Gas shale produced water. www.rpsea.org/attachements/contentmanager/429/Gas_shale_Produced_Water_-_Dr._Tom_Hayes_GTI.pdf, 2009.
5. Horn A.D.: Breakthrough mobile water treatment converts 75% of fracturing flowback fluid to fresh water and lowers CO_2 emissions. SPE 121104, 2009.
6. Ministerstwo Ochrony Środowiska. www.mos.gov.pl, 2014.
7. NYSDEC (New York State Department of Environmental Conservation) 2009, September. Supplemental generic environmental impact statement on the oil, gas and solution mining regulatory program (draft). Well permit issuance for horizontal drilling and high-volume hydraulic fracturing to develop the Marcellus Shale and other low-permeability gas reservoirs. Albany, NY: New York State Department of Environmental Conservation. Retrieved January 20, 2010.
8. Ocena zasobów wydobywanych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego Paleozoiku w Polsce (basen Bałtycko-Podlasko-Lubelski), Raport pierwszy: Raport PIG, Warszawa, 2012.
9. Rassenfoss S.: From Flowback to Fracturing: Water Recycling Grows in the Marcellus Shale. Journal of Petroleum Technology Online, 7-2011, 2011.
10. Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2012 r.: Urząd Regulacji Energetyki, Warszawa, 2013.
11. Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz.U. 2008 nr 138 poz. 865), 2008.
12. Ustawa z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.),2001.
13. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. Nr 163, poz. 981 z późn. zm.), 2011.
14. Vidas H., Hugman B.: Avilability, economics and production potential of North American unconventional gas supplies. The INGAA Foundation, Inc. 2008, 167 stron, 2008.
15. Vidic R. D. 2010: Sustainable water management for Marcellus Shale development., 2010.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badania możliwości usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych

Ireneusz Baic, Wiesław Blaschke, Wojciech Sobko, Józef Szafarczyk - Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, **Paweł Okarmus** - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

1. Wprowadzenie

Prowadzony w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla projekt badawczy pt. „Inteligenta koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" obejmował swym zakresem zagadnienia przygotowania węgla koksowego dla potrzeb koksownictwa. Badania te prowadzone były w ramach tematu badawczego pn. „Badanie nowych technik wzbogacania węgla". Jednym z zadań było sprawdzenie możliwości odkamieniania (deshalingu) urobku węgla kokosowego przed wprowadzeniem go do procesów mokrego wzbogacania w zakładach przeróbczych. Powszechnie odkamienianie urobku węglowego prowadzone jest dla grubych klas ziarnowych w kruszarkach typu Bradford. Składają się one z walczaka o perforowanej pobocznicy o wymiarach oczka 100 mm, 120 mm lub 150 mm. Obracający się walczak podnosi ziarna urobku, który spadając kruszy ziarna węglowe odprowadzane następnie przez otwory pobocznicy. Grube ziarna kamienia opuszczają walczak i są uznane za odpady. Proces ten nazywa się odkamienianie urobku. Odkamienianie to ograniczone jest jednak tylko do ziarn grubych.

W ostatnich latach opracowano nową konstrukcję urządzenia pozwalającego na odkamienianie urobku o uziarnieniu poniżej 75 mm, 50 mm, 25 mm (lub ogólnie klas ziarnowych poniżej 75 mm). Urządzeniem tym jest powietrzny stół koncentracyjny produkcji chińskiej [5, 6]. Stoły te istniejące pod nazwą handlową FGX znalazły szerokie zastosowanie w wielu krajach. Najmniejszy wydajnościowo (do 10 Mg/h) stół FGX-1 zakupił Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie dla swego Oddziału Zamiejscowego – Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego w Katowicach. Instalację tą wykorzystuje się do badań odkamieniania węgla [1, 2, 4].

Wzbogacanie powietrzne znane jest od dziesiątków lat. Jednak ówczesne stoły koncentracyjne były bardzo niedokładne i po kilkunastu latach zostały wyeliminowane z zakładów przeróbczych. W Chinach opracowano nową konstrukcję powietrznych stołów koncentracyjnych [3, 6], które wykorzystuje się do częściowego odkamieniania nadawy węgli energetycznych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W niniejszym rozdziale zamieszczono wyniki badań nad możliwością wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do odkamieniania węgla koksowego [7].

2. Proces przygotowania węgla surowego do prac badawczych

Materiał badawczy stanowił węgiel surowy dostarczony z jednej z kopalń JSW S.A. o granulacji 150-0 mm w ilości 50 Mg. Klasa ziarnowa zakupionego materiału badawczego wynikła z uwarunkowań technologicznych zakładu przeróbczego ww. kopalni. W celu zrealizowania pracy badawczej w założonym zakresie dokonano selekcji ziarn o granulacji powyżej 50 mm, usuwając je z masy dostarczonego materiału badawczego. Wynikało to z faktu, że ziarna o granulacji powyżej 50 mm nie spełniają wymów technologicznych odnośnie wielkości ziarna możliwego do przeprowadzenia procesu odkamieniania z wykorzystaniem urządzenia typu FGX-1. Z tego też względu w procesie przygotowawczym zostały one usunięte. Uzyskany materiał badawczy, pozbawiony ziarn o granulacji powyżej 50 mm, rozklasyfikowano na sicie o oczku ø 25 mm, uzyskując dwie klasy ziarnowe: klasę ziarnową o granulacji 50-25 mm oraz klasę ziarnową o granulacji 25-0 mm. Wydzielona pryzma materiału badawczego klasy ziarnowej 25-0 mm została następnie mechanicznie rozdzielona na dwie części. Jedną część stanowił materiał przygotowany do pracy badawczej (klasa ziarnowa 25-0 mm), natomiast drugą część materiału badawczego klasy ziarnowej 25-0 mm poddano rozklasyfikowaniu na sicie o oczku ø 6 mm, uzyskując węgiel koksowy surowy klasy ziarnowej 25-6 mm oraz węgiel koksowy surowy klasy ziarnowej 6-0 mm.

Skład ziarnowy materiału badawczego przedstawiono w tabeli 1.

Skład ziarnowy urobku węgla koksowego przekazany do badań na powietrznym stole koncentracyjnym

Tabela1

Lp.	Klasa ziarnowa [mm]	Wychód [%]	Status materiału
1.	+50	14,0	Odrzucony z badań
2.	50-25	17,1	Przeznaczony do badań
3.	25-0	20,6	Przeznaczony do badań
4.	25-6	14,4	Przeznaczony do badań
5.	6-0	33,9	Odrzucony z badań
6.	Razem	100	

Dla każdej klasy ziarnowej (50-25 mm, 25-0 mm, 25-6 mm) wykonano analizę densymetryczną w cieczach ciężkich o gęstościach 1,3 g/cm^3, 1,4 g/cm^3, 1,5 g/cm^3, 1,6 g/cm^3, 1,7 g/cm^3, 1,8 g/cm^3, 2,0 g/cm^3, uzyskując 8 frakcji gęstościowych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Dla próbek klasy ziarnowej 50-25 mm, 25-0 mm, 25-6 mm w oparciu o wykonane oznaczenia parametrów jakościowych poszczególnych frakcji gęstościowych (zawartość popiołu, siarki całkowitej, wilgoci analitycznej, wartości opałowej) dokonano obliczenia średniej wartości ww. parametrów jakościowych.

Wyniki analizy densymetrycznej próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 50-25 mm oraz średnią zawartość podstawowych parametrów tj.: zawartość popiołu, wilgoci analitycznej, siarki całkowitej oraz wartość opałową zestawiono w tabeli 2.

Natomiast wyniki analizy densymetrycznej próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 25-6 mm oraz średnią zawartość podstawowych parametrów tj.: zawartość popiołu, wilgoć analityczna, siarka całkowita oraz wartość opałowa przedstawiono w tabeli 3.

Próbkę węgla koksowego klasy ziarnowej 25-0 mm rozklasyfikowano na dwie klasy, tj. klasę ziarnową 25-1 mm oraz na klasę ziarnową 1-0 mm. Wydzieloną próbkę węgla koksowego klasy ziarnowej 25-1 mm poddano analizie densymetrycznej.

Wyniki analizy densymetrycznej dla próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 25-1 mm oraz średnią zawartość podstawowych parametrów tj. zawartość popiołu, wilgoć analityczna, siarka całkowita oraz wartość opałowa zestawiono w tabeli 4.

Wyniki analizy densymetrycznej oraz parametrów jakościowych próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 50-25 mm

Tabela 2

Frakcja gęstościowa	**Wychód**	**Zawartość popiołu**	**Zawartość wilgoci analitycznej**	**Zawartość siarki całkowitej**	**Wartość opałowa**
[g/cm^3]	γ [%]	A^a [%]	W^a [%]	S_t^a [%]	Q_i^a [kJ/kg]
<1,3	46,12	2,31	1,16	0,45	33 939
1,3-1,4	7,11	19,67	1,10	0,71	30 117
1,4-1,5	7,87	20,59	0,98	0,78	26 806
1,5-1,6	6,28	27,89	1,02	0,77	24 418
1,6-1,7	6,09	35,48	1,15	0,75	20 814
1,7-1,8	3,18	43,69	1,20	0,73	17 015
1,8-2,0	5,52	55,26	1,39	0,81	12 734
>2,0	17,83	81,98	1,40	0,27	5 561
Suma/średnia	100,00	27,05	1,19	0,53	24 940

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki analizy densymetrycznej oraz parametrów jakościowych próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 25-6 mm

Tabela 3

Frakcja gęstościowa	**Wychód**	**Zawartość popiołu**	**Zawartość wilgoci analitycznej**	**Zawartość siarki całkowitej**	**Wartość opałowa**
[g/cm^3]	γ [%]	A^a [%]	W^a [%]	S_t^a [%]	Q_i^a [kJ/kg]
<1,3	37,35	2,07	0,80	0,51	34 119
1,3-1,4	6,41	11,03	0,75	0,86	30 425
1,4-1,5	5,94	19,62	0,77	0,96	27 791
1,5-1,6	6,70	24,79	0,82	0,84	25 374
1,6-1,7	6,11	31,58	1,03	0,88	22 147
1,7-1,8	4,88	40,84	1,11	0,93	16 823
1,8-2,0	6,55	53,49	1,26	0,81	12 190
>2,0	26,06	82,83	1,29	0,39	5 517
Suma/średnia	100,00	33,32	0,98	0,61	22 455

Wyniki analizy densymetrycznej oraz parametrów jakościowych próbki węgla koksowego klasy ziarnowej 25-1 mm

Tabela 4

Frakcja gęstościowa	**Wychód**	**Zawartość popiołu**	**Zawartość wilgoci analitycznej**	**Zawartość siarki całkowitej**	**Wartość opałowa**
[g/cm^3]	γ [%]	A^a [%]	W^a [%]	S_t^a [%]	Q_i^a [kJ/kg]
<1,3	51,14	2,18	1,33	0,51	33 867
1,3-1,4	7,30	10,84	1,01	0,80	31 046
1,4-1,5	8,56	18,20	1,00	0,87	27 816
1,5-1,6	5,36	25,31	1,04	0,83	25 338
1,6-1,7	5,57	32,06	1,11	0,82	23 199
1,7-1,8	3,69	44,76	1,21	0,88	16 765
1,8-2,0	3,33	54,51	1,44	0,81	13 038
>2,0	15,05	80,94	1,44	0,46	7 069
Suma/średnia	100,00	22,25	1,27	0,61	26 734

Ponadto określono udziały podziarna w wydzielonych klasach ziarnowych. Ich ilości zestawiono w tabeli 5.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Udziały podziarna w poszczególnych próbach badawczych przeznaczonych do procesu suchej separacji węgla

Tabela 5

Klasa ziarnowa [mm]	**w tym**	
50-25	Udział klasy ziarnowej 50-25 [%]	Udział klasy ziarnowej (podziarno) 25-0 [%]
Wychód γ [%]	56,0	44,0
Klasa ziarnowa [mm]	**w tym**	
25-6	Udział klasy ziarnowej 25-6 [%]	Udział klasy ziarnowej (podziarno) 6-0 [%]
Wychód γ [%]	73,9	26,1
Klasa ziarnowa [mm]	**w tym**	
25-0	Udział klasy ziarnowej 25-6 [%]	Udział klasy ziarnowej (podziarno) 6-0 [%]
Wychód γ [%]	32,0	68,00

Otrzymany surowy urobek węgla koksowego po podziale na poszczególne klasy ziarnowe można scharakteryzować w podany poniżej sposób.

Próbka badawcza klasy ziarnowej 50-25 mm cechuje się stosunkowo dużą zawartością podziarna tj.: ziarn poniżej 25 mm. Taki rozkład ilościowy badanego materiału utrudniał prowadzenie procesu suchej separacji ze względu na szeroką klasę ziarnową. Rozkład gęstościowy analizowanej próby pokazuje w miarę równomierny wychód frakcji gęstościowych w przedziale od 1,3 g/cm^3 do 2,0 g/cm^3 , który wynosił odpowiednio: 7,11%; 7,8%, 6,28%; 6,09%; 3,18%; 5,52%. W przytoczonym zakresie, szczególnie udział frakcji gęstościowych od 1,6g/cm^3 do 2,0 g/cm^3 określanych, jako frakcje pośrednie będzie utrudniał przebieg procesu suchej separacji (węgiel trudnowzbogacalny). Udział frakcji o gęstości +2,0 g/cm^3 na poziomie 17,83% jest udziałem dominującym w całym rozkładzie gęstościowym analizowanego materiału badawczego i wpłynie korzystnie na przeprowadzenie procesu suchej separacji surowego węgla koksowego.

Próbka badawcza klasy ziarnowej 25-6 mm posiada w swoim składzie zawartość podziarna tj.: klasy ziarnowej 6-0 mm na poziomie 26,1%. Z praktycznego punktu widzenia jest to klasa 25-0 mm, jedynie z pomniejszoną ilością klasy ziarnowej 6-0 mm (niepełne usunięcie ziarn poniżej 6 mm). Tak rozszerzony zakres wielkości ziarna będzie utrudniał przebieg procesu suchej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

separacji. W rozkładzie gęstościowym udział frakcji 1,4 g/cm^3 do 2,0 g/cm^3 jest stosunkowo równomierny i wynosi odpowiednio: 6,41%; 5,94%; 6,70%; 6,11%; 4,88%. Udział klasy pośredniej o gęstości 1,6 g/cm^3 do 1,8 g/cm^3 na poziomie 10,99% utrudni przebieg suchej separacji węgla (węgiel trudnowzbogacalny). Udział czystej frakcji odpadowej o gęstości +2,0 g/cm^3 na poziomie 26,06 % kwalifikuje materiał do przeprowadzenia procesu suchej separacji.

Próbka badawcza klasy ziarnowej 25-0 mm zawiera dominujący udział klasy ziarnowej 6-0 mm na poziomie 68%. W zakresie klasy ziarnowej 6-0 mm udział klasy 1-0 mm wynosi 39,57%. Taki rozkład ilościowy niekorzystnie wpłynie na przebieg procesu suchej separacji. Wykonany rozdział gęstościowy analizowanej próby badawczej klasy ziarnowej 25-1 mm pokazuje w miarę równomierny udział poszczególnych frakcji w przedziale od 1,4 g/cm^3 do 1,8 g/cm^3, który wynosi odpowiednio: 7,3%; 8,56%; 5,36%; 5,5%; 3,69%. Taki równomierny rozkład gęstościowy będzie utrudniał przebieg procesu suchej separacji analizowanej próby badawczej. Udział frakcji gęstościowej +2,0 g/cm^3 na poziomie 15,05% na podstawie zebranych doświadczeń jest ilością wystarczającą do realizacji procesu suchej separacji próby surowego węgla koksowego.

Reasumując można stwierdzić, że przeznaczone do procesu suchej separacji próby wybranych klas ziarnowych węgla kokosowego cechują się w miarę równomiernym udziałem poszczególnych frakcji gęstościowych, szczególnie w zakresie gęstościowym (od 1,6 do 1,8 g/cm^3), tj. zakresem tzw. produktu pośredniego. Występujący taki rozkład frakcji gęstościowych będzie zdecydowanie utrudniał przebieg procesu suchej separacji. Nastąpi zjawisko tzw. „wleczenia" materiału węglowego po płycie roboczej. Ponadto równomierny rozkład ilościowy poszczególnych frakcji gęstościowych w tak szerokim zakresie gęstościowym także wpłynie negatywnie na efektywność procesu suchej separacji. W analizowanych próbach surowego węgla koksowego przygotowanych do prac badawczych obserwuje się również obniżoną zawartość frakcji odpadowej o gęstości +2,0 g/cm^3 kosztem wzrostu udziału frakcji pośredniej, co przyczyni się do uzyskania zmniejszonego wychodu produktu odpadowego.

3. Badania odkamieniania klasy ziarnowej 50-25 mm

3.1. Dobór parametrów regulacyjnych powietrznego stołu koncentracyjnego

Dobór parametrów technicznych powietrznego stołu koncentracyjnego jest problemem złożonym, gdyż od nich zależy optymalne prowadzenie procesu badawczego. Parametrami regulowanymi są: kąt poprzeczny i podłużny,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wysokość ustawienia progów przesypowych oraz ustawienia klap rozdzielających, a także stopień otwarcia przepustnic powietrza w strefie odbioru produktu węglowego, pośredniego i odpadowego. Parametry te dobrano na podstawie charakterystyki wzbogacalności nadawy węgla koksowego oraz przeprowadzonej wstępnej próby rozdziału nadawy na poszczególne produkty. Wykorzystano tu także doświadczenia zdobyte przez Instytut w wielu poprzednich badaniach w zakresie suchego odkamieniania materiału węglowego.

Dla klasy ziarnowej 50-25 mm wykonano dwie próby badawcze:

- próba badawcza nr I, w której kąt ustawienia mimośrodów wibratorów płyty roboczej wyniósł 75°,
- próba badawcza nr II, w której kąt ustawienia mimośrodów wibratorów płyty roboczej wyniósł 85°.

Proces suchej separacji prowadzono z podziałem na 3 fazy rozdziału: na fazę węglową, na fazę produktu pośredniego oraz na fazę odpadową. Proces zachodził stabilnie bez zaburzeń faz rozdziału.

Podczas przeprowadzonego procesu rozdziału nadawy wydzielono: koncentrat, produkt pośredni oraz odpad. Koncentrat pobrano z ½ długości płyty roboczej, przeznaczonej konstrukcyjnie do odbioru produktu węglowego. Produkt pośredni pobrano z pozostałej długości płyty roboczej, przeznaczonej konstrukcyjnie do odbioru produktu pośredniego lub/i odpadowego. Produkt odpadowy w celu uzyskania zadowalających parametrów jakościowych skierowano do korytka, zabudowanego w końcowej części płyty, stanowiącego przedłużenie konstrukcji powietrznego stołu koncentracyjnego.

Urządzenie FGX-1 posiada również możliwość uławiania wydzielanego pyłu. W prowadzonym procesie badawczym ze względu na wymiar ziarna o granulacji 50-25 mm z całej partii badanego materiału ułowiono tylko 70 kg produktu pyłowego.

3.2. Analiza otrzymanych wyników odkamieniania

W tabeli 6 zestawiono wyniki rozdziału materiału zawierającego małą ilość kamienia (skały płonnej), a więc o niższej zawartości popiołu (28,5%). Była to próba badawcza nr I pobrana z całości dostarczonej próby klasy 50-25 mm.

W wyniku odkamieniania otrzymano produkt odpadowy o wychodzie 7,4% i zawartości popiołu 79,1%. Otrzymano także stosunkowo wysokozapopielony produkt pośredni (61,3%) o wychodzie 10,1%. Interesująca jest również niska zawartość siarki (0,41%) w produkcie pośrednim. Parametry produktu pośredniego sugerują, że rozdział pomiędzy nim a produktem

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

odpadowym prawdopodobnie był mało dokładny. Do produktu pośredniego trafiły ziarna skały płonnej lub zrosty węglowo-kamienne. Uzyskany rozdział frakcji gęstościowych pomiędzy produkty odpadowe i produkty pośrednie sugeruje konieczność wtórnego wzbogacenia produktu pośredniego na pracującym równolegle powietrznym stole koncentracyjnym.

Wyniki oznaczeń parametrów jakościowych produktów rozdziału klasy ziarnowej 50-25 mm – próba badawcza nr I

Tabela 6

Próba badawcza nr I - (Kąt ustawienia mimośrodów-75°)						
Produkt	W_t^r **[%]**	W^a **[%]**	**Popiół** A^r **[%]**	**Wartość opałowa** Q_i^r **[kJ/kg]**	**Siarka całkowita** S_c^r**[%]**	**Wychód [%]**
Nadawa	3,2	0,9	28,5	22928	0,60	100,0
Koncentrat	3,7	0,7	19,9	26072	0,62	82,4
Produkt pośredni	1,8	0,8	61,3	10 958	0,41	10,1
Odpad	1,6	0,7	79,1	4 382	0,68	7,4
Wydajność procesu - 4,5 Mg/h						

Produkt nazwany koncentratem jest wyraźnie odkamieniony, zawartość popiołu wynosi 19,9%. Jego wychód wyniósł aż 82,4%. Analizując zawartość siarki, która jest wyższa niż w nadawie można wyciągnąć wniosek, że minerały siarki nie występują w postaci pirytowej a związane są z masą organiczną węgla. Zawartość popiołu w otrzymanym na powietrznym stole koncentracyjnym koncentracie wskazuje, że nie jest to produkt handlowy węgla koksowego. Koncentrat ten musi być poddany dalszym procesom wzbogacania metodami mokrymi.

Przedstawiona powyżej próba odkamieniania węgla koksowego o stosunkowo małej ilości skały płonnej pokazuje, że proces deshalingu może być zastosowany do tego rodzaju nadawy przed procesem wzbogacania metodami mokrymi.

Próba badawcza nr II dotyczyła nadawy, jak już wcześniej wspomniano, o stosunkowo dużej ilości skały płonnej. W poprzednich doświadczeniach prowadzonych przez Instytut przy dużej ilości kamienia korzystniejsza była zmiana kąta ustawienia mimośrodów. Doświadczenie prowadzono więc przy kącie 85°.

W tabeli 7 zestawiono wyniki rozdziału materiału zawierającego dużą ilość kamienia (skały płonnej), a więc o wyższej zawartości popiołu (37,8%).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki oznaczeń parametrów jakościowych produktów rozdziału klasy ziarnowej 50-25 mm – próba badawcza nr II

Tabela 7

Próba badawcza nr II - (Kąt ustawienia mimośrodów-85°)							
Produkt	W_t^r **[%]**	W^a **[%]**	**Popiół** A^r **[%]**	**Wartość opałowa** Q_i^r **[kJ/kg]**	**Siarka całkowita** S_c^r **[%]**	**Ilość [kg]**	**Wychód [%]**
Nadawa	4,0	0,8	37,8	19 270	0,54	2960	100,0
Koncentrat	4,6	1,1	18,5	26 254	0,63	1460	49,4
Produkt pośredni	2,6	0,7	33,3	21 336	0,62	400	13,5
Odpad	2,0	0,8	65,0	9 251	0,38	1100	37,1
Wydajność procesu - 4,5 Mg/h							

W wyniku odkamieniania otrzymano frakcję odpadową o wychodzie 37,1% i zawartości popiołu 65,0%. To stosunkowo niska zawartość popiołu jak na odpady skały płonnej. Sugeruje to, że do tej frakcji trafiły ziarna węglowo-kamienne. Gdyby zastosować przemysłowy proces deshalingu konieczna byłaby regulacja pracy stołu. W frakcji odpadowej stwierdzono bardzo niską zawartość siarki na poziomie 0,38%, co świadczy, że w nadawie węgla koksowego wykorzystanego do badań znajduje się niewielka ilość pirytu.

Produkt pośredni posiada przeciętną zawartość popiołu (33,3%) oraz wysoką wartość opałową (są to wszak węgle koksowe). Interesująca jest wyższa zawartość siarki (0,62%) niż w nadawie (0,54%). W węglu tym prawdopodobnie siarka występuje głównie w postaci siarki siarczanowej i organicznej.

Koncentrat musi być poddany mokrym procesom wzbogacania dla uzyskania produktów handlowych. Zawartość popiołu w koncentracie wynosi 18,5%, a zawartość siarki 0,63% i jest wyższa niż w nadawie (0,54%). Proces deshalingu jest możliwy do zastosowania dla węgli o takiej charakterystyce. Zwrócić jednak należy uwagę na dokładną regulację parametrów technicznych powietrznego stołu koncentracyjnego.

4. Badania odkamieniania klasy ziarnowej 25-6 mm

Proces rozdziału klasy ziarnowej 25-6 mm prowadzony był w sposób zbliżony do procesu separacji klasy 50-25 mm. Regulowane były na wstępnych próbach parametry techniczne pracy stołu. Wydzielono trzy produkty: koncentrat, produkt pośredni i odpady. Z całej partii badanego materiału ułowiono 80 kg produktu pyłowego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Na klasie ziarnowej 25-6 mm przeprowadzono dwie próby rozdziału na powietrznym stole koncentracyjnym. Postanowiono zbadać wpływ zmiany kąta poprzecznego pochylenia płyty roboczej. W pierwszej serii badań kąt ten wyniósł 5° a w drugiej 8°. Wyniki rozdziału obu prób zestawiono w tabeli 8. Materiał badawczy zawierał stosunkowo niedużą ilość frakcji skały płonnej.

Wyniki oznaczeń parametrów produktów rozdziału klasy ziarnowej 25-6 mm – próba badawcza nr I

Tabela 8

Próba badawcza nr I - klasy ziarnowej 25-6 mm						
Produkt	W_t^r **[%]**	W^a **[%]**	**Popiół** A^r **[%]**	**Wartość opałowa** Q_i^r **[kJ/kg]**	**Siarka całkowita** S_c^r **[%]**	**Wychód [%]**
Nadawa	5,8	0,8	**28,15**	**22 761**	**0,64**	100,0
Koncentrat	4,8	0,6	19,8	25 847	0,63	83,2
Produkt pośredni	2,2	0,8	56,6	12 052	0,50	8,4
Odpad	1,6	0,8	82,2	3 004	0,87	8,4
Wydajność procesu	**4 Mg/h**					
Próba badawcza nr II - klasy ziarnowej 25-6 mm						
Nadawa	6,6	1,0	**26,4**	**22 800**	**0,61**	100,0
Koncentrat	6,9	1,1	18,8	25 411	0,62	79,5
Produkt pośredni	2,9	0,6	40,0	18 634	0,63	12,8
Odpad	2,0	1,0	82,1	2 773	0,48	7,7
Wydajność procesu	**4 Mg/h**					

W próbie badawczej nr I uzyskano odpad o wychodzie 8,4 % i zawartości popiołu 82,2%. Jest to praktycznie czysty kamień. We frakcji tej stwierdzono podwyższoną zawartość siarki – 0,87% co sugeruje, że w nadawie część siarki występowała w postaci pirytowej.

Produkt pośredni o podobnym wychodzie (8,4%) posiada zawartość popiołu na poziomie 56,6%. Produkt ten posiada więc znaczną ilość ziarn kamienia i zrostów węglowo-kamiennych. Interesująca jest mała zawartość siarki (0,50%). Sugeruje to, że związki siarki siarczanowej przeszły do koncentratu i produktu pośredniego, a ziarna pirytowe trafiły do odpadów. W warunkach przemysłowych produkt pośredni prawdopodobnie powinien być wzbogacany powtórnie aby wydzielić z niego czyste ziarna węglowe i czyste ziarna kamienia. Pozostała frakcja mogłaby być produktem energetycznym. Można też byłoby rozważyć kruszenie produktu pośredniego dla ewentualnego uwolnienia składników tego produktu i rozdzielenia ich podczas wtórnego

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wzbogacania. Powyższe rozwiązania będą mogły być przedmiotem dalszych badań po dokładnej analizie mineralogicznej.

Koncentrat został praktycznie odkamieniony, zawartość popiołu wynosi 19,8%. Dla uzyskania produktu handlowego koncentrat ten musi jednak być wzbogacany w mokrych procesach rozdziału. Zawartość siarki w koncentracie kształtuje się na poziomie podobnym do zawartości siarki w nadawie.

W próbie badawczej nr II (przy większym pochyleniu płyty roboczej) wydzielono odpady o nieco niższym wychodzie (7,7%), ale o podobnej zawartości popiołu (82,1%). Natomiast zawartość siarki jest niższa (0,48%) niż w odpadach próby badawczej nr I. Sugeruje to, że przy większym pochyleniu płyty roboczej gorzej wydzielają się ziarna pirytu. Potwierdzeniem tej opinii jest podwyższona (w stosunku do próby badawczej nr I) zawartość siarki (0,63%) w produkcie pośrednim.

Produkt pośredni (o wychodzie 12,2%) zawiera 40,0% popiołu. Jest to poziom niższy niż w próbie badawczej nr I. Oznacza to, że w tym przypadku, część mniej zapopielonych zrostów węglowo-kamiennych lub też czystych ziarn węgla trafiła do produktu pośredniego zamiast do koncentratu. Potwierdzić może tą opinię niższa zawartość popiołu w koncentracie próby badawczej nr II (18,8%) niż w koncentracie próby badawczej nr I. Produkt pośredni otrzymany w próbie badawczej nr II posiada też wartość opałową (18 634 kJ/kg) wyższą niż w produkt pośredni otrzymany w próbie badawczej Nr I (12 052 kJ/kg). Produkt o takiej wartości opałowej może być produktem energetycznym. Badania mineralogiczne, które określą ilość czystych ziarn węglowych, zadecydują czy produkt pośredni powinien być poddany kruszeniu i wtórnemu wzbogacaniu czy też zostanie potraktowany wprost jako produkt energetyczny. Koncentrat o zawartości popiołu 18,8% w celu uzyskania produktu handlowego musi być wzbogacany metodami mokrymi.

Przeprowadzone doświadczenia pokazały, że klasa ziarnowa 25-6 mm może być poddawana wzbogacaniu metodą deshalingu.

5. Badania odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm

Doniesienia literaturowe (publikacje chińskie) pokazują, że zbyt duża ilość ziarn drobnych – poniżej 6 mm – wpływa niekorzystnie na dokładność rozdziału ziarn grubszych. Związane to jest ze zjawiskiem równopadania (prędkość opadania ziarn tej samej wielkości jest taka sama dla ziarn małych o dużej gęstości i ziarn dużych o mniejszej gęstości). Z drugiej strony pożądana jest pewna ilość klasy poniżej 6 mm dla utworzenia łoża roboczego (warstwy sfulidyzowanej). Ilość ziarn drobnych dobiera się doświadczalnie. Prowadzone badania nie miały na celu optymalizację warunków prowadzenia procesu, lecz jedynie zbadanie możliwości suchego odkamieniania urobku. Z tego też

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

względu, poza badaniami klasy 25-6 mm, przeprowadzono badania klasy 25-0 mm. Celem było porównanie procesu rozdziału obu klas ziarnowych.

Z uprzednio prowadzonych badań wynikał wniosek, że na proces rozdziału szerokiej klasy ziarnowej (do 0 mm) wpływ ma kąt poprzecznego nachylenia płyty roboczej. Postanowiono więc przeprowadzić trzy próby wzbogacania klasy ziarnowej 25-0 mm zmieniając, dla każdej z nich, kąt nachylenia płyty roboczej.

W próbie badawczej nr I przyjęto kąt nachylenia 5°. Otrzymano produkt odpadowy o wychodzie 7,3% i zawartości popiołu 73,5%. Są to praktycznie ziarna kamienia z niewielkim udziałem zrostów kamienno-węglowych. Zawartość siarki (0,53%) jest niższa niż średnia zawartość w nadawie (0,62%). Świadczy to o stosunkowo niewielkiej ilości pirytu w nadawie.

Produkt pośredni o wychodzie 9,3% zawiera 27,5% popiołu. Tak niska zawartość popiołu świadczy o tym, że do tego produktu trafiły ziarna węglowe. Produkt pośredni zawiera podwyższoną zawartość siarki (0,64%) w stosunku do nadawy (0,62%), co świadczy o tym, że jest ona związana z ziarnami węglowymi.

Koncentrat jest stosunkowo czysty (13,0% popiołu) a zawartość siarki jest na poziomie nadawy. Koncentrat ten oczywiście poddany musi być procesom mokrego wzbogacania dla uzyskania parametrów węgla handlowego.

W próbie badawczej nr II przyjęto kąt nachylenia 6,5°. Otrzymano odpad o podobnym wychodzie (7,1%) o nieco wyższej zawartości popiołu (75,3%) i niższej zawartości siarki (0,45%). Wyraźnie duży jest wychód produktu pośredniego (19,3%) ponad dwukrotnie wyższy niż w próbie badawczej nr I. Zawartość siarki jest na podobnym poziomie (0,65%). Natomiast spada zawartość popiołu (22,7%). Mniejszy jest wychód koncentratu (73,6%) przy nieco mniejszej zawartości popiołu (12,5%).

W próbie badawczej nr III przyjęto kąt nachylenia 8,5°. Otrzymano odpad o mniejszym wychodzie (5,8%) niż w pozostałych badaniach, o podobnej zawartości popiołu (75,6%) i wyższej zawartości siarki (0,57%).

Ponieważ wzbogacano klasę 25-0 mm układ odpylania ułowił znaczną ilość pyłu. Pył ten zawiera 12,7% popiołu i wartość opałową 29 602 kJ/kg. Pył ten, wyeliminowany z układu przeróbki mechanicznej dzięki wydzieleniu go w procesie deshalingu, jest produktem energetycznym. Wydaje się, że nie powinno się go kierować do flotacji aby nie wprowadzać tak drobnych ziarn do układu mokrego wzbogacania i układu gospodarki wodno-mułowej.

Przeprowadzone badania pokazują możliwość suchego odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm. Produkty odpadowe posiadają zbliżoną zawartość

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

popiołu (73,5–75,6%) i niską zawartość siarki (0,45 – 0,57%). Im większy kąt pochylenia płyty roboczej tym niższy jest wychód odpadów. Zmienny jest również wychód produktu pośredniego (największy przy pochyleniu 6,5°). Zawartość popiołu w produkcie pośrednim waha się w granicach od 22,7 do 27,5 %, a zawartość siarki występuje na podobnym poziomie (0,64-0,66%).

Wykonana seria badań pokazuje, że jest możliwe odkamienianie urobku także klasy 25-0 mm. Zauważalny jest wpływ kąta pochylenia płyty roboczej. W warunkach przemysłowych kąt pochylenia będzie musiał być dobrany doświadczalnie.

6. Podsumowanie i wnioski

1. Celem badań było sprawdzenie możliwości suchego odkamienianie urobku węgla koksowego przed skierowaniem go do procesów mokrego wzbogacania.
2. Proces odkamieniania (deshalingu) węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych nie ma na celu pozyskanie koncentratów, a jedynie usunięcie możliwie największej ilości skały płonnej.
3. Usunięcie skały płonnej (kamienia) zmniejsza obciążenie osadzarek, a także częściowo flotacji. Pozwala też na zmniejszenie obciążenia układu gospodarki wodno-mułowej. Ilość usuniętej skały płonnej zależy od odkamienanej klasy ziarnowej.
4. Badaniom poddano węgiel z jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.
5. Wzbogacano trzy klasy ziarnowe: 50-25 mm, 25-6 mm i 25-0 mm.
6. Wszystkie próby potwierdziły możliwość usuwania części skały płonnej. W klasie ziarnowej 50-25 mm usunięto (w zależności od parametrów technicznych) całość lub 41,50% frakcji +2,0 g/cm^3. W klasie ziarnowej 25-6 mm usunięto ok. 27% frakcji +2,0 g/cm^3, natomiast w klasie ziarnowej 25-0 mm usunięto ok. 47% frakcji +2,0 g/cm^3.
7. Wydzielone odpady stanowiły w zasadzie czyste ziarna kamienia, potwierdzając możliwość prowadzenia procesu deshalingu dla badanego urobku węgla koksowego.
8. Wydzielone produkty pośrednie posiadają parametry jakościowe kwalifikujące je jako produkt energetyczny lub po skruszeniu mogą być skierowane do procesów mokrego wzbogacania w celu odzyskania ziarn węglowych (produktu handlowego).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

9. Otrzymane koncentraty posiadają zbyt dużą zawartość popiołu aby mogły być produktem handlowym węgla koksowego. Koncentraty te będą musiały być wzbogacane metodami mokrymi.
10. Ilość wydzielonych odpadów zależeć będzie od ich ilości w poszczególnych klasach ziarnowych, a także od ustalenia technicznych parametrów stołów koncentracyjnych.
11. Badania potwierdziły, że dokładność rozdziału na powietrznych stołach koncentracyjnych jest niewielka. Teoretyczne rozproszenie prawdopodobne będzie wynosiło $E_p > 2$.
12. Mała dokładność rozdziału jest znaną cechą procesów wzbogacania powietrznego. Znany jest fakt, że im mniej gęsty jest ośrodek rozdziału tym mniejsza jest dokładność.
13. Duże rozproszenie prawdopodobne powietrznych stołów koncentracyjnych skutkuje tym, że gęstość rozdziału powinna być w granicach 2,0-2,2 g/cm^3. Przy rozdziale w tej gęstości nie ma możliwości usunięcia całej ilości skały płonnej. Można też, w zależności od ustalonych parametrów technicznych wydzielić całość odpadów. Odbywać się to będzie jednak kosztem jakości produktów pośrednich.
14. Badania pokazały, że technologicznie jest możliwy deshalingu węgli koksowych (w literaturze światowej podawane są tylko przykłady deshalingu węgli energetycznych).
15. Wdrożenie deshalingu w zakładach przeróbki węgla koksowego może być trudne ze względów technicznych. Proces ten powinien być umieszczony po węźle klasyfikacji (wydzielenie odpowiednich klas ziarnowych), a przed węzłem wzbogacania. W istniejących zakładach zabudowanie węzła suchej separacji będzie możliwe tylko tam, gdzie istnieje odpowiednia przestrzeń mieszcząca przemysłowy stół koncentracyjny.
16. Deshaling klasy ziarnowej, w której znajdują się bardzo drobne ziarna jest korzystny ze względu na istniejący w tych instalacjach proces odpylania nadawy. Wydzielenie suchego pyłu pozwala na usunięcie tej klasy ziarnowej z mokrych procesów wzbogacania (osadzarki, flotacja). Pozwoli to również na uproszczenie gospodarki wodno-mułowej.
17. Zastosowanie deshalingu rozważane być może dla urobku węgla koksowego zawierającego znaczne ilości ziarn skały płonnej. Przy małej ilości zanieczyszczenia kamieniem proces może być nieopłacalny.
18. O wdrożeniu procesu deshalingu zadecyduje rachunek ekonomiczny opłacalności wydzielania kamienia (skały płonnej) przed procesami właściwego wzbogacania węgla koksowego. Rachunek ten wykraczał poza zakres niniejszej pracy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

19. Badania prowadzone przy zmiennych regulowanych parametrach technicznych stołu potwierdziły zalecenia producenta o konieczności doświadczalnego ustalenia tych parametrów w celu uzyskania najkorzystniejszych rezultatów deshalingu.
20. Zrealizowana praca omówiona w niniejszym rozdziale pokazała możliwość w miarę skutecznego odkamieniania urobku węgla koksowego w badanych klasach ziarnowych.

Praca wykonana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

1. Baic I., Blaschke W.: Góralczyk S., Sobko W., Szafarczyk J.: Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji. Monografia KOMAG – Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Gliwice. 2013, s 99-108.
2. Baic I.: Analiza możliwości wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania węglowych paliw kwalifikowanych i substytutów kruszyw. Polityka Energetyczna. Tom 16, s.3, 2013, s. 247-260.
3. Blaschke W.: Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. Zeszyty Naukowe IGSHiE PAN nr 84. Kraków 2013, s. 67-74.
4. Blaschke W., Baic I.: Otrzymywanie substytutów kruszyw z wykorzystaniem metody deshalingu. Proccedings International Conference - The New Mineral Policy and Progressive Technologies in Mining, Geology and Environment. Demanovska Dolina. Słowacja. 2013, s. 121-125.
5. Analiza literaturowa związana z problematyką suchego odkamieniania węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Opracowanie IMBiGS Oddział Zamiejscowy w Katowicach na zlecenie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Katowice, grudzień 2012.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

6. Prospekt firmy Tangshan Shenzou Machinery Co. Ltd, Chiny 2012.
7. Wykonanie serii badań odkamieniania surowego węgla koksowego, na stanowisku badawczym wyposażonym w powietrzny stół koncentracyjny typu FGX-1, trzech klas ziarnowych. Opracowanie IMBiGS Oddział Zamiejscowy w Katowicach na zlecenie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Katowice, wrzesień 2013.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Skuteczność suchego odkamieniania węgla koksowego metodą separacji na powietrznych stołach koncentracyjnych

Wiesław Blaschke - Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, **Paweł Okarmus** - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrzu, **Stanisław Ziomber** - Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.

1. Wprowadzenie

W ramach projektu badawczego „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" realizowany jest temat badawczy „Badanie nowych technik wzbogacania węgla". Zakres badań tematu obejmuje analizę możliwości odkamieniania węgli koksowych przy wykorzystaniu powietrznych stołów koncentracyjnych.

Wzbogacanie w ośrodku powietrznym jest stosunkowo mało dokładne. Z tego też względu powietrzne stoły koncentracyjne wykorzystuje się najczęściej do usunięcia możliwie dużej ilości skały płonnej. Proces rozdziału odbywa się więc w przedziale gęstości 2,0 – 2,2 g/cm³. Według badań producentów stołów [7] dokładność rozdziału w tym przedziale gęstości określona rozproszeniem prawdopodobnym wynosi I = 2,0.

W ramach realizowanego tematu badawczego dotyczącego deshalingu (odkamieniania) Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego IMBiGS, przy współpracy Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. i Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, przeprowadziło badania możliwości odkamieniania węgla koksowego jednej z kopalń JSW SA [6, 8]. Wyniki badań przedstawiono w rozdziale 3 niniejszej monografii. W niniejszym rozdziale zajęto się problemem skuteczności odkamieniania badanego węgla koksowego.

2. Problem oceny skuteczności odkamieniania

Proces wydzielania kamienia na powietrznych stołach koncentracyjnych [1 - 5] odbywa się, jak już wcześniej wspomniano, w obrębie ziaren odpadowych, czyli w przedziale gęstości powyżej 2,0 g/cm³. Praktycznie nie ma możliwości określenia gęstości rozdziału w takim przedziale. Wiadomo, że aby określić rzeczywistą gęstość rozdziału należy otrzymywane produkty rozdzielić na wąskie frakcje gęstościowe i na ich podstawie wykreślić krzywą rozdziału, w której rzędna 50% pokaże gęstość rozdziału. Rzędne 25% i 75% krzywej rozdziału określają rozproszenie prawdopodobne. Niestety rozdział na frakcje gęstościowe produktów odpadowych wymagałby przygotowania cieczy ciężkich o wysokich gęstościach. Dwuchlorek cynku daje możliwości uzyskania cieczy o gęstości nie większej niż 2,0 g/cm³ (i to już przy dużej lepkości cieczy). Z tego też względu określenie dokładności wzbogacania prowadzonego

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

w obrębie frakcji odpadowej nie jest możliwe bez zastosowania drogich cieczy ciężkich jednorodnych.

Do oceny skuteczności wzbogacania przyjęto metodę uproszczoną. Założono, że do produktu odpadowego trafiają wyłącznie ziarna skały płonnej o gęstości powyżej 2,0 g/cm³. Niestety w trakcie projektowania badań nie przewidziano kontrolnego wydzielania w cieczach ciężkich tych ziarn z produktów separacji. Z tego też względu w niniejszym rozdziale przeanalizowano uzyski popiołu w odpadach. Uzysk jest procentową ilością popiołu w odpadach w stosunku do całkowitej ilości popiołu w badanych klasach ziarnowych (50-25, 25-6, 25-0 mm). Uzyski te nazwano umownie skutecznością odkamieniania.

3. Analiza densymetryczna urobku węglowego

Węgiel koksowy przeznaczony do badań odkamieniania pochodził z jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej. Pobraną próbę węgla surowego stanowiła klasa ziarnowa 150 - 0 mm. Z klasy tej wydzielono na drodze przesiewania węższe klasy ziarnowe 50-25, 25-6; 25-0 mm. Z każdej klasy ziarnowej pobrano próbki do analizy densymetrycznej, wydzielając frakcje w przedziale gęstości 1,3 - 2,0 g/cm.³ W tabeli 1 zestawiono wyniki rozdziału (wychód, zawartość popiołu). Pełne dane analizy densymetrycznej pokazano i omówiono w pracy [3].

Analiza densymetryczna trzech klas ziarnowych badanego węgla koksowego

Tabela 1

Frakcja gęstościowa	Klasa ziarnowa 50-25 mm		Klasa ziarnowa 25-6 mm		Klasa ziarnowa 25-1 mm	
	wychód	zawartość popiołu	wychód	zawartość popiołu	wychód	zawartość popiołu
[g/cm³]	γ [%]	A [%]	γ [%]	A [%]	γ [%]	A [%]
<1,3	46,12	2,31	37,35	2,07	51,14	2,18
1,3-1,4	7,11	19,67	6,41	11,03	7,30	10,84
1,4-1,5	7,87	20,59	5,94	19,62	8,56	18,20
1,5-1,6	6,28	27,89	6,70	24,79	5,36	25,31
1,6-1,7	6,09	35,48	6,11	31,58	5,57	32,06
1,7-1,8	3,18	43,69	4,88	40,84	3,69	44,76
1,8-2,0	5,52	55,26	6,55	53,49	3,33	54,51
>2,0	**17,83**	**81,98**	**26,06**	**82,83**	**15,05**	**80,94**
Nadawa	100,00	27,05	100,00	33,32	100,00	22,25

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Umownie przyjęto, że odpadem będzie frakcja o gęstości powyżej 2,0 g/cm³. W zakładach przeróbczych wzbogacających węgiel do odpadów trafiają też ziarna o gęstości poniżej 2,0 g/cm³. Ale ponieważ na powietrznych stołach koncentracyjnych ziarna kamienia wydziela się przy gęstościach powyżej 2,0 g/cm³ można umownie przyjąć, że interesować się będziemy uzyskami popiołu we frakcji + 2,0 g/cm³.

Uzysk popiołu w odpadach z analizy densymetrycznej klasy ziarnowej 50-25 m wynosi 54,04% – [(17,83 x 81,98) : (100 x 27,05)] x 100.

Uzysk popiołu w odpadach z analizy densymetrycznej klasy ziarnowej 25-6 mm wynosi 64,75% – [(26,06 x 82,83) : (100 x 33,82)] x 100.

Przyjmując, że uzysk jest umowną skutecznością odkamieniania, to skuteczność usuwania popiołu w laboratoryjnych cieczach ciężkich wynosi:

– klasa ziarnowa 50-25 mm - 54,04%,
– klasa ziarnowa 25-6 mm - 64,75%,
– klasa ziarnowa 25-1 mm - 54,76%.

W dalszej części niniejszego rozdziału do powyższych wielkości porównywana będzie skuteczność odkamieniania badanych klas na powietrznym stole koncentracyjnym. Pamiętać jednak należy, że dokładność rozdziału w laboratoryjnych cieczach ciężkich jest największa (może być traktowana jako wzorzec rozdziału). W warunkach przemysłowych wzbogacanie w cieczach ciężkich zawiesinowych jest mniej dokładne, w ośrodku wodnym (osadzarki) jest jeszcze mniej dokładne, a najmniej dokładne jest wzbogacanie powietrzne.

4. Skuteczność odkamieniania klasy ziarnowej 50-25 mm

Do badań odkamieniania pobrano dwie próby różniące się zawartością popiołu (o większej i mniejszej ilości kamienia - ocenianą wzrokowo). W Próbie I zawartość popiołu wynosiła 28,5%, w Próbie II- 37,8%. Jest sprawą oczywistą, że analizy densymetryczne obu prób będą różnić się wychodami (wpływ dużego wychodu frakcji + 2,0 g/cm³). Zawartości popiołu w poszczególnych frakcjach powinny być zbliżone.

Na powietrznym stole koncentracyjnym rozdzielono nadawę na trzy produkty: odpady, produkt pośredni i koncentrat. Rezultaty rozdziału zestawiono w tabeli 2.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki odkamieniania klasy ziarnowej 50-25 mm

Tabela 2

Produkt	Próba I		Próba II	
	wychód γ [%]	zawartość popiołu A [%]	wychód γ [%]	zawartość popiołu A [%]
Nadawa	100,0	28,5	100,0	37,8
Odpad	**7,4**	**79,1**	**37,1**	**65,0**
Produkt pośredni	10,1	61,8	13,5	33,3
Koncentrat	82,5	19,9	49,4	18,5

4.1. Omówienie wyników Próby I

Odpady zawierały 79,1% popiołu, przy wychodzie 7,4%, tak więc ilość popiołu w tym produkcie wyniosła 585,34 jednostek (79,1 x 7,4).

W nadawie ilość popiołu wynosiła 2 850 jednostek (28,5 x 100).

W wyniku odkamieniania usunięto więc 20,54 % całkowitej ilości popiołu w nadawie.

Skuteczność odkamieniania klasy ziarnowej 50-25 mm poddanej (Próba I) rozdziałowi na powietrznym stole koncentracyjnym można przyjąć na poziomie 20,54%.

W porównaniu ze skutecznością odkamieniania (frakcja + 2,0 g/m³) w laboratoryjnych cieczach ciężkich, gdzie wynosiła 54,04%, skuteczność powietrznego odkamieniania jest 2,6 razy mniejsza.

Porównanie tych wyników jest w zasadzie poprawne, gdyż zawartość popiołu w nadawie skierowanej do analizy densymetrycznej wynosiła 27,05%, a w badanej Próbie I nadawa zawierała 28,5% popiołu. Obie próby są bardzo do siebie podobne.

4.2. Omówienie wyników Próby II

Próba II różni się zarówno od Próby I, jak i próby dla której wykonano analizę densymetryczną. Próba II zawierała, o czym już powyżej napisano, większą ilość skały płonnej (frakcji odpadowej). Zawartość popiołu wynosiła w nadawie 37,8%. Z tego też względu rezultaty otrzymane w wyniku odkamieniania Próby II nie będą porównywane z Próbą I i z próbą pobraną do analizy densymetrycznej.

Odpady II Próby zawierały 65% popiołu przy wychodzie 37,1%, tak więc ilość popiołu w tej próbie wynosiła 2 411,5 jednostek (65 x 37,1).

W nadawie ilość popiołu wynosiła 3 780 jednostek (37,8 x 100).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W wyniku odkamieniania usunięto więc 63,8% całkowitej ilości popiołu w nadawie.

Skuteczność odkamieniania Próby II klasy ziarnowej 50-25 mm na powietrznym stole koncentracyjnym wyniosła 63,8%. Wynik ten jest rezultatem bardzo dużej ilości skały płonnej w nadawie.

4.3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania odkamieniania klasy ziarnowej 50-25 mm pokazały, że na powietrznych stołach koncentracyjnych możliwe jest usunięcie od 20-64% całkowitej ilości popiołu znajdującej się w nadawie. Ilość usuniętego popiołu zależy od ilości skały płonnej w nadawie. Produkt odpadowy zawiera w zasadzie czyste ziarna kamienia (Próba I) lub też częściowo także zrosty węglowo - kamienne (Próba II.) Ocena taka oparta jest na zawartości popiołu w odpadach (odpowiednio 79,1% i 65%).

Powietrzne stoły koncentracyjne zastosowane do wydzielania kamienia z klasy 50-25 mm nie pozwalają na równoczesne otrzymanie koncentratu handlowego węgla koksowego. Koncentraty badanych prób zawierały 19,9% i 18,5% popiołu i ze względu na wysoką zawartość popiołu poddawane będą musiały być dalszemu wzbogacaniu metodami mokrymi.

Porównując wyniki uzyskane na powietrznym stole koncentracyjnym z wynikami laboratoryjnego rozdziału w cieczach ciężkich można stwierdzić (z pewnym przybliżeniem), że skuteczność (uzysk) rozdziału na stole jest około 2,6 razy mniejsza niż w warunkach laboratoryjnych. Interesujące byłoby przeprowadzenie takiej porównawczej analizy z przemysłowym mokrym wzbogacaniem grawitacyjnym tej klasy ziarnowej.

5. Skuteczność odkamieniania klasy ziarnowej 25 - 6 mm

Doniesienia literaturowe pokazują, że proces rozdziału na powietrznych stołach koncentracyjnych przebiega dokładniej, gdy ilość ziarn poniżej 6 mm nie jest zbyt duża [7]. Z tego też względu przeprowadzono dwie próby odkamieniania nadawy pozbawionej ziarn poniżej 6 mm. Przeprowadzono dwie próby badawcze, zmniejszając kąt poprzecznego pochylenia płyty roboczej. W pierwszej serii badań kąt ten wynosi 5˚, a w drugiej 8˚. Materiał badawczy zawierał stosunkowo niedużą zawartość skały płonnej. Wychód frakcji + 2,0 g/cm³ wynosił, dla próby pobranej do analizy densymetrycznej, 26,06%. Zawartość popiołu w tej frakcji wynosiła 82,83% – jest to czysta skała płonna (tabela 1). Wyniki rozdziału nadawy na stole koncentracyjnym zestawiono w tabeli 3.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki odkamieniania klasy ziarnowej 25-6 mm

Tabela 3

Produkt	Próba I		Próba II	
	wychód γ [%]	zawartość popiołu A [%]	wychód γ [%]	zawartość popiołu A [%]
Nadawa	100,0	28,2	100,0	26,4
Odpad	**8,4**	**82,2**	**7,7**	**82,1**
Produkt pośredni	8,4	56,6	12,8	40,0
Koncentrat	83,2	19,8	79,5	18,8

5.1. Omówienie wyników Próby I

Zawartość popiołu w Próbie I była niższa niż w próbie przekazanej do analizy densymetrycznej i wynosiła 28,2 %. Próby pobierane były w warunkach polowych i z tego względu ich średnie zawartości popiołu nieco się różniły.

Wydzielone odpady zawierały 82,2% popiołu, a więc były to praktycznie ziarna czystej skały płonnej, wychód odpadów wynosił 8,4%.

W nadawie ilość popiołu wynosiła 2820 jednostek (28,2 x 100).

W odpadach ilość jednostek popiołu wyniosła 690,48 (82 x 8,4).

W wyniku odkamieniania usunięto więc 24,49% całkowitej ilości popiołu w nadawie.

Skuteczność odkamieniania Próby I klasy ziarnowej 25-6 mm na powietrznym stole koncentracyjnym wyniosła 24,49%. Przyjmując, z pewnym stosunkowo dużym uproszczeniem, że Próba I i próba skierowana do analizy densymetrycznej są zbliżone do siebie (różnica zawartości popiołu wynosiła 5,12%), można stwierdzić, że skuteczność odkamieniania na powietrznym stole koncentracyjnym jest 2,65 razy mniejsza w porównaniu do laboratoryjnego rozdziału w cieczach ciężkich.

5.2. Omówienie wyników Próby II

Zawartość popiołu w Próbie II była również niższa w próbie pobranej do analizy densymetrycznej i wynosiła 26,4%. Spowodowane było to pobieraniem prób w warunkach polowych.

Rezultaty odkamieniania przedstawiają się następująco:

- wydzielone odpady zawierały 82,1% popiołu przy wychodzie 7,7%,
- w nadawie ilość popiołu wynosiła 2640 jednostek (26,4 x 100),

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

– w odpadach ilość jednostek popiołu wynosiła 632,17 (82,1 x 7,7),
– w wyniku odkamieniania usunięto więc 23,95% całkowitej ilości popiołu znajdującej się w nadawie.

Przyjmując uproszczone założenie zbliżonych charakterystyk Próby II do próby pobranej do analizy densymetrycznej można porównując odpady wyciągnąć wniosek, że powietrzne wzbogacanie na stole koncentracyjnym jest 2,7 razy gorsze od laboratoryjnego rozdziału węgla w cieczach ciężkich.

5.3. Podsumowanie

Przeprowadzone dwie próby odkamieniania urobku klasy ziarnowej 25-6 mm pokazały zbliżone rezultaty. Kąty podchylenia płyty roboczej pozwoliły uzyskać koncentrat Próby II o zawartości popiołu o 1% niższej niż przy Próbie I i o 3,7% niższym wychodzie. Zawartości popiołu w odpadach są porównywalne, wychody różnią się o 0,7%. Produkty pośrednie się aż o 16,6% zawartości popiołu, a wychody o 4,4%.

Pamiętać należy, że powietrzne stoły koncentracyjne stosowane są do wydzielania z urobku kamienia. Dla takiego celu reguluje się parametry techniczne stołu.

Przeprowadzone badania wykazały, że z urobku klasy 25-6 mm można usunąć około 25% ziarn skały płonnej.

6. Skuteczność odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm

W celach porównawczych przeprowadzono badania odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm. Doniesienia literaturowe [7] pokazują, że można proces odkamieniania prowadzić także przy udziale w nadawie ziarn bardzo drobnych. Podaje się, że wówczas na proces rozdziału ma wpływ kąt poprzecznego nachylenia płyty roboczej. Przeprowadzono badania próby przy kątach nachylenia 5˚, 6,5˚ i 8,5˚.

Wykonano także analizę densymetryczną usuwając, w celu jej przeprowadzenia, ziarna poniżej 1 mm. Ilość klasy ziarnowej 1 - 0 mm w nadawie 25-0 mm była stosunkowo duża i wynosiła 39,57%, a zawartość w niej popiołu kształtowała się na poziomie 13,39% (tabela 4). Były to więc ziarna o prawdopodobnej gęstości poniżej 1,5 g/cm^3. W warunkach laboratoryjnego rozdziału w roztworze dwuchlorku cynku nie ma, ze względu na lepkość, możliwości rozdziału klasy 1-0 mm na frakcje gęstościowe.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki podziału klasy ziarnowej 25-0 mm (wydzielenie ziaren poniżej 1mm)

Tabela 4

Klasa ziarnowa, [mm]	Wychód, γ [%]	Zawartość popiołu, A [%]
25-1	60,43	22,25
1-0	39,57	13,39
Suma / średnia	100,00	18,74

Analiza densymetryczna klasy ziarnowej 25-1mm (tabela 1) pokazała, że w materiale dominują ziarna o niskiej gęstości. Frakcje przyjęte jako odpadowe posiadają wychód 15,05% i zawartość popiołu 80,94%. Są to praktycznie ziarna czystej skały płonnej.

Jeżeli uwzględnić sumę klas ziarnowych 25-1 i 1-0 mm to średnia zawartość popiołu w nadawie kierowanej do odkamieniania wynosi 18,74% (tabela 4). Porównując tą wielkość do zawartości popiołu w trzech próbach wydzielonych do badań odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm łatwo zauważyć, że zawartość popiołu w tych próbach jest zbliżona do średniej zawartości popiołu pokazanej w tabeli 5. Różnice w granicach 1% wynikają z dokładności pobierania prób i dokładności analiz chemicznych.

Rezultaty odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm zestawiono w tabeli 5.

Wyniki odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm

Tabela 5

Produkt	Próba I		Próba II		Próba III	
	Wychód γ [%]	Zawartość popiołu A [%]	Wychód γ [%]	Zawartość popiołu A [%]	Wychód γ [%]	Zawartość popiołu A [%]
Nadawa	100,0	18,8	100,0	19,9	100,0	17,8
Odpad	7,3	73,5	7,1	75,3	5,8	75,6
Produkt pośredni	9,3	27,5	19,3	22,7	16,8	27,0
Koncentrat	82,4	13,0	73,6	12,5	77,4	12,2

6.1. Omówienie wyników przeprowadzonych prób

Ze względu na stosunkowo małe różnice w zawartości popiołu w nadawie trzech prób (odpowiednio: 18,8%; 19,9%; 17,8%, a także nieduże różnice w zawartości popiołu w odpadach (73,5%; 75,3%; 75,6) analizę skuteczności odkamieniania pokazano w bardziej uproszczony sposób niż poprzednio badanych klas ziarnowych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Ilości popiołu w nadawach wynosiły: Próba I – 1 880 jednostek, Próba II- 1 990 jednostek, Próba III - 1 780 jednostek.

W odpadach ilości popiołu wynosiły: Próba I- 536,55 jednostek, Próba II- 534,63 jednostki, Próba III - 438,48 jednostek.

W wyniku odkamieniania usunięto w stosunku do całkowitej ilości popiołu w nadawach – w Próbie I - 28,01% ilości popiołu, w Próbie II - 26,87% ilości popiołu a w Próbie III – 26,63% ilości popiołu.

Przyjmując omówione już powyżej uproszczenie można przyjąć, że skuteczność odkamieniania klasy ziarnowej 25-0 mm kształtuje się odpowiednio: 28,01%; 26,87%, 26,63%.

W porównaniu do skuteczności odkamieniania w cieczach ciężkich w warunkach laboratoryjnych skuteczność odkamieniania na powietrznym stole koncentracyjnym jest odpowiednio: Próba I - 1,96, Próba II - 2,04, Próba III - 2,06 razy mniejsza.

7. Wnioski

1. Przeprowadzone badania odkamieniania urobku węgla koksowego wykazały, że istnieje możliwość zmniejszenia ilości frakcji odpadowych metodą rozdziału na powietrznym stole koncentracyjnym. Ocenę skuteczności odkamieniania oparto na uzyskach popiołu w wydzielonych odpadach. Uzyski te porównano z uzyskami (skutecznościami) otrzymanymi w wyniku rozdziału w cieczach ciężkich.
2. Odkamieniając klasę ziarnową 50-25 mm możliwe jest usunięcie od 20-64% całkowitej ilości popiołu zawartej w nadawie. Zależeć to będzie od udziału skały płonnej w nadawie. Im większa jest ilość skały płonnej tym więcej odpadów można usunąć. Badania prowadzono na dwóch próbach znacznie różniących się ilością frakcji odpadowych (powyżej 2,0 g/cm³.)
3. Odkamieniając klasę ziarnową 25-6 mm możliwe jest usunięcie 23,95 do 24,49% całkowitej ilości popiołu w nadawie.
4. Odkamieniając klasę ziarnową 25-0 mm możliwe jest usunięcie od 26,63 do 28,01% całkowitej ilości popiołu zawartej w nadawie.
5. Porównując uzyski frakcji odpadowych otrzymanych w wyniku rozdziału w laboratoryjnych cieczach ciężkich z rezultatami uzyskanymi na powietrznym stole koncentracyjnym skuteczność odkamieniania:
   - klasy ziarnowej 50-25 mm jest 2,6 razy mniejsza,
   - klasy ziarnowej 25-6 mm jest 2,65 razy mniejsza,
   - klasy ziarnowej 25-0 mm jest około 2 razy mniejsza.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

6. Przeprowadzone badania skuteczności odkamieniania na powietrznym stole koncentracyjnym potwierdziły konieczność regulowania pracy stołu, dobierając jego parametry techniczne do właściwości technologicznych węgli surowych. Tu trzeba dodać, że producenci powietrznych stołów koncentracyjnych zalecają dokonywania takich regulacji przez oddelegowanie własnych pracowników. Stwierdzają też, że regulacja taka może trwać kilkanaście dni. Prawdopodobnie rezultaty uzyskiwane przy optymalnych warunkach prowadzenia procesu mogą być korzystniejsze.

Praca wykonana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 "Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

1. Baic I., Blaschke W., Góralczyk S., Sobko W., Szafarczyk J.: Odkamienianie urobku węglowego metodą suchej separacji. Monografia KOMAG – Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Gliwice. 2013 r., s 99-108.
2. Baic I.: Analiza możliwości wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do otrzymywania węglowych paliw kwalifikowanych i substytutów kruszyw. Polityka Energetyczna. Tom 16, s.3, 2013, s. 247-260.
3. Baic I., Blaschke W., Okarmus P., Sobko W., Szafarczyk J.: Badania nad możliwością usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Monografia KOMAG – Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Gliwice. 2014 r.
4. Blaschke W.: Nowa generacja powietrznych stołów koncentracyjnych. Zeszyty Naukowe IGSHiE PAN nr 84. Kraków 2013, s. 67-74.
5. Blaschke W., Baic I.: Otrzymywanie substytutów kruszyw z wykorzystaniem metody deshalingu. Proccedings International Conference - The New Mineral Policy and Progressive Technologies in Mining, Geology and Environment. Demanovska Dolina. Słowacja. 2013, s. 121-125.
6. Analiza literaturowa związana z problematyką suchego odkamieniania węgla kamiennego na powietrznych stołach koncentracyjnych. Opracowanie IMBiGS Oddział Zamiejscowy w Katowicach na zlecenie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Katowice, grudzień 2012 r.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

7. Prospektfirmy Tangshan Shenzou Machinery Co. Ltd, Chiny 2012 r.
8. Wykonanie serii badań odkamieniania surowego węgla koksowego, na stanowisku badawczym wyposażonym w powietrzny stół koncentracyjny typu FGX-1, trzech klas ziarnowych. Opracowanie IMBiGS Oddział Zamiejscowy w Katowicach na zlecenie Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Katowice, wrzesień 2013 r.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

...ponad 65 milionów zysku netto jednostki dominującej wypracował Kopex w 2013 roku, notując tym samym wzrost zysku o około 30% rok do roku. W 2013 roku spółka osiągnęła około 1,4 miliarda przychodów, o prawie 300 milionów mniej niż rok wcześniej. Ubiegłoroczny zysk brutto Kopexu ze sprzedaży wyniósł prawie 235 milionów złotych, zysk operacyjny około 87 milionów złotych, a zysk EBITDA ukształtował się na poziomie 237 milionów złotych, czyli o 2,5% wyższym niż w roku 2012. Na spadek przychodów Grupy Kopex wpływ miała trudna sytuacja na krajowym rynku górniczym. W 2013 roku w Grupie trwały procesy restrukturyzacji finansowej, majątkowej i kapitałowej. Wartość zamówień na koniec czwartego kwartału przekroczyła 1,73 miliarda złotych i była o 7% wyższa niż rok wcześniej. W skali roku nastąpił wzrost wartości zamówień z rynku krajowego oraz z rynku argentyńskiego. W 2014 roku firma dąży do dalszego zwiększania poziomu przychodów z rynków zagranicznych. Jednym z flagowych produktów eksportowych będzie kompleks ścianowy MIKRUS.

Napędy i Sterowanie 2014 nr 5 s.27

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badania właściwości odpadów z procesu flotacyjnego wzbogacania węgla kamiennego w świetle wymagań formalno – prawnych

Bożena Rakwic - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Produkcji węgla kamiennego towarzyszy występowanie dużych ilości odpadów w wyniku technologii prowadzenia wyrobisk korytarzowych, eksploatacji wyrobisk ścianowych oraz procesu przeróbki i wzbogacania. Na podstawie danych statystycznych GUS i WIOŚ szacuje się, że na 1 Mg wydobytego węgla przypada średnio 0,3 Mg odpadów [2, 15], które wymagają odpowiedniego zagospodarowania. Są to odpady: gruboziarniste (200÷20 mm), drobnoziarniste (0,5÷20 mm) oraz odpady flotacyjne o ziarnach poniżej 0,5 mm. Ze względu na ograniczenie zastosowania drobnoziarnistych odpadów w pracach inżynieryjnych i rekultywacyjnych, wynikające z rozdrobnienia i wysokiej zawartości węgla, rozwijane są technologie ich zagospodarowania do podsadzania wyrobisk eksploatacyjnych [4].

Podstawy formalno – prawne oceny przydatności odpadów do zastosowań gospodarczych zawarto w przepisach określających wymagania techniczne dla danego kierunku zagospodarowania odpadów, z uwzględnieniem ochrony środowiska [13].

Istotnym elementem oceny przydatności odpadów górnictwa węgla kamiennego do zastosowań gospodarczych, zgodnie z ustawą z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych, jest sporządzenie charakterystyki odpadów, pozwalającej na uzyskanie informacji niezbędnych do zminimalizowania ich oddziaływania na środowisko oraz zapewnienia stateczności i chemicznej stabilności obiektu wykorzystania odpadów [13]. Dane o składzie i właściwościach odpadów stanowią podstawę zakwalifikowania odpadów do obojętnych, a więc takich, które nie ulegają przemianom fizycznym, chemicznym lub biologicznym, są nierozpuszczalne i niepalne, nie ulegają biodegradacji oraz nie powodują zanieczyszczenia środowiska i zagrożenia dla zdrowia ludzkiego [7].

Prezentowane w literaturze [1, 4, 5, 12, 14] wyniki badań wskazują, że odpady górnictwa węgla kamiennego, ze względu na zawartość pierwiastków, takich jak: cynk (Zn), kadm (Cd), chrom (Cr) i nikiel (Ni), nie spełniającą wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r., nie mogą być zakwalifikowane do odpadów obojętnych.

W celu stwierdzenia czy badane odpady są niebezpieczne lub też, czy można je zakwalifikować jako inne niż niebezpieczne i obojętne,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wykorzystywane są przepisy ochrony środowiska. Określają one między innymi: warunki, w których uznaje się odpady za niebezpieczne, wymagania dla jakości gleby i ziemi, kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach danego typu oraz warunki, jakie należy spełnić przy odprowadzaniu wód odciekowych ze składowisk odpadów.

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości odpadów pochodzących z procesu flotacji węgla kamiennego, zrealizowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG [11]. Przeprowadzono ich ocenę w świetle wymagań technicznych, kryteriów zaliczania odpadów do obojętnych oraz pozostałych wymagań ochrony środowiska.

2. Wymagania formalno – prawne do oceny właściwości odpadów górnictwa węgla kamiennego

Zgodnie z normą PN-G-11011:1998 mieszaniny materiałów do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych w podziemnych wyrobiskach kopalń powinny spełniać następujące wybrane wymagania technologiczne [3]:

- gęstość pozorna większa niż 1,2 Mg/m^3,
- rozlewność większa niż 90 mm,
- odczyn pH od 6,0 do 12,0,
- wymywalność metali ciężkich nie przekraczająca wartości maksymalnych podanych w tabeli 1.

Ponadto ilość wody nadosadowej dla mieszaniny materiałów do doszczelnia zrobów nie powinna przekraczać 15% [3].

Wartości maksymalne wymywalności metali ciężkich z materiałów do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych wg normy PN-G-11011:1998 [3]

Tabela 1

Wymagania według normy PN-G-11011:1998 „Górnictwo. Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania”		
Metal	**Jednostka**	**Wartości maksymalne wymywalności metali ciężkich**
arsen (As)	mg/l	0,2
kadm (Cd)	mg/l	0,1
chrom (Cr)	mg/l	0,7
miedź (Cu)	mg/l	0,5
rtęć (Hg)	mg/l	0,02
ołów (Pb)	mg/l	0,5
odczyn wyciągu	pH	od 6,0 do 12,0

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Poza wymienionymi wymaganiami, dla oceny wpływu odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko naturalne mogą być stosowane:

- kryteria zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych, określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w zakresie zawartości i wymywalności metali [7],
- standardy jakości gleby lub ziemi grupy C, o wodoprzepuszczalności poniżej 10^{-7} m/s na terenach przemysłowych, użytków kopalnych i terenach komunikacyjnych na głębokości od 2 do 15 m ppt, w zakresie stężeń metali, podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. [9],
- kryteria dopuszczania odpadów do składowania na podziemnym składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. [10],
- wartości dopuszczalne wskaźników zanieczyszczeń w wodach odciekowych ze składowisk odpadów, określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. [8].

Do odpadów obojętnych, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r., zaliczane są odpady wydobywcze, w których zawartość związków arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), rtęci (Hg), molibdenu (Mo), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) nie przekracza standardów jakości gleby lub ziemi, określonych dla grupy B w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. (tabela 2) oraz związków wanadu (V) – wartości 500 mg/kg suchej masy odpadów. Powyższe kryterium jest spełnione, gdy odpady spełniają dodatkowo kryteria dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach odpadów obojętnych, określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. (tabela 2) [7].

W tabeli 3 podano wymagania wynikające z Rozporządzeń Ministra Środowiska: 9 września 2002 r., 24 lipca 2006 r. oraz 28 grudnia 2011 r. dla zawartości i wymywalności wybranych metali ciężkich z odpadów górnictwa węgla kamiennego [8, 9, 10].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Kryteria zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. [6, 7, 9]

Tabela 2

Lp.	Metal	Wartości dopuszczalne stężeń metali w glebie lub ziemi dla grupy B wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. [9]				
		głębokość [m ppt]				
		0-0,3	0,3-15,0		>15	
			wodoprzepuszczalność gruntów [m/s]			
			do	poniżej	do	poniżej
			$1*10^{-7}$		$1*10^{-7}$	
		[mg/kg s.m.]				
1.	Arsen (As)	20	20	25	25	55
2.	Kadm (Cd)	4	5	6	4	10
3.	Kobalt (Co)	20	30	60	50	120
4.	Chrom (Cr)	150	150	190	150	380
5.	Miedź (Cu)	150	100	100	100	200
6.	Rtęć (Hg)	2	3	5	4	10
7.	Molibden (Mo)	10	10	40	30	210
8.	Nikiel (Ni)	100	50	100	70	210
9.	Ołów (Pb)	100	100	200	100	200
10.	Cynk (Zn)	300	350	300	300	720

		Dopuszczalne graniczne wartości wymywania metali z odpadów przeznaczonych do składowania na składowiskach odpadów obojętnych wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. [6]	
		ciecz / faza stała = 10 l/kg [mg/kg suchej masy] test podstawowy	ciecz / faza stała = 2 l/kg [mg/kg suchej masy] test pomocniczy
1.	Arsen (As)	0,5	0,1
2.	Bar (Ba)	20	7
3.	Kadm (Cd)	0,04	0,03
4.	Chrom całkowity (Cr)	0,5	0,2
5.	Miedź (Cu)	2	0,9
6.	Rtęć (Hg)	0,01	0,003
7.	Molibden (Mo)	0,5	0,3
8.	Nikiel (Ni)	0,4	0,2
9.	Ołów (Pb)	0,5	0,2
10.	Antymon (Sb)	0,06	0,02
11.	Selen (Se)	0,1	0,06
12.	Cynk (Zn)	4	2

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wymagania stosowane do oceny zawartości i wymywalności wybranych metali ciężkich z odpadów górnictwa węgla kamiennego [8, 9, 10]

Tabela 3

Lp.	Akt prawny określający wartości dopuszczalne stężeń / dopuszczalne graniczne wartości wymywania / / graniczne stężeń	Wyszczególnienie	
1.	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 Nr 165 poz. 1359) [9]	wartości dopuszczalne stężeń metali w glebie lub ziemi grupy C o wodoprzepuszczalności poniżej 10^{-7} m/s na terenach przemysłowych, użytków kopalnych i terenach komunikacyjnych na głębokości od 2 do 15 m ppt [mg/kg suchej masy odpadów]	
		Arsen (As)	100
		Bar (Ba)	3000
		Chrom (Cr)	800
		Cyna (Sn)	300
		Cynk (Zn)	3000
		Kadm (Cd)	20
		Kobalt (Co)	300
		Miedź (Cu)	1000
		Molibden (Mo)	200
		Nikiel (Ni)	500
		Ołów (Pb)	1000
		Rtęć (Hg)	50
2.	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. 2011 nr 298 poz. 1771) [10]	dopuszczalne graniczne wartości wymywania odpadów przeznaczonych do składowania na podziemnym składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne przy użyciu testu podstawowego [mg/kg suchej masy odpadów]	
		Arsen (As)	2
		Bar (Ba)	100
		Kadm (Cd)	1
		Chrom całkowity (Cr)	10
		Miedź (Cu)	50
		Rtęć (Hg)	0,2
		Molibden (Mo)	10
		Nikiel (Ni)	10
		Ołów (Pb)	10
		Antymon (Sb)	0,7
		Selen (Se)	0,5
		Cynk (Zn)	50
3.	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984 wraz z późn. zm.) [8]	wartości dopuszczalne wskaźników zanieczyszczeń w wodach odciekowych ze składowisk odpadów [mg/l]	
		Arsen (As)	0,1
		Bar (Ba)	2
		Kadm (Cd)	0,2
		Chrom ogólny (Cr)	0,5
		Miedź (Cu)	0,5
		Rtęć (Hg)	0,03
		Molibden (Mo)	1
		Nikiel (Ni)	0,5
		Ołów (Pb)	0,5
		Antymon (Sb)	0,3
		Selen (Se)	1
		Cynk (Zn)	2

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

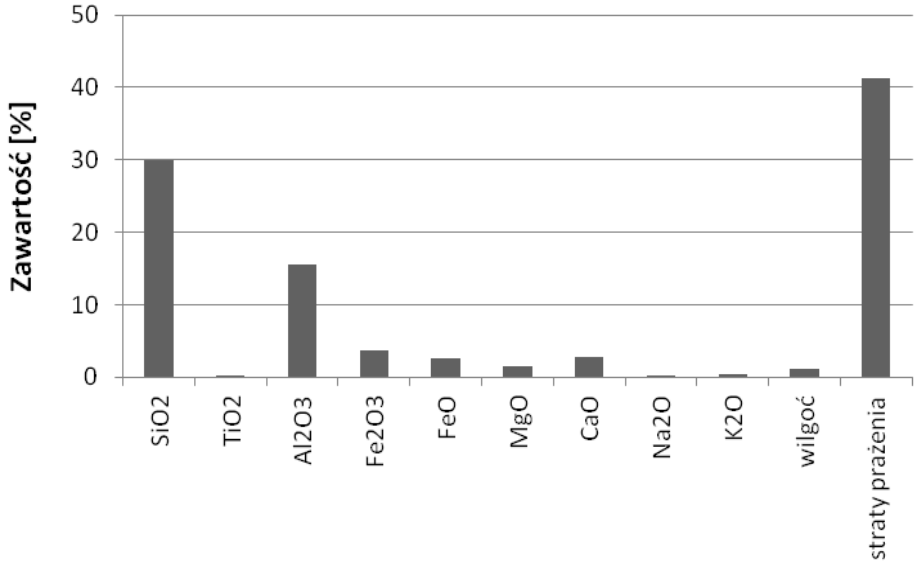
3. Badania odpadów flotacyjnych

Badania prowadzono pod kątem oceny właściwości odpadów flotacyjnych pochodzących z zagęszczacza Dorra, w świetle wybranych wymagań dla odpadów przeznaczonych do lokowania w podziemiach kopalń [11].

Skład mineralny i chemiczny odpadów scharakteryzowano na podstawie wyników badań – rysunek 1. W badanych próbkach odpadów stwierdzono występowanie kwarcu, kaolinitu, pirytu, syderytu, dolomitu i substancji węglowej [11]. Zawartość węgla w próbkach wynosiła 24% wartości wagowej, a substancji nieorganicznej - 76% wartości wagowej.

Na podstawie wyników badań składu chemicznego stwierdzono dominujący udział w próbkach odpadów tlenków: krzemu SiO_2 i glinu (III) Al_2O_3. Istotnym składnikiem próbek odpadów były straty masy przy prażenia (LOI), wynoszące powyżej 41% wartości wagowej. Ponad 10% wartości wagowej próbek odpadów stanowiła łącznie zawartość tlenków: żelaza (III) Fe_2O_3, żelaza (II) FeO, magnezu MgO i wapnia CaO oraz związków siarki. Udział pozostałych tlenków był niewielki i nie przekraczał 1,0% wartości wagowej [11].

Skład mineralny i chemiczny badanych próbek odpadów wykazywał duże podobieństwo do wyników badań odpadów z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przedstawionych w [4].



Rys.1. Skład chemiczny próbki odpadów flotacyjnych,
źródło: opracowanie własne na podstawie [11]

Do oceny wyników badań odpadów z górnictwa węgla kamiennego przyjęto:

- wymagania dotyczące gęstości pozornej, rozlewności i ilości wody nadosadowej oraz wymwalności metali ciężkich i pH wyciągu wodnego dla mieszanin materiałów do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych, podane w normie PN-G-11011:1998 [3],
- kryteria zaliczania odpadów wydobywczych do obojętnych obejmujące [7]: wartości dopuszczalne stężeń metali w glebie lub ziemi dla grupy B, podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. [9] i dopuszczalne graniczne wartości wymywania metali z odpadów obojętnych, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. [6],
- dopuszczalne graniczne wartości wymywania metali z odpadów przeznaczonych do składowania na podziemnym składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne przy użyciu testu podstawowego według Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. [10],
- wartości dopuszczalne stężeń metali w glebie lub ziemi grupy C, o wodoprzepuszczalności poniżej 10^{-7} m/s na terenach przemysłowych, użytków kopalnych i terenach komunikacyjnych na głębokości od 2 do 15 m ppt, podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. [9],
- wartości dopuszczalne wskaźników zanieczyszczeń w wodach odciekowych ze składowisk odpadów określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. [8].

Badania obejmowały określenie dla próbek odpadów flotacyjnych [11]:

- gęstości pozornej, rozlewności, odsączalności, ilości wody nadosadowej i pH wyciągu wodnego z odpadów,
- zawartości metali ciężkich w odpadach, w tym: arsenu (As), baru (Ba), chromu (Cr), cyny (Sn), cynku (Zn), kadmu (Cd), kobaltu (Co), miedzi (Cu), molibdenu (Mo), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i rtęci (Hg),
- ilości metali wymywanych z odpadów, w tym: arsenu (As), baru (Ba), kadmu (Cd), chromu całkowitego (Cr), miedzi (Cu), molibdenu (Mo), niklu (Ni), ołowiu (Pb), antymonu (Sb), selenu (Se), cynku (Zn) i rtęci (Hg),

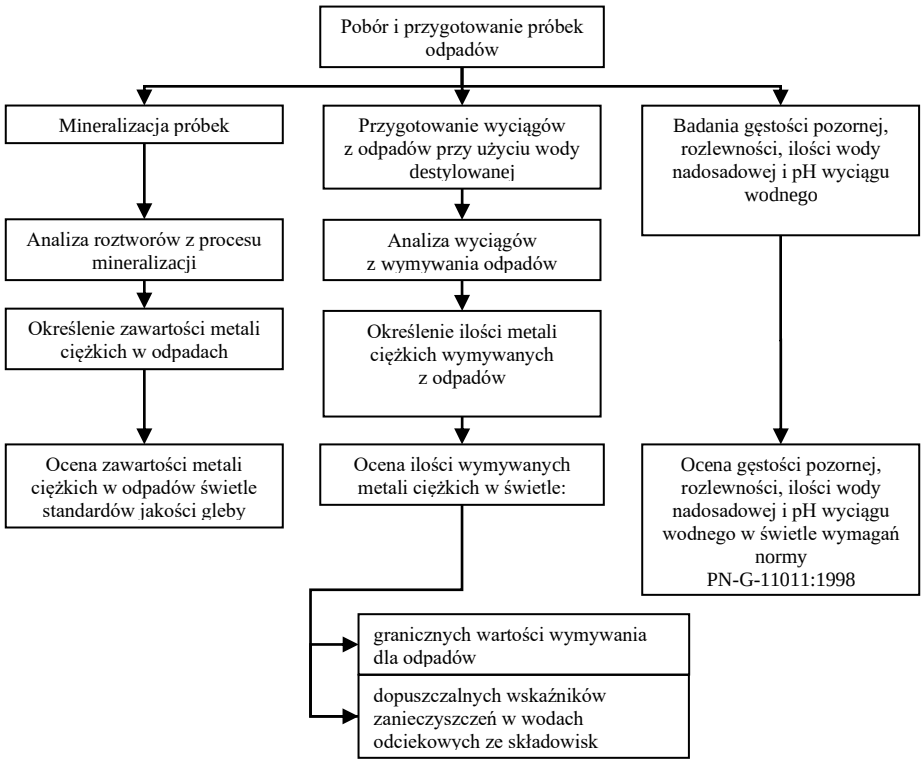
Wybrane parametry fizykochemiczne próbek odpadów flotacyjnych określano następującymi metodami [11]:

- gęstość pozorna, rozlewność, odsączalność, ilość wody nadosadowej i pH wyciągu wodnego metodami wg normy PN-G-11011:1998,
- zawartości metali ciężkich, metodą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym i absorpcji atomowej,
- ilości wymywanych metali ciężkich metodą jednostopniowej ekstrakcji według norm PN-EN 12457-4:2006, przy użyciu wody destylowanej,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zachowując stosunek cieczy do fazy stałej L/S wynoszący 10 l/kg. Zawartość metali ciężkich w ekstraktach oznaczano metodą spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym oraz absorpcji atomowej i na tej podstawie wyznaczono ładunek wymytych metali ciężkich.

Algorytm metodyki badawczej przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Algorytm metodyki badawczej, źródło: opracowanie własne na podstawie [11]

4. Wyniki badań

Wyniki badań gęstości pozornej, rozlewności, ilości wody nadosadowej i pH wyciągu wodnego przedstawiono w tabeli 4 [11].

Wyniki badań parametrów technologicznych odpadów flotacyjnych (źródło: opracowanie własne na podstawie [11])

Tabela 4

Rodzaj odpadów	Nazwa parametru	Jednostka	Wartość
Odpady flotacyjne	gęstość pozorna	Mg/m^3	1,261
	rozlewność	mm	247
	ilość wody nadosadowej	%	14,85
	pH wyciągu wodnego	pH	6,55

Analiza wyników badań podanych w tabeli 4, w świetle wartości dopuszczalnych podanych w normie PN-G-11011:1998, wykazała, że gęstość pozorna, rozlewność, ilość wody nadosadowej i pH wyciągu wodnego uzyskane podczas badania odpadów flotacyjnych spełniają wymagania dla mieszanin do doszczelniania zrobów zawałowych.

Wyniki badań zawartości metali ciężkich w odpadach flotacyjnych podano w tabeli 5 [11].

Wyniki badań zawartości metali ciężkich w odpadach flotacyjnych (źródło: opracowanie własne na podstawie [11])

Tabela 5

Rodzaj odpadów	Metal	Zawartość [mg/kg s.m.]
Odpady flotacyjne	Arsen (As)	< 10
	Bar (Ba)	1053
	Chrom (Cr)	80,7
	Cyna (Sn)	38,0
	Cynk (Zn)	108,5
	Kadm (Cd)	4,76
	Kobalt (Co)	13,7
	Miedź (Cu)	54,1
	Molibden (Mo)	< 10
	Nikiel (Ni)	37,9
	Ołów (Pb)	< 10
	Rtęć (Hg)	< 2

Analiza wyników badań zawartości metali ciężkich wykazała występowanie w odpadach znacznej ilości baru (Ba), cynku (Zn), chromu (Cr), miedzi (Cu), cyny (Sn) i niklu (Ni) oraz niewielkiej ilości rtęci (Hg).

Porównując wyniki oznaczeń zawartości metali z wartościami dopuszczalnymi stężeń w glebie lub ziemi, podanymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r., stwierdzono, że zawartość:

- kadmu (Cd) nie spełnia standardu jakości gleby lub ziemi grupy B na głębokości od 0 m ppt do 0,3 m ppt oraz powyżej 15 m ppt i o wodoprzepuszczalności do 10^{-7} m/s,
- pozostałe badane metale spełniają standardy jakości dla wyżej wymienionej gleby lub ziemi grupy B,
- wszystkie badane metale spełniają standardy jakości gleby lub ziemi grupy C na głębokości od 2 m ppt do 15 m ppt oraz o wodoprzepuszczalności do 10^{-7} m/s.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badane odpady, ze względu na zawartość kadmu (Cd), przekraczającą standard jakości gleby lub ziemi grupy B i nie są odpadami obojętnymi.

Wyniki badań wymywania wybranych metali ciężkich z odpadów flotacyjnych przedstawiono w tabeli 6 [11].

Uwalniane ilości metali ciężkich z odpadów podczas procesu wymywania (źródło: opracowanie własne na podstawie [11])

Tabela 6

Rodzaj odpadów	Metal	Uwalniane ilości metali ciężkich	
		[mg/kg s.m.]	[mg/l]
Odpady flotacyjne	Arsen (As)	0,04	0,004
	Bar (Ba)	3,57	0,357
	Kadm (Cd)	0,02	0,002
	Chrom całkowity (Cr)	0,35	0,035
	Miedź (Cu)	0,04	0,004
	Rtęć (Hg)	< 0,01	< 0,01
	Molibden (Mo)	0,16	0,016
	Nikiel (Ni)	0,12	0,012
	Ołów (Pb)	1,04	0,104
	Antymon (Sb)	0,14	0,014
	Selen (Se)	0,02	0,002
	Cynk (Zn)	0,36	0,036

Wyniki badań wymywania metali ciężkich odpadów wykazały, że bar (Ba) i ołów (Pb) wymyte zostały w największych ilościach, a rtęć (Hg) w najmniejszej ilości.

Oceniając wyniki badań wymywania odpadów, w świetle kryteriów dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpadów obojętnych, podanych w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r., stwierdzono, że uwalniana ilość:

- ołowiu (Pb) i antymonu (Sb) nie spełnia dopuszczalnych granicznych wartości wymywania z odpadów przeznaczonych do składowania na składowiskach odpadów obojętnych,
- pozostałe badane metale spełniają dopuszczalne graniczne wartości wymywania z ww. odpadów.

Badane odpady, ze względu na wymywalność ołowiu (Pb) i antymonu (Sb), przekraczającą graniczne wartości wymywania z odpadów przeznaczonych do składowania na składowiskach odpadów obojętnych, nie są odpadami obojętnymi.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Analiza wyników badań podanych w tabeli 6, w świetle kryteriów dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne, podanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r., nie wykazała przekroczeń dopuszczalnych granicznych wartości wymywania przez ilości wymytych metali ciężkich.

Odnosząc wyniki badań wymywania odpadów do najwyższych dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń w wodach odciekowych ze składowisk odpadów, określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r., nie stwierdzono przekroczeń dla stężeń wymywanych metali ciężkich.

Wyniki badań odpadów flotacyjnych, podane w tabeli 6, nie przekraczają również wartości maksymalnych wymywalności metali ciężkich określonych w normie PN-G-11011:1998.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wybranych parametrów odpadów z procesu flotacyjnego wzbogacania węgla kamiennego wykazały ich przydatność do doszczelniania zrobów zawałowych.

Wyniki oceny jakości odpadów i odcieków z ich wymywania w świetle kryteriów podanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r., potwierdziły, że badane odpady flotacyjne nie są odpadami obojętnymi.

Ocena całkowitej zawartości metali ciężkich w odpadach w świetle standardów jakości gleby lub ziemi wskazuje, że potencjalne zagrożenie może być związane z zawartością kadmu (Cd), przekraczającą poziom dopuszczalny dla gruntów grupy B na głębokości od 0 m ppt do 0,3 m ppt oraz powyżej 15 m ppt i o wodoprzepuszczalności do 10^{-7} m/s, na użytkach rolnych, gruntach leśnych oraz zadrzewionych i niezadrzewionych, zabudowanych i zurbanizowanych. Wyniki badań wymywania odpadów nie wykazały jednak ponadnormatywnej wymywalności kadmu (Cd). Stwierdzono natomiast, że wymywalność ołowiu (Pb) i antymonu (Sb) przekracza graniczne wartości wymywania tych metali z odpadów przeznaczonych do składowania na składowiskach odpadów obojętnych.

Biorąc po uwagę standardy jakości gleby lub ziemi grupy C o wodoprzepuszczalności poniżej 10^{-7} m/s na głębokości od 2 do 15 m ppt dla terenów przemysłowych, użytków kopalnych i terenów komunikacyjnych, nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych wartości stężeń metali w badanych odpadach flotacyjnych. Wymywalność metali z badanych odpadów spełnia

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

kryteria dopuszczania odpadów do składowania na podziemnym składowisku odpadów innych niż obojętne i niebezpieczne oraz warunki, jakie należy spełnić przy odprowadzaniu wód odciekowych ze składowisk odpadów.

Przeprowadzona analiza wskazuje na bezwzględną konieczność prowadzenia badań właściwości odpadów górnictwa węgla kamiennego pod kątem określenia ich przydatności do gospodarczego zastosowania oraz wpływu na środowisko naturalne, w świetle obowiązujących wymagań formalno – prawnych.

Literatura

1. Chodakowska E., Musiolik A., Burczyk A.: Ocena możliwości zaklasyfikowania odpadów wydobywczych z kopalń węgla kamiennego do odpadów obojętnych, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 9(229)/2013.
2. Główny Urząd Statystyczny: Ochrona środowiska 2013. Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2013.
3. PN-G-11011:1998 „Górnictwo. Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania".
4. Praca zbiorowa pod redakcją Stefana Góralczyka: Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, 2011.
5. Rakwic B.: Ocena odpadów górnictwa węgla kamiennego w świetle wymagań formalno-prawnych dotyczących zawartości i wymywalności metali ciężkich. KOMEKO 2013, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013.
6. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, Dz.U. 2013 poz. 38.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych, Dz.U. 2011 nr 175 poz. 1048.
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984 wraz z późn. zm.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. 2002 Nr 165 poz. 1359.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów, Dz.U. 2011 nr 298 poz. 1771.
11. Sprawozdania z badań odpadów Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska. KOMAG, Gliwice 2009 (nie publikowane).
12. Uzunow E., Kukielska D.: Europejskie partnerstwo surowcowe. Badania odpadów wydobywczych według wymagań prawnych dla górnictwa skalnego, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 136, 2013.
13. Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych, Dz.U. 2008 nr 138 z późn. zm.
14. Witkowska-Kita B., Baic I.: Problematyka zakresu badań odpadów wydobywczych, KOMEKO 2012, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbcze surowców mineralnych, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012.
15. Wojewoda Śląski, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach: Stan środowiska w województwie śląskim w 2012 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice, 2013.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

...według raportu Centrum Analiz Społeczno-Ekonomicznych polskie górnictwo węgla w latach 2010-2013 otrzymało 22 mld zł subsydiów, rozumianych jako różne formy pomocy publicznej. Centrum podkreśla przy tym, że system subsydiów sektora górniczego w Polsce jest mało przejrzysty i niejednolity. Wsparcie budżetowe i z programów operacyjnych sięga natomiast 1,1 mld zł na rok. W kwietniu 2014 r. think tank WISE oszacował, że dotacje łącznie dla górnictwa i energetyki węglowej w Polsce są na poziomie 6 mld zł rocznie. Całość dotacji dla górnictwa i energetyki opartej na węglu w okresie 1990-2012 oszacowano w raporcie WISE na około 170 mld zł, według cen z 2012 r. Zgodnie z danymi raportu, w przeciętnym rachunku za energię elektryczną podatnik dopłacił około 100 zł dla elektroenergetyki węglowej.

Rzeczpospolita 2014 s.B7

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zagospodarowanie fosfogipsu na cele nieprzemysłowe

Jolanta Biegańska, Ewelina Piątkowska, Aleksandra Pala - Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Już od zarania dziejów ludzkość wykorzystywała surowce ziemi, niejednokrotnie zapominając o skutkach środowiskowych jakie niesie za sobą ich eksploatacja. Nieuniknioną konsekwencją każdej działalności wydobywczej są bowiem zmiany zachodzące w środowisku przyrodniczym, sprowadzające się przede wszystkim do przekształcenia warunków glebowych i wodnych, zanieczyszczenia atmosfery, zaburzeń mikroklimatu oraz zmian roślinności i drzewostanu [16]. Efektem ubocznym, nierozerwalnie związanym z prowadzoną działalnością górniczą, jest również przekształcenie powierzchni terenu, które powstaje w trakcie prowadzonych prac przygotowawczych i eksploatacyjnych [9, 16]. Istotnym skutkiem środowiskowym związanym z prowadzoną działalnością górniczą jest także wprowadzenie do środowiska pewnych ilości odpadów powydobywczych, których zagospodarowanie niejednokrotnie może przysparzać wiele problemów. W chwili obecnej, jedną z możliwości nieprzemysłowego zagospodarowania powstających odpadów jest ich wykorzystanie przyrodnicze (nawożenie roślin, polepszenie właściwości gleb czy rekultywacja terenów) [2, 12].

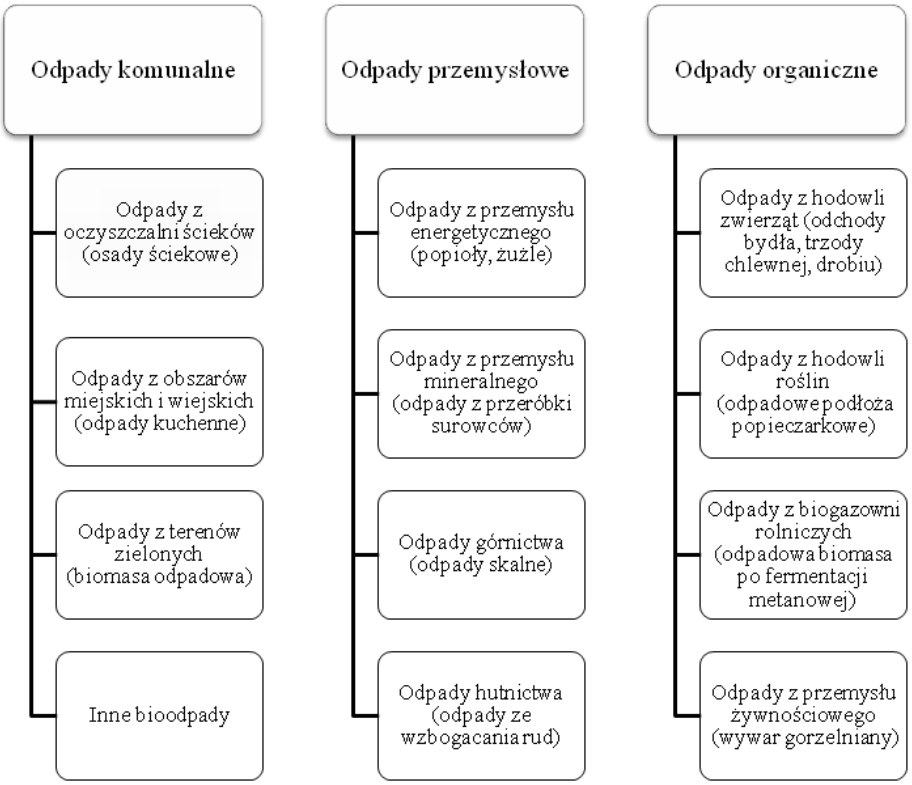
Lista odpadów, które mogą być wykorzystywane przyrodniczo jest obszerna, a niektóre z nich są trudne do jednoznacznej klasyfikacji. Do odpadów użytecznych ekologicznie zalicza się między innymi [2, 14]: odpady organiczne, mineralno-organiczne, mineralne, odpady pochodzenia biologicznego, geologicznego i przemysłowego. Przydatność odpadów ocenia się natomiast na podstawie ich parametrów fizykochemicznych i biologicznych, a także na podstawie możliwości i stopnia ich modyfikacji na potrzeby konkretnej metody zagospodarowania [14].

Odpady komunalne generowane są w gospodarstwach domowych i z reguły nie zawierają związków niebezpiecznych. Pochodzą z terenów miejskich i wiejskich, mogą mieć postać stałą lub płynną i są efektem bytowania ludności, handlu, konsumpcji, oraz różnego rodzaju usług rynkowych [2]. Przykłady dla tej grupy stanowią osady ściekowe, bioodpady z miast i wsi oraz biomasa zebrana z obszarów zielonych.

Odpady przemysłowe powstają w wyniku działalności różnorodnych gałęzi przemysłu, począwszy od energetyki, poprzez przemysł mineralny, górnictwo, hutnictwo, kończąc na przemyśle drzewno-papierniczym. W tej grupie przykłady stanowią: popioły i żużle, odpady budowlane, odpady z przetwarzania surowców mineralnych, odpady skalne, odpady ze wzbogacania rud czy też trociny, odpady z kory i drewna.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rysunek 1 przedstawia poglądowy podział odpadów stosowanych na cele nieprzemysłowe, dokonany ze względu na ich pochodzenie [2].



Rys.1. Podział odpadów wykorzystywanych na cele nieprzemysłowe (opracowanie własne na podstawie [2])

Odpady organiczne związane są z wszelką działalnością rolną i przetwórstwem płodów rolnych [11]. Za przykłady takich odpadów podano odchody bydła, trzody chlewnej, drobiu z hodowli zwierząt, odpadowe podłoża pieczarkowe z uprawy roślin, odpadową biomasę metanową czy wywar gorzelniany.

Każdą z wyróżnionych grup odpadów charakteryzują różne właściwości fizykochemiczne. Odpady przemysłowe w zależności od rodzaju produkcji, w której są generowane, mogą wykazywać silnie kwasowy (np. fosfogipsy) lub silnie zasadowe pH (np. w przypadku popiołów), niską zawartość wilgoci, sypkość czy ziarnistość (np. w przypadku rozdrobnionego gruzu i betonu). Natomiast odpady komunalne i odpady z rolnictwa charakteryzuje zazwyczaj wysoka zawartość substancji organicznej (30-50%) [2]. Wszystkie odpady zasadniczo różnią się między sobą również składem elementarnym. Mogą zawierać zarówno pierwiastki korzystne, takie które stymulują wzrost roślin [6]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

i posiadają właściwości glebotwórcze oraz niekorzystne, w szczególności metale ciężkie (np. Cd, Cu, Zn, Pb). Przenikanie niepożądanych składników zawartych w odpadach stosowanych przyrodniczo, zależy od zachodzących interakcji fizykochemicznych odpadu ze środowiskiem glebowym. Jednym z takich oddziaływań jest stopień rozpuszczalności związków zawartych w odpadach, uwarunkowany rodzajem powstających wiązań chemicznych odpadu z materią organiczną lub nieorganiczną podłoża. Jeżeli rozpuszczaniu ulegają związki pożądane, wówczas wzrasta wartość nawozowa aplikowanego materiału; jeżeli natomiast podatne na wymywanie są związki niekorzystnie wpływające na jakość podłoża, wiąże się to z ryzykiem działania toksycznego i hamującego rozwój roślinności, a nawet przeniknięciem zanieczyszczeń do wód gruntowych. Ważne jest, aby wykorzystanie odpadów, odbywało się z korzyścią dla społeczeństwa i przyrody (zagospodarowanie odpadów) oraz gospodarki (materiały nawozowe i rekultywacyjne), przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa środowiska, na którym są stosowane [2]. Dlatego nawożenie odpadami, bądź rozprowadzanie odpadów w jakimkolwiek innym celu przyrodniczym, musi być odpowiednio kontrolowane pod względem ich jakości i ilości [13].

Zdecydowanie największe trudności w gospodarce odpadami stanowi grupa odpadów przemysłowych. Wśród tej grupy znajdują się jednak takie odpady, które potencjalnie mogą nadawać się do przyrodniczego wykorzystania, chociażby do ukształtowania warstwy glebotwórczej w technicznej rekultywacji terenów pokopalnianych, a nawet biologicznej rekultywacji gruntu [14]. Taki potencjał dostrzeżono w grupie odpadów przemysłowych z przeróbki surowców, a dokładnie fosfogipsach z produkcji nawozów fosforowych.

2. Fosfogips – korzyści i zagrożenia w zagospodarowaniu

Fosfogips jest odpadem, powstającym przy produkcji ekstrakcyjnego kwasu fosforowego, który wykorzystywany jest m.in. do produkcji nawozów fosforowych [10]. Podstawowym składnikiem fosfogipsu jest dwuwodny siarczan wapnia, który nie wywiera negatywnego wpływu na środowisko pod warunkiem, że nie jest zanieczyszczony innymi składnikami, np. związkami fosforu przetworzonego na niecałkowicie usunięty kwas ortofosforowy, związkami fluoru, krzemu, magnezu, glinu, chloru, siarki oraz metalami ciężkimi, lantanowcami czy radionuklidami [3]. Jak podają źródła literaturowe zanieczyszczenie fosfogipsu metalami ciężkimi i pierwiastkami promieniotwórczymi dotyczy przede wszystkim odpadu otrzymywanego w wyniku przeróbki fosforytów, w znikomym stopniu odnosi się do odpadu uzyskiwanego z apatytu [3]. Szacuje się, iż światowa ilość wytwarzanego

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

fosfogipsu wynosi około 100 - 280 mln Mg rocznie [17]. W Polsce problem odpadowego fosfogipsu jest obecny m.in. w Policach, Wizowie oraz Wiślince (okolice Gdańska).

Zagospodarowanie fosfogipsu jest problematyczne ze względu na obecne w nim zanieczyszczenia, a jego oczyszczanie jest energochłonne i wiąże się z produkcją znacznych ilości ścieków. Do tej pory główną metodą zagospodarowania fosfogipsu było jego składowanie na hałdach. Działanie to po dziś dzień wzbudza jednak wiele kontrowersji, ze względu na skutki środowiskowe, jakie niesie za sobą deponowanie na zwałowiskach tego typu odpadu w tak dużych ilościach. W licznie przeprowadzanych ekspertyzach wykazano bowiem, że składowany na hałdach fosfogips może stanowić realne zagrożenie dla równowagi środowiska gruntowo-wodnego, które wynika głównie z nieskutecznego zabezpieczenia składowisk [18]. Przeprowadzone przez Trokowicz [18] badania składowiska fosfogipsu w Wiślince dowodzą, że powstające na hałdach odcieki wykazują bardzo niskie pH (2-4), a także podwyższone koncentracje fosforanów, fluorków, siarczanów i azotanów, pierwiastków metali ciężkich/metaloidów (głównie Cd) oraz nuklidów promieniotwórczych. Zanieczyszczenia te, przedostając się do środowiska gruntowo-wodnego, mogą przyczyniać się do zmiany lokalnych warunków fizykochemicznych powierzchniowych cieków wodnych, a także stanowić zagrożenie dla jakości wód podziemnych. Ze względu na zawartość metali ciężkich/metaloidów odcieki z hałd stanowią również istotne zagrożenie dla jakości środowiska glebowego. Jak podaje Trokowicz [18] analiza chemiczna gleby, pobranej z terenów przylegających do składowiska jednoznacznie wykazała występowanie zjawiska migracji zawartych w odpadach zanieczyszczeń z terenu składowiska na obszary z nim sąsiadujące. Ryzykiem związanym z niekontrolowanym przemieszczaniem się pierwiastków metali ciężkich/metaloidów jest również możliwość ich akumulacji przez rośliny, a tym samym włączenie do łańcucha pokarmowego. Odnośnie zagrożenia ze strony obecnych w fosfogipsie pierwiastków promieniotwórczych nie wykazano występowania realnego zagrożenia dla środowiska w najbliższym sąsiedztwie hałdy.

Zagrożenia, wynikające ze składowania fosfogipsu na zwałowiskach odkrytych wymagają ciągłego poszukiwania innowacyjnych metod zagospodarowania tego typu odpadów. Fosfogips jako surowiec może być bowiem wykorzystany w wielu dziedzinach gospodarki, na przykład do produkcji materiałów budowlanych, w budownictwie drogowym, w chemii (produkcja siarki elementarnej i kwasu siarkowego) [10]. Znane są również przypadki wykorzystania fosfogipsu w celach przyrodniczych – np. do poprawy parametrów niektórych materiałów rekultywacyjnych [3]. Źródła literaturowe podają także, że w niektórych krajach odpady z przemysłu związków fosforowych są wykorzystywane w rolnictwie [1], a ich wpływ na środowisko

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

oceniany jest jako pozytywny [5]. Na uwagę zasługuje fakt, iż fosfogipsy zawierają pewne ilości korzystnych dla roślin składników pokarmowych (przede wszystkim fosforu), co może pozytywnie wpływać na czynniki warunkujące ich rozwój. W związku z tym, zezwolenie na stosowanie fosfogipsu do uprawy roli (Brazylia) [8], nie powinno wykluczyć go także do wykorzystania w rekultywacji terenów zdegradowanych [14] lub jako komponentu w nawozach mineralno-organicznych [7].

Wzrost zainteresowania badaniami nad zagospodarowaniem fosfogipsu obserwowany jest również w Polsce [3, 4, 15], co zwiększa szanse na opracowanie innowacyjnej i niezawodnej metody jego przetwarzania w potencjalny surowiec. W przypadku zastosowań przyrodniczych bezpieczne wprowadzenie fosfogipsu do środowiska, wymaga wcześniejszego przeprowadzenia szeregu testów fizykochemicznych i optymalizacji parametrów komponowanego materiału, w celu doświadczalnego wykluczenia lub eliminacji jego negatywnego wpływu na środowisko.

3. Metodologia

Analizie laboratoryjnej poddano zarówno poszczególne komponenty materiału, jak i utworzone dwa kompozyty wstępne (tabela 1). Składniki materiału rekultywacyjnego stanowiły takie odpady, jak: fosfogips (06 09 80), ustabilizowane komunalne osady ściekowe (19 08 05), gleba, ziemia i kamienie, inne niż wymienione w 17 05 03 (17 05 04) oraz mieszanina popiołu lotnego i odpadów stałych z odsiarczania gazów spalinowych na bazie wapnia (10 01 82). Składniki oznaczono symbolami: "F" (fosfogips), "O" (osad), "P" (popiół), "Z" (ziemia); a ich mieszanki zestawieniem symboli "FOP" i "FOZ" odpowiadającymi ich zawartości. Każdemu rodzajowi odpadów odpowiada podany w nawiasie kod odpadów, zgodnie z Europejskim Katalogiem Odpadów i Listą Odpadów Niebezpiecznych.

Wybrane komponenty i kompozyty materiału rekultywacyjnego (opracowanie własne)

Tabela 1

Nazwa odpadu	**Kod odpadu**
Osad ściekowy (O)	19 08 05
Fosfogips (F) Popiół (P)	06 09 80 10 01 82
Ziemia (Z)	17 05 04
Symbol kompozytu	**Kody składników**
FOP	06 09 80; 19 08 05; 10 01 82
FOZ	06 09 80; 19 08 05; 17 05 04

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Utworzony materiał rekultywacyjny ma w założeniu spełniać wybrane parametry krytyczne, do których należą przede wszystkim: pH (ze względu na wymagania prawne i zapewnienie odpowiednich warunków biologicznych podłoża), fitotoksyczność (aby określić procent inhibicji/stymulacji dla roślin) oraz wilgotność całkowita (w celu nadania mieszance odpowiedniej sypkości i uzyskać konsystencję glebo-podobną). Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego*, poziom pH mieszanki powinien mieścić się w przedziale między 6,5 – 9, natomiast optymalna zawartość wilgoci, warunkująca sypkość i lepkość, powinna zawierać się między 10 - 40%.

Metoda oznaczania wartości pH polegała na przygotowaniu wyciągu wodnego próbki w stosunku materiału do zastosowanego reagenta 1:5. Zgodnie z normą PN - ISO 10390:1997 do przygotowania wyciągu, użyto wody o przewodności elektrolitycznej właściwiej < 0,2 mS/m i o pH nie większym niż 5,6. Oznaczenie wykonano za pomocą pehametru ELMETRON CP-505. Określenie zawartości wilgotności całkowitej oparto natomiast na procentowym ubytku masy substancji stałej, suszonej w temperaturze 105°C ± 5°C. Wynik pomiaru był średnią arytmetyczną z trzech równoległych oznaczeń, które nie różnią się od siebie o więcej niż 0,5, zgodnie z normą PN - Z - 15008 - 02 : 1993.

Oznaczenie fitotoksyczności wykonano w oparciu o *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 maja 2004 r. w sprawie warunków, w których uznaje się, że odpady nie są niebezpieczne (Dz. U. nr 128, poz. 1347)*. Celem badania było wstępne określenie, czy odpad wykazuje aktywność cytotoksyczną na rzeżusze ogrodowej Lepidium sativum L. i polegało na obserwacji reakcji organizmów testowych umieszczonych w badanych wyciągach wodnych z potencjalnego materiału rekultywacyjnego.

4. Wyniki

Celem badań była ocena wybranych parametrów materiału rekultywacyjnego z wykorzystaniem fosfogipsu i weryfikacja wpływu niewielkich ilości fosfogipsu na środowisko. Dobór składników materiału o docelowym zastosowaniu przyrodniczym miał także na celu wykorzystanie odpadów przemysłowych i komunalnych, powstających w największych ilościach i stwarzających zasadnicze problemy w ich zagospodarowaniu według Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2014, lecz charakteryzujących się właściwościami nawozowymi (osad) lub glebotwórczymi (popiół paleniskowy).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Należy zaznaczyć, że parametry poszczególnych składników cechuje pewna zmienność, która warunkuje ostateczną postać mieszanki. Na przykład zawarta w komponentach wilgotność bezpośrednio przekłada się na sypkość produktu końcowego. Podatność materiału do zlepiania i zbrylania zwiększa się wraz z zawartością wilgoci. Komponentem warunkującym sypkość mieszanki jest osad ściekowy, którego wilgotność waha się w zakresie od 40,9% do 88,9%, w zależności od uwodnienia osadów w danej oczyszczalni, w danym dniu i w momencie poboru próbki. Skład elementów wejściowych (szczególnie osadu) jest niepowtarzalny i wymaga optymalizacji. Niniejsza analiza dotyczy próbek stałych parametrycznie.

Udziały komponentów (dla FOP (%): 40:40:20; dla FOZ (%): 12,5:30:57,5) oszacowano tak, aby zapewnić sypkość mieszanek, z zachowaniem powtarzalności dla parametrów wejściowych - przyjęto stałe składniki wejściowe na podstawie próbek pochodzących z jednego źródła.

W tabeli 2 przedstawiono otrzymane wyniki najważniejszych pomiarów dla poszczególnych komponentów i sporządzonych mieszanek trzyskładnikowych FOP i FOZ.

Wybrane parametry krytyczne dla sporządzenia mieszanki rekultywacyjnej (opracowanie własne)

Tabela 2

Parametry komponentów			
Składnik	**pH**	**Wilgotność %**	**Toksyczność %**
O	6,6	40,9	31,4
F	2,9	39,4	62,2
P	11,1	0,01	99,0
Z	8,4	10,7	51,2
Parametry mieszanek			
FOP	11,9	41,8	99,4 (inhibicja)*
FOZ	7,4	48,7	14,7 (stymulacja)*

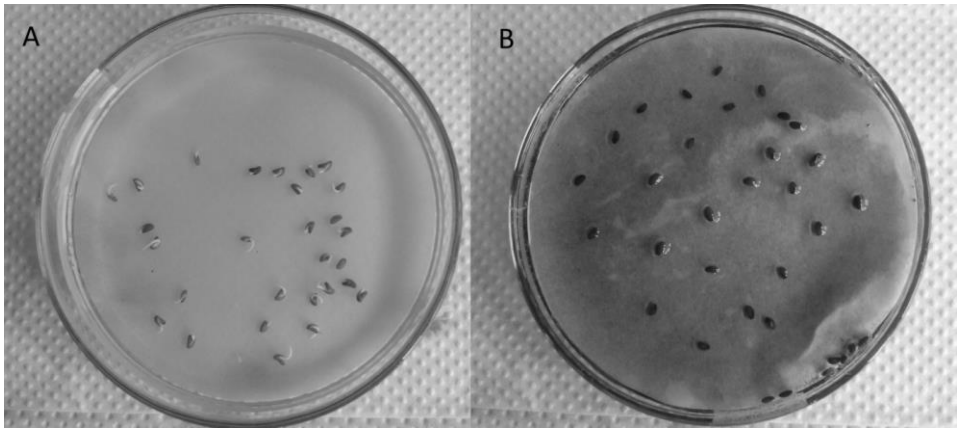
**inhibicja zachodzi powyżej 50%, stymulacja zachodzi poniżej 50%.*

Wyniki wykazały, że mieszanina zawierająca popiół była sypka, ale charakteryzowała się wysoko zasadowym pH 11,9 i spowodowała wyraźną inhibicję nasion rzeżuchy. Nasiona w ciągu 24 godzin kontaktu z mieszanką pociemniały, a ich wzrost był całkowicie zahamowany na wszystkich

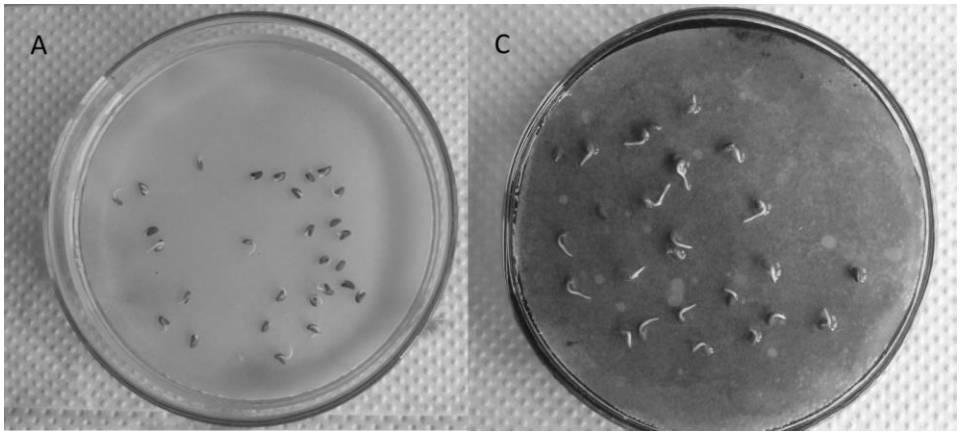
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

powtórzeniach (rys. 2.). Przyczyną zmiany koloru ziaren była najprawdopodobniej obecność metali ciężkich w popiele.

Połączenie trzech składników FOP miało na celu próbę wspólnego zagospodarowania trzech odpadów i sprawdzenia, w jakim stopniu kwaśny fosfogips może obniżyć odczyn mieszaniny. Wcześniejsze badania własne dowiodły, że nawet niewielka ilość popiołów lotnych (9%) rzutuje na odczyn mieszanek końcowych, które cechował odczyn w zakresie od 11,1 do 12,9, oddziałujący za każdym razem inhibitująco. Obecność fosfogipsu również nie niweluje niekorzystnego odczynu mieszanki i nie wskazuje na to, aby mogły zachodzić jakiekolwiek interakcje międzyskładnikowe poprawiające właściwości mieszanki.



Rys.2. Wyniki testu fitotoksyczności na rzeżusze ogrodowej Lepidium sativum L;
A - Próba kontrolna, B - Podłoże eksperymentalne FOP



Rys.3. Wyniki testu fitotoksyczności na rzeżusze ogrodowej Lepidium sativum L;
A - Próba kontrolna, C - Podłoże eksperymentalne FOZ

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Ze składu mieszanki FOZ wykluczono popiół i zastąpiono bardziej naturalnym składnikiem w postaci ziemi. Mimo, iż sam fosfogips nie wpływa stymulująco na wzrost nasion (kwaśne pH), to w połączeniu z osadem i ziemią materiał FOZ charakteryzował się blisko neutralnym odczynem 7,4 i wpłynął zdecydowanie stymulująco na wzrost nasion rzeżuchy (rys. 3.).

Otrzymany materiał o zawartości wilgoci 48,7% charakteryzowała lepkość i tendencje do zbrylania, co wymaga dalszej optymalizacji. Zaobserwowany pozytywny wpływ połączenia mineralno-organicznego osadu z fosfogipsem wart jest dalszej uwagi i podjęcia kolejnych badań dotyczących nie tylko ustalenia optymalnej dawki fosfogipsu, w której nasiona będą stymulowane do wzrostu, ale także wytypowania analiz chemicznych, wykluczających inne zagrożenia ze strony wykorzystywanego materiału (np. zawartość radionuklidów i metali ciężkich).

5. Podsumowanie i wnioski

W obliczu danych, dotyczących produkcji fosfogipsu niezwykle istotnym jest stworzenie spójnych i logicznych ram, pozwalających na bezpieczne zagospodarowanie tego typu odpadu. Jedną z możliwości wykorzystania odpadowego fosfogipsu jest zastosowanie go do celów nieprzemysłowych – na przykład jako mieszanki rekultywacyjnej na terenach zdegradowanych w wyniku działalności człowieka. Przeprowadzone badania wstępne wykazały, że fosfogips w połączeniu z osadem ściekowym wpływa wysoce stymulująco na wzrost nasion rzeżuchy ogrodowej w teście fitotoksyczności, a jego obecność zapewnia produktowi końcowemu neutralny odczyn. Uzyskane rezultaty wyznaczają dalsze kierunki badań dotyczące weryfikacji zawartości/wymywalności metali ciężkich, zawartości radionuklidów oraz optymalizacji udziałów komponentów, zapewniającą sypkość mieszanki i jak największy procent zagospodarowywanego fosfogipsu. Przeprowadzone analizy wstępne kwalifikują fosfogips do zagospodarowania przyrodniczego.

Literatura

1. Abril J.M., Garcia-Tenorio R., Perianez R., Enamorado S.M., Andreu L., Delgado A.: Occupational dosimetric assessment (inhalation pathway) from the application of phosphogypsum in agriculture in South West Spain. Journal of Environmental Radioactivity 100 (1) (2009).
2. Baran S., Łabętowicz J., Krzywy E.: Przyrodnicze wykorzystanie odpadów. Podstawy teoretyczne i praktyczne. PWN. Warszawa 2011.
3. Biegańska J., Piątkowska E., Pala A.: Technologie zagospodarowania odpadów z procesów przeróbki surowców fosforowych [w]: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność. Instytut Techniki Górniczej KOMAG. Gliwice 2013.

4. Cichy B., Jaroszek H.: Phosphogypsum management. World and Polish practice. Przemysl Chemiczny 92 (7) (2013).
5. Dias N.M.P., Caires E.F., Pires L.F., Bacchi M.A., Fernandes E.A.N.: Radiological Impact of Phosphogypsum Application in Agriculture [w]: VIII Latin American Symposium on Nuclear Physics and Applications. American Institute of Physics. Melville 2010.
6. Gondek K., Filipek-Mazur B.: Ocena efektywności nawożenia osadami ściekowymi na podstawie plonowania roślin i wykorzystania składników pokarmowych. Acta Scientiarum Polonorum 5 (1) (2006).
7. Hoffmann J., Hoffmann K.: Badania nad możliwościami wykorzystania w nawozach mineralno-organicznych odpadów z zakładu związków fosforowych. Proceedings of ECOpole 3 (2) (2009).
8. Knupp E.A.N., Silva C.G.B., De Oliveira K.A.P., De Amorim F.R., Siqueira M.C., Taddei M.H.T., Franco M.B., Palmieri H.E.L., Jacomino V.M.F.: Radionuclide, Metal and Non-metal Levels in Percolated Water from Soils Fertilized with Phosphogypsum. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 299 (1) (2014).
9. Korban Z.: Problem odpadów wydobywczych i oddziaływania ich na środowisko, na przykładzie zwałowiska nr 5A/W-1 KWK "X". Górnictwo i Geologia 6 (1) (2011).
10. Nowak W.: Rekultywacja biologiczna hałdy fosfogipsu w zakładach chemicznych "Wizów" S.A. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu 545 (2006).
11. Rosik-Dulewska C.: Podstawy gospodarki odpadami. PWN. Warszawa 2010.
12. Rosik-Dulewska C., Karwaczyńska U., Ciesielczuk T., Głowala K.: Możliwości nieprzemyslowego wykorzystania odpadów z uwzględnieniem zasad obowiązujących w ochronie środowiska. Rocznik Ochrona Środowiska 11 (61) (2010).
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego,
14. Siuta J.: Odpady w rekultywacji gruntów. Inżynieria Ekologiczna 19 (2007).
15. Szczygiel I., Jagoda Z.: Phosphogypsum. The possibilities of the use. Przemysl Chemiczny 92 (6) (2013).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

16. Szlagowski A.: Zmiany środowiska przyrodniczego spowodowane działalnością górniczą w monitoringu regionalnym i lokalnym. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego (1) (1993).
17. Tayibi H., Choura M., López F.A., Alguacil F.J., López-Delgado A.: Environmental impact and management of phosphogypsum. Journal of Environmental Management 90 (8) (2009).
18. Trokowicz D.: Wpływ hałdy fosfogipsów i sposobu jej „rekultywacji" na środowisko i eutrofizację Zatoki Gdańskiej. Raport.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

…firma Aventics GmbH powstała w 2014 roku w wyniku oddzielenia Rexroth Pneumatics od macierzystej firmy Bosch Rexroth. Bazując na technicznej perfekcji oraz doświadczeniu rynkowym grupy Bosch, spółka Aventics (nazwa pochodzi od połączenia słów Advantage, Invention i Pneumatics) może z dużymi nadziejami patrzeć w przyszłość. Jej siedzibą jest Laatzen koło Hanoweru w Niemczech. Szeroki asortyment wyrobów obejmuje przede wszystkim systemy zaworowe, zawory wielodrogowe, zawory prądowe i odcinające, zawory regulacji ciśnienia, cylindry tłoczyskowe i beztłoczyskowe, przyłącza magistrali, technikę manipulacyjną i próżniową oraz technikę połączeń pneumatycznych i elektrycznych. Nowa firma zatrudnia ogółem 2100 pracowników. Oprócz Niemiec ma swoje oddziały we Francji, na Węgrzech, w Chinach i USA. Więcej informacji można znaleźć na stronie www.aventics.com/us

Hydraulics & Pneumatics 2014 nr 4 s.10

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wybrane zagadnienia odzyskiwania miedzi z materiałów wtórnych, w tym ze zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego ZSEE

Andrzej Jarosiński, Marcin Cholewa – Intytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

1. Wprowadzenie

W sprawozdaniu zespołu ITRE Parlamentu Europejskiego w sprawie skutecznej strategii europejskiej w obszarze bezpieczeństwa surowcowego z dnia 25 lipca 2011 r. wzywa się Komisję do określenia kierunków badań i innowacji w zakresie zrównoważonych metod, wydobycia oraz przetwórstwa surowców mineralnych, cyklów życia produktów i ich recyklingu itp. Celem nadrzędnym jest więc poprawa efektywności surowców mineralnych i ich substytucję materiałami wtórnymi przy zachowaniu wysokich standardów ekologicznych. Dotyczy do w dużej mierze wtórnych materiałów metali nieżelaznych, ponieważ produkcja tych metali przyczynia się na ogół do zmniejszenia energochłonności procesów wytwórczych tych metali. Przykładowo w tabeli 1 podano energochłonność dla wytwarzania miedzi z różnych surowców.

Energochłonność wytwarzania miedzi (źródła własne)

Tabela 1

Przetwarzany materiał miedzionośny	Energochłonność [GJ/Mg]
Rudy siarczkowe miedzi	140
Złom miedzi (98%Cu)	5
Złom miedzi (95% Cu)	21
Złom niskomiedziowy (60%)	50

Z powyższych danych wynika, że procesy wytwarzania miedzi z miedzionośnych materiałów wtórnych są znacznie mniej energochłonne niż procesy wytwarzania miedzi z surowców naturalnych. Dodatkową zaletą tych procesów jest wyraźna poprawa w zakresie ochrony środowiska.

W ostatnim dziesięcioleciu w krajach UE obserwuje się duże zainteresowanie odzyskiem metali i innych składników z zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE). Potwierdzają to dane zamieszczone w pracach [1, 3]. W artykułach tych odniesiono się także do uwarunkowań prawnych, rynkowych i technologicznych funkcjonowania firm w zakresie recyklingu i odzysku surowców nieenergetycznych z ZSEE. W tabeli 2 przedstawiono dane o strukturze firm zajmujących się obrotem SEE w kraju.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Liczba i struktura przedsiębiorstw zajmujących się obrotem SEE w Polsce w 2012 i 2013 r. (źródło: opracowanie własne na podstawie: [10, 11], stan na dzień 23.10.2013 r.).

Tabela 2

Stan na dzień	Przedsiębiorcy prowadzący					
	wprowadzenie SEE	odzysk	zbiórkę	przetwarzanie	inne niż recykling procesy odzysku	procesy recyklingu
31.12.2012	5 160	9	11 494	172	13	110
23.10.2013	5 423	9	12 550	178	12	115
Różnica	**+263**	**0**	**+1 056**	**+6**	**-1**	**+5**

Szacuje się, że krajowy rynek recyklingu jest rozdrobniony (115 firm recyklingowych), co nie może zapewnić odpowiedniej skali przetwarzania ZSEE, ponieważ o przydatności do produkcji zarówno surowców naturalnych, jak i odpadów decydują takie kryteria jak:

- technologiczne (właściwości surowców –skład mineralno-chemiczny itp.),
- ekonomiczno-techniczne (zasoby odpadów i możliwości ich dostaw, techniczne uwarunkowania z zastosowaniem odpadów itp.).

W opracowaniu tym skoncentrowano się na możliwościach odzyskiwania miedzi z materiałów wtórnych pochodzących zasadniczo z ZSEE na drodze hydrometalurgicznej. Uwzględniono aspekty technologiczne przeróbki ZSEE oraz opisano niektóre procesy ługowania wtórnych materiałów zawierających miedź. Podano sposoby otrzymywania produktów finalnych i ustosunkowano się do możliwości realizacji takich procesów w warunkach krajowych.

2. Wybrane aspekty technologiczne przeróbki ZSEE

Odzyskiwanie miedzi ze złomu miedzi i jej stopów jest coraz bardziej powszechne, gdyż znajduje to swoje uzasadnienie ekonomiczno-ekologiczne. Na początku tego wieku obserwuje się duże zainteresowanie recyklingiem i odzyskiwaniem metali, w tym miedzi, ze zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

W Polsce powstały liczne przedsiębiorstwa zajmujące się szeroko rozumianą utylizacją zużytego sprzętu elektronicznego i elektrycznego (sprzęt komputerowy i RTV itp.) (ZSEE), zużytego sprzętem AGD zarówno o dużych gabarytach, jak i małych itp., pod kątem recyklingu z jednoczesnym wskazaniem metod zagospodarowania wydzielanych frakcji. W wielu opracowaniach proponuje się różne metody przetwarzania w szczególności wydzielania frakcji metali nieżelaznych. W tabeli 2 zamieszczono strukturę przedsiębiorstw zajmujących się obrotem sprzętu elektrycznego i elektroni-

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

cznego SEE. Z pracy [12, 13] wynika, że krajowy rynek recyklingu ZSEE jest w fazie rozwoju i wczesnego wzrostu przy jednoczesnym dużym rozdrobnieniu.

Recykling czy też zagospodarowanie wymaga w pierwszym rzędzie przekształcenia tych wtórnych materiałów w postać gwarantującą dalszą ich przeróbkę w sposób ekonomicznie opłacalny.

Przy kompleksowej przeróbce takiego typu odpadów zasadnicze procesy jednostkowe są poprzedzone takimi operacjami jednostkowymi, jak:

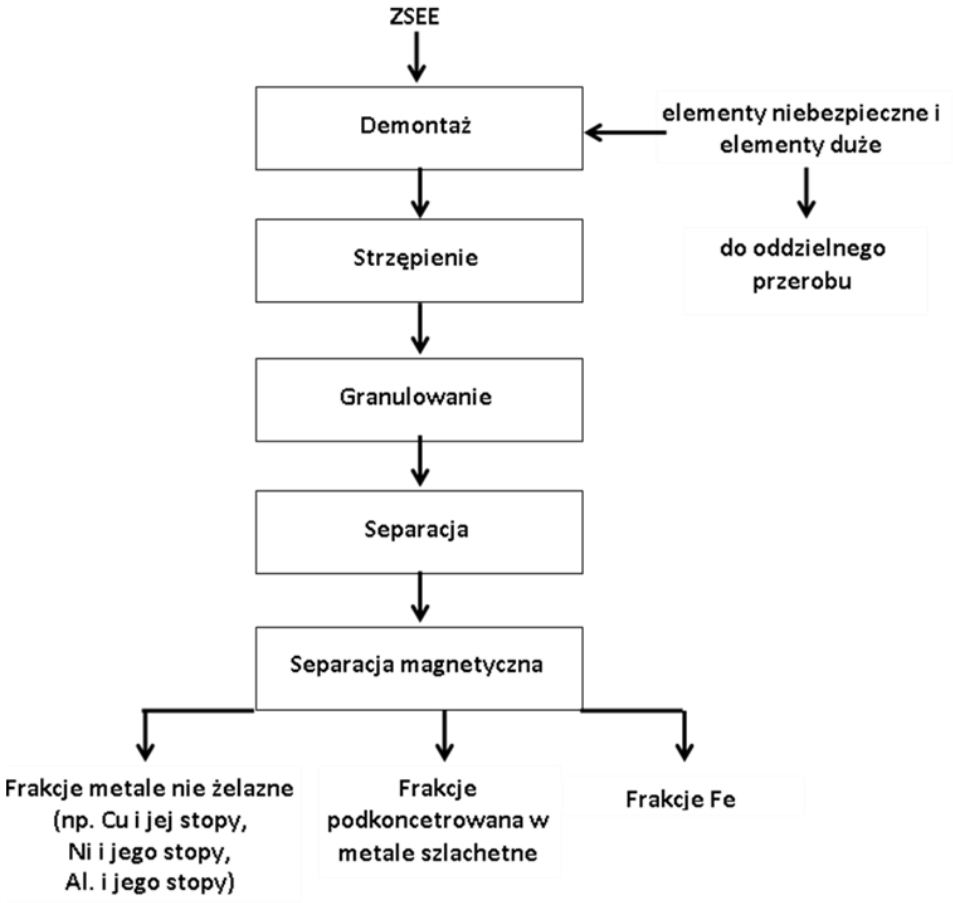
- demontaż,
- strzępienie (rozdrabnianie),
- granulowanie,
- selektywny rozdział poszczególnych składników.

Tok postępowania przy separacji poszczególnych składników z przerabianych materiałów odpadowych ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 1. Demontaż stanowi pierwszy etap przetwarzania ZSEE zezwalający na usuwanie nie tylko elementów niebezpiecznych, ale także innych np. niemetalicznych elementów obudowy. Takie wymontowane elementy, jak obudowy stalowe lub aluminiowe mogą już stanowić materiał o cechach użytkowych.

Kolejnym etapem jest strzępienie mające na celu przygotowanie materiału do separacji poszczególnych frakcji. Należy podkreślić, że na ogół metody wzbogacania mechanicznego są zaliczane do bardziej przyjaznych dla środowiska, niż metody chemiczne. Ponadto metody wzbogacania są tańsze od przetwarzania chemicznego. Zazwyczaj wydzielane frakcje stanowią wartościowy materiał do dalszej przeróbki chemicznej i pozwalają na poprawę efektywności wykorzystania składnika użytecznego w danym procesie technologicznym. Przykładowo kable po demontażu ZSEE mogą być poddane rozdrabnianiu a następnie poddawane separacji np. klasyfikacji hydraulicznej w celu wydzielania frakcji metalicznej. Przykładem takiego rozwiązania jest separacja miedzi od tworzywa izolacyjnego. Otrzymany granulat poddaje się separacji na przesiewaczach, separatorach magnetycznych itp. W rezultacie uzyskuje się frakcje metali nieżelaznych, frakcje zawierające żelazo oraz metali szlachetnych. Zazwyczaj frakcje te stanowią produkty handlowe lub są kierowane do dalszej przeróbki na drodze metalurgicznej.

Obecnie na świecie opracowywane są metody mające na celu poprawę efektywności odzysku poszczególnych składników z ZSEE przy zachowaniu wysokich standardów bezpieczeństwa i higieny pracy. Z tych też powodów przy czynnościach powtarzających przy ręcznym demontażu sprzętu wprowadza się automatyzację np. wykorzystanie robotów. Przykładem takich rozwiązań są linie demontażu monitorów LCD czy prototypowe instalacje demontażu sprzętu wielkogabarytowego takich, jak pralki lodówki itp.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Schemat poglądowy wydzielania frakcji z zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE) (źródło: opracowanie własne)

Alternatywnym rozwiązaniem przetwarzania ZSEE jest obróbka termiczna. W Polsce podjęto badania nad wykorzystaniem wysoko-temperaturowych procesów przetwarzania i utylizacji wybranych rodzajów ZSEE. Jednym z rozwiązań jest spalanie odpadów elektronicznych w reaktorze z pęcherzowym złożem fluidalnym [12, 13] czy w piecach plazmowych. Rozwiązania te zalicza się do innowacyjnych metod przeróbki ZSEE i są one szczególnie przydatne przy odzysku metali szlachetnych i pierwiastków ziem rzadkich.

3. Odzyskiwanie miedzi ze złomu i ZSEE

W praktyce przemysłowej do przeróbki złomu miedzi i powyższych frakcji wykorzystuje się metody ogniowe oraz hydrometalurgiczne. Na ogół

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zastosowanie sposobów hydrometalurgicznych odzyskiwania miedzi uważane jest jako metoda równoległa do ogniowych procesów przeróbki powyższego złomu. Przykładowo do odzyskiwania miedzi w USA preferuje się metody ogniowe. Przetwarzanie materiałów wtórnych zawierających miedź prowadzi się w konwertorach lub piecach anodowych. Szczególnie korzystne jest stosowanie takiego rozwiązania w przypadku, gdy złom zawiera metale szlachetne. W toku procesu przetwarzania złomu miedzi metale szlachetne przechodzą praktycznie do miedzi. Kolejny etap procesu technologicznego otrzymywania miedzi elektrolitycznej zapewnia nie tylko wytwarzanie miedzi o dużej czystości, ale także odzysk metali szlachetnych. Zarówno przeróbka złomu miedzi i jej stopów metodą ogniową, jak i hydrometalurgiczną jest łatwiejsza od przeróbki siarczkowych koncentratów miedzionośnych. Zaletą metod hydrometalurgicznych w stosunku do ogniowych jest zazwyczaj łatwiejsze wydzielanie składników stopowych czy mniejsza wrażliwość na zmianę składu chemicznego materiału wtórnego. Jak już sygnalizowano w tej pracy skoncentrowano się na hydrometalurgicznych metodach przetwarzania złomu, w tym ZSEE. Ponadto metody hydrometalurgiczne stosuje się w przypadku otrzymywania niektórych związków miedzi na przykład ich soli.

W skład chemiczny ZSEE wchodzą zarówno składniki metalonośne, jak i niemetaliczne a ich udział procentowy zależy od rodzaju przerabianego ZSEE. Do pierwszych grupy zalicza się przede wszystkim żelazo, miedź i jej stopy, aluminium itp., natomiast do drugiej tworzywa sztuczne, elementy ceramiczne czy szkło. Przykładowo udział frakcji niemetalicznej w odpadach sprzętu komputerowego i RTV waha się od 36,5 do 76%, natomiast w odpadach telekomunikacyjnych kształtuje się na poziomie 19-25% [7]. Oprócz frakcji niemetalicznej w warstwie luminescencyjnej znajdują się między innymi związki itru i europu czy składniki toksyczne, takie jak: związki chromu, kadmu, baru itp. Należy zaznaczyć, że itr i europ zaliczane są do surowców krytycznych.

Do odzyskiwania metali z ZSEE często stosuje się metody hydrometalurgiczne, które składają się z następujących etapów:

- ługowanie żądanego metalu z materiału wtórnego lub postulowanych składników z fazy stałej,
- oczyszczania roztworów po ługowaniu – idealnym rozwiązaniem byłoby otrzymywanie takiego roztworu, który nie wymagałby oczyszczania,
- otrzymywanie metalu lub półproduktu łatwego do dalszego przetwarzania na metal w postaci elementarnej. Produktem finalnym mogą być także połączenia chemiczne interesującego metalu.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przy wyborze czynnika ługującego do odzyskiwania miedzi z odpadowych materiałów, w tym ZSEE, decydują takie przesłanki, jak:

- selektywność ługowania miedzi lub interesujących składników z fazy stałej,
- odpowiednia szybkość roztwarzania miedzi i uzyskiwanie postulowanych stężeń metali w roztworach po ługowaniu,
- łatwość regeneracji,
- cena.

Należy silnie zaakcentować, że warunki ługowania determinują kolejne etapy procesu technologicznego i dlatego też postuluje się, aby następne etapy odzyskiwania miedzi na drodze hydrometalurgicznej cechowały się prostotą. Przykładowo na rysunku 2 podano schemat ideowy odzyskiwania miedzi z roztworów siarczanowych [5]. Doboru metod oczyszczania roztworów pochodzących z ługowania dokonuje się na ogół do konkretnych układów. Szereg metod przetwarzania złomu miedzi zamieszczono w pracy [8].

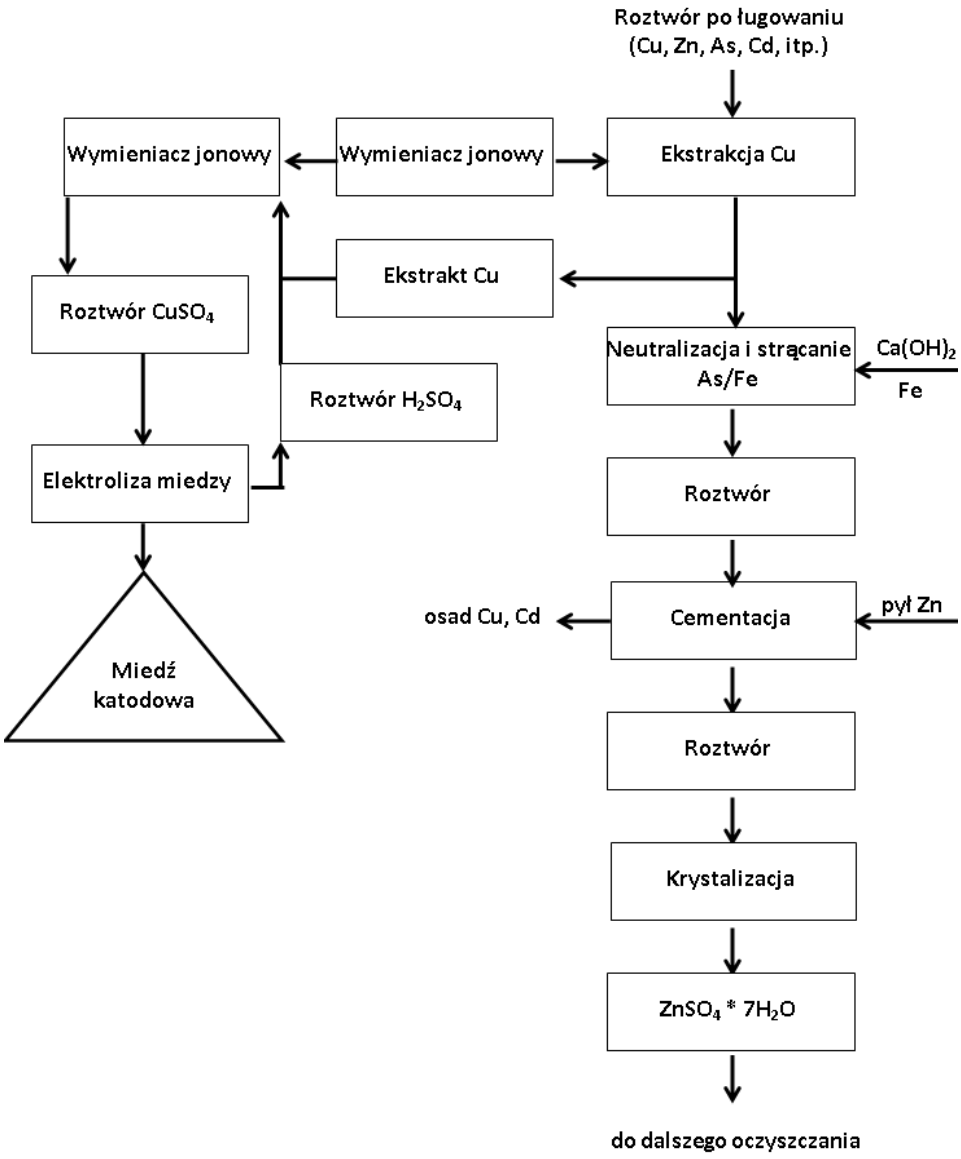
Jak już sygnalizowano, ostatni etap procesu hydrometalurgicznego sprowadza się do wydzielania miedzi w postaci metalicznej lub proszku miedzi. Wydzielanie miedzi metalicznej z roztworów realizuje się poprzez elektrolizę kwaśnych roztworów siarczanu miedzi lub redukcję wodnych roztworów siarczanu miedzi Cu (II) wodorem pod ciśnieniem i w podwyższonych temperaturach. Zaletą tych metod wydzielania miedzi jest ich wysoki stopień czystości miedzi metalicznej. W przypadku stężonych roztworów siarczanu miedzi Cu(II) preferuje się elektrolizę ze względu na wysoki stopień automatyzacji procesu i czystość produktu. W nowoczesnych instalacjach elektroliza miedzi jest poprzedzona metodami ekstrakcyjnymi pozwalającymi na przeprowadzenie jonów miedziowych do fazy organicznej, a następnie reekstrakcji z fazy organicznej do roztworu kwasu siarkowego. Powszechnie stosowaną metodą jest ekstrakcja miedzi (II) hydroksyoksymami z kwaśnych roztworów siarczanowych [2]. Na uwagę zasługuje fakt, że w przypadku dostatecznie wielkich różnic w wartościach stałych równowag można dokonać rozdziału niektórych składników np. miedź od cynku, czy miedź od niklu.

Znaną od wielu lat metodą strącania miedzi z roztworów jego soli np. siarczanu miedzi (II) jest cementacja pyłem cynkowym lub żelazem w postaci np. wiór. Jednakże w tym przypadku produkt finalny jest dość znacznie zanieczyszczony cynkiem lub żelazem. Na ogół miedź po cementacji wykorzystuje się do otrzymywania dużej czystości proszków miedzi z roztworów amoniakalnych. W przypadku wytwarzania związków miedzi strąca się ją w postaci żądanego związku poprzez zmianę pH roztworu, krystalizację lub dodatek odpowiedniego odczynnika strącającego.

Powszechnie do ługowania miedzi z materiałów wtórnych stosuje się jako czynnik ługujący roztwory kwasu siarkowego w obecności utleniacza.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W roztworach kwasu rozpuszczają się tylko takie metale, jak: Ni, Zn, Cd itp. oraz ich tlenki, w tym tlenki miedzi (II). Roztwarzanie miedzi metalicznej z tych materiałów wtórnych wymaga obecności utleniaczy. Wyjątek stanowią stężone roztwory kwasu siarkowego, w których miedź rozpuszcza się według reakcji:



Rys.2. Schemat ideowy odzyskiwania miedzi z roztworów siarczanowych po ługowaniu (źródło: opracowanie własne)

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

$$Cu + 2\,H_2SO_4 = CuSO_4 + SO_2 + 2\,H_2O$$

Zachowanie się metalu w roztworach kwasu siarkowego można określić z diagramów równowag elektrochemicznych E-pH dla układu metal – H_2O [9].

Rozważane metale nieszlachetne rozpuszczają się w roztworach kwasu siarkowego z depolaryzacją wodorową. W roztworach tych w obecności tlenu jako depolaryzatora nie wydziela się wodór. Przykładowo dla cynku proces taki opisuje reakcja:

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O$$

Należy uwzględnić także możliwość cementacji miedzi zgodnie z reakcją:

$$Zn + Cu^{2+} = Zn^{2+} + Cu$$

W osadzie pozostają związki ołowiu, srebra, cyny, złota itp. Metale te w tych warunkach nie roztwarzają się lub tworzą trudno rozpuszczalne związki np. $PbSO_4$, β –SnO_2.

Do odzyskiwania miedzi z wybranych elementów ZSEE można także stosować roztwory kwasu siarkowego z kwasem chromowym, roztwory kwasu siarkowego z wodą utlenioną, wodne roztwory amoniakalne.

Do selektywnych czynników ługujących należy zaliczyć amoniakalne roztwory, które w obecności tlenu w roli utleniacza roztwarzają miedź metaliczną. W toku ługowania takim czynnikiem do roztworu przechodzą jeszcze cynk, nikiel i kadm. W tych warunkach w osadzie pozostają między innymi srebro i ołów. Proces przechodzenia miedzi do roztworu opisuje reakcja sumaryczna:

$$Cu + 2\,NH_3 + 2\,NH^+_4 + 0{,}5\,O_2 = Cu(NH_3)_4^{2+} + H_2O$$

$$CuO + 2\,NH_3 + 2\,NH^+_4 = Cu(NH_3)_4^{2+} + H_2O$$

Szczególnie przydatnym czynnikiem ługującym jest roztwór węglanu amonu w obecności amoniaku i tlenu:

$$Cu + (NH_4)_2CO_3 + 2\,NH_3 + 0{,}5\,O_2 = Cu(NH_3)_4\,CO_3 + H_2O$$

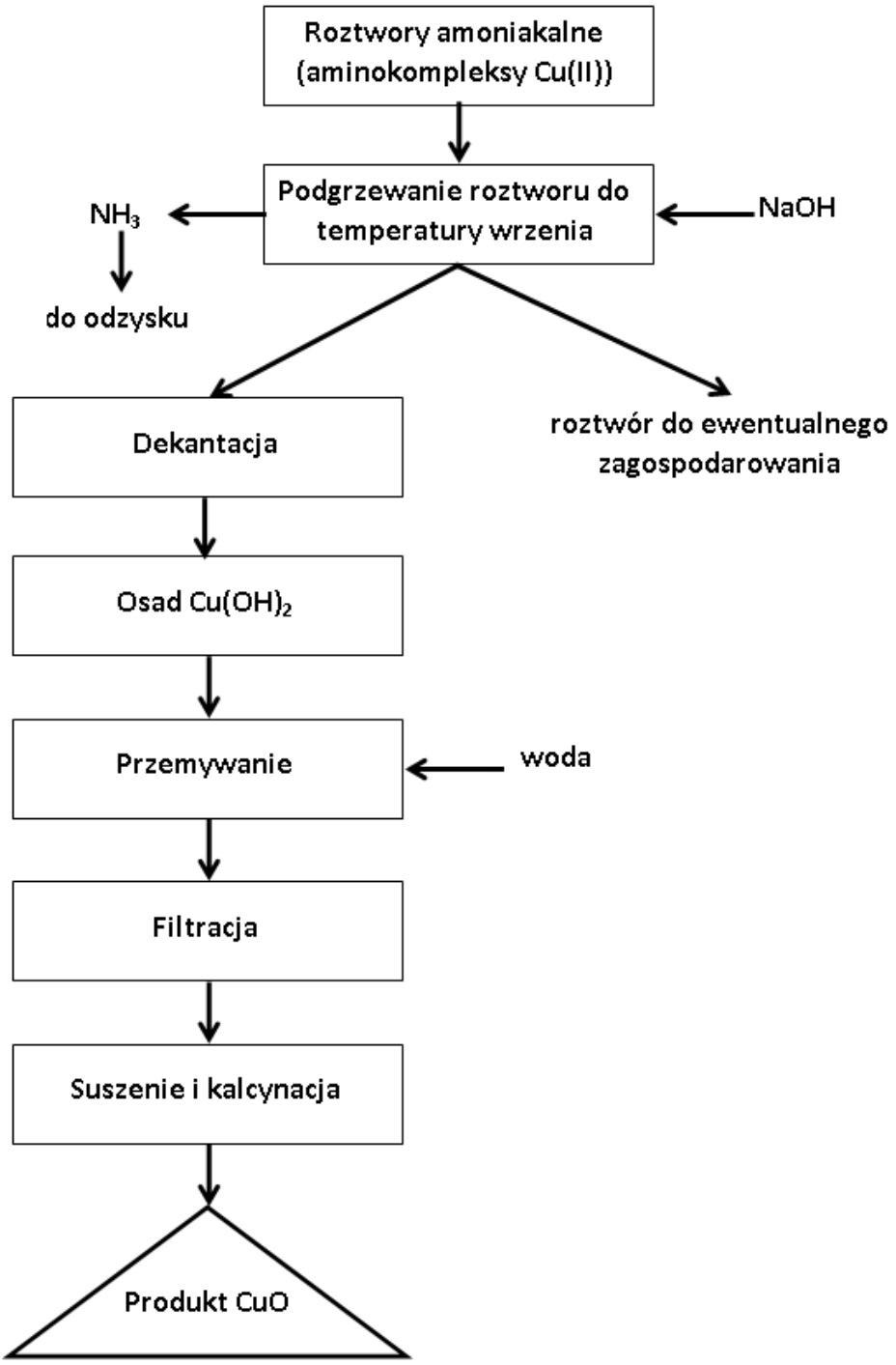
Z otrzymanego roztworu można usunąć cynę i inne zanieczyszczenia. Po odfiltrowaniu oczyszczony roztwór poddaje się redukcji wodorem pod ciśnieniem 600 kPa.

$$Cu(NH_3)_4\,CO_3 + H_2 = Cu + 4\,NH_3 + CO_2 + H_2O$$

Zasadniczą zaletą tej metody odzyskiwania miedzi jest możliwość regeneracji zarówno amoniaku, jak i ditlenku węgla.

Innym sposobem odzyskiwania miedzi z amoniakalnych roztworów otrzymanych podczas ługowania wtórnych materiałów jest rozkład węglanu czteroaminomiedziowego do tlenku miedzi (II) [4]. Schemat ideowy zamieszczono na rysunku 3.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.3. Schemat ideowy otrzymywania tlenku miedzi (II) z amoniakalnych roztworów z ługowania obwodów drukowanych (źródło: opracowanie własne)

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

$$Cu(NH_3)_4\,CO_3 = CuO + 4\,NH_3 + CO_2$$

Otrzymany produkt cechuje się dużą czystością i spełnia wymagania pigmentu dla przemysłu ceramicznego.

Również z amoniakalnych roztworów miedzi skompleksowanej istnieje możliwość otrzymywania miedzi poprzez elektrolizę. Jednakże metoda ta jest mało interesująca z techniczno-ekonomicznego punktu widzenia, gdyż proces jest technicznie trudny a wydajność prądowa niska.

Innym rozwiązaniem technologicznym może być jego rozpuszczanie w roztworze kwasu siarkowego w celu uzyskania roztworu siarczanu miedzi o dużej czystości.

Kolejnym przykładem sposobu odzysku miedzi z amoniakalnych roztworów miedzi jest ekstrakcja za pomocą ekstrahenta znanego pod nazwą LIX. Z roztworów tak otrzymanych można otrzymać miedź poprzez jego elektrolizę [9].

Z obwodów drukowanych miedź nożna usuwać zgodnie z reakcją sumaryczną:

$$Cu + [Cu(NH_3)_4]Cl_2 + 2NH_3 + 2\,NH_4Cl + 0{,}5\,O_2 = 2\,[Cu(NH_3)_4]\,Cl_2 + H_2O$$

Jednym z produktów ługowania mających znaczenie handlowe jest roztwór siarczanu miedzi (II) lub w postaci stałej jako $CuSO_4{\cdot}5H_2O$. Na proces technologiczny składają się następujące etapy: roztwarzania miedzi i krystalizacja. Pierwszy etap to roztwarzanie miedzi w kwasie siarkowym w obecności tlenu w temperaturze 90-95°C. Ze względów kinetycznych do roztwarzania stosuje się miedź granulowaną. Roztwór o stężeniu 150-160 g Cu/dm^3 i 30-40 g H_2SO_4/dm^3 kieruje się do krystalizatora pracującego w temperaturze 20-30°C. W wyniku czterogodzinnej krystalizacji politermicznej otrzymuje się kryształy $CuSO_4{\cdot}5H_2O$, które rozdziela się od roztworu w wirówkach. Taki ług jest zawracany do procesu roztwarzania miedzi. Otrzymany produkt finalny spełnia wymagania jakościowe (tab. 3).

Z innowacyjnych metod przeróbki złomu, w tym kabli miedzianych po demontażu ZSEE, należy wymienić wytwarzanie chelatów paszowych i nawozowych [6]. Chelaty to związki kompleksowe, w którym związek połączony jest z jonem metalu. Duże zainteresowanie tymi związkami wynika, między innymi, z ich właściwości, przykładowo natychmiastowej przyswajalności miedzi przez rośliny, doskonała rozpuszczalność, stabilność w szerokim zakresie pH itp.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wymagania jakościowe produktu – siarczanu miedzi (według wymagań KGHM Polska Miedź S.A.)

Tabela 3

Parametr	Zawartość
Postać	Drobne kryształy o ciemno niebieskiej barwie
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	≥ 98 %
Cu	≥ 24,9 %
Nikiel	< 0,02 %
Arsen	< 0,05 %
Żelazo	< 0,3 %
H_2SO_4	< 0,2 %
Substancje nierozpuszczalne	≤ 0,2 %

Pierwszym etapem procesu technologicznego jest wytwarzanie odpowiedniej soli miedzi. W przypadku czystej miedzi pochodzącej ze zużytych kabli roztwarza się ją roztworami kwasu siarkowego z dodatkiem perhydrolu jako utleniacza. Uzyskany roztwór siarczanu miedzi o dużej czystości (zawartość zanieczyszczeń ≤ 0,1mg/dm^3) zagospodarowuje się do produkcji dodatków paszowych lub nawozowych zawierających schelatowany składnik mineralno-organiczny. W przypadku innych wtórnych materiałów miedzionośnych wymagane jest staranne oczyszczanie roztworów siarczanowych od arsenu, kadmu itp. W zależności od zastosowania chelatów w niektórych przypadkach korzystna jest zawartość cynku w obecności miedzi w przerabianych roztworach. Miedź może być schelatowana na przykład przez EDTA znana na rynku pod nazwą Actipol EDTA Cu-15. Na rynku znajdują się również takie preparaty, jak Chelmax iL–chelaty wytwarzane na bazie aminokwasów pochodzących z hydrolizy białka soi czy Glister – chelat na bazie glicyny. Otrzymywanie chelatów wymaga stosowania soli miedzi o wysokiej czystości, którą zapewniają wcześniej opisane metody przeróbki hydrometalurgicznej złomu.

4. Podsumowanie

Przy obecnym stanie znajomości fizykochemii procesów hydrometalurgicznych i inżynierii chemicznej istnieją możliwości odzyskiwania poszukiwanych na rynku, takich metali jak szlachetnych, metali pierwiastków ziem rzadkich, metali nieżelaznych, z ZSEE. Z analizy danych zamieszczonych w tym opracowaniu wynika, że z ZSEE można już na etapie demontażu wstępnie wydzielić miedź. Kolejnym etapem separacji miedzi od pozostałych składników są mechaniczne metody rozdziału, których dobór uzależniony jest od charakterystyki materiału wtórnego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Kompleksowa przeróbka ZSEE oprócz metod separacji powinna uwzględniać przetwarzanie wybranych frakcji na drodze chemicznej. Zastosowanie metod hydrometalurgicznych do przetwarzania wybranych frakcji miedzionośnych z ZSEE umożliwia odzyskiwanie miedzi w postaci miedzi elektrolitycznej lub proszku tego metalu. W toku przetwarzania można podjąć działania nad odzyskiwaniem składników stopowych i towarzyszących.

Oprócz miedzi metalicznej można wytwarzać z tych odpadów różne związki chemiczne, głównie takie sole, jak: siarczan miedzi (II), azotan miedzi (II), węglan miedzi (II) itp. Wybór czynnika ługującego selektywnie miedź z omawianych odpadów zależy nie tylko od rodzaju przetwarzanej frakcji metalonośnej, ale także od postulowanego produktu finalnego. Z tych też względów stosuje się np. roztwory kwasu azotowego (V).

Ponadto Autorzy opracowania wykazali możliwości wytwarzania chelatów miedzi z ZSEE w warunkach krajowych. Należy zaznaczyć, że w Polsce została opracowana i wdrożona innowacyjna, unikalna metoda produkcji chelatów miedzi z wtórnych materiałów miedzionośnych.

Literatura

1. Baic I. i inni: Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny. Aspekty funkcjonowania systemu zagospodarowania ZSEE w Polsce i innych krajach europejskich oraz wybrane technologie przetwarzania odpadów elektrycznych i elektronicznych, publikacja przygotowana w ramach realizacji projektu pt: „Polsko-norweskie partnerstwo na rzecz transferu wiedzy w zakresie zagospodarowania zużytego sprzętu elektrycznego w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem województw: mazowieckiego i śląskiego, Warszawa 2011.
2. Cierpiszewski R.: Badania efektywności procesu ekstrakcji miedzi. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2003.
3. Cholewa M., Jarosiński A., Kulczycka J.: Możliwości pozyskiwania surowców nieenergetycznych z elektroodpadów w Polsce.
4. Jarosiński A.: Utilization of metalic waste from the zinc sulfate production, Polish Journal of Chemical Technology 6, 3, 21-24, 2004.
5. Jia-Jun, Rui-Yun Qui, Chia-Young Chen: Recovery of metal values from copper smelter flue dust, Hydrometallurgy, 12, 217-224, 1984.
6. Kazibut J., Ciura A., Malinowski Cz.: Odzysk metali z odpadów hutniczych pod kątem otrzymywania czystych składników wykorzystywanych do produkcji chylatów paszowych i nawozowych, IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych, Zakopane 16-18 maja 2007, s. 45-47.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

7. Kozłowski J., Czyżyk H.: Prognoza zbiórki oraz bilans ilościowy i wartość otrzymanych produktów z przerobu odpadów elektronicznych, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych", Zakopane 16-19 maja 2006, s. 28-37.
8. Kucharski M.: Recykling metali nieżelaznych, Wyd. AGH, Kraków 2010.
9. Łętowski F.: Hydrometalurgia krajowych surowców miedzi, Prace Naukowe Instytutu Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich Politechniki Wrocławskiej, 36 s. 12, Wrocław 1979.
10. Raport o funkcjonowaniu systemu gospodarki odpadami zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym w 2012 roku, GIOŚ, Warszawa, czerwiec 2013 r.
11. Rejestr przedsiębiorców i organizacji odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego, GIOŚ, stan na dzień 23.10.2013 r.
12. Woynarowska A. i inni: Spalanie odpadów elektronicznych w reaktorze z pęcherzowym złożem fluidalnym oraz proces ekstrakcji produktów w środowisku kwaśnym, Przemysł Chemiczny 91/5, 1-8, 2012.
13. Woynarowska A. i inni: Charakterystyka procesu spalania odpadów elektronicznych w reaktorze z pęcherzowym złożem fluidalnym, Przemysł Chemiczny 92/6, 997-1005, 2013.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

…w ofercie firmy Atlas Copco znajduje się szeroka gama kruszarek i maszyn kruszących. Jedną z nich jest mobilna kruszarka PC 4 na podwoziu gąsienicowym. Maszyna ta jest przeznaczona głównie do pracy w najtrudniejszych warunkach, w małych, średnich i dużych zastosowaniach. Unikalny Qattro Movement, powodujący wypiętrzenie płyty przerzutnikowej, sprawia, że szczęki kruszarki przesuwają się w płaszczyźnie cyfry 8. Umożliwia to zwiększenie ilości ładowanego surowca i powoduje wytworzenie dodatkowego ruchu kruszącego na wyjściu kruszarki. System CSS (Closed Side Setting) jest sterowany hydraulicznie za pomocą ruchomego klina, który zapewnia szybką i łatwą regulację. Kruszarka PC 4 może być wyposażona w klasyfikator sitowy, montowany na głównym podajniku. Duże obudowy GRP umożliwiają łatwy dostęp, co zwiększa komfort i szybkość obsługi serwisowej i konserwacji maszyny.

Powder & Bulk 2014 nr 3 s.20

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rozwój konstrukcji kruszarek udarowych – odśrodkowych

Jan Sidor - Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wprowadzenie

Procesy rozdrabniania – kruszenia realizowane są w dwóch głównych wariantach. Są to: qusistatyczne ściskanie pojedynczego ziarna materiału lub zbioru ziaren oraz dynamiczne uderzanie elementu roboczego kruszarki w swobodne ziarna materiału, względnie uderzanie rozpędzonych ziaren materiału o nieruchomy element roboczy lub rozpędzonych ziaren materiału o inne ziarna pozostające w spoczynku. Pierwszy wariant kruszenia zachodzi w kruszarkach szczękowych, stożkowych, walcowych i walcowo-szczękowych. Drugi natomiast w kruszarkach: młotkowych, bijakowych, odśrodkowych i wibracyjnych [1, 2, 3, 4].

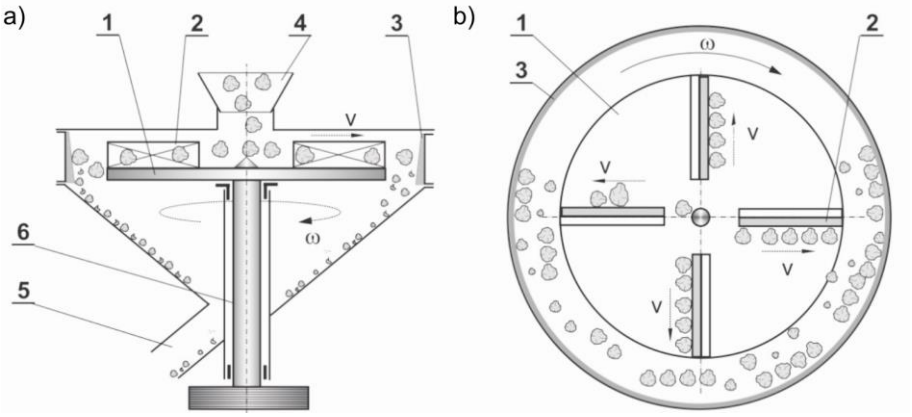
W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie przemysłu kruszarkami udarowymi, z wirnikiem pionowym, zwanych również kruszarkami odśrodkowymi. Można to było zauważyć na wystawie Bauma 2013 w Monachium, gdzie tego rodzaju kruszarki zdecydowanie dominowały – stanowiły około 70-80% wszystkich wystawionych kruszarek. Kruszarki odśrodkowe nazywane są kruszarkami z wałem o osi pionowej, w literaturze anglojęzycznej centrifugal crusher vertical shaft impactor VSI, vertical mill [1, 5, 6, 7, 8, 9], a niemieckojęzycznej Rotorschleuderbrecher, Prallbrecher mit Schleuderrotor lub Prallspalter [2, 10, 11, 12]. Kruszarki te produkowane są w Niemczech [11, 12, 13], USA [8, 9] , Francji [10], Hiszpanii [7], Czechach [11], Rosji [14], Chinach, Indiach i innych krajach. W Polsce kruszarki odśrodkowe produkuje firma Doltech [15]. Wykonano również inne prototypowe konstrukcje, na przykład U-110 [16] – firmy Wtórmech. Kruszarki te znalazły zastosowanie w procesach rozdrabniania udarowego, w zakresie kruszenia średniego, drobnego i bardzo drobnego uziarnionych surowców mineralnych oraz materiałów wytworzonych (klinkieru, żużli hutniczych) do selektywnego rozdrabniania uziarnionych odpadów oraz do uszlachetniania – kubizacji ziaren kruszyw mineralnych. Pewne odmiany tych kruszarek znalazły zastosowanie jako młyny odśrodkowe do selektywnego mielenia [17]. Pierwszy patent maszyny rozdrabniającej wykorzystującej siłę odśrodkową pojawił się w Niemczech w 1877 roku jako Schleuderprallmühle - Deutsche Reichs-Patent Nr 384 v. 6 [18].

2. Podstawy rozdrabniania udarowego w kruszarkach odśrodkowych

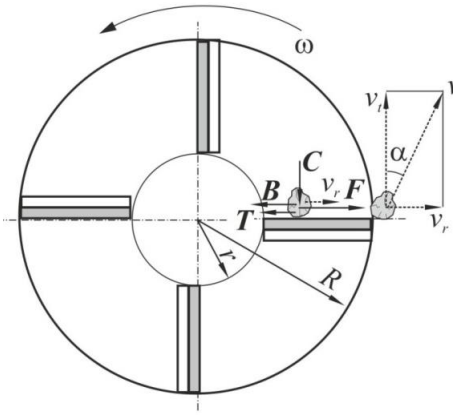
W kruszarkach odśrodkowych proces rozdrabniania wykorzystuje działanie siły odśrodkowej, która nadaje ziarnom rozdrabnianego materiału

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

prędkość liniową, a tym samym energię kinetyczną. Energia ta wydatkowana jest na zniszczenie struktury ziaren materiału podczas zderzenia rozpędzonego ziarna z nieruchomą wykładziną kruszącą. Wykładzina ta ma postać gładkiej stożkowej powierzchni, segmentów płyt odbojowych zwanych kowadłami, względnie zbioru ziaren rozdrabnianego materiału usytuowanego w tak zwanych kieszeniach. Jeśli energia ziaren w momencie uderzenia będzie większa od pracy kruszenia charakterystycznej dla danego materiału, ziarno rozpadnie się na dwa, a najczęściej więcej mniejszych ziaren. Wymaganą prędkość ziarnom materiału nadaje obracający się wirnik, na który w jego geometrycznej osi obrotu podawane są ziarna materiału. Ziarna te wrzucane są na zewnątrz wirnika za pomocą łopatek na wykładzinę komory kruszącej, na której ulegają rozdrobnieniu – rysunek 1.



Rys.1. Schemat budowy i działania kruszarki odśrodkowej: *a - przekrój kruszarki, b – widok wirnika, 1 – wirnik, 2 – łopatka z wykładziną, 3 – wykładzina, 4 – wlot nadawy, 5 – wylot produktu kruszenia, 6 – wał wirnika z kołem pasowym, v – prędkość ziaren wzdłuż łopatki, ω – prędkość kątowa wirnika*



Rys.2. Uproszczony układ sił działający na ziarno oraz prędkości ziarna opuszczającego wirnik: ***B*** *- siła bezwładności,* ***F*** *– siła odśrodkowa,* ***T*** *– siła tarcia,* ***C*** *– siła Coriolisa*

Na przemieszczające na obracającym się wirniku ziarno, oddziałują następujące siły: bezwładności, odśrodkowa, tarcia, docisku do łopatki, Coriolisa, ciężkości, wyporu, oporu hydraulicznego, wzajemnego oddziaływania z innymi ziarnami. Ponadto przy łopatkach zakrzywionych oraz łopatkach z wypełnieniem materiałem uziarnionym występują jeszcze dodatkowe siły związane z kształtem łopatek. Praktycznie największe znaczenie mają siły bezwładności, odśrodkowa, tarcia, docisku do łopatki – rysunek 2.

Na ziarno materiału, które rozpędzane jest w wirniku oddziałuje uproszczony układ sił opisany wyrażeniem:

$$B = F - T \tag{1}$$

gdzie:

$$B = m\frac{d^2x}{dt^2}, \quad F = m\omega^2 x, \quad T = C\mu = 2m\omega\frac{dx}{dt} \tag{2}$$

gdzie:

m – masa ziarna,

μ – współczynnik tarcia ziarna o łopatkę,

x – droga ziarna wzdłuż łopatki.

Po podstawieniu (2) do (1) otrzymano równanie różniczkowe:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2 x - 2m\omega\frac{dx}{dt} \tag{3}$$

Po scałkowaniu równania różniczkowego (3) w granicach {r; R} otrzymuje się skomplikowane wyrażenie na prędkość: $v_r = \frac{dx}{dt}$, które dla konstruktora kruszarki ma drugorzędne znaczenie. W konstruowaniu kruszarki najważniejsza jest prędkość v_c, czyli prędkość z jaką opuszcza wirnik ziarno rozdrabnianego materiału oraz wartość kąta α.

Dla podanych na rysunku 2 wymiarów wirnika prędkość ziarna v_r można z pewnym przybliżeniem obliczyć z wyrażenia:

$$v_r = \omega\sqrt{R^2 - r^2} \tag{4}$$

Natomiast całkowitą prędkość ziarna v_c z wyrażenia:

$$v_c = \sqrt{v_t^2 + v_r^2} = v_t = \sqrt{2 - \frac{r^2}{R^2}} \tag{5}$$

Kąt α można obliczyć ze stosunku prędkości v_r oraz v_t, przy czym $v_t = \omega\, r$.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przedstawione wyżej obliczenia prędkości są słuszne dla łopatek usytuowanych promieniowo na wirniku. W przypadku, gdy linia utworzona na przedłużeniu łopatek nie przechodzi przez oś geometryczną wirnika należy jeszcze uwzględnić kąt pomiędzy promieniem wirnika a łopatką [2, 19].

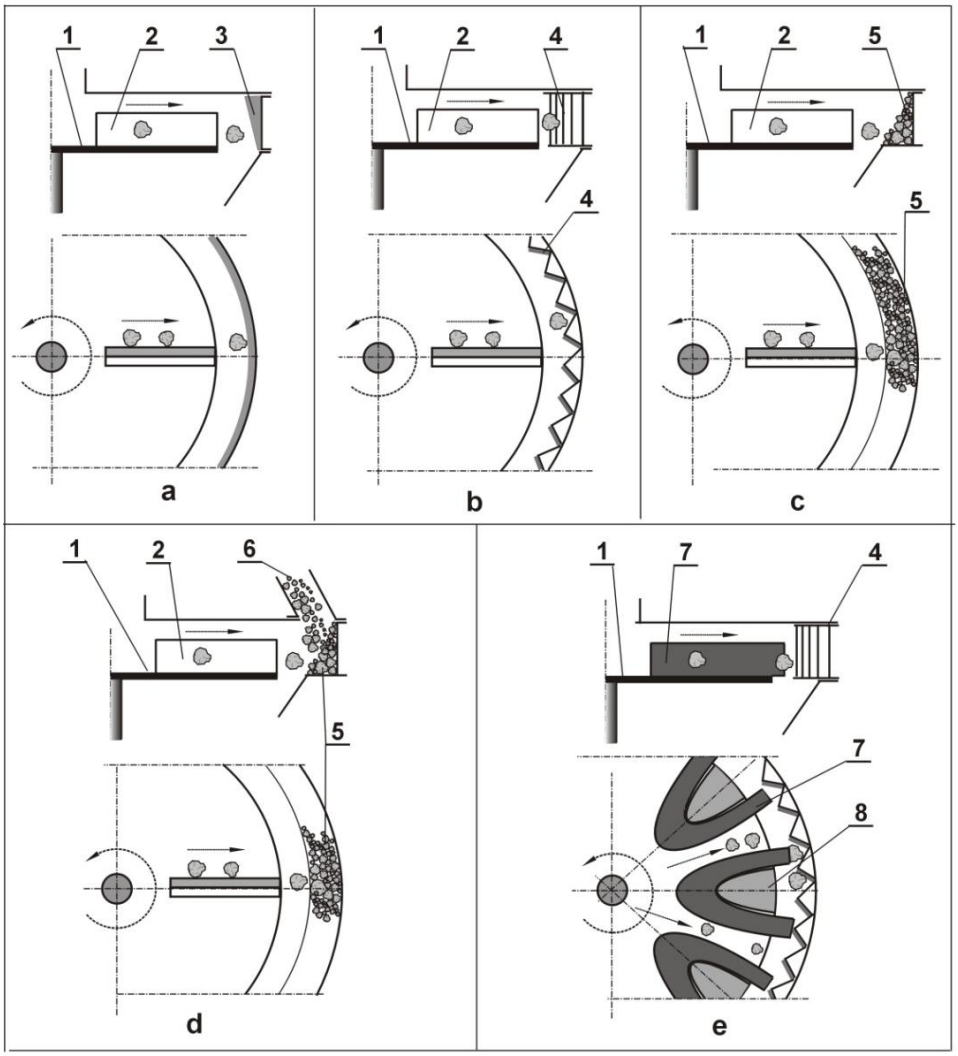
3. Klasyfikacja kruszarek odśrodkowych

Głównym kryterium klasyfikacji kruszarek odśrodkowych jest budowa strefy rozdrabniania, czyli układu wirnik-wykładzina krusząca. Stąd wyróżnić można pięć głównych odmian kruszarek odśrodkowych:

a) kruszarki z wykładziną gładką stożkową, w których ziarna rozdrabniane są głównie na tej wykładzinie – rysunek 3a,
b) kruszarki z wykładziną segmentową z płytami odbojowymi – kowadłami, na których ziarna rozdrabniane są głównie na tej wykładzinie – rysunek 3b,
c) kruszarki z wykładziną, którą tworzą ziarna rozdrabnianego materiału umieszczone na współśrodkowej z wirnikiem półce, lub w tzw. kieszeniach – rysunek 3c,
d) kruszarki z wykładziną, którą tworzą ziarna rozdrabnianego materiału umieszczone na półce, na których rozdrabniają się ziarna wyrzucane przez wirnik oraz ziarna wprowadzane na półkę z pominięciem wirnika – rysunek 3d,
e) kruszarki z wykładziną profilowaną, na której opuszczające wirnik ziarna materiału rozdrabniane są przez segmenty robocze umieszczone swobodnie na występach wirnika i dociskane do wykładziny siłą odśrodkową generowaną przez wirnik– rysunek 3e.

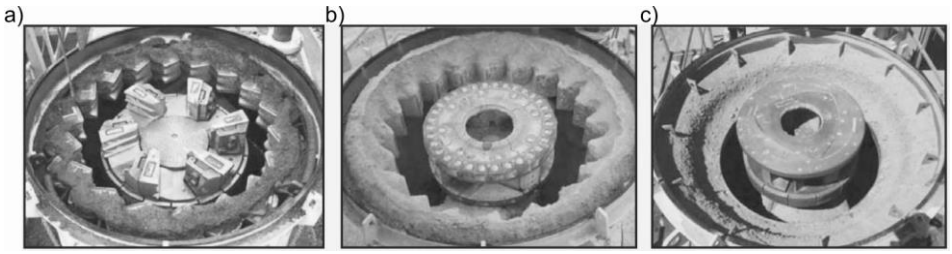
Drugim, niemniej ważnym kryterium jest budowa wirnika. Pierwszy podział wirników wyróżnia dwa ogólne rozwiązania, to jest wirnik otwarty i zamknięty. Wirnik otwarty to wirnik, w którym łopatki mocowane są tylko z jednej strony - to jest od dołu do tarczy dolnej. W wirniku zamkniętym łopatki mocowane są dodatkowo do tarczy górnej wirnika. Drugi znacznie bardziej zróżnicowany podział wirników dotyczy usytuowania łopatek na tarczy wirnika. Usytuowanie łopatek w pewnym stopniu determinuje rozwiązanie wykładziny kruszącej. Przykłady niektórych rozwiązań konstrukcyjnych wirników oraz stref kruszenia stosowanych w kruszarkach odśrodkowych zamieszczono na rysunkach 4, 5 i 6. Rysunek 4a przedstawia strefę kruszenia materiałów o "najgrubszym" uziarnieniu i średniej abrazyjności, rysunek 4b materiałów o "średnim" uziarnieniu i średniej abrazyjności, a rysunek 4c materiałów o "średnim" uziarnieniu i wysokiej abrazyjności (właściwościach silnie ścierających).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

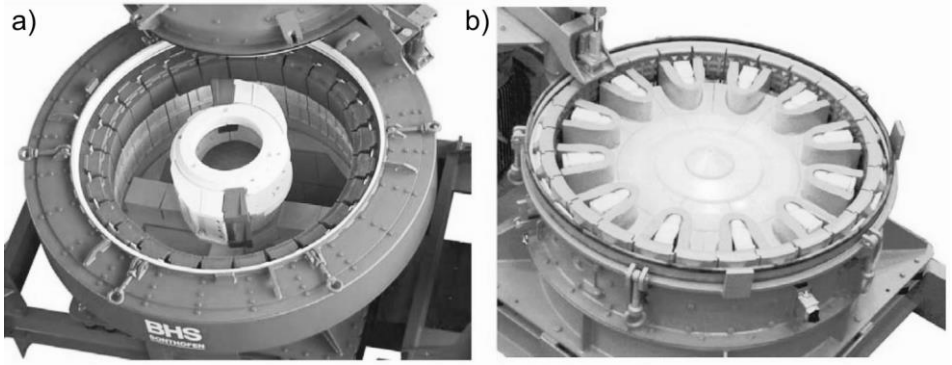


Rys.3. Schemat budowy strefy kruszenia podstawowych typów kruszarki odśrodkowej:
a – z wykładziną gładką stożkową, b - z wykładziną segmentową z kowadłami,
c – z wykładziną z rozdrabnianym materiałem umieszczonym na półce, d - z wykładziną z rozdrabnianego materiału oraz bocznym strumieniem materiału,
e - ze swobodnymi elementami kruszącymi

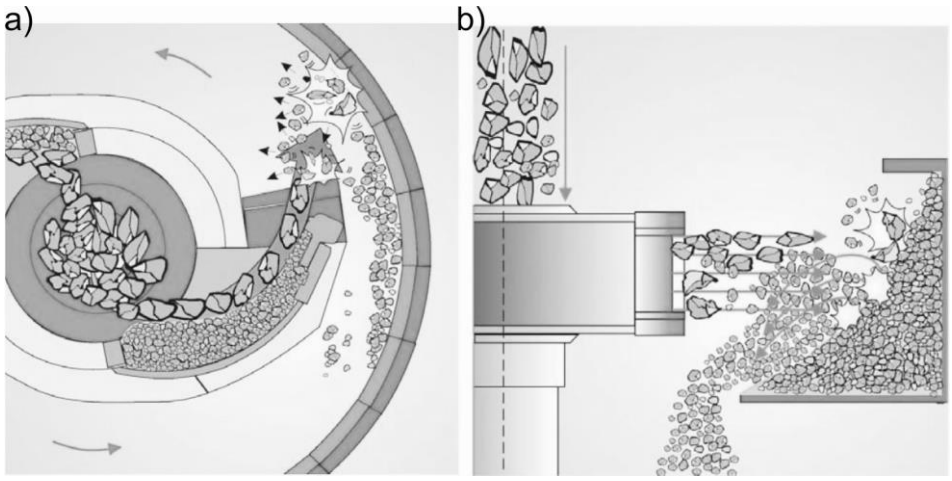
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.4. Wirniki oraz strefy kruszenia kruszarek odśrodkowych produkowanych przez firmę Terex [9]: *a – z wirnikiem otwartym, b - z wirnikiem zamkniętym, c - z wirnikiem zamkniętym i półką wypełnioną kruszonym materiałem*



Rys.5. Wirniki oraz strefy kruszenia kruszarek odśrodkowych produkowanych przez firmę BHS [12]: *a – z wirnikiem otwartym dwułopatkowym, b - z wirnikiem otwartym ze swobodnymi elementami kruszącymi*

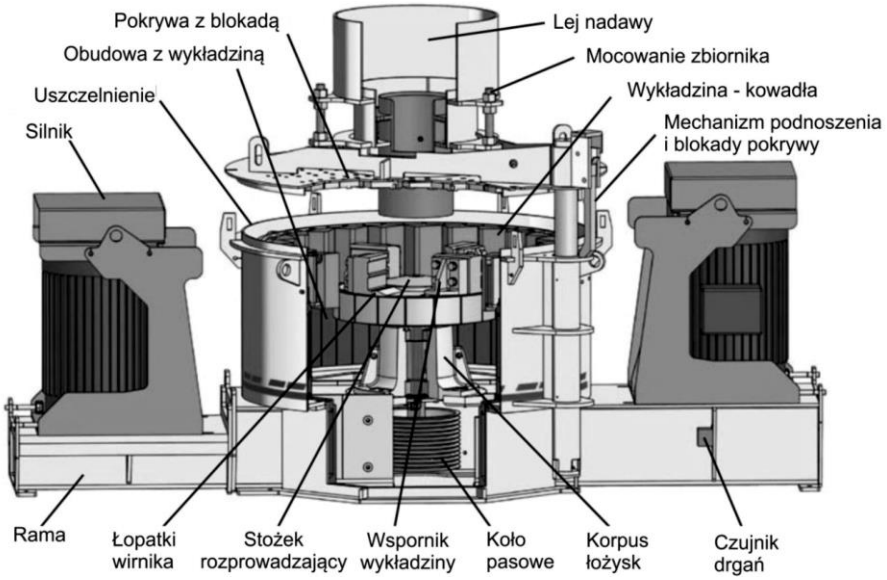


Rys.6. Budowa strefy kruszenia kruszarek odśrodkowych przeznaczonych do najbardziej abrazyjnych materiałów produkowanych przez firmę BHS [12, 20]: *a – widok z góry na wirnik z kieszenią wypełnioną kruszonym materiałem, b - widok z boku na półkę wypełnioną kruszonym materiałem*

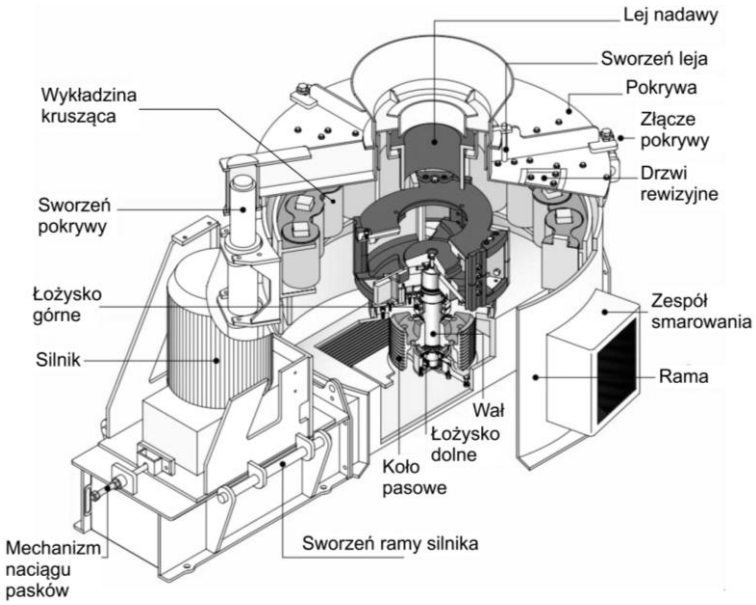
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Rozwiązania konstrukcyjne kruszarek odśrodkowych

Cechą wspólną budowy kruszarek odśrodkowych jest usytuowanie pionowe wału wirnika. Wał ułożyskowany jest w łożyskach o wzmocnionej konstrukcji. Niemal wszystkie kruszarki mają wirnik napędzany przez przekładnię pasową z jednego silnika. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono budowę kruszarek firm Terex i Metso.



Rys.7. Budowa kruszarek firmy Terex [9]



Rys.8. Budowa kruszarek firmy Metso [20]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wszystkie kruszarki wyposażone są w leje nadawy mocowane na pokrywach, które posiadają mechanizmy lub podnośniki do szybkiego ich demontażu z kruszarki. Duże kruszarki – o wydajności powyżej 70 Mg/godz wyposażone są w układy smarowania i chłodzenia łożysk. Jedna z dużych rosyjskich kruszarek Titan D VSI [22] wyposażona jest w układ chłodzenia z wentylatorem.

5. Podstawowe parametry kruszarek odśrodkowych

Głównym parametrem decydującym o efektywności procesu rozdrabniania w kruszarce odśrodkowej jest prędkość, którą nadaje ziarnom rozdrabnianego materiału obracający się wirnik. Zwykle podawana jest jej składowa v_t - rysunek 2, którą w pewnym przybliżeniu reprezentuje prędkość obwodowa wirnika. Prędkość ta mieści się w zakresie 40÷86 m/s. Wydajność kruszarek wynosi 10÷900 Mg/godz. Wydajność każdej z kruszarek podawana jest w szerokim zakresie, który zdeterminowany jest własnościami fizycznymi rozdrabnianego materiału. Uziarnienie nadawy uwarunkowane jest także właściwościami fizycznymi, głównie podatnością na kruszenie, indeksem abrazyjności AI oraz wielkością kruszarki. Uziarnienie nadawy wynosi 45÷170 mm, graniczny stopień rozdrobnienia wynosi: od 1,2÷1,5 - przy najmniej podatnych na rozdrabnianie i silnie abrazyjnych materiałach do 1,5÷3 przy materiałach o dużej podatności na rozdrabnianie i niewielkiej abrazyjności 1,5÷3, średni stopień rozdrobnienia wynosi 3÷8. Kruszarki mają zainstalowaną moc 10÷890 kW, a masa samej kruszarki mieści się w zakresie 10÷32 Mg.

Podstawowe parametry kruszarek odśrodkowych podano w tabelach 1, 2, 3 i 4.

Podstawowe parametry kruszarek odśrodkowych firmy PSP [11]

Tabela 1

Typ kruszarki	Maksymalne uziarnienie nadawy, mm	Prędkość obwodowa wirnika, m/s	Wydajność Mg/godz	Moc silnika, kW	Wymiary: dług. x szerokość x wysokość, mm
ODV1183S/SM	32	80	10-50	37-55	2650x1404x1481
ODV 1186S/SM	50	75	50-140	90-160	3600x2410x1750
ODV1186M	50	75	50-140	90-160	3290x1950x1750
ODV 1187S/SM	70	75	100-250	110-200	3800x2600x1860
ODV 1187M	70	75	100-250	110-200	3490x2140x1860
ODV1188S/SM	70	70	150-450	200-315	4710x3310x2400
ODY1188M	70	70	150-450	200-315	3981x2372x2400

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Parametry techniczne kruszarek firmy BHS typ RMSX [6]

Tabela 2

Typ	Uziarnienie nadawy, mm	Prędkość obwodowa wirnika, m/s	Wydajność, Mg/h	Moc silnika, kW	Wymiary wirnika, ΦxL, mm
RSMX 0913	45-56	80	30-90	75-135	930x135
RMSX 0922	56-70	80	30-90	90-132	930x220
RMSX 1222	80-100	70	100-400	160-400	1200x220
RMSX 1233	80-150	70	200-400	200-400	1200x330

Parametry techniczne kruszarek Canica VSI firmy Terex [9]

Tabela 3

Typ	Moc silnika, kW	Wydajność, Mg/godz	Maksymalny wymiar nadawy, mm	Masa kruszarki, Mg
1200	37-112	64	38	3,63
1400	75-186	113	51	5,44
2000SD - napęd pojedynczy	149-248	227	102	10,99
2000DD - napęd podwójny	298-522	317	102	12,47
2050	298-522	363	102	14,06
100	298-522	363	127	14,15
2300	298-522	454	127	15,42
105	373-594	454	152	18,14
2350	373-594	544	152	16,33
2500	447-746	726	203	23,13
3000	522-894	907	305	26,31

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Parametry techniczne kruszarek firmy Doltech [15]

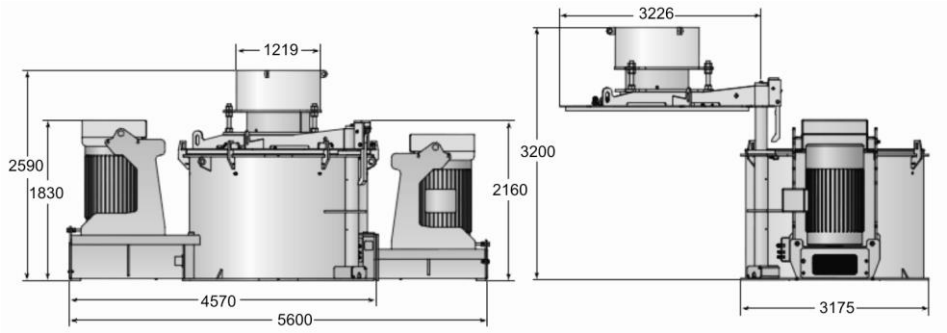
Tabela 4

Typ	Maksymalne uziarnienie nadawy, mm	Masa, Mg	Wydajność, Mg/h	Moc silnika, kW	Średnica wirnika, Φ, mm
ZS 80	40	4,1	30-60	75-132	800
ZS 1000	40	7,0	50-90	132-200	1000
ZS 100/OR	100	10,0	65-100	160-200	1000
ZS 120	120	12,0	65-125	200-250	1200

Niestety informacje podawane przez firmy nie są spójne, dlatego trudno je ze sobą porównać. Największe wydajności osiągają kruszarki amerykańskie.

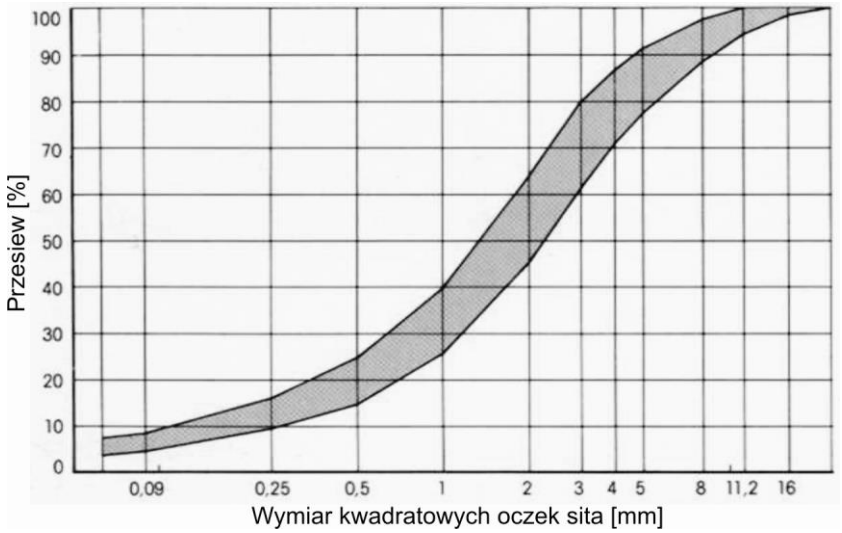
Może to wynikać ze znacznie „grubszej" nadawy o wymiarach ziaren dochodzących do 300 mm, co z pewnością skutkuje znacznie „grubszym" uziarnieniem produktu kruszenia. W materiałach firmy Terex brak jest informacji o produktach kruszenia z kruszarek Canica.

Rysunek 9 przedstawia największą produkowaną obecnie kruszarkę odśrodkową.

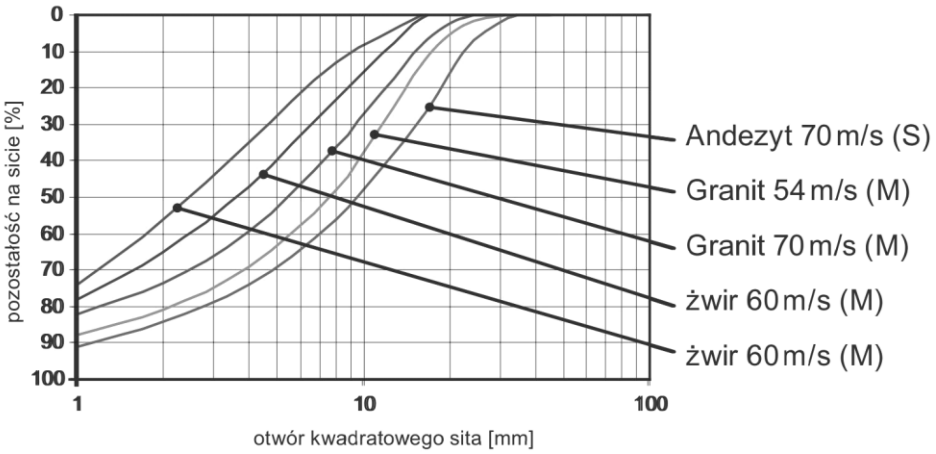


Rys.9. Widok największej kruszarki odśrodkowej Canica 3000 [9] z podstawowymi wymiarami montażowymi

Uziarnienie produktów kruszenia z kruszarek firm BHS oraz PSP podano na rysunkach 10 i 11.



Rys.10. Uziarnienie dolomitu i wapienia otrzymane z procesu kruszenia w kruszarce odśrodkowej BHS, przy wydajności 35-45 Mg/godz i uziarnieniu nadawy 8-40 mm [12]



Rys.11. Produkty kruszenia z kruszarki ODV,
wydajność 35-45 Mg/godz, nadawa <40 mm [11]

6. Podsumowanie

Kruszarki odśrodkowe mają zróżnicowaną budowę. Zróżnicowanie to spowodowane jest: własnościami fizycznymi materiału nadawy, głównie podatnością na kruszenie i abrazyjnością, rozmiarami ziaren nadawy, wymaganiami uziarnienia produktu kruszenia, polityką patentową firm, dostępnością materiałów odpornych na zużycie. Podstawowe zróżnicowanie budowy kruszarek dotyczy wirnika oraz strefy kruszenia (wykładziny

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

kruszącej), czyli tzw. kowadeł. Część elementów konstruowana jest w kilku wariantach, które mogą być używane wymiennie. Przy kruszeniu nadawy o największych rozmiarach (70-300 mm) wirniki mają dwie łopatki. Liczba łopatek wzrasta do 6 przy kruszeniu drobniejszej nadawy (30-70 mm). Wykładzina strefy kruszenia wykładana jest przy mniej abrazyjnych materiałach łatwo wymiennymi segmentami, a przy nadawie silnie abrazyjnej wirnik posiada kieszenie wypełnione kruszonym materiałem, które znacznie zmniejszają zużycie elementów roboczych, ale skutkują bardziej „grubym" produktem rozdrabniania. Przy nadawie bardzo podatnej na rozdrabnianie do strefy kruszenia podaje się nadawę dwoma strumieniami: przez wirnik oraz poza wirnikiem. Nadawa do kruszarek podawana jest najczęściej podajnikiem taśmowym, do którego materiał pobierany jest z pryzmy lub silosu urządzeniem wybierającym. Kruszarki wyposaża się w urządzenia do łatwego i szybkiego demontażu pokrywy. Projektując węzeł kruszenia z kruszarką odśrodkową należy mieć na uwadze dwa aspekty: wysoki poziomu ciśnienia akustycznego oraz możliwość emisji pyłu, zwłaszcza przy kruszeniu suchych materiałów, co jest ubocznym skutkiem jej sposobu pracy. Kruszarki te oprócz klasycznego rozdrabniania stosuje się również do kubizacji kruszyw mineralnych. Niektóre konstrukcje kruszarek odśrodkowych mogą być młynami. Na przykład do selektywnego mielenia szkła nawozowego [17] czy rud miedzi i cynku (na sucho). Ich wydajność wynosi 0,5-8 Mg/godz. W przypadku rud miedzi i cynku z produktu kruszenia o uziarnieniu 95 % poniżej 0,30 mm uzysk koncentratów był 20 % większy, niż z produktu mielenia z młyna kulowego o uziarnieniu poniżej 0,074 mm [22].

Literatura

1. Pasher C.I.: Crushing and Grinding Process Handbook Ed. J. Wiley, Chichester 1987.
2. Höffl K.: Zerkleinerungs- und Klassiermaschinen. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985.
3. Sidor J.: Possible use of the vibration jaw crusher for process of preparing the recycling & utilization of ceramic waste products, Polish Journal of Environmental Studies, vol. 16, No 3B 2007, p. 451-454, ISSN 1230-1485.
4. Sidor J. Mazur M.: Niektóre wyniki badań procesu kruszenia wibracyjnego surowców mineralnych Przegląd Górniczy, ISSN 0033-216X. 2011 t. 67 nr 11 s. 106–111.
5. Merlin-VSI - Materiały firmowe Sandvik, www2.sandvik.com/sandvik
6. Impact Crushers - Materiały firmowe SBM Mineral Processing GmbH, www.bulk-solids-handling.com/SBM-Mineral-Proces.
7. Agregates VA Vertical Mill –www.talleresalqezas.es

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

8. Auto-Balance Impact Crusher, www.txcrushersystem.com USA.
9. Vertical shaft impact crushers, www.terexmps.com USA.
10. Mag'Impact II - Materiały firmowe Magotteaux, www.magotteux.com
11. Vertical impact crushers ODV, www.pspeieneering.cz
12. RSMX Rotorschleuderbrecher - Materiały firmowe BHS-Sonthafen GmbH.
13. Multirok MR firmy ThyssenKrupp, www.khminreral.com
14. www.npo-center.com/drobilki
15. www.doltech.com
16. Kruszarka udarowa odśrodkowa o pionowej osi wału U-110. Materiały firmy Wtórmech sp. z o.o. Bytom (niedatowane).
17. Sidor J.: Wstępne badania selektywnego mielenia szkła nawozowego w prototypowym, przemysłowym młynie odśrodkowym Materiały Ceramiczne, ISSN 1644-3470. ISSN 1505-1269, 2010 t. 62 nr 4 s. 596–600.
18. Behrens D.: Einige Neuentwicklungen vo Fein und Feinstprallzerkleinerungsmaschinen Symposion Zerleinern Frankfurt am M. Verlag Chemie GmbH Wienheim s.474-502.
19. Rychel R.: Modellierung des Betriebsverhaltens von Rotorschleuderbrecher, Dissertation Freiberg, der Technischen Universitat Bergakademie Freiberg 2001.
20. Guldan, D., Däschlein, A.: Auf Linie gebracht. WISSENSPORTAL baumaschine.de 1(2010), www.bhs-sonthofen.de
21. Crushing and Screening Handbook. Metso Minerals. www.metsominerals.com
22. High quality artificial sand with Titan D VSI. www.vsi-crusher.com

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

...firma Sandvik wyprodukowała nowy kombajn chodnikowy MR341. Urządzenie powstało na bazie kombajnu MR340 zaprojektowanego na początku lat 80. ubiegłego wieku, którego kolejne konstrukcje rozwojowe odnosiły duże sukcesy w górnictwie podziemnym przez ostatnich 30 lat. Kombajn MR341 o wadze 80 t, mocy 404 kW i szybkości urabiania 2,34 m/s szczególnie nadaje się do prac w chodnikach wymagających zastosowania zróżnicowanych metod podpierania stropu. W wyposażeniu maszyny znajduje się zgarniak o szerokości 3500 mm i opcjonalnie podest do kotwienia stropu. Proces urabiania realizowany jest za pomocą głowicy ze wspomaganiem hydraulicznym, specjalnie przystosowanej dla potrzeb rynku polskiego. Maszynę zaprezentowano polskim i czeskim inżynierom w lutym 2013 roku. Obecnie kombajn przechodzi serię testów w kopalni CSM w Republice Czeskiej.

Coal International 2013 nr 3 s.44-45

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rozdrabniacze i mieszalniki konstrukcji KOMAG

Arkadiusz Tomas, Piotr Matusiak, Daniel Kowol – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Przygotowanie paliw wieloskładnikowych jest przedmiotem wielu prac realizowanych w ośrodkach projektowych i badawczych. Dąży się do minimalizacji odpadów oraz jak największego wykorzystania produktów drobnoziarnistych, szczególnie produktów filtracji. Rośnie rola mieszanek energetycznych. Ich odbiorcy stawiają coraz większe wymagania co do wielkości sortymentów i jakości paliwa. Z tego też względu istotne jest mieszanie i rozdrabnianie, stwarzające możliwość przygotowania mieszanek energetycznych wysokiej jakości, w szerokim zakresie sortymentu.

Służą do tego mieszalniki i rozdrabniacze, z których coraz większe zastosowanie w instalacjach przygotowania paliw wieloskładnikowych znajdują m.in. mieszalniki wirnikowe (MW) [2].

2. Przegląd mieszalników i rozdrabniaczy

W zakładach przeróbczych kopalń węgla kamiennego oraz do przygotowania mieszanek podsadzkowych, stosuje się następujące typy mieszalników i rozdrabniaczy:

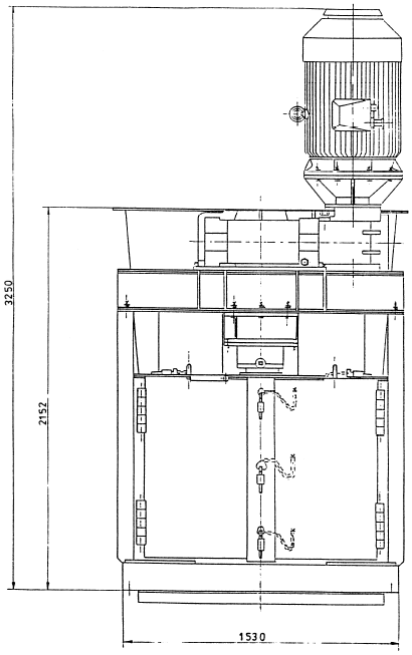
2.1. Mieszalniki wirnikowe

Mieszalniki wirnikowe budowane są z komorą nieruchomą. Rozwiązania mieszalników wirnikowych konstrukcji ITG KOMAG mają kilka wersji. Najpopularniejsze są maszyny MW 1400 i MW 900. Dane techniczne mieszalnika MW 1400 (rys. 1) są następujące:

- przeznaczenie - wytwarzanie wieloskładnikowych mieszanin z materiałów w postaci sypkiej i plastycznej np. mieszaniny miału z mułem,
- wydajność do 600 Mg/h,
- maksymalny wymiar ziaren nadawy - 30 mm,
- typ wirnika 8/1400 lub 6/1400,
- obroty wirnika 120 obr/min,
- moc napędu 55 kW,
- masa mieszalnika 3600 - 3700 kg.

Mieszalnik produkowany jest w wersjach 1400S i 1400P, różniących się rodzajem przeniesienia napędu z silnika na wirnik mieszający.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Mieszalnik wirnikowy MW1400P [2]

W wersji S silnik jest połączony z przekładnią za pomocą sprzęgła elastycznego. W wersji P napęd z silnika przenoszony jest za pomocą przekładni pasowej. Wersja P jest około 1000 mm niższa od wersji S, stąd jest częściej stosowana. Mieszalnik zbudowany jest z cylindrycznego korpusu, w którym zamocowane jest mieszadło. Mieszadło złożone jest z wirników 4-ro, 6-cio lub 8-mio łopatowych. Nadawa w postaci kilku nie wymieszanych składników podanych w odpowiednich proporcjach, zrzucana jest z wysokości minimum 1 m, do kosza zsypowego, skąd kierowana jest na mieszadło. W wyniku zderzenia składników z wirującymi łopatami wirników mieszadła, następuje ich wymieszanie. Otrzymany produkt grawitacyjnie opada do wylotu. Korpus mieszalnika wyposażony jest w obrotowe drzwi, które umożliwiają kontrolę wnętrza mieszalnika i zużycia jego elementów.

Mieszalnik MW 900, jest pomniejszoną wersją mieszalnika MW1400. Cechy konstrukcyjne, budowa i przeznaczenie są podobne. Mieszalnik posiada następujące parametry:

- wydajność 250 Mg/h,
- moc 15 kW,
- wymiary (szerokość × długość× wysokość) 1310 × 1672 × 1525,
- masa mieszalnika 3600 - 3700 kg.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2.2. Mieszalnik ślimakowy MS-7,5

Mieszalnik ślimakowy MS-7,5 składa się z:

- korpusu,
- mieszadła ślimakowo - łopatkowego,
- pokrywy przelotowej,
- włazu,
- motoreduktora MTK-100-Skf 112M-4-45 B5.

Do korpusu, od czoła, zamocowany jest motoreduktor, na wale którego, za pomocą sprzęgła, osadzone jest mieszadło ślimakowo-łopatkowe. Na drugi czop mieszadła nałożone są kolejno elementy: pokrywa z labiryntem, pokrywa przelotowa, pierścień uszczelniający łożysko, krążek zabezpieczający przed przemieszczaniem łożyska i ślimaka oraz pokrywa zaślepiająca ze smarownicą. Pokrywa główna skręcana jest z korpusem. Właz składa się z pokrywy, wieszaka, osłony łącznika krańcowego i elementów łączących pokrywę z korpusem mieszalnika. Poszczególne składniki nadawy są wprowadzane przez dozowniki do gardzieli mieszalnika, gdzie rozpoczyna się proces mieszania. Mieszanie składników jest efektem ruchu mieszadła i ruchu transportowanego materiału (obrotowego i postępowego). Regulacja wydajności realizowana jest poprzez zmianę natężenia dopływu komponentów nadawy oraz zmianę kąta pochylenia mieszalnika.

Podstawowe parametry techniczne mieszalnika MS-7,5 są następujące:

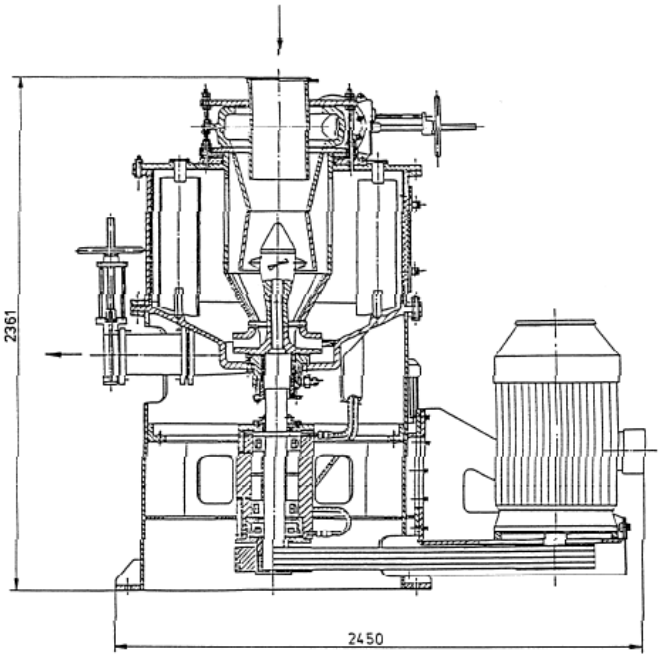
- przeznaczenie: mieszanie miału węgla kamiennego z innymi surowcami energetycznymi,
- wydajność do 5 Mg/h,
- moc zainstalowana 7,5 kW,
- obroty mieszadła n = 45 obr/min,
- zakres zmian pochylenia mieszalnika w czasie pracy 0 ÷ 15°,
- masa mieszalnika 954 kg.

3. Mieszalnik pompowo-wirnikowy GP

Mieszalnik GP jest rozwiązaniem ITG KOMAG; służy do wytwarzania mieszanin z produktów odpadowych górnictwa, energetyki oraz drobnych frakcji piaskowych, w tym mieszanin podsadzkowych (rys. 2).

Składnikami mieszaniny podsadzkowej są odpady poflotacyjne, woda, cement i pyły dymnicowe.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.2. Mieszalnik pompowo-wirnikowy GP [2]

Uzyskiwane zagęszczenie wynosi odpowiednio:

– od 700 - 1100 g części stałych w litrze przy wydajności ok. 90 Mg/h. Możliwe jest uzyskanie wydajności do 120 Mg/h, przy pneumatycznym podawaniu nadawy (ciśnienie minimum 0,15 ÷ 0,25 MPa).

Mieszalnik zbudowany jest z korpusu, w którym osadzony jest wirnik mieszająco-pompujący. Napędzane jest silnikiem elektrycznym poprzez przekładnię pasową. Nadawa podawana jest od góry, a gotowa mieszanina wyprowadzana rurą spustową na zewnątrz maszyny.

Podstawowe parametry techniczne są następujące:

– wydajność 90 – 120 Mg/h (przy podawaniu nadawy pod ciśnieniem 0,15 ÷ 0,25 MPa
– uzyskiwane zagęszczenie 700 – 1100 g/dm^3,
– masa 4720 kg.

2.4. Mieszalnik-rozdrabniacz

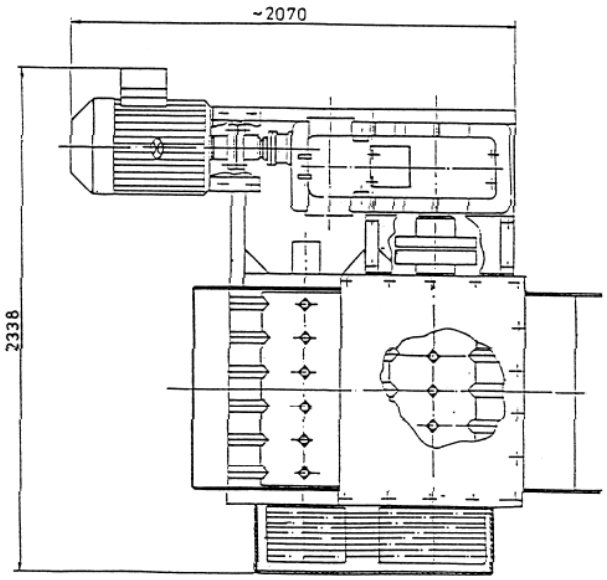
Mieszalnik - rozdrabniacz MR (rys. 3), przeznaczony jest do rozdrabniania i mieszania materiałów sypkich ulegających zbrylaniu oraz materiałów sypkich zbrylonych pod wpływem wilgoci, z innymi materiałami sypkimi lub o podobnej konsystencji. Parametry rozdrabniania są określone nastawą na

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

sprzęgle przeciążeniowym, dzięki któremu elementy nie podlegające rozdrabnianiu są usuwane z obszaru rozdrabniania i mieszania i wydalane z urządzenia.

Mieszalnik - rozdrabniacz składa się z następujących zespołów:

- ramy,
- korpusu,
- bębnów: biernego i czynnego, realizujących proces rozdrabniania i mieszania,
- przekładni zębatej napędzanej silnikiem elektrycznym poprzez podatne sprzęgło palcowe,
- przekładni z pasem zębatym przenoszącym napęd z bębna biernego na bęben czynny,
- sprzęgła przeciążeniowego zabezpieczającego urządzenie przed zniszczeniem.



Rys.3. Mieszalnik rozdrabniacz MR [2]

Budowa urządzenia jest następująca: na ramie osadzone są bębny rozdrabniające, bierny i czynny oraz przekładnia pasowa łącząca wał czynny z biernym. Na wale biernym osadzone jest przeciążeniowe sprzęgło cierne. Zadaniem sprzęgła jest zapewnienie poślizgu wału biernego względem wału czynnego, co umożliwia usunięcie przez bęben czynny elementów nie rozdrobnionych z przestrzeni rozdrabniania i wydalenie ich z maszyny. Bęben bierny znajduje się na wale biernym i jest osadzony suwliwie w korpusie. Napięcie pasów przekładni regulowane jest poprzez przesunięcie oprawy łożysk wału, za pomocą śrub napinających. Po ustawieniu, oprawy są blokowane w ścianach korpusu. Wał z bębnem czynnym odbiera napęd z przekładni zębatej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

poprzez podatne sprzęgło palcowe. Kształt profilu rozdrabniającego noży rozdrabniających może być różny i jest zależny od cech fizykochemicznych materiału rozdrabnianego.

Podstawowe parametry techniczne urządzenia są następujące:

- wydajność do 300 m^3/h,
- maksymalny wymiar ziaren nadawy -35 mm,
- moc zainstalowana - 30 kW,
- masa mieszalnika -3500 kg.

3. Nowe rozwiązanie rozdrabniacza produktów filtracji RPF250

Rozdrabniacz placków filtracyjnych RPF250, opracowany w ITG KOMAG, przeznaczony jest do rozdrabniania produktów procesu filtracji, tzw. placków filtracyjnych, będących wyjściowym produktem z pras filtracyjnych, wykorzystywanych w zakładach przeróbczych kopalń węgla kamiennego do odwadniania drobnoziarnistych produktów wzbogacania. Dotychczasowe rozwiązania rozdrabniaczy i mieszalników nie spełniały wymagań użytkowników w zakresie rozdrabniania placków filtracyjnych. Zaprojektowane urządzenie, w przeciwieństwie do stosowanych dotąd rozwiązań, może być instalowane pod wysypem przenośnika transportującego placki filtracyjne spod pras. Pozwala to na zmniejszenie powierzchni potrzebnej do zabudowy rozdrabniacza. Rozdrabniacz ma możliwość wysuwania spod przenośnika w celach serwisowych. Umożliwia to także pracę węzła bez wykorzystania rozdrabniacza.

Rozwiązanie rozdrabniacza placków filtracyjnych RPF250, pokazano na rysunku 4. Urządzenie składa się z ramy (1), z wsypem (2) i wysypem (3). Do ramy mocowane są zespoły łożyska ustalonego (6), łożyska ustalającego (7) i zespół łożyska ustalającego przelotowy (8). Napęd jest przekazywany z motoreduktora (18) przez wał III (14) i sprzęgło (19) na wał I (12), a z niego przekładnią łańcuchową (20) z napinaczem (11), na wały II (13).

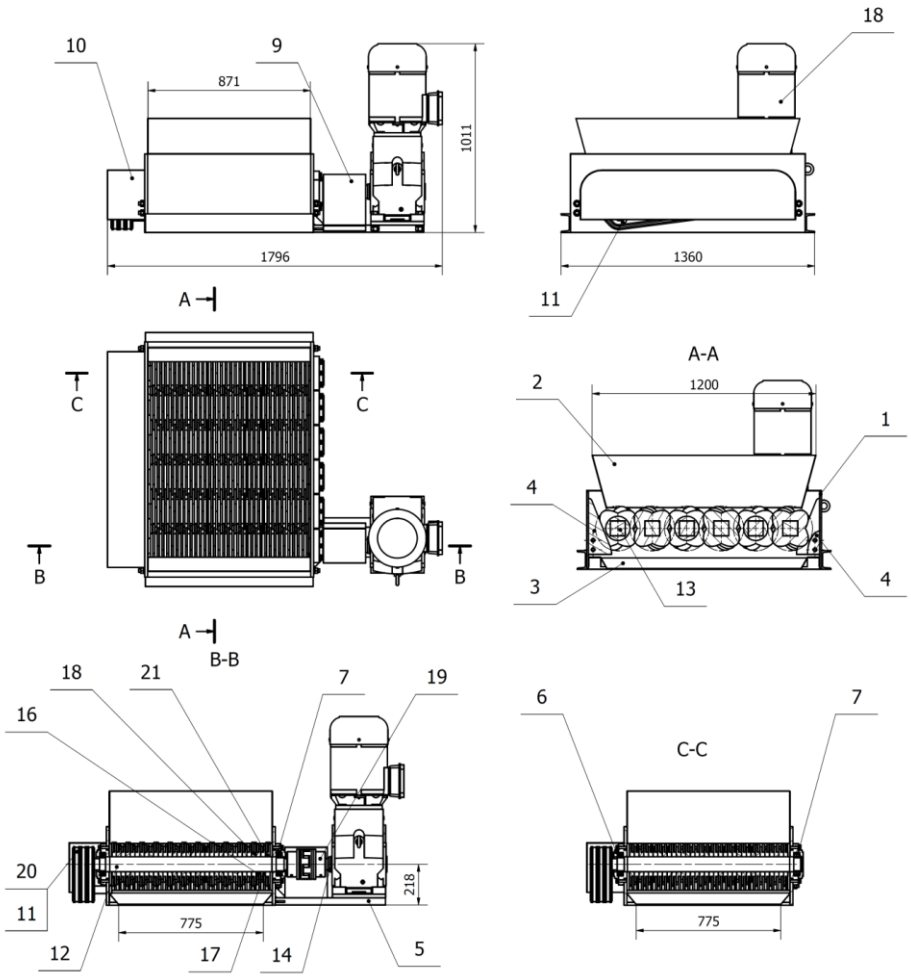
Na rysunku 5 pokazano schemat kierunków obrotów wałów z krążkami.

Skrajne wały współpracują z grzebieniami (4). Grzebień, pokazany na rysunku 6, składa się z segmentów 1', osadzonych na śrubach 2', śruby zaś są mocowane do ramy.

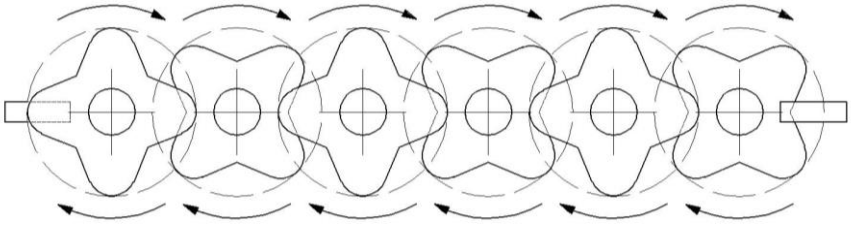
Motoreduktor zamocowany jest na przystawce napędowej (5). Przekładnia obudowana jest osłoną (10), sprzęgło zaś osłoną (9).

Na rysunku 7 pokazano krążki III, II, I, widoczne jest przesunięcie co 15°.

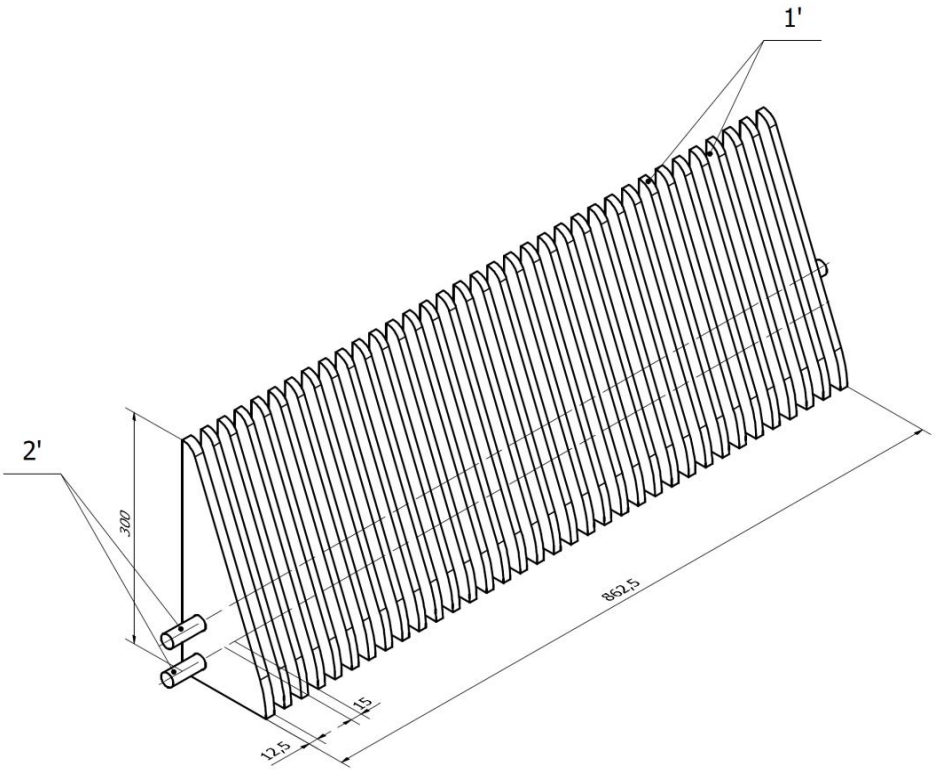
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



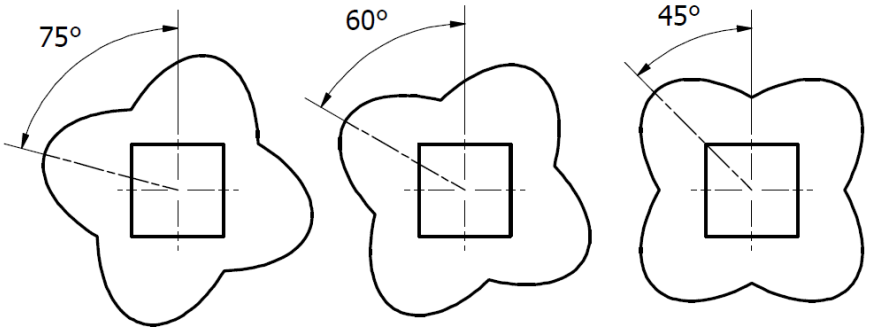
Rys.4. Rozdrabniacz produktów filtracji RPF250 [3]



Rys.5. Schemat kierunków obrotów wałów z krążkami [3]



Rys.6. Grzebień: 1’ – segmenty, 2’ – śruby dwustronne [3]



Rys.7. Krążki, od lewej III, II, I [3]

Wały podparte będą na łożyskach kulkowych wahliwych 2214 2RS, obustronnie uszczelnionych. Łożyska umożliwiają korekcję odchyleń kątowych wałów, nie wymagają smarowania, są zabezpieczone przed zanieczyszczeniami i mogą przenosić obciążenia wzdłużne w wymaganym zakresie.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3.1. Model obliczeniowy rozdrabniacza

Dla określenia podstawowych parametrów rozdrabniacza konieczne jest przyjęcie odpowiedniego modelu. W dostępnej literaturze brak jest jednak modelu do obliczeń proponowanego rozdrabniacza. Ze względu na częściowe podobieństwo pomiędzy kruszarką walcową, a rozdrabniaczem, jako model do obliczeń parametrów pracy rozdrabniacza przyjęto zaadaptowany model obliczania wydajności kruszarki walcowej.

Teoretyczna wydajność kruszarki walcowej wynosi [1]:

$$Q = 235 * k * B * d_n * D * n * \gamma \tag{1}$$

gdzie:

Q – wydajność kruszarki [Mg/h],

k – współczynnik wykorzystania przestrzeni roboczej kruszarki,

B – robocza długość walców [m],

d_n – średnica największego ziarna kruszywa lub odstęp między walcami [m],

D – średnica walców [m],

n – liczba obrotów walców [min $^{-1}$],

γ – gęstość węgla [Mg/m^3].

Wstępnie dobrano do napędu motoreduktor o mocy N_m = 18,5 kW i o prędkości obrotowej n = 180 min^{-1}.

Szerokość wnętrza rozdrabniacza wynosi s = 0,875 m. Ponieważ krążki nie są walcami i mają cztery ramiona, współpracujące ze stałą średnicą krążka z sąsiedniego wału, zmienia się w ciągu obrotu *pozorna* odległość między walcami, w zakresie od 2,6 mm do 39 mm. Do obliczeń przyjęto uśrednioną wartość d_n = 0,02 m. Kolejne krążki są obrócone względem siebie o 15° każdy względem poprzedniego, czyli co trzecie krążki mają tak samo ułożone ramiona. Przyjęto jako czynną roboczą długość walca 1/3 faktycznej szerokości, stąd B = 0,283 m.

Średnica krążka wynosi: D = 0,24 m, prędkość obrotowa: n_1 = 180 min^{-1}, gęstość węgla przyjęto jako γ = 0,9 Mg/m^3.

W urządzeniu są trzy pary wałów z krążkami (odpowiadających walcom w modelu kruszarki), w każdej parze walce obracają się przeciwnie do siebie. W związku z tym w danej parze wałów tylko połowa krążków przesuwa materiał, druga połowa podnosi go. Do obliczeń wydajności przyjęto prędkość obrotową: $n = 0{,}5n_1$.

Obliczona wydajność rozdrabniacza wyniosła: Q = 38,8 Mg/h.

Zapotrzebowanie na moc na jednym stopniu, dla określonej ilości podawanego materiału, obliczono z wykorzystaniem zależności:

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

$$N = W_i * Q * 1{,}1 \tag{2}$$

gdzie:

N – wymagana moc kruszarki [kW],

W_i – indeks pracy Bonda [kWh/Mg],

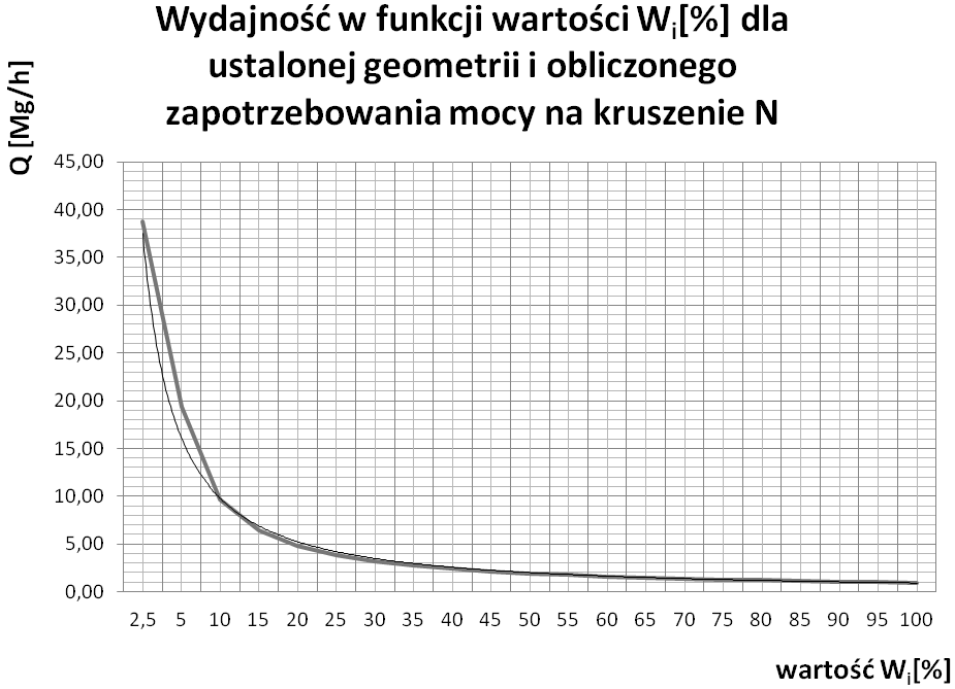
Q – wydajność kruszarki [Mg/h],

Przyjęto indeks pracy Bonda dla węgla W_i=13 [kWh/Mg] [4].

Ponieważ nie jest znana wartość współczynnika W_i dla placka filtracyjnego, przyjęto do obliczeń wartość *pozornego* indeksu pracy W_{ipoz} na poziomie 2,5% W_i. Placek filtracyjny jest na tyle niespójny, że rozpada się już przy upadku z komory na taśmę, stąd szacowana niska wartość W_{ipoz}.

Obliczona moc rozdrabniacza wyniosła N = 13,9 kW.

Założono zapas mocy na przeciążenia i straty na opory ruchu na poziomie 25% mocy bazowej, stąd całkowita moc wyniosła N_c = 17,3 kW.

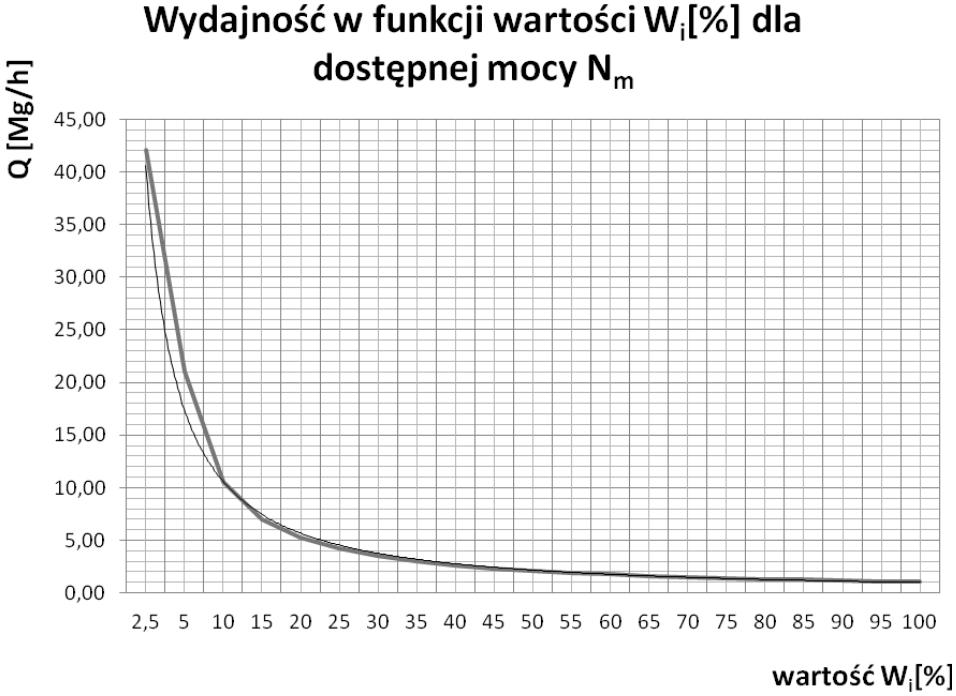


Rys.8. Wydajność w funkcji wartości W_i [%] dla ustalonej geometrii i obliczonego zapotrzebowania mocy na kruszenie N. Linia cienka - linia trendu [3]

Dla obliczonego zapotrzebowania mocy na kruszenie N wyznaczono teoretyczną wydajność, w funkcji procentowej wartości wskaźnika W_i, dla stałej geometrii i prędkości obrotowej (rys. 8).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Dla dostępnej mocy N_m dobranego napędu wyznaczono teoretyczną wydajność w funkcji procentowej wartości wskaźnika W_i. Wyznaczony przebieg funkcji pokazano na rysunku 9.



Rys.9. Wykres wydajności w funkcji wartości W_i [%] dla dostępnej mocy przy zmianie geometrii. Linia cienka - linia trendu [3]

Z wykonanych obliczeń wynika, że dla zastosowanego napędu jest teoretycznie możliwe uzyskanie wydajności Q = 42,05 Mg/h, przy zmianie parametrów geometrycznych i prędkości obrotowej krążków.

Przy zachowaniu założonej stałej geometrii i prędkości obrotowej, teoretycznie jest możliwe uzyskanie wydajności Q = 38,8 Mg/h.

Charakterystyczny jest duży spadek teoretycznej wydajności, przy niewielkim wzroście wskaźnika W_i (a więc zapotrzebowania na moc kruszenia), dla procentowej wartości W_i [%], w początkowym obszarze skali. Wymaga to uwzględnienia przy doborze rozdrabniacza do węzła filtracji. Obliczone wartości wydajności wymagają jeszcze weryfikacji doświadczalnej i eksploatacyjnej. Prezentowany model obliczeniowy zostanie zweryfikowany podczas badań eksploatacyjnych rozdrabniacza. Zasadne wydaje się również przeprowadzenie badań mających na celu wyznaczenie wskaźnika W_i dla placków filtracyjnych. Weryfikacji doświadczalnej wymaga również dobrany kształt krążków rozdrabniających.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Planowane prace oraz doświadczenia z eksploatacji urządzenia pozwolą na utworzenie precyzyjnego modelu obliczeniowego, co ułatwi projektowanie kolejnych rozdrabniaczy.

4. Podsumowanie

Mieszalniki MW i mieszalniki-rozdrabniacze MR znajdują coraz szersze zastosowanie w zakładach przeróbczych kopalń węgla kamiennego. Oferowane są warianty dostosowane do wymogów użytkowników. Nowa koncepcja rozdrabniacza produktów filtracji RPF250, opracowana w ITG KOMAG, jest urządzeniem dedykowanym do rozdrabniania placków filtracyjnych będących produktami procesu filtracji, tj. procesu odwadniania drobnoziarnistych produktów wzbogacania za pomocą pras filtracyjnych. W ramach prac opracowano model obliczeniowy dla rozdrabniacza. Model będzie poddany weryfikacji doświadczalnej. Pozwoli to na wprowadzenie do zakładów przeróbczych kopalń węgla kamiennego nowego urządzenia, odpowiadającego potrzebom w zakresie przygotowania mieszanek z wykorzystaniem produktów filtracji.

Literatura

1. Blaschke S., Blaschke W.: Technika wzbogacania węgla, skrypt uczelniany nr 658, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1979.
2. Śmiejek Z.: Zastosowanie mieszalników konstrukcji CMG KOMAG do mieszanek samozestalających się, do podsadzania wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego. Inżyniera Mineralna 2000 nr 2 s. 51-57.
3. Tomas A., Matusiak P., Bal M.: Układ rozdrabniania placków filtracyjnych dla zakładu mechanicznej przeróbki węgla, praca statutowa (nie publikowana) ITG KOMAG, Gliwice 2013.
4. www.goodquarry.com

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Możliwości stosowania cyklonów z cieczą ciężką w polskim górnictwie węglowym

Daniel Kowol, Piotr Matusiak - Instytut Techniki Górniczej KOMAG, **Paweł Okarmus, Grzegorz Jakubina** - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

1. Wstęp

Sprostanie wymaganiom rynku, przy zapewnieniu opłacalności produkcji węgla, wymaga stałego rozwoju maszyn i urządzeń przeróbczych umożliwiających wzrost jakości i intensyfikację procesów wzbogacania węgla kamiennego.

W polskich zakładach przeróbki węgla drobne klasy ziarnowe wzbogacane są najczęściej w wodnych osadzarkach pulsacyjnych.

W układach technologicznych stosowanych w Australii, RPA, a także w większości zakładów przeróbczych w USA, do wzbogacania nadaw miałowych, szeroko stosowana jest technologia wzbogacania oparta o cyklony z cieczą ciężką. W Polsce tego typu urządzenia są jednak rzadko stosowane – aktualnie w KWK „Pokój" i PG „Silesia".

Na etapie projektowania układów technologicznych wzbogacania miałów węglowych zakładów przeróbczych należy dobrać odpowiednią metodę oraz urządzenia do procesu wzbogacania węgla. Jednym z wielu kryteriów wyboru jest prostota prowadzenia procesu rozdziału w osadzarkach lub większa dokładność wzbogacania w cyklonach z cieczą ciężką [5].

Wybór metody wzbogacania miałów węgla koksowego w osadzarkach lub w cyklonach cieczy ciężkiej powinien uwzględniać również skutki ekonomiczne wzbogacania w obu typach urządzeń [4].

W niniejszej pracy opisano zasadę działania cyklonów z cieczą ciężką, przedstawiono przykłady rozwiązań układów technologicznych z wykorzystaniem cyklonów z cieczą ciężką oraz, w oparciu o porównanie z procesem wzbogacania z zastosowaniem osadzarek pulsacyjnych, określono możliwości zastosowania cyklonów z cieczą ciężką do wzbogacania węgla w polskich zakładach przeróbczych [13].

2. Budowa i zasada działania cyklonów z cieczą ciężką

Analiza zjawisk, zachodzących w cyklonach z cieczą ciężką wskazuje, że na cząstkę ciała stałego zawieszonego w cieczy działa:

- siła odśrodkowa proporcjonalna do masy rozpatrywanej cząstki,
- siła nośna prądu cieczy.

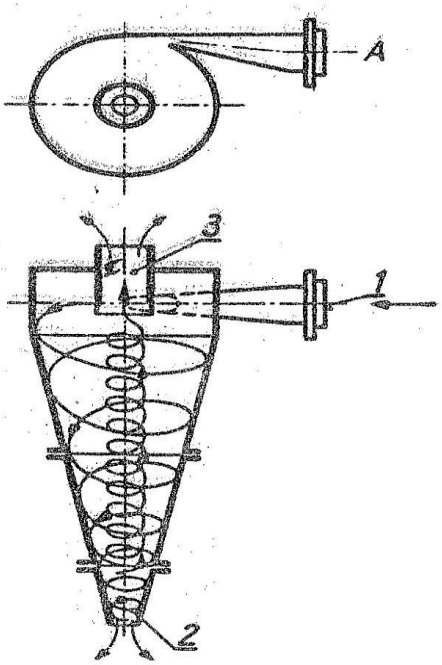
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Od ich wartości zależy czy ziarno zostanie odrzucone w kierunku ścian cyklonu, czy uniesione z prądem cieczy. W publikowanych pracach autorzy wyróżniają również siły Coriolisa oraz siły wyporu dośrodkowego, wynikającej z różnicy ciśnień panujących we wzbogacalniku cyklonowym.

Prędkość ziaren odrzucanych w kierunku ścian urządzenia maleje wskutek występowania tarcia i ziarna ruchem śrubowym zsuwają się w dół, opuszczając układ otworem wylewowym. Ziarna lżejsze unoszone prądem cieczy podlegają w dolnej części cyklonu działaniu strumienia wznoszącego i opuszczają układ przelewem [3, 7].

Cyklon z cieczą ciężką, pokazany schematycznie na rysunku 1, składa się z górnej części cylindrycznej przechodzącej w część stożkową, o stosunkowo małym kącie wierzchołkowym.

Na części cylindrycznej – stycznie do jej obwodu – umocowany jest króciec wlotowy (1) o zwężającym się silnie przekroju wewnętrznym w kierunku wlotu do wnętrza hydrocyklonu. W osi części cylindrycznej umocowana jest krótka rura (3). W dolnej części stożkowej znajduje się otwór wylewowy (2).



Rys.1. Cyklon z cieczą ciężką zawiesinową [2]

Węgiel surowy, w postaci zawiesiny, podawany jest stycznie przez stożkowy wlot do krótkiej sekcji cylindrycznej. Konstrukcja wlotu jest różna, w zależności od rozwiązania cyklonu i ma znaczący wpływ na wydajność oraz w mniejszym stopniu na skuteczność procesu rozdziału.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wewnątrz części cylindrycznej znajduje się dodatkowa rura (tzw. vortex finder), której celem jest zapobieganie zaburzeniom wirowego ruchu zawiesiny kierowanej do rozdziału oraz wydzielonych ziaren koncentratu wynoszonych w kierunku przelewu.

Rys.2. Cyklony z cieczą ciężką firmy Krebs [14]

Rys.3. Cyklon z cieczą ciężką Multotec [15]

Rozdział materiału następuje w stożkowej części cyklonu. Odpady odbierane są przez otwór wylewowy znajdujący się w dolnej części elementu stożkowego (poz. 2, rys.1), natomiast koncentrat opuszcza cyklon przez otwór przelewowy usytuowany w części cylindrycznej (poz. 3, rys. 1).

Cyklony z cieczą ciężką pracują zwykle w pozycji prawie poziomej, co pozwala na zastosowanie dużych rozmiarów wierzchołka wylewowego,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

używanego do usuwania ziaren odpadowych oraz ułatwia czyszczenie cyklonu podczas postoju [1, 2, 3, 7].

Do powszechnie stosowanych cyklonów z cieczą ciężką należy zaliczyć urządzenia firmy FLSmidth Krebs, których przykładowe konstrukcje pokazano na rysunku 2.

Powyższe urządzenia, w zależności od ich wielkości (średnicy), umożliwiają wzbogacanie w bardzo szerokim zakresie, zarówno pod względem obciążenia materiałem i wydajności, jak i maksymalnej wielkości ziarna.

Inną znaną firmą produkującą cyklony z cieczą ciężką jest PrepTech, która oferuje cyklony typu Multotec wyłożone materiałem ceramicznym (rys. 3).

3. Przykłady rozwiązań układów technologicznych wzbogacania węgla z wykorzystaniem cyklonów z cieczą ciężką

Na rysunku 4 zaprezentowano uproszczony schemat układu wzbogacania węgla kamiennego w pełnym zakresie wymiarowym, z zastosowanymi wzbogacalnikami z cieczą ciężką i podziałem na poszczególne operacje przeróbcze: klasyfikacji, wzbogacania oraz odwadniania produktów.

Węgiel surowy na przesiewaczu, w węźle klasyfikacji wstępnej, rozdzielany jest na dwa produkty. Produkt górny, o największym uziarnieniu, podlega wzbogaceniu w stacjonarnych wzbogacalnikach zawiesinowych.

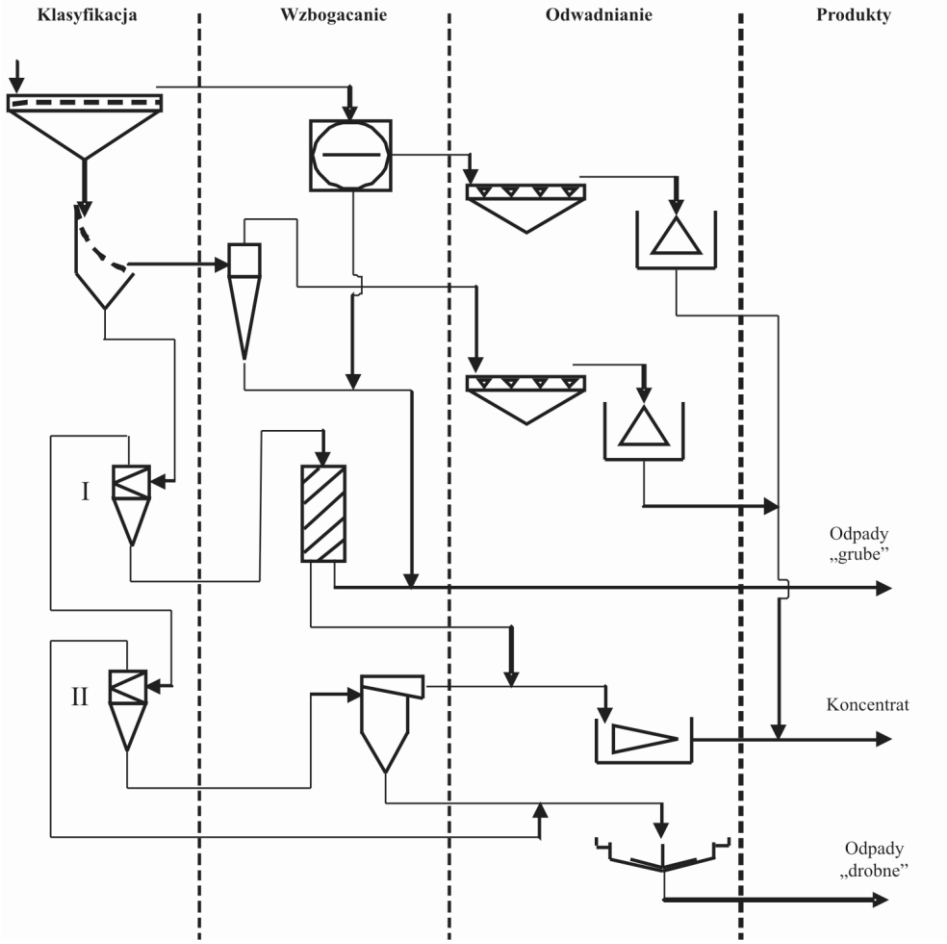
Produkt dolny podlega kolejnej klasyfikacji na przesiewaczu łukowym, z którego odsiew (ziarna większe) kierowane są do wzbogacenia w cyklonach z cieczą ciężką, a ziarna drobne trafiają na dwustopniową klasyfikację złożoną z hydrocyklonów klasyfikujących i odmulających.

Wylew z hydrocyklonu I stopnia podlega gęstościowemu rozdziałowi we wzbogacalnikach zwojowych (spiralach), natomiast przelew trafia na opcjonalny II stopień hydrocyklonów, w których z kolei następuje rozdział na wylew kierowany do flotowników oraz przelew, który łączony jest z produktem odpadowym flotacji i kierowany do zagęszczaczy (rys. 4).

Cyklony z cieczą ciężką, w zależności od wielkości (średnicy) urządzenia, mogą być stosowane do wzbogacania materiału w bardzo szerokim zakresie ziarnowym.

Na rysunku 5 pokazano fragment układu technologicznego, w którym wzbogacaniu w cyklonach z cieczą ciężką podlega zarówno materiał o uziarnieniu > 16 mm, jak i ziarna o wielkości 16-1,4 mm.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



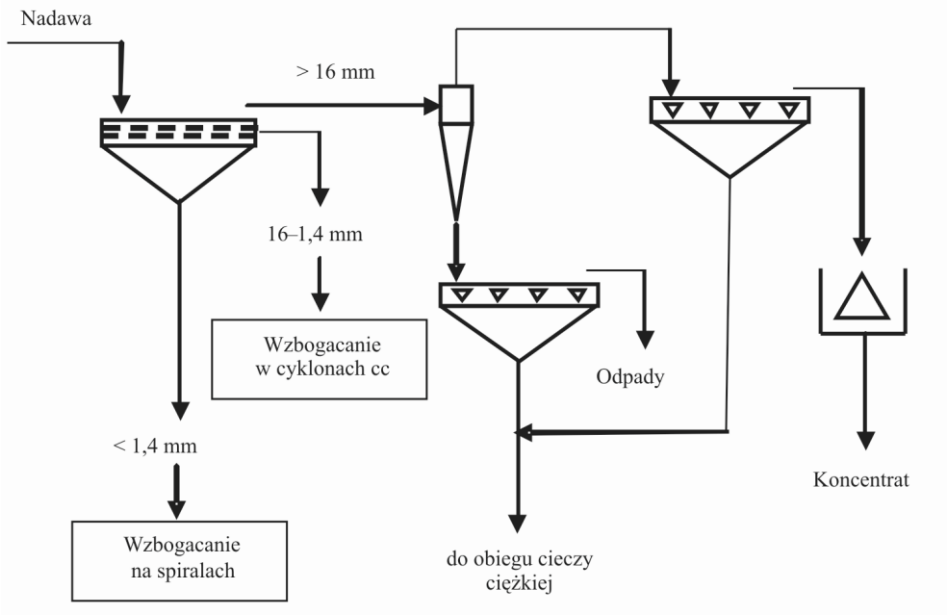
Rys.4. Uproszczony schemat układu wzbogacania w pełnym zakresie wymiarowym, oparty na wzbogacaniu w cieczy ciężkiej [6]

Nadawa rozdzielana jest na przesiewaczu dwupokładowym, z którego uzyskuje się trzy produkty. Dwa z nich tzn. produkt górny (>16 mm) i pośredni (16-1,4 mm) podlegają wzbogaceniu w cyklonach z cieczą cieżką, a ich produkty zostają odwodnione na odpowiednich przesiewaczach oraz dodatkowo, w przypadku koncentratu, w odwadniarkach. Najdrobniejsze ziarna kierowane są do wzbogacenia w spiralach.

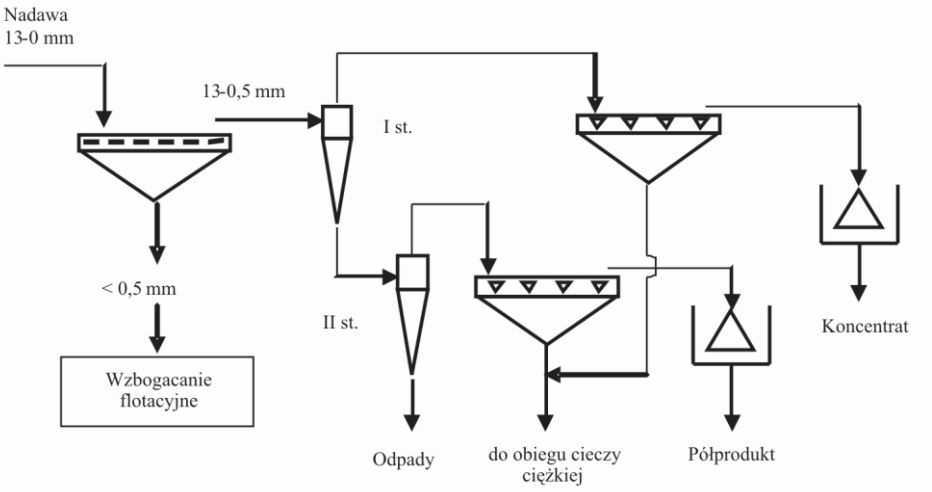
Innym przykładem wykorzystania cyklonów jest ich zastosowanie do dwustopniowego procesu wzbogacania (rys. 6).

W prezentowanym przypadku nadawa o uziarnieniu 13-0,5 mm podlega rozdziałowi w dwóch kolejnych układach cyklonów z cieczą ciężką, uzyskując w ten sposób trzy produkty tj. koncentrat węglowy, półprodukt oraz odpady.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.5. Fragment schematu procesu wzbogacania w cyklonach w dwóch klasach ziarnowych [11]



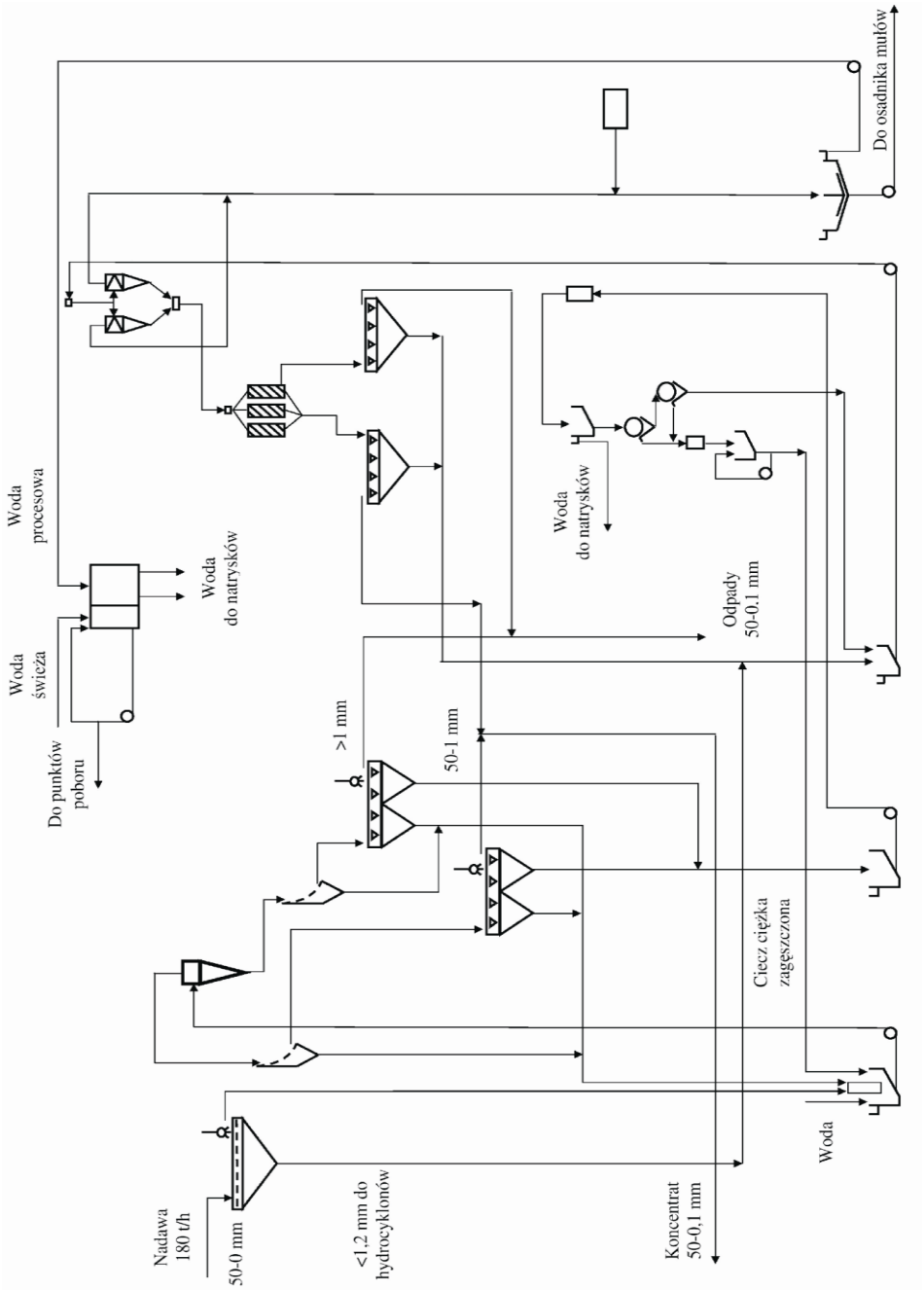
Rys.6. Fragment schematu dwustopniowego procesu wzbogacania w cyklonach [10]

Przedstawione układy procesu wzbogacania z zastosowaniem cyklonów z cieczą ciężką, są bardzo uproszczone, ponieważ nie obejmują skomplikowanych obiegów cieczy ciężkiej.

Typowy obieg cieczy ciężkiej zawiesinowej składa się z szeregu rząpi (zbiorników) z pompami, hydrocyklonów, rekuperatorów magnetycznych oraz wielu dodatkowych elementów układu.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przykładowy schemat pokazujący dużą złożoność układu, w którym wykorzystano cyklony z cieczą ciężką, zaprezentowano na rysunku 7.



Rys.7. Przykładowy schemat układu wzbogacania w cyklonach wraz z obiegiem cieczy ciężkiej i wody procesowej [9]

4. Układ wzbogacania w pełnym zakresie ziarnowym stosowany w polskich zakładach przeróbczych

W polskich zakładach przeróbki węgla kamiennego do wzbogacania nadaw ziarnowych (> 20 mm) stosowane są wzbogacalniki grawitacyjne z cieczą ciężką (np. DISA), natomiast do rozdziału nadaw miałowych prawie wyłącznie osadzarki pulsacyjne.

Typowy układ technologiczny stosowany w polskich zakładach przeróbczych dla pełnego zakresu wymiarowego wzbogacanego materiału, składa się z szeregu węzłów, których wybrane, najważniejsze, z punku widzenia celu pracy, opisano poniżej [12].

Wzbogacanie grubych klas ziarnowych

Proces wzbogacania grubych klas ziarnowych >20 (30) mm prowadzi się w polskich zakładach przeróbczych najczęściej we wzbogacalnikach typu DISA, urządzeniach, w których rozdział materiału następuje w cieczy ciężkiej zawiesinowej w oparciu o różnice gęstości ziaren wzbogacanego materiału.

Produkt koncentratowy oraz produkt pośredni, po odwodnieniu na przesiewaczach wibracyjnych i skruszeniu na kruszarkach pierścieniowo-udarowych, kierowany jest do zbiorników produktów handlowych. Produkt odpadowy, po odwodnieniu, kierowany jest do zbiorników odpadów poprodukcyjnych.

Wzbogacanie drobnych klas ziarnowych

Nadawa w klasie 20–0 mm wzbogacana jest trójproduktowo w wodnych osadzarkach pulsacyjnych.

Uzyskane produkty wzbogacania podlegają odwodnieniu. Koncentrat po dwustopniowym odwodnieniu na odśrodkowych sitach szczelinowych OSO oraz odwadniarkach wibracyjnych kierowany jest do zbiorników magazynowych węgla handlowego. Produkt pośredni odwadniany jest wstępnie w podnośnikach kubełkowych i transportowany do odwadniarek wibracyjnych, po czym kierowany do zbiorników magazynowych węgla handlowego. W niektórych zakładach produkt pośredni podlega dodatkowemu rozdziałowi w osadzarce przeznaczonej do wtórnego wzbogacania. Odpady, po odwodnieniu w podnośnikach kubełkowych, kierowane są do zbiorników magazynowych.

Wzbogacanie najdrobniejszych klas ziarnowych

Klasa ziarnowa poniżej 0,5 mm z odwadniania produktów wzbogacania płuczkowego, poprzez zagęszczacze promieniowe DORR'a, kierowana jest do

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

procesu wzbogacania w przepływowych maszynach flotacyjnych pneumo – mechanicznych typu IZ.

Proces wzbogacania jest procesem dwuproduktowym. Koncentrat flotacyjny (flotokoncentrat), w postaci zawiesiny, kierowany jest do odwadniania, które następuje najczęściej w wirówkach sedymentacyjno-sitowych. Odpady flotacyjne odprowadzane są do zagęszczaczy promieniowych.

5. Możliwości stosowania cyklonów z cieczą ciężką do wzbogacania węgla w polskich zakładach przeróbczych

Polskie zakłady przeróbcze budowane były pod kątem zastosowania konkretnej, technologii przeróbki węgla. Jednym z istotnych węzłów wzbogacania były i są obecnie osadzarki pulsacyjne.

Realizowane lub planowane w najbliższej przyszłości modernizacje zakładów przeróbczych w zakresie wzbogacania miałowego i średnio-ziarnowego opierają się głównie na zabudowie nowych osadzarek pulsacyjnych.

Wybór odpowiedniej technologii wzbogacania węgla (osadzarka pulsacyjna lub cyklony z cieczą ciężką) powinien być poprzedzony analizą czynników mających wpływ na rachunek ekonomiczny prowadzenia procesu. Należy do nich zaliczyć m.in. charakterystykę wzbogacalności nadawy, wymaganą jakość produktów rozdziału oraz potencjalne koszty inwestycyjne i operacyjne.

Cyklony z cieczą ciężką umożliwiają uzyskanie wyższej skuteczności wzbogacania w stosunku do wzbogacania osadzarkowego.

Z publikowanych danych wynika, że wskaźnik imperfekcji, charakteryzujący dokładność rozdziału wzbogacanego materiału, dla cyklonów z cieczą ciężką zawiera się w przedziale 0,04 do 0,12. Dla osadzarek, pracujących z mniejszą dokładnością powyższy wskaźnik mieści się w przedziale 0,14 - 0,20 [4]. Inne źródło podaje, że omawiane wskaźniki kształtują się na poziomie 0,07 dla cyklonów oraz 0,175 dla osadzarek pulsacyjnych [8].

Uzasadnione, pod względem oczekiwanych efektów wzbogacania, jest również wykorzystywanie cyklonów w przypadku nadaw o dużej (>20%) zawartości materiału przyrozdziałowego [9].

Pomimo osiąganych lepszych wskaźników rozdziału, prowadzenie procesu wzbogacania miałów węglowych w cyklonach z cieczą ciężką jest trudniejsze ruchowo niż w osadzarkach pulsacyjnych. Osadzarki, w stosunku do cyklonów z cieczą ciężką, są urządzeniami o większej tolerancji na zmiany składu ziarnowego i gęstościowego nadawy kierowanej do wzbogacania. Z tego też

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

względu należy stosować precyzyjne rozwiązania w zakresie uśredniania nadawy pod względem jej składu gęstościowego, a także ziarnowego [5].

Trzeba mieć również na uwadze dodatkowe czynniki ograniczające zakres zastosowania technologii wzbogacania w cyklonach z cieczą ciężką. Można do nich zaliczyć m.in.: dużą wrażliwość na zawartość iłów w nadawie, zmiany w obciążeniu materiałem oraz ewentualne przerwy w dostawie energii [9].

Należy również zaznaczyć, że zmiana technologii wzbogacania w istniejących zakładach przeróbczych, w postaci zastąpienia osadzarek cyklonami z cieczą ciężką, byłaby operacją skomplikowaną i kosztowną.

Takie działanie wymagałoby przekonstruowanie ciągów technologicznych w zakresie zabudowy, nie tylko cyklonów z cieczą ciężką i układów podawania nadawy oraz odbioru produktów rozdziału, ale również wprowadzenia szeregu urządzeń stanowiących elementy składowe skomplikowanego obiegu cieczy ciężkiej zawiesinowej, wśród których można wyróżnić: zbiorniki (rząpia) cieczy ciężkiej rozrzedzonej i zagęszczonej, dodatkowe pompy, baterie hydrocyklonów oraz kosztowne rekuperatory magnetyczne.

Ewentualna zmiana w technologii wzbogacania węgla kamiennego w istniejących krajowych zakładach przeróbczych powinna być uzasadniona rachunkiem ekonomicznym takich działań wskazującym na uzyskanie znacznego zysku w produkcji sortymentów handlowych.

Zdecydowanie łatwiejszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie cyklonów w nowo projektowanych lub budowanych zakładach przeróbczych. Przykładem jest Zakład Przeróbczy PG „Silesia", gdzie po raz pierwszy od wielu lat w warunkach krajowych pojawiła się instalacja z cyklonami z cieczą ciężką [13].

6. Podsumowanie

Jednym z podstawowych problemów polskich zakładów przeróbczych jest zwiększenie skuteczności wzbogacania wydobywanego węgla kamiennego, które można uzyskać poprzez modernizacje układów wzbogacania.

Modernizacje mogą polegać na wymianie wyeksploatowanych urządzeń na nowe, tego samego typu lub zaimplementowanie do zakładów innych rozwiązań konstrukcyjno - technologicznych.

Obecnie sortymenty miałowe i średnioziarnowe węgla, w warunkach krajowych, wzbogacane są prawie wyłącznie w osadzarkach pulsacyjnych.

W większości europejskich zakładów przeróbki węgla stosuje się osadzarki pulsacyjne, natomiast w Australii, RPA, a także w większości zakładów przeróbczych w USA preferowane jest wzbogacanie w cyklonach z cieczą ciężką zawiesinową.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyższą skuteczność wzbogacania zapewniają cyklony z cieczą ciężką. Istnieje jednak szereg czynników ograniczających lub uniemożliwiających możliwość stosowania ww. urządzeń. Ponadto mniej korzystne wyniki wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych wynikają często z braku zapewnienia podstawowych wymagań prawidłowego prowadzenia procesu technologicznego.

Podstawą wyboru sposobu wzbogacania miału węglowego powinny być, w każdym przypadku, pełne analizy technologiczne i ekonomiczne, ponieważ skutki niewłaściwego doboru urządzeń wzbogacających mogą implikować straty finansowe, wpływając tym samym negatywnie na rentowność procesu technologicznego [4].

Praca wykonana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 "Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Literatura

1. Blaschke St.: Przeróbka mechaniczna kopalin, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1972.
2. Blaschke St., Blaschke W.: Technika wzbogacania węgla, Skrypt uczelniany nr 736, Akademia Górniczo Hutnicza 1979.
3. Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2009.
4. Blaschke W., Thi Thuy Linh N., Czarny G.: Ekonomiczne kryterium wyboru sposobu wzbogacania miałów węgla koksowego Polityka Energetyczna, Tom 12, Zeszyt 2/2, 2009.
5. Blaschke W., Ziomber S., Czarny G.: Wpływ dokładności wzbogacania węgla koksowego na wychód koncentratu. Monografia KOMEKO 2010.
6. Honaker R.Q.: Coal Preparation Plant Advancements University of Kentucky, Department of Mining Engineering, 2007.
7. Laskowski T., Błaszczyński S., Ślusarek M.: Wzbogacanie kopalin w cieczach ciężkich, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1979.
8. Meyers R., Walters A., Laskowski J.: Encyclopedia of physical science and technology. Coal Preparation, 2001.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

9. Wittmers H.: Efficient and Environment friendly Mining by means of Coal Washing, German-Indonesian Mining Symposium, Jakarta, 2011.
10. Xia Y., Li J.: Fine coal circuitry considerations in treatment of soft coal with difficult washabilities. Fuel Processing Technology 88, 2007.
11. Billiton Mitsubishi Alliance: Daunia Coal Mine Project – Supplementary Environmental Impact Statement, 2009.
12. Materiały szkoleniowe ITG KOMAG: Podstawy technologii wzbogacania przeróbki mechanicznej węgla, 2013.
13. Kowol D. i in.: Cyklony z cieczą ciężką jako alternatywa dla osadzarek miałowych. ITG KOMAG 2013 (materiały nie publikowane).
14. Strona internetowa www.krebs.com
15. Strona internetowa www.preptech.com

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przesiewacze wibracyjne projektowane i konstruowane do procesów pomocniczych w instalacjach przeróbki surowców mineralnych

Andrzej Woźnica – Kopex Machinery S.A.

1. Wprowadzenie

Wdrożona skutecznie do prefabrykacji i zastosowań w przemyśle grupa maszyn wibracyjnych o eliptycznej trajektorii ruchu drgającego rzeszota pozwoliła nam rozwiązać problem klasyfikacji pomocniczej tak w O/ZWR Polkowice, KGHM Polska Miedź Lubin, jak i na ZMPW KWK „Mysłowice – Wesoła" Ruch „Wesoła".

Zagadnienia te są zgoła różne, gdyż pierwsze dotyczy klasyfikacji na mokro, a drugie na sucho, przy ziarnie podziałowym odpowiednio 5 mm i 10 mm.

Zadania te wykonano przy współpracy z Biurem Projektów i Realizacji Inwestycji „SEPARATOR – ROBERTS & SCHAEFER" Sp. z o.o.

Maszyny i elementy konstrukcyjne wyprodukowano w WAMAG S.A. Wałbrzych obecnie KOPEX Machinery S.A. oddział Wałbrzych.

Projektowanie, konstruowanie, a następnie dalsze fazy inwestycji wykonano w pełnym cyklu od koncepcji do uruchomienia pod obciążeniem.

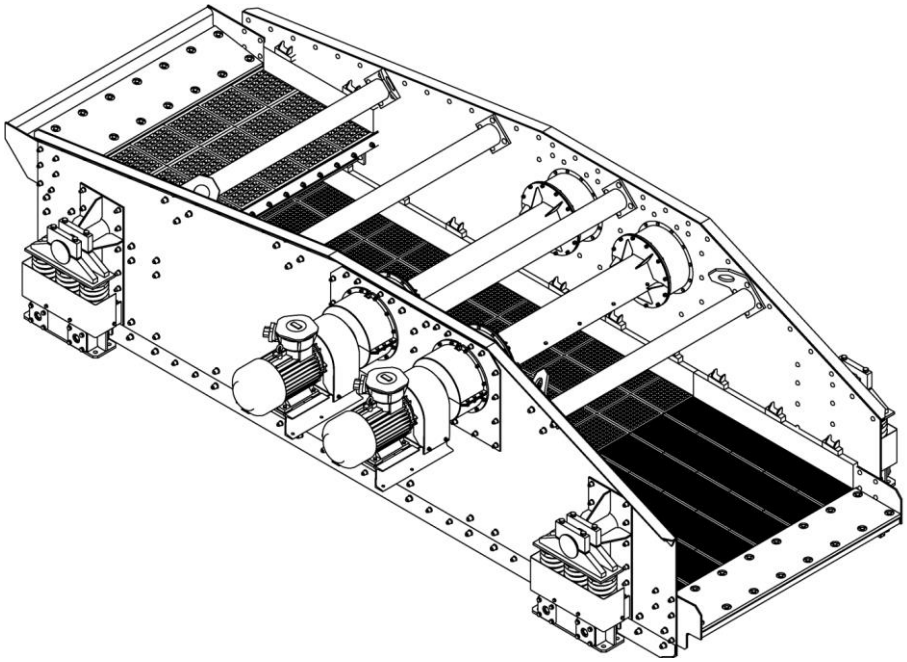
Na podkreślenie zasługuje fakt, że dane wejściowe oraz wymagania techniczno – technologiczne podane zostały przez Inwestorów do dziś eksploatujących te instalacje.

2. Modernizacja klasyfikacji końcowej w aspekcie prototypowych rozwiązań wysiewania groszku o uziarnieniu 8÷25 mm w ZMP W KWK Mysłowice - Wesoła

2.1. Dane wejściowe procesu

Celem inwestycji była przebudowa klasyfikacji końcowej polegająca na zastąpieniu przestarzałych, wyeksploatowanych urządzeń nowoczesnymi przesiewaczami wibracyjnymi typu WE1-1,8x5,25. Rozwiązanie konstrukcyjne tego typu przesiewacza zamieszczono na rysunku 1. Przesiewacze te umożliwiają przesiewanie eko-groszku w projektowanym węźle.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Przesiewacz wibracyjny WE1-1,8x5,25 [3]

Zainstalowane przed wielu laty przesiewacze o ruchu kołowym pracowały z niewielką sprawnością, a ich ciągłe awarie czyniły ten węzeł niepewnym w eksploatacji [3].

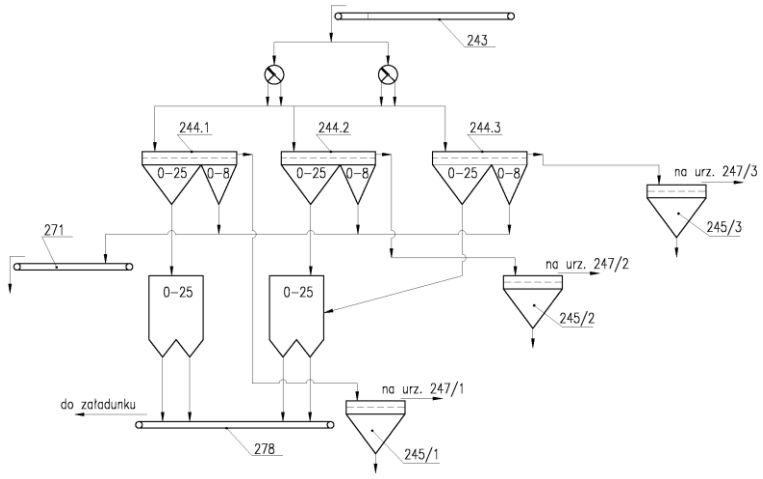
2.2. Opis układu maszynowego

Przebudowę klasyfikacji końcowej wysiewania groszków przedstawiono na schemacie maszynowym, rysunek 2, układ przestrzenny zabudowy maszyn i urządzeń na rysunku 3.

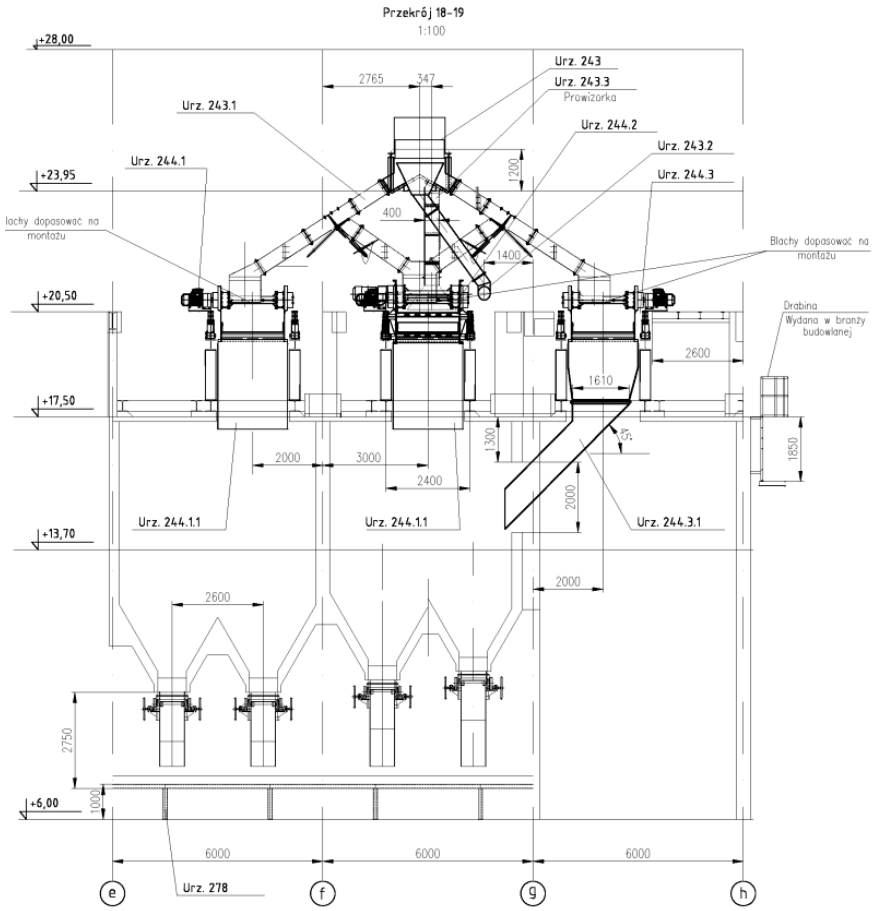
Wzbogacony w cieczy ciężkiej w wzbogacalnikach DISA urz. 241 węgiel w klasie ziarnowej 0 ÷ 80 mm odwodniony na przesiewaczach wibracyjnych urz. 242 transportowany jest przenośnikiem taśmowym urz. 243 do węzła klasyfikacji końcowej w celu rozdziału na produkty handlowe.

Przebudowa klasyfikacji końcowej polegała na zastąpieniu istniejących, zużytych przesiewaczy wibracyjnych WK1-1,5x3 urz. 244 nowoczesnymi przesiewaczami wibracyjnymi typu WE2-1,8x5,25, które umożliwiają odsiewanie w projektowanym węźle eko-groszku 8 ÷ 25 mm [3, 4].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.2. Schemat maszynowy węzła wysiewania eko-groszku [4]



Rys.3. Układ przestrzenny zabudowy maszyn i urządzeń [4]

Model zastosowanego przesiewacza przedstawiony na rysunku 3 pozwala zobrazować jego cechy znamienne:

- pokład sit gumowych o drobnych oczkach chroniony górnym szczątkowym pokładem osłonowym,
- podparcia sprężyste ze stabilizatorami drgań poprzecznych,
- napędy bezwładnościowe w burtach z usytuowaniem dla ruchu eliptycznego sprężyście podpartych elementów rzeszota.

Uwaga: Wszystkie zastosowane maszyny mają zróżnicowane masy bezwładnościowe tak, że na długości podkładu sit materiał jest przyspieszany na wlocie, a hamowany na wylocie.

3. Instalacja przesiewania urobku przed operacją I-go mielenia na I-szym ciągu technologicznym w O/ZWR Rejon Polkowice

Technologię wysiewania na mokro rudy miedzi o uziarnieniu 0÷5 mm przedstawiono na schemacie technologiczno-maszynowym rysunek 4, a układ przestrzenny zabudowy przesiewacza zobrazowano na rysunku 5.

Ruda do procesu wzbogacania flotacyjnego jest odpowiednio przygotowana. Proces jej przygotowania polega na wielostopniowym kruszeniu, mieleniu i klasyfikacji ziarnowej w celu uzyskania uziarnienia wymaganego w procesie flotacji.

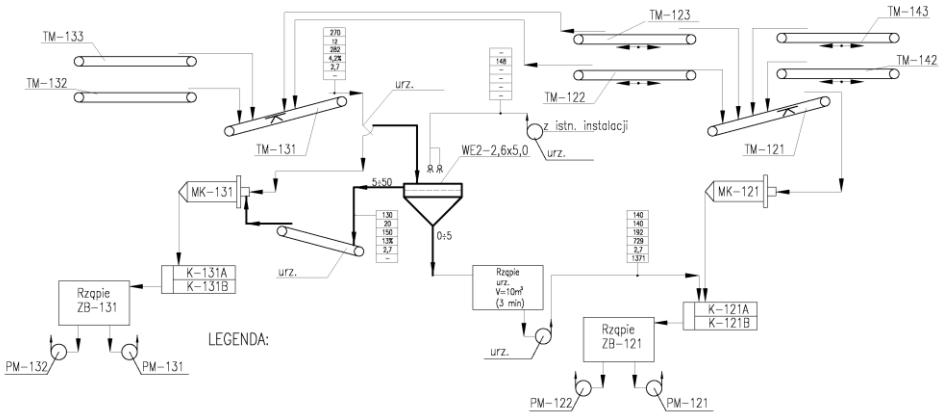
Produkt z pierwszego stopnia mielenia zgodnie z wymaganiami technologii O/ZWR Rejon Polkowice powinien charakteryzować się uziarnieniem w 100% poniżej 5 mm. W przypadku, gdy nadawa na pierwszy stopień mielenia zawiera ponad 50% ziarn mniejszych niż 5 mm należy je wydzielić i skierować wprost na drugi stopień mielenia.

Instalacja przesiewania urobku na I-szym ciągu technologicznym w Rejonie O/ZWR Polkowice umożliwia wydzielenie na przesiewaczu z nadawy na młyn pierwszego mielenia, ziarn mniejszych niż 5 mm (produkt dolny przesiewacza) i kierowanie ich dalej z pominięciem ww. młyna, natomiast ziarna większe niż 5 mm (produkt górny przesiewacza) kierowane są bez zmian do młyna pierwszego mielenia. Klasyfikacja na przesiewaczu prowadzona jest na mokro, wydajność przesiewacza wynosi 260 (±30) Mg/godzinę urobku w stanie wilgotnym. Gęstość produktu dolnego jest większa niż 1300 g/dm^3, gęstość produktu górnego jest większa niż 1750 g/dm^3, jego wilgotność wynosi około 14%. Zawartość ziarn mniejszych niż 5 mm w produkcie górnym wynosi nie więcej niż 10% [4].

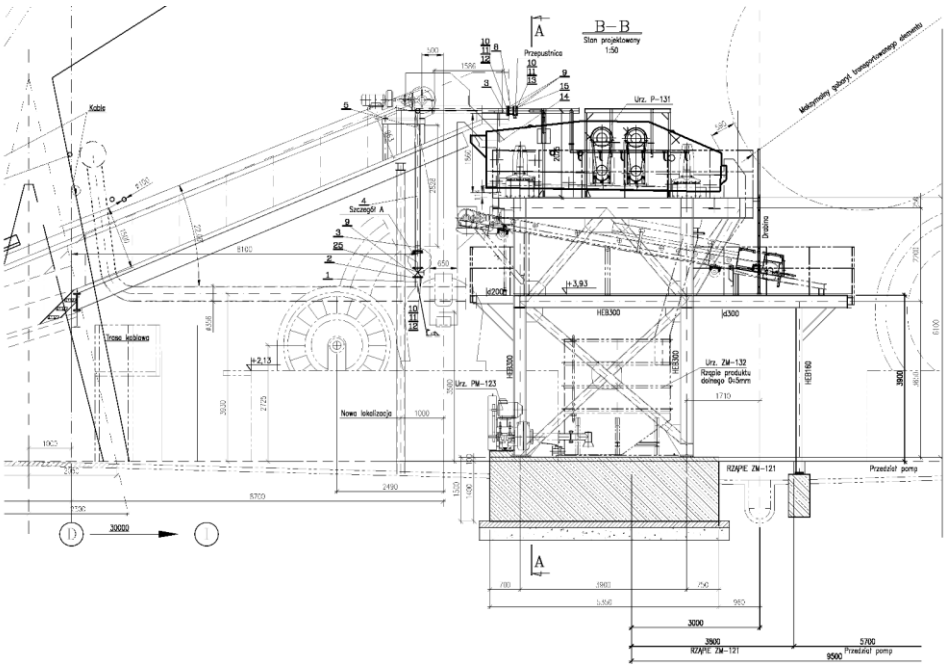
Zastosowany w węźle przesiewacz wibracyjny WE1-2,6x5,0 przedstawiony na rysunku 6 wraz z jego parametrami technicznymi, podanymi w tabeli 1, charakteryzował się zastosowanym, dodatkowym pokładem transportująco –

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

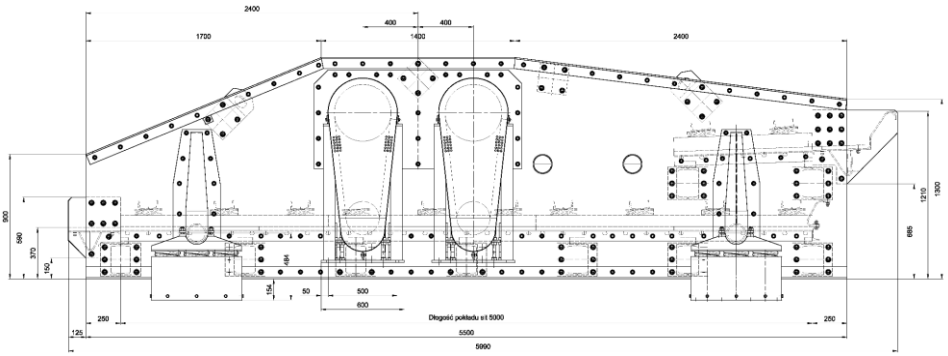
osłonowym, który miał za zadanie wstępnie rozklasyfikować nadawę na frakcje ±10 mm. Zaletą tego rozwiązania było znaczne poprawienie sprawności przesiewania na pierwszych metrach pokładu sitowego, gdy warstwa materiału ma największą wysokość. Dodatkowo w maszynie tej istnieje możliwość uzyskania prędkości obrotowej wału wibratora 1000 obr/min.



Rys.4. Schemat technologiczny instalacji przesiewania urobku [4]



Rys.5. Układ przestrzenny zabudowy maszyn i urządzeń w O/ZWR Polkowice [3, 4]



Rys.6. Przesiewacz wibracyjny WE1-2,6x5,0
zabudowany w O/ZWR Rejon Polkowice [3]

Charakterystyka techniczna przesiewacza WE1 – 2,6x5,0 [3]

Tabela 1

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA PRZESIEWACZA WE1 – 2,6x5,0			
Przeznaczenie		Klasyfikacja i odwadnianie	
Szerokość pokładu sitowego		[m]	2,6
Długość pokładu sitowego		[m]	5,0
Powierzchnia pokładów sitowych		[m^2]	13,0
Sita		Modułowe kołkowe 1000x300x30, #10mm (pokład osłonowy) Modułowe kołkowe 1000x300x30, #5mm	
Prędkość obrotowa		[obr/min]	850 (1050)
Skok rzeszota		[mm]	5 ÷ 11±1
Kąt pochylenia rzeszota		[°]	0 ÷ 6
Silnik napędowy Typ Sg 160-M4	Moc	[kW]	2x11
	Prędkość obrotowa	[obr/min]	1460
Masa przesiewacza		[Mg]	7,93

4. Opis węzła produkcji koncentratu do sprzedaży drobnicowej KWK Budryk

Koncentrat kierowany do sprzedaży drobnicowej jest produktem z pracujących na obiekcie wodnych osadzarek pulsacyjnych sterowanych elektronicznie. Maszyny te przeznaczone są do pracy przy zasilaniu szeroką klasa ziarnową węgla surowego 0 ÷ 80 mm bez odmulania, lecz z czasowym wysiewaniem ziaren poniżej 8 mm.

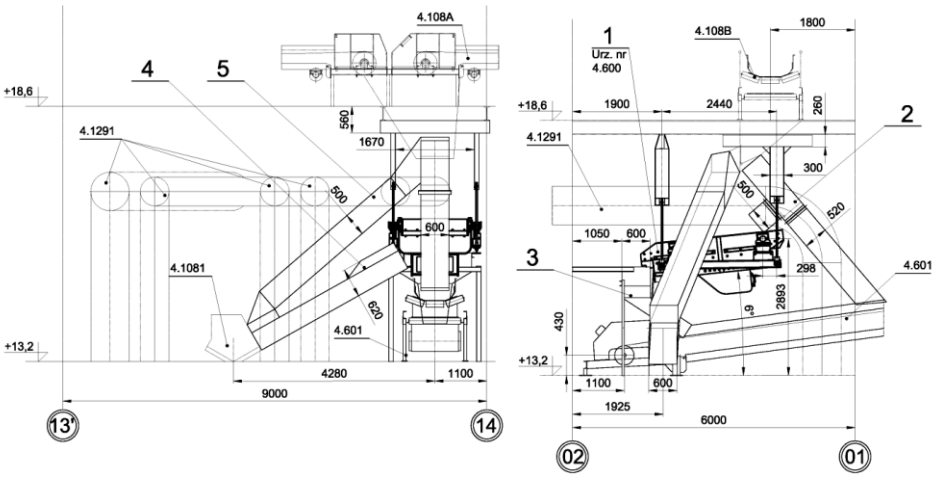
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przesiewacz kontrolny PKE1-1,4x2,75 pokazany na rysunku 8, został zabudowany za węzłem odwadniająco klasyfikującym wyposażonym w przesiewacze wibracyjne, a przed kruszarkami udarowo – pierścieniowymi (rys. 7).

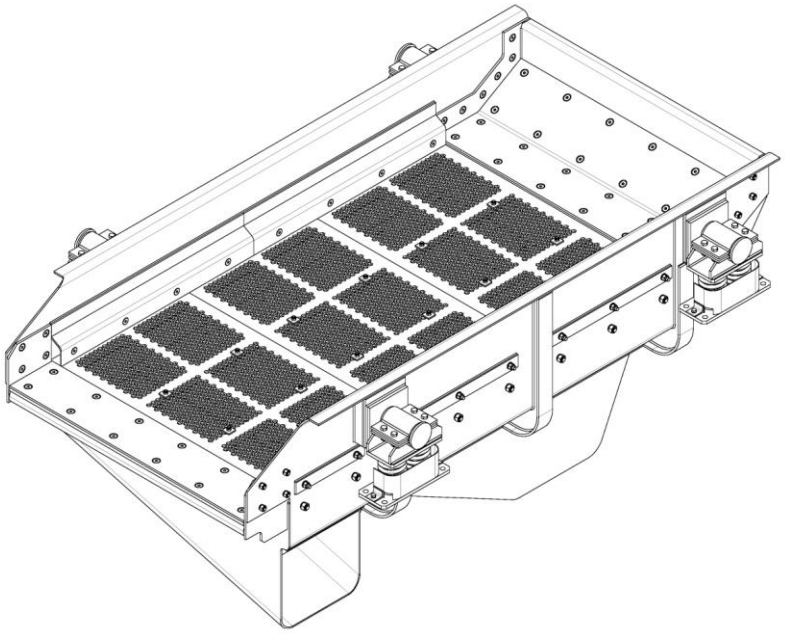
Koncentrat w klasie ziarnowej 0-80 mm po wzbogacaniu w osadzarkach zostaje odwodniony i sklasyfikowany na przesiewaczach PWP uzbrojonych w sita poliuretanowe o oczku 20 mm. Materiał podsitowy tj. koncentrat w klasie ziarnowej 0-20 mm zostaje następnie odwodniony na sitach BISO i wirówkach wibracyjnych odśrodkowych poziomych, skąd dalej transportowany jest do sprzedaży przenośnikiem taśmowym B = 1600 mm. Materiał nadsitowy tj. koncentrat w klasie ziarnowej 20-80 mm po odwodnieniu na przesiewaczach PWP trafia na przenośniki taśmowe B = 1000 mm, skąd następnie na przesiewacz kontrolny PKE1-1,4x2,25, gdzie [2]:

- materiał nadsitowy w klasie ziarnowej 50-80 mm kierowany jest poprzez nową zsuwnię do sprzedaży drobnicowej na przenośnik taśmowy B = 1000 mm,
- materiał podsitowy w klasie ziarnowej 20-50(80) mm kierowany jest poprzez nową zsuwnię do istniejącej zsuwni rozdzielczo nadawczej z klapą, skąd następnie na istniejące, zabudowane kruszarki udarowe UP - 1000x1500, w celu degradacji ziarna do 20 mm i połączeniu z odwodnionym koncentratem na przenośniku taśmowym B = 1600 mm, którym realizowany jest transport do odbiorcy finalnego.

Uwaga: Takie rozwiązanie wybrano, ze względu na czasową sprzedaż drobnicową, którą należało zapewnić aby była możliwa praca węzła bez załadunku materiału na samochody.



Rys.7. Układ przestrzenny zabudowy przesiewacza PKE1-1,4x2,25 [2, 5]



Rys.8. Przesiewacz PKE1-1,4x2,25 [3]

Przesiewacz wibracyjny PKE1-1,4x2,25 jest specjalną maszyną do kontrolnej klasyfikacji na sucho przed załadunkiem do transportu lub do pracy przy produkcji sortymentów węgla handlowego o określonej granulacji.

Konstrukcja tej maszyny jest nadal rozwijana w Zakładach Kopex Machinery S.A., gdyż, jako prototyp sprawdziła się w 100% w warunkach przemysłowych zarówno względem skuteczności działania, jak i bezawaryjnej pracy.

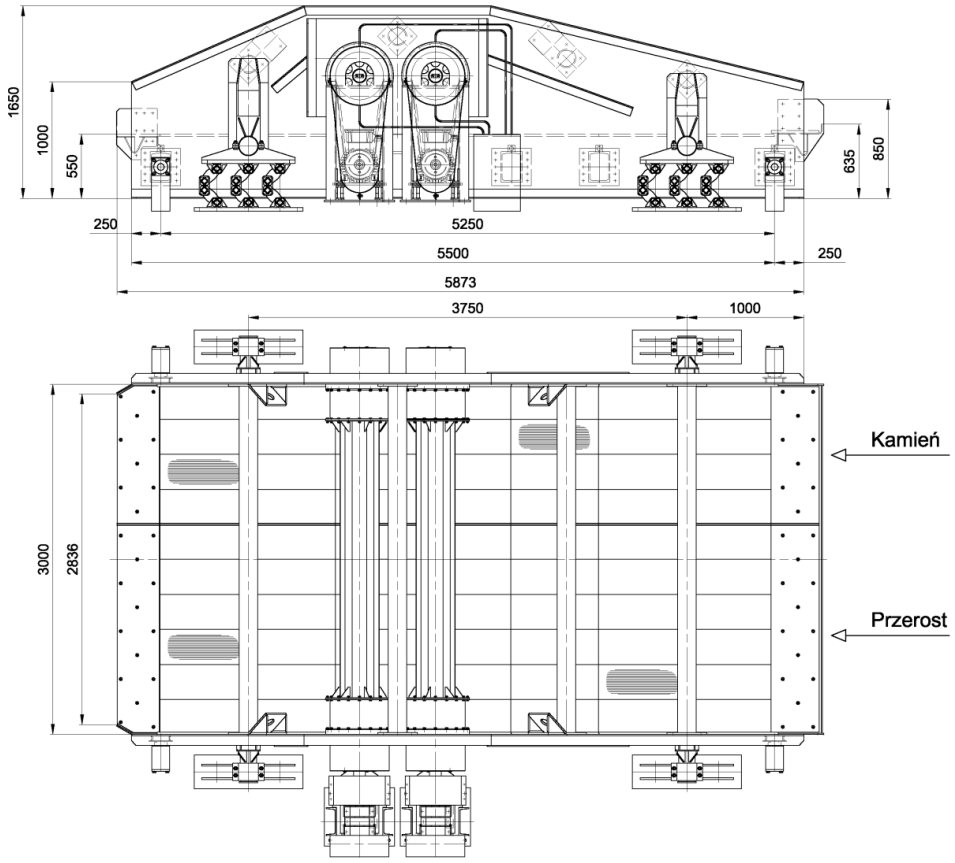
Cechą charakterystyczną tej maszyny jest boczny wysyp produktu podsitowego, jak i cała konstrukcja maszyny, która łączy w sobie jednocześnie wytrzymałość podajnika wibracyjnego z możliwością rozdzielania na poszczególne frakcje transportowanej nadawy. Niewielkie rozmiary gabarytowe, niski koszt produkcji oraz szeroki margines zastosowań czyni z tej konstrukcji produkt mogący zainteresować szeroki krąg odbiorców. Obecnie znajduje się w opracowaniu wersja do odwadniania frakcji drobnych na sitach szczelinowych.

5. Odwadnianie odpadów i przerostu w klasie 80-20 mm w ZMP W KWK Mysłowice – Wesoła

Przedmiotem przeprowadzonego postępowania przetargowego, w którym propozycja Zakładów Kopex Machinery S.A. nie została wybrana było

równoczesne odwadnianie na jednym przesiewaczu przerostu i skały przywęglowej z podziałem uniemożliwiającym mieszanie się dwóch produktów wzbogacania.

Zaprojektowane i skonstruowane przez nas przesiewacze spełniają wymagania techniczne i technologiczne opisane przez Inwestora. Spełniając wymagania odwadniania i spłukiwania magnetytu tak przerostu, jak i skały płonnej, nasz przesiewacz ma następujące cechy konstrukcyjne oraz charakterystykę techniczną [2].



Rys.9. Przesiewacz WE1-3,0x5,25 [2]

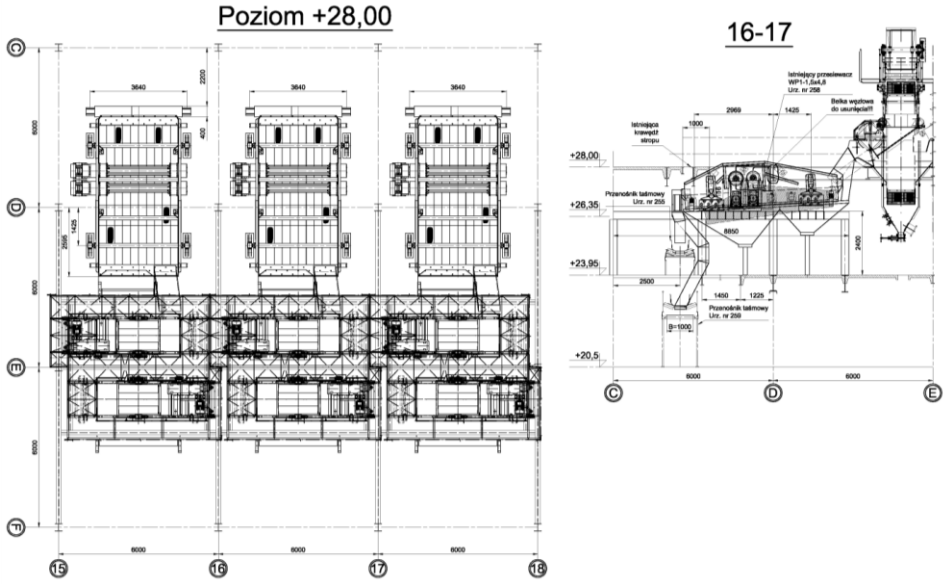
Dla lepszego zobrazowania umiejscowienia trzech nowych przesiewaczy typu WE1-3,0x5,25 w miejsce 6-ciu WP1 poniżej zostały przedstawione fragmenty zabudowy na obiekcie [2].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Charakterystyka techniczna przesiewacza WE1 – 3,0x5,25 [2]

Tabela 2

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA PRZESIEWACZA WE1 – 3,0x5,25			
Przeznaczenie		Suchy proces klasyfikacji	
Granulacja nadawy		[mm]	Do 100
Klasa rozdziału		[mm]	0,5/1,0
Wydajność w nadawie		[Mg/h]	100/150
Szerokość pokładu sitowego		[m]	3,0
Długość pokładu sitowego		[m]	5,25
Powierzchnia pokładów sitowych		[m^2]	15,75
Sito		Pokład sit PROCLIN S=0,5 [mm] – przerost Pokład sit PROCLIN S=1,0 [mm] - kamień	
Prędkość obrotowa		[obr/min]	(750) 850 (1100)
Skok rzeszota		[mm]	6 ÷ 10±1
Kąt pochylenia rzeszota		[°]	0 ÷ 6
Silnik napędowy Typ 2SIE 160-L4	Moc	[kW]	2x15
	Prędkość obrotowa	[obr/min]	1460
Podparcie przesiewacza		12 wsporników ROSTA AB 50 TWIN	
Masa przesiewacza		[Mg]	11,5



Rys.10. Układ przestrzenny zabudowy przesiewacza PKE1-1,4x2,25 [2]

6. Przykładowy arkusz obliczeniowy wykorzystywany w procesie konstruowania przesiewaczy

Zestawienie tabelaryczne przykładowych obliczeń i własności fizycznych dla przesiewacza wibracyjnego [1, 6]

Tabela 3

Dobór napędu bezwładnościowego			
Obliczenie potrzebnego momentu wibratorów			
Własność	**Dane**		**Jednostka**
Masa w ruchu	m_{wr}	6850	kg
Skok obliczeniowy	S_{obl}	10	mm
Ilość wibratorów	WB	4	szt.
Moment masy w ruchu	M_{wr}	168,00	Nm
Rzeczywiste parametry skoku			
Moment statyczny wibratora	kgm	86,6	Nm
Skok rzeczywisty – amplituda drgań	S_{rzecz}	10,1	mm
Obroty silnika	n_1	1460	obr/min
Obroty napędu bezwładnościowego	n_2	850	obr/min
Przełożenie	u	1,718	
Przyspieszenie	a	4,06	m/s^2
Dobór mocy i momentu rozruchowego silnika			
Moc silnika	N	11	kW
Moment nominalny silnika	M_{nom}	71,98	Nm
Krotność momentu	M_{rn}	2,3	
Moment rozruchowy silnika	M_{roz}	284,4	Nm
Obliczeniowy moment rozruchowy.	$M_{obl.}$	225,2	Nm

Wyniki obliczeń projektowych i konstrukcyjnych jednego z przesiewaczy wibracyjnych, które są niezbędne w procesie jego konstruowania, sporządzone w oparciu o własne programy obliczeniowe, przedstawiono w tabeli 3.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

7. Zakończenie

Przedstawiona problematyka związana z konstruowaniem przesiewaczy wibracyjnych ma na celu poinformowanie o ciągle niewykorzystanych do końca możliwościach tych maszyn.

Nowe propozycje są obecnie bardzo na czasie, gdyż większość krajowych instalacji przeróbczych pracuje ponad 30 lat. Kopex Machinery S.A. w Zabrzu zważywszy na modernizacje i budowy nowych ciągów technologicznych z udziałem przesiewaczy liczy nie tylko na rezygnację przez rynek krajowy z dostaw „odtworzeniowych", lecz także na powrót przesiewaczy KOPEX Machinery S.A. na rynki światowe, wzorem lat 80.

Literatura

1. Banaszewski T.: Przesiewacze, Wyd. Śląsk Katowice 1990.
2. Dokumentacje projektowe i konstrukcyjne Kopex Machinery S.A. 2012-2014 r.
3. Dokumentacje projektowe i konstrukcyjne WAMAG S.A. Wałbrzych 2007-2012 r.
4. Dokumentacje projektowe i technologiczne BPiR I Separator R&S Sp. z o.o. Gliwice.
5. Śmiejek Z. – „Klasyfikacja węgla surowego i handlowego w modernizowanych instalacjach przeróbczych", Maszyny Górnicze, 3(131)2012, s. 43-48.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Problemy techniczno-technologiczne klasyfikacji przy użyciu przesiewaczy wibracyjnych o łamanej linii pokładu sitowego

Zygmunt Śmiejek – Kopex Machinery S.A.

1. Wprowadzenie

Początek krajowych prac projektowo-konstrukcyjnych, mających na celu uruchomienie produkcji przesiewaczy o łamanej linii pokładu sitowego, to rok 1980. Fakt ten zaistniał po wielokrotnych próbach modernizacji przesiewacza WK2-2,6x7,0, który miał być powszechnie stosowany w węzłach klasyfikacji wstępnej dla nadawy surowej w ilości 600 Mg/h i klasie ziarnowej 0 do 200 mm. Maszyna nie spełniła jednak oczekiwanych parametrów techniczno-technologicznych, a jej praca do pierwszych napraw nie przekraczała jednego miesiąca.

Nakreślony na szczeblu ministerialnym program działań, w którym uczestniczyli KOMAG z Gliwic, Mifama z Mikołowa oraz KWK „Piast", obejmował zakup wzorcowego przesiewacza z importu oraz równoległe prowadzenie własnych prac badawczo-wdrożeniowych.

Przesiewacze produkowane na przełomie lat 70. i 80. ubiegłego wieku nie prezentowały poziomu technicznego, gwarantującego bezawaryjną pracę przy dużych wydajnościach [3].

Mając na względzie powyższe, program naprawy i poprawy produkowanych w Polsce przesiewaczy obejmował: zaprojektowanie, skonstruowanie i prefabrykację przesiewaczy WK do klasyfikacji przedwstępnej, PZ, PWK i PWP do klasyfikacji wstępnej, a także wykonanie tych dwu ostatnich typów w wersji do klasyfikacji końcowej, jako maszyny pracujące posobnie (PWK/PWP) lub indywidualnie (PWP) oraz odwadniania i odmulania produktów wzbogacania przy użyciu maszyn PWP.

Dodatkowo prowadzono prace modernizacyjne przesiewaczy kierowanych na kopalnie krajowe i zagraniczne w ramach dostaw odtworzeniowych oraz do zakładów przeróbczych budowanych w oparciu o własną myśl techniczną, zwłaszcza w Chinach, Indiach i Argentynie.

Nową myśl projektową i konstrukcyjną rozpoczęto wdrażać u producentów przesiewaczy w 1981 roku, po wyprodukowaniu pierwszych przesiewaczy PZ oraz PWK i PWP.

W latach 1978 do 1979 skonstruowano, wyprodukowano i uruchomiono prototypowy przesiewacz WP1-3x6, którego badania trwały w KWK „Nowy Wirek" do maja 1980, po czym prototyp złomowano. Nieustanne awarie spowodowały, że sięgnięto do wiedzy zawartej w podręczniku profesora

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Blechmana I.I. „Synchronizacja układów dynamicznych” i od tego momentu wykorzystywano wiedzę o samosynchronizacji, która to zasada stosowana jest do dziś w rozwiniętej formie.

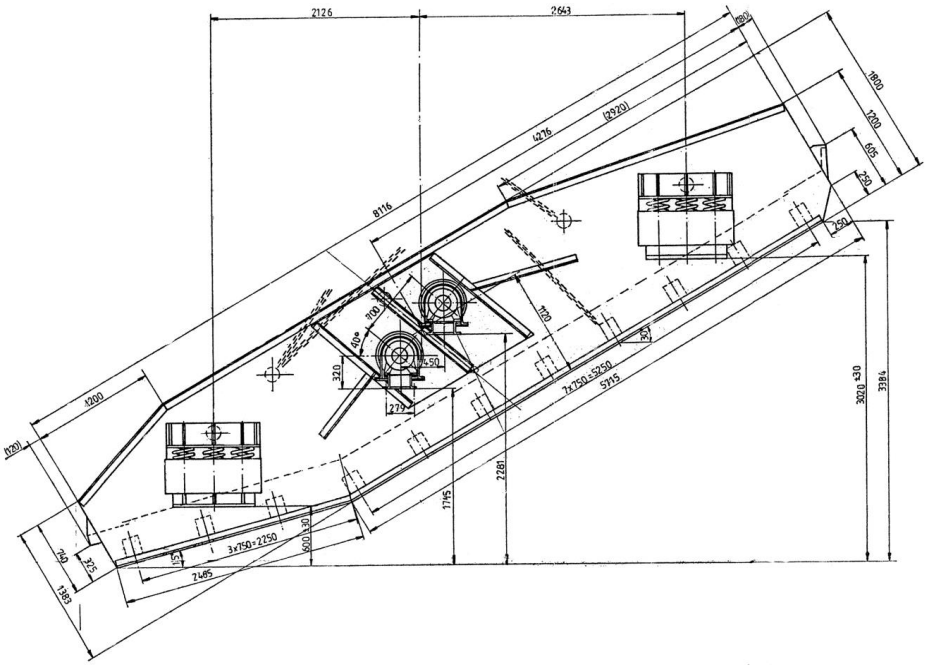
Kopex Machinery S.A. do chwili obecnej w instrukcjach eksploatacji podaje źródłową literaturową definicję:

„Samosynchronizacja pracy napędów bezwładnościowych, jako proces fizykalny polega na tym, że wirujące przeciwbieżnie masy niewyważone dążą zawsze do brzegowych warunków pracy – sumowanie lub redukowanie się siły wypadkowej” [2].

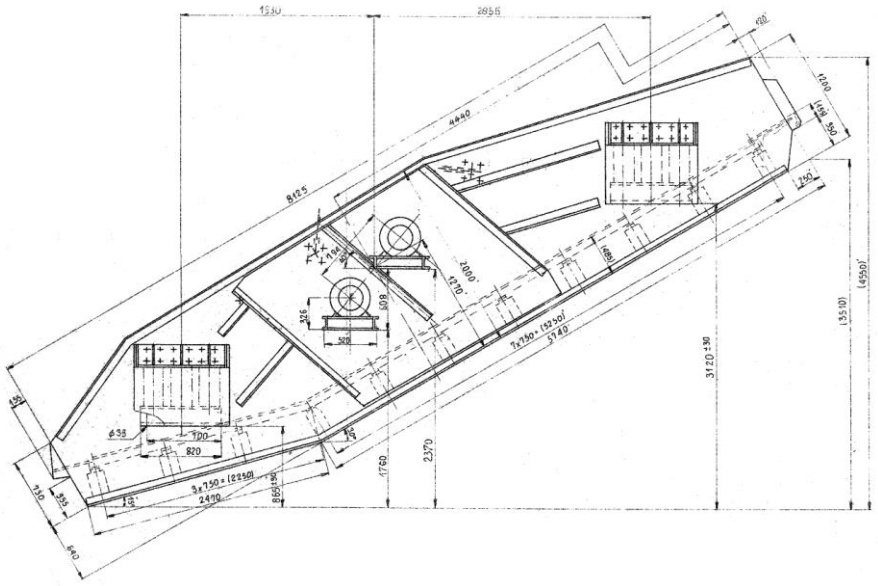
Ta i szereg innych zależności stosowanych i wykorzystywanych w procesie konstruowania nowych przesiewaczy czynią je znamiennym produktem polskiego przemysłu maszyn przeróbczych, osiągającym poziom techniki światowej.

2. Pierwsze przesiewacze o łamanej linii pokładu sitowego

Produkowane począwszy od 1981 roku przesiewacze typu PZ (w kolejności uruchomień PZ-2675, PZ-2275 i PZ-3090), wdrożono do stosowania w węzłach klasyfikacji wstępnej KWK „Piast”, KWK „Zofiówka” oraz KWK „Bielszowice”.

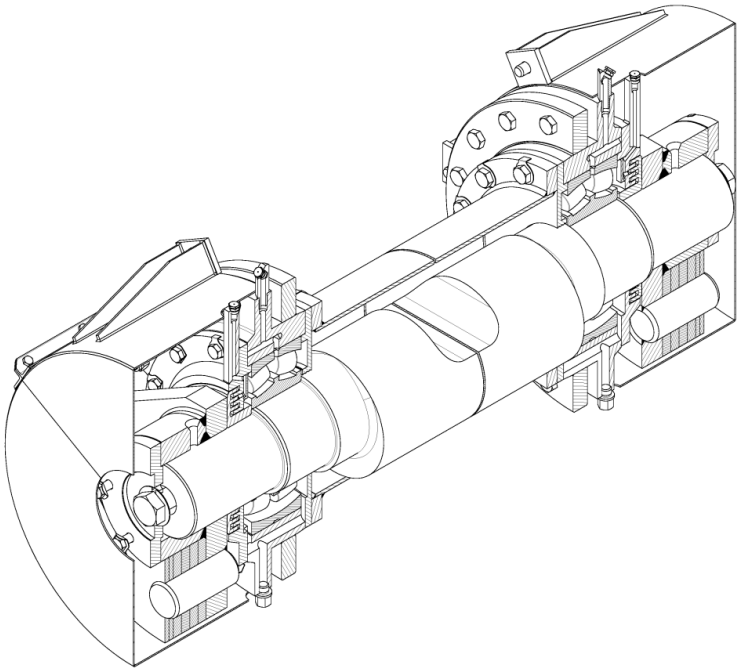


Rys.1. Przesiewacz wibracyjny typu PZ-2275 [5]

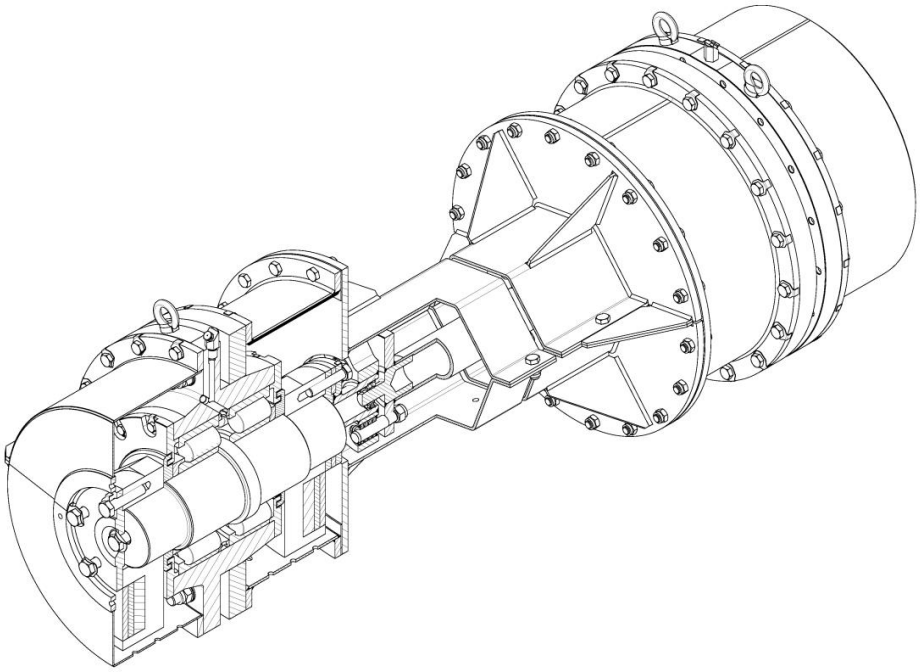


Rys.2. Przesiewacz wibracyjny typu PZ-2675 [5]

Na podkreślenie zasługuje fakt, że przesiewacze te produkowane były w wersji z dwoma napędami typu WK (rys. 3), a dopiero po wdrożeniu do stosowania przesiewacza PWK i PWP z napędami typu WB w burtach.

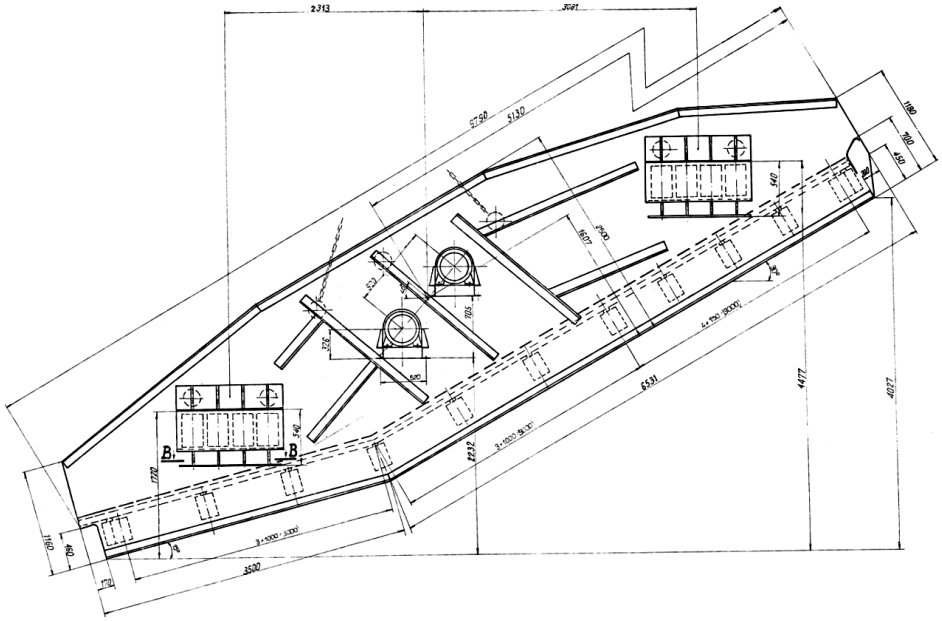


Rys.3. Napęd bezwładnościowy typu WB170 (tzw. długi wał) [4]



Rys.4. Napęd bezwładnościowy typu NB150 [4]

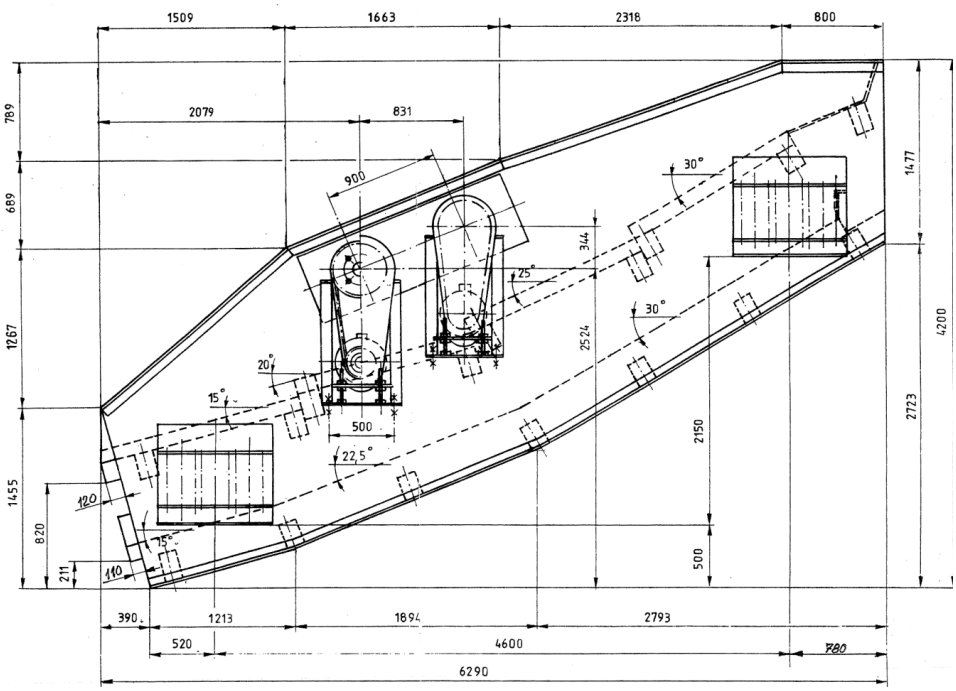
W nowych rozwiązaniach przesiewaczy o łamanej linii pokładu sitowego stosowane są tylko wibratory mocowane kołnierzowo w burtach.



Rys.5. Przesiewacz wibracyjny typu PZ-3090 [5]

Maszyny z początku lat 80., których postać konstrukcyjna jest niezmieniona do dziś, stosowane są w aktualnie realizowanych inwestycjach oraz odtworzeniowo w obiektach pracujących z ich wykorzystaniem od wielu lat. Nowe rozwiązania wykorzystywane są tu sporadycznie.

Zastosowania poza górnictwem węglowym przesiewaczy typu PZ, to przede wszystkim maszyny w wersji specjalnej, wykonane dla KGHM ZWR „Lubin" i „Polkowice". Maszyny te charakteryzowały się dwupokładową konstrukcją rzeszota, z możliwością stosowania klasycznych pokładów sitowych na dolnym pokładzie oraz wzmacnianymi rusztami odpornymi na działanie dużych obciążeń udarowych na górnym pokładzie (rys. 6).



Rys.6. Przesiewacz wibracyjny typu PZ2-2,2x6,0 [5]

W tym miejscu należy jednak nadmienić, że przesiewacze PZ realizują jedynie ruch prostoliniowy sprężyście podpartych elementów rzeszota, nie wykorzystują zasady siania na tzw. „kątach usypowych" oraz nie pozwalają na regulację wielkości i kierunku pochylenia skoku, którą to cechę posiadają przesiewacze o ruchu eliptycznym.

Biuro ds. przeróbki surowców mineralnych Kopex Machinery S.A. konstruuje produkowane przez naszą fabrykę przesiewacze o wielokrotnie łamanej linii pokładu sitowego, z uwzględnieniem wszystkich przedstawionych powyżej zasad, wykorzystując dodatkowo wieloletnie doświadczenie z pracy przesiewaczy PZ oraz szczególnego przypadku realizacji klasyfikacji na

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

łamanej linii pokładu sitowego, czyli pracujących posobnie przesiewaczy PWK i PWP.

3. Przesiewacze o wielokrotnie łamanej linii pokładu sitowego

Zasadność prowadzenia prac rozwojowych oraz przypisane im postaci konstrukcyjne przesiewaczy zawsze najlepiej obrazują aplikacje na dużą skalę przemysłową [1].

Do takich z całą pewnością należą obiekty KWK „Jankowice" oraz KWK „Mysłowice-Wesoła", Ruch „Wesoła".

3.1. Klasyfikacja wstępna ZMPW KWK „Jankowice"

Przeprowadzona w latach 2007 do 2009 radykalna modernizacja węzła klasyfikacji wstępnej, umożliwiła zastąpienie pracujących od 1981 r. czterech ciągów posobnych przesiewaczy PWK/PWP o szerokości 2600 mm i długości odpowiednio 4500 mm i 5250 mm maszynami realizującymi [1]:

- ruch eliptyczny sprężyście podpartych elementów rzeszota,
- cienkowarstwowe przesiewanie na pięciokrotnie łamanej linii pokładów sit dwóch posobnych przesiewaczy,
- zróżnicowany skok i pochylenie trajektorii ruchu obydwu maszyn.

Całość prac badawczych, przygotowanie danych do doboru przesiewaczy oraz opracowanie koncepcji programowo przestrzennej na obiekcie wykonano wspólnie z Inwestorem, przy udziale Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego z Warszawy.

Warunki brzegowe zabudowy oraz lokalizacji miejsca pracy nowych przesiewaczy to:

- brak ingerencji w podstawową branżę budowlaną budynku,
- zachowanie niezmiennych punktów nadawania urobku surowego na pierwszy przesiewacz,
- zachowanie punktu odbioru produktu nadsitowego z drugiego przesiewacza,
- niezmieniony odbiór klasy podsitowej,
- zachowanie bilansu zainstalowanej mocy.

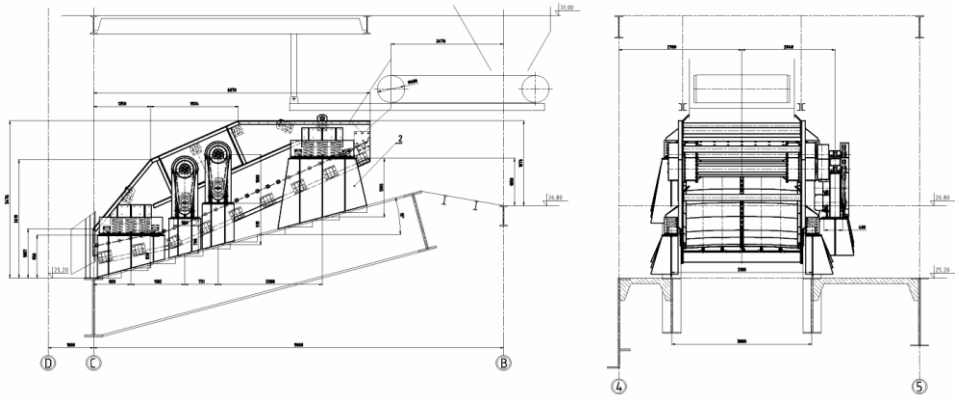
Racje istnienia przedsięwzięcia:

- możliwość wysiania klasy -16 mm (pierwotnie 25 mm),
- przygotowanie materiału do wzbogacalnika cieczy ciężkiej w klasie 16 mm do 200 mm z minimalną ilością podziarna,
- zwiększenie wydajności jednego ciągu do 800 Mg/h,

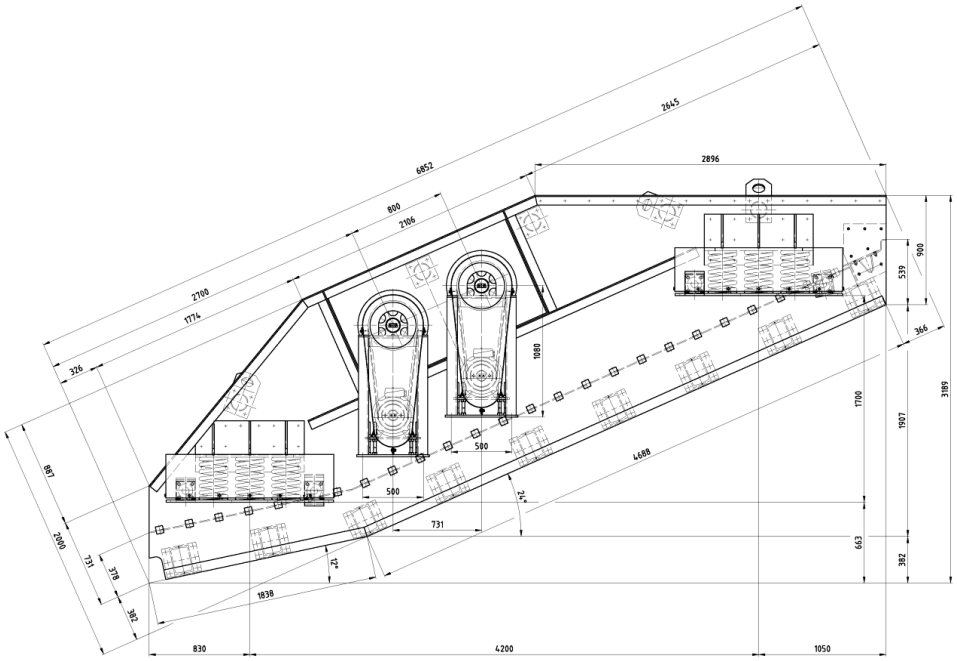
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- możliwość pracy przy zasilaniu nadawą o wysokiej wilgoci powierzchniowej,
- wydłużony okres eksploatacji (minimum 8 lat) oraz zdecydowane podwyższenie niezawodności i sprawności pracy.

Fakt sukcesywnej realizacji tej inwestycji potwierdza, że założenia zostały osiągnięte, a przesiewacze WZ1P-2,6x6,0 i WZ1P-2,6x7,0, przedstawione na rysunkach 7, 8 i 9, przewyższyły oczekiwane parametry zarówno ilościowo, jak i jakościowo.

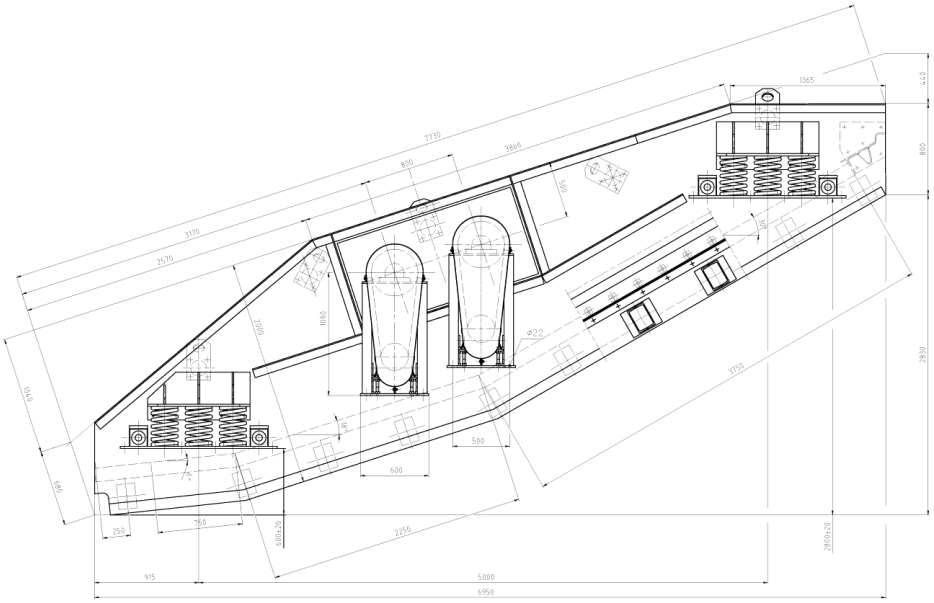


Rys.7. Zabudowa przesiewacza wibracyjnego typu WZ1P-2,6x6,0 – KWK „Jankowice" [4]



Rys.8. Przesiewacz wibracyjny typu WZ1P-2,6x6,0 [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.9. Przesiewacz wibracyjny typu WZ1P-2,6x7,0 [4]

3.2. Klasyfikacja wstępna ZMPW KWK „Mysłowice-Wesoła" Ruch „Wesoła"

Pracujące w tym węźle cztery przesiewacze PZ-2675 zastąpiono dwoma systemami przesiewaczy WZ1P – 2,6x8,5 (rys. 10). Realizacja przedsięwzięcia odbyła się w latach 2011 i 2012, a następne dwa przesiewacze tego typu planuje się zabudować w najbliższej przyszłości.

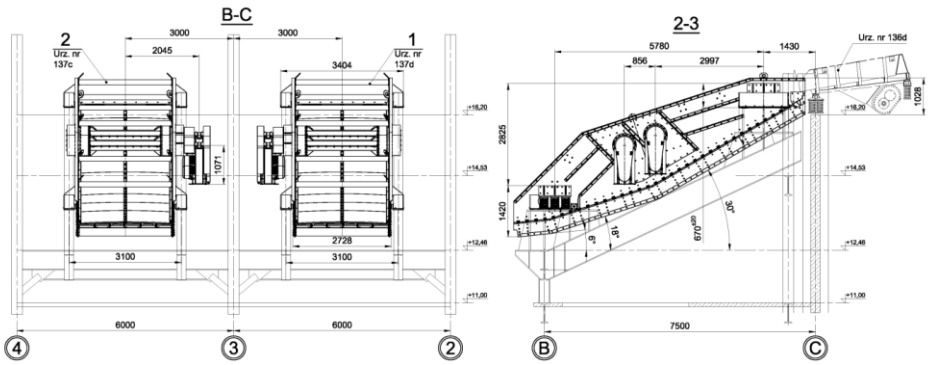
Główne racje istnienia tego zadania to poprawa skuteczności i wydajności klasyfikacji wstępnej, zwłaszcza w momentach dużego zawilgocenia urobku surowego. Warunki brzegowe zabudowy oraz lokalizacji miejsca pracy nowych przesiewaczy były identyczne jak w przypadku KWK „Jankowice".

Ponieważ wzbogacaniu w cieczy ciężkiej podlegają na tym obiekcie tylko frakcje ziarnowe, a miał zbywany jest w stanie surowym, zadanie skutecznego usunięcia podziarna z produktu nadsitowego stało się kryterialnym dla ruchu całej instalacji, a na przesiewaczach typu PZ jest ono obecnie niewykonalne.

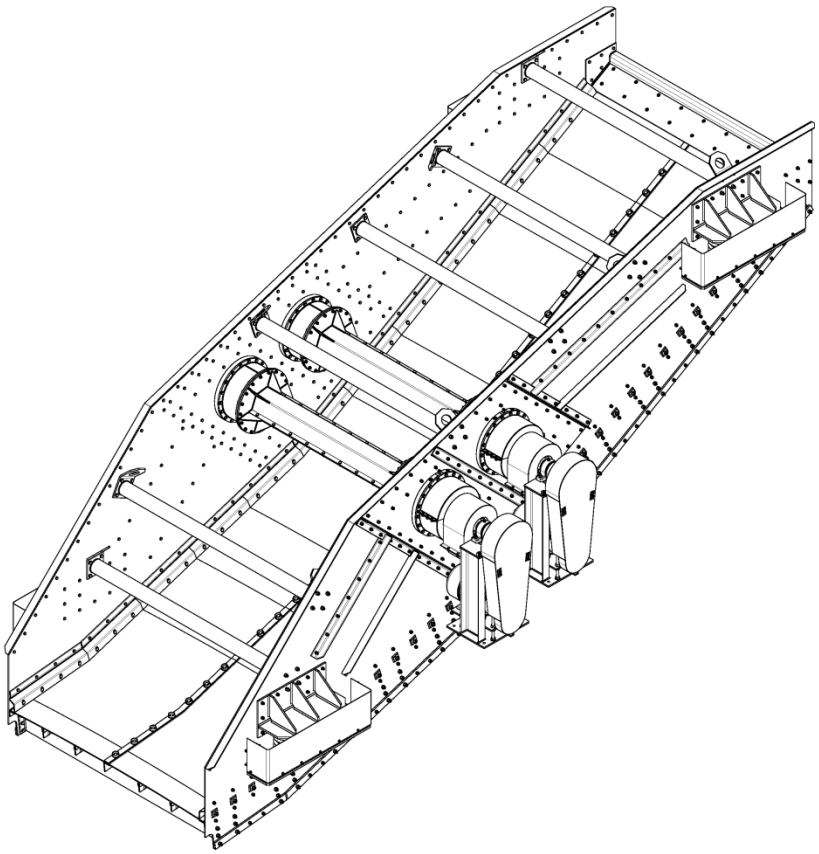
Zadanie zrealizowane w pełnym cyklu projektowo-produkcyjnym od koncepcji do uruchomienia przesiewaczy na obiekcie, zaowocowało planowanym rozszerzeniem ich zastosowania na dwóch pozostałych ciągach oraz innych obiektach Katowickiego Holdingu Węglowego S.A.

Skuteczna eksploatacja przesiewaczy o wielokrotnie łamanej powierzchni pokładu sitowego w KWK „Pniówek", KWK „Borynia", KWK „Jankowice",

czy KWK „Mysłowice-Wesoła” może spowodować zaniechanie procesu zakupów odtworzeniowych przesiewaczy typu PZ.



Rys.10. Zabudowa przesiewacza wibracyjnego typu WZ1P-2,6x8,50 – KWK „Mysłowice – Wesoła” Ruch „Wesoła” [Źródło: opracowania własne]



Rys.11. Przesiewacz wibracyjny typu WZ1P-2,6x8,5 [Źródło: opracowania własne]

4. Podsumowanie

Stosowanie w nowo projektowanych, eksploatowanych oraz modernizowanych węzłach klasyfikacji wstępnej przesiewaczy realizujących cienkowarstwową klasyfikację według zasady „kątów usypowych", z możliwością zastosowania natrysków na ostatnim fragmencie pokładu, sitowego, jest standardem w Kopex Machinery S.A. Zabrze.

Działanie takie jest zgodne z podejściem do tego procesu przez czołowe firmy światowe, czego dowodem są np. rynki rosyjski i chiński, jako najwięksi odbiorcy wyposażenia przeróbczego.

Opracowania konstrukcyjne wykonywane są z uwzględnieniem badań granulometrycznych nadawy do opisu ilości i kątów poszczególnych fragmentów pokładu sitowego [6].

Postać konstrukcyjna maszyny, rodzaj i wielkość zastosowanych napędów bezwładnościowych oraz opis parametrów ruchu sprężyście podpartych elementów rzeszota, jest wynikiem działań inżynierskich z zastosowaniem własnych programów obliczeniowych [7].

Proces klasyfikacji wstępnej, poprzedzający wzbogacanie urobku surowego, jest obecnie jednym z ważniejszych problemów do rozwiązania i z tego względu poświęcono mu odpowiednie opracowania technologiczne, techniczne i badawcze.

Dodatkową zaletą przedstawionych nowych przesiewaczy, przedstawionych w niniejszym rozdziale, są racje ekonomiczne wynikające z ich stosowania. Aktualnie w polskim górnictwie węgla kamiennego pracuje około dwudziestu takich przesiewaczy, potwierdzając zastosowaniami przemysłowymi zalety i efekty wynikające z ich eksploatacji.

Literatura

1. Banaszewski T.: „Przesiewacze", Wyd. Śląsk, Katowice 1990 r.
2. Blechman I.I.: „Sinchronizacja dinamiczeskich sistiem", Moskwa, Leningrad 1976 r.
3. Dietrych J.: "Przesiewacze", Politechnika Śląska, 1968 r.
4. Dokumentacje projektowe i konstrukcyjne WAMAG S.A. Wałbrzych 2010-2012 r.
5. Dokumentacje projektowe i konstrukcyjne KOMAG.
6. Prace badawcze IMBiGS Warszawa, 2007 – 2011 r.
7. Wodziński P.: „Przesiewanie i przesiewacze", Wyd. Politechniki Łódzkiej 1997 r.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przesiewacz dwuczęstościowy – podsumowanie programu badań

Katarzyna Ławińska, Remigiusz Modrzewski, Piotr Wodziński – Politechnika Łódzka

1. Wprowadzenie

Na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań laboratoryjnych przesiewaczy dwuczęstościowych [3] oraz prac projektowych, zbudowany został przesiewacz w skali przemysłowej oznaczony jako WH3–1,5x4,0.

Maszyna ta charakteryzuje się kątem nachylenia sit do poziomu $\alpha = 18^0$. Przesiewacz został zaopatrzony w rzeszoto z trzema pokładami, w których są zamocowane sita o następujących wymiarach oczek: 2,4 ; 1,5 oraz 0,7 mm.

Są to sita tkane z drutu stalowego o kwadratowym kształcie otworów sitowych. Wymiary każdego z trzech sit są jednakowe i wynoszą: długość 4,0 m , szerokość 1,5 m.

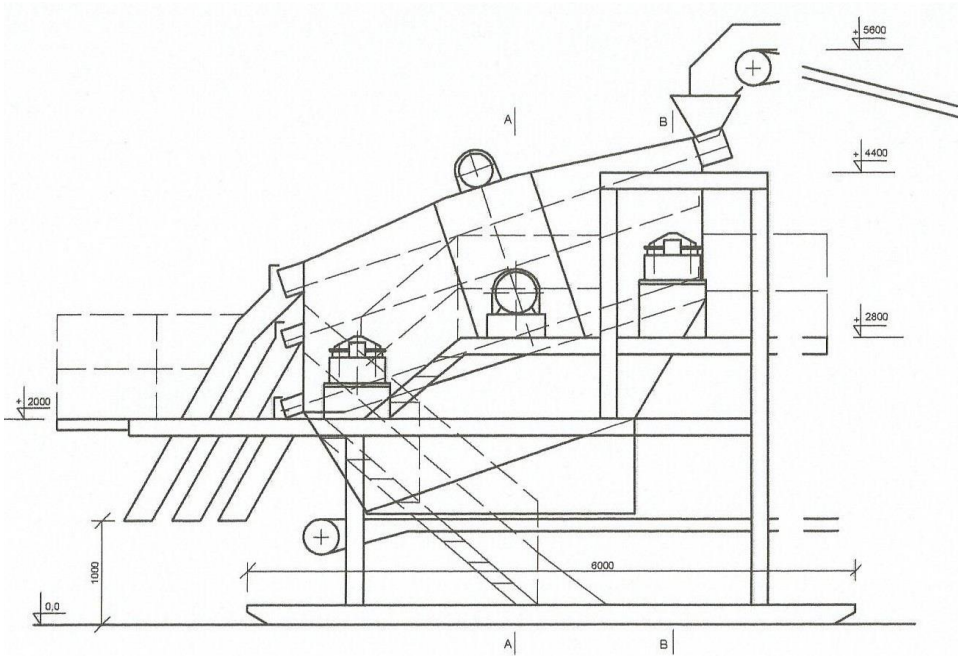
Do napędu maszyny zastosowano dwa wibratory o częstościach obrotowych regulowanych za pomocą falowników. Częstości te mogą być ustawiane niezależnie od siebie, w pełnym zakresie od zera aż do prędkości znamionowej wibratora. Pierwszy z nich to wibrator osiowy, rotacyjny, modułowy o regulowanym momencie statycznym od 10 do 21 kgm i znamionowej prędkości obrotowej 1460 obr/min. Jest to wibrator główny, znajdujący się pomiędzy drugim i trzecim pokładem sitowym. Drugi z wibratorów znajduje się nad rzeszotem. Jest to elektrowibrator Friedrich o znamionowej prędkości obrotowej 1460 obr/min, posiada moment pracy równy 9,00 kNm, a moment statyczny 450 kgm. Całkowita masa drgająca przesiewacza WH3–1,5x4,0 wynosi 4500 kg. Kąt torów sita jest równy $\beta = 0^0$, co wynika z faktu umieszenia wibratorów symetrycznie, jeden nad drugim.

Konstrukcja przesiewacza pozwala na montowanie tych wibratorów również ze znacznym przesunięciem względem pionowej osi symetrii rzeszota, tzn. w kierunku początku i końca sit. Daje to możliwość regulacji wartości kąta torów sita β, jednak w pracach prowadzonych do tej pory stosowano jedynie stałe zamontowanie obu napędów w pionowej osi symetrii rzeszota.

Rzeszoto przesiewacza zamontowane zostało na stalowej konstrukcji nośnej (rys. 1) i podparte na zawieszeniu sprężystym składającym się z czterech zespołów sprężyn stalowych rozmieszczonych w czterech punktach podparcia rzeszota. Zasilanie górnego sita nadawą odbywa się za pomocą podajnika taśmowego o regulowanej prędkości przesuwu taśmy. Odbiór produktów górnych ze wszystkich trzech sit jest grawitacyjny – za pomocą odpowiednich

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

rynien, natomiast odbiór produktu dolnego z najniższego sita wykonuje się przenośnikiem taśmowym.



Rys.1. Stanowisko robocze przesiewacza [źródło: opracowanie własne]

2. Badania w skali półtechnicznej

Badania w skali półtechnicznej prowadzone były w Katedrze Aparatury Procesowej Politechniki Łódzkiej na maszynie, która jest geometrycznie i dynamicznie podobna [2] do przesiewacza przemysłowego. Zmiana skali wynosi tutaj dokładnie 1:10, tzn. powierzchnia sit przesiewacza w skali półtechnicznej jest 10 razy mniejsza, niż przemysłowego i wynosi dla każdego z trzech sit 0,6 m^2. Dokładnie taka sama proporcja dotyczy stosunku sił wymuszających wibratorów napędowych oraz całkowitej masy drgającej [1]. Daje to w efekcie te same warunki dynamiczne [2] w obu maszynach, co wyraża się tą samą wielkością amplitud drgań i wskaźników podrzutu.

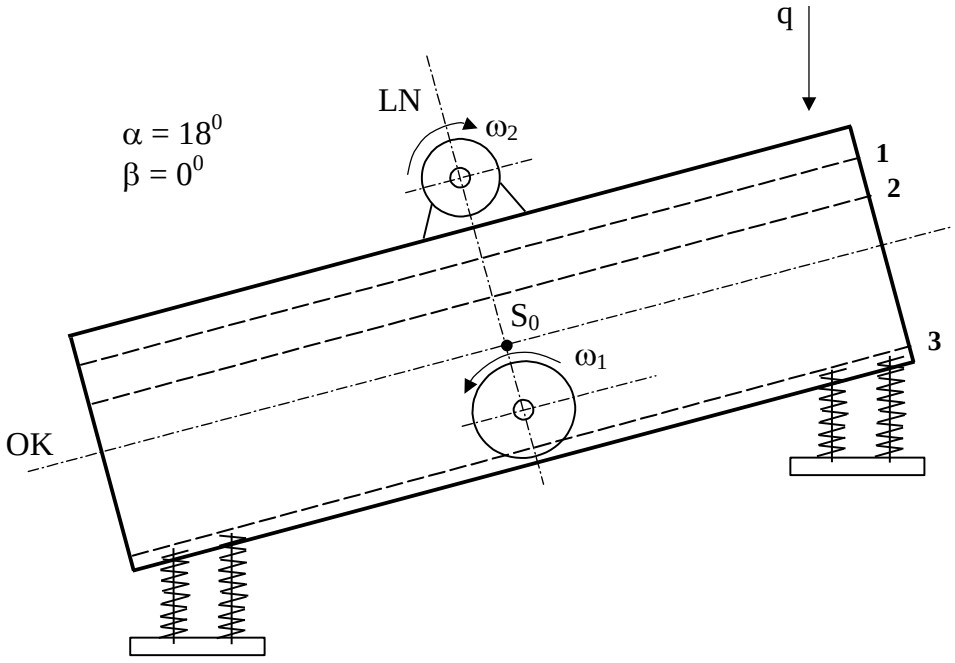
Badania w skali półtechnicznej miały na celu wyznaczenie zakresu wydajności jednostkowych przesiewacza, czyli wydajności masowej odniesionej do jednostki powierzchni sita i wyrażonej w kg/s m^2. Te same wydajności jednostkowe osiągane będą, ze względu na podobieństwo obu maszyn, również na przesiewaczu przemysłowym. Badania w skali półtechnicznej są jednak o wiele tańsze i dają szersze możliwości, jak np. możliwość przeprowadzenia dużej liczby pomiarów, co w skali przemysłowej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

nie jest możliwe ze względu na operowanie ogromnymi strumieniami masowymi liczonymi w Mg (tonach).

Celem badań było też określenie sprawności – czyli skuteczności rozdzielania materiału ziarnistego przez przesiewacz. Do badań wykorzystano przesiewacz, którego schemat przedstawia rysunek 2. Był on wyposażony w trzy sita, takie same jak w przesiewaczu przemysłowym, czyli:

- sito 1 (górne): l_1 = 2,4 mm,
- sito 2 (środkowe): l_2 = 1,5 mm,
- sito 3 (dolne): l_3 = 0,7 mm.



Rys.2. Przesiewacz w skali półtechnicznej (opis oznaczeń podano w tekście)
[źródło: opracowanie własne]

Materiałem ziarnistym modelowym było kruszywo (uziarniony marmur) o zakresie wielkości ziaren od 0 do 4 mm, a jego dokładny skład granulometryczny przedstawia tabela 1.

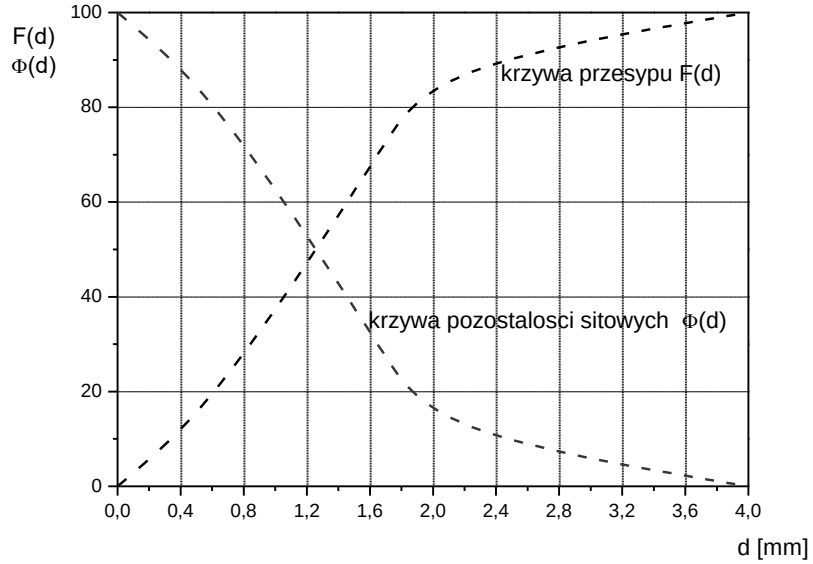
Na rysunku 3 przedstawiono graficznie skład nadawy pod postacią krzywej wysypu oraz krzywej pozostałości sitowych. Taka forma przedstawienia składu granulometrycznego jest najbardziej praktyczna, gdyż często w rzeszocie przesiewacza jest zamontowanych wiele pokładów sitowych. Wykres pozwala w prosty sposób określić udział ziaren klasy górnej lub dolnej w nadawie dla dowolnego sita.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Skład granulometryczny nadawy [źródło: opracowanie własne]

Tabela 1

Klasa ziarnowa	d, [mm]	4	2	1,7	1,2	0,8	0,4
Udział procentowy	U, [%]	12	15	24	22	16	11



Rys.3. Krzywe przesypu i pozostałości sitowych nadawy [źródło: opracowanie własne]

3. Wyniki badań

Wcześniejsze wyniki badań laboratoryjnych dotyczące przesiewaczy dwuczęstościowych [4] udowodniły, iż optymalny kąt pochylenia sita α do poziomu dla tego typu przesiewacza powinien wynosić 15 – 20^0, natomiast kąt torów sita β powinien być bliski 0^0, co oznacza symetryczne ustawienie wibratorów napędowych. W licznych badaniach przeprowadzonych na maszynach w skali laboratoryjnej, decydującym o skuteczności przesiewania parametrem okazał się wzajemny stosunek częstości obrotowych dwóch wibratorów napędowych. Próby przesiewania wykonano przy bardzo wielu wartościach tych stosunków z zakresu od 1/10 do 1/1, zarówno przy jednakowym, jak i przeciwnym kierunku obrotów [3, 4]. Najlepsze wyniki uzyskano dla wartości 1/3 częstości obrotowej wibratora głównego (dolnego) względem drugiego wibratora, przy obu kierunkach prędkości obrotowych – zgodnych i przeciwnych. Jednocześnie proporcjonalnie do tej wartości przyjmowano wzajemny stosunek sił wymuszających wibratorów napędowych – powinien on wynosić również 1/3, tzn. wibrator główny, o częstości obrotowej trzykrotnie mniejszej od drugiego, powinien mieć około trzykrotnie większą siłę wymuszającą. Opisane powyżej parametry układu napędowego

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

przyjęto jako najkorzystniejsze zarówno dla dalszych badań w skali półtechnicznej (tabela 2) oraz jako zalecane do stosowania w przesiewaczu przemysłowym.

Warianty napędu wybrane do badań w skali półtechnicznej [źródło: opracowanie własne]

Tabela 2

Nr	Kąt nachylenia sita, α	Kąt torów sita, β	Stosunek siły wymuszającej	Stosunek częstości obrotowych (ω_1/ω_2)
1	18°	0°	3/1	+1/3 (zgodne)
2	18°	0°	3/1	-1/3 (przeciwne)

Badania w skali półtechnicznej miały na celu określenie sprawności i wydajności przesiewania dla wybranych i wyżej wymienionych wariantów napędowych. Sprawność procesu przesiewania jest bowiem ściśle związana z jego wydajnością. Wyniki badań podawane są dlatego zwykle w formie uniwersalnego wykresu sprawnościowo-wydajnościowego.

Sprawność była obliczana oddzielnie dla każdego z trzech sit na podstawie składu ziarnowego próbek produktu górnego pobieranych z każdego sita. Analizę granulometryczną wykonywano metodą przesiewania na sucho, w typowej wstrząsarce laboratoryjnej - według zaleceń stosownej Polskiej Normy. Szczególną uwagę zwracano na zawartość procentową w danej próbce ziaren klasy dolnej, czyli takich, które mogły przejść przez dane sito, a jednak pozostały w produkcie górnym stanowiąc w nim tzw. podziarno. Dla sita górnego były to ziarna mniejsze niż 2,4 mm, dla sita środkowego – ziarna mniejsze niż 1,5 mm oraz dla sita dolnego – ziarna mniejsze od 0,7 mm. Procentowa zawartość podziarna w produkcie górnym x_{pg} pozwala bezpośrednio obliczyć sprawność η danego sita:

$$\eta = 100 - x_{pg}$$

Sprawności te wyznaczano dla różnych wydajności przesiewacza, przy czym badania wstępne wykazały, że na tej maszynie przesiać można maksymalnie 3 kg/s m^2 nadawy. Większe wydajności oznaczały znaczny spadek sprawności przesiewania, a więc i spadek jakości produktu końcowego, dlatego nie były badane. Ostatecznie do badań wybrano trzy wartości wydajności Q, definiowanej jako natężenie masowe strumienia nadawy podawanej na pierwsze sito, czyli: 1, 2 oraz 3 kg/s m^2. Wartości te uzyskiwano poprzez odpowiednie sterowanie wydajności dozowania podajnika wibracyjnego zasilającego przesiewacz. Pomiary wykonano w dwóch seriach pomiarowych, oddzielnie dla każdego z dwóch wariantów napędu – zgodnego i przeciwnego (tabela 2). Wyniki zestawiono w tabeli 3 oraz przedstawiono graficznie w postaci wykresów na rysunkach 4 i 5, przy czym na rysunku 4 zestawiono wyniki dla wariantu 1 napędu, czyli częstości obrotowych

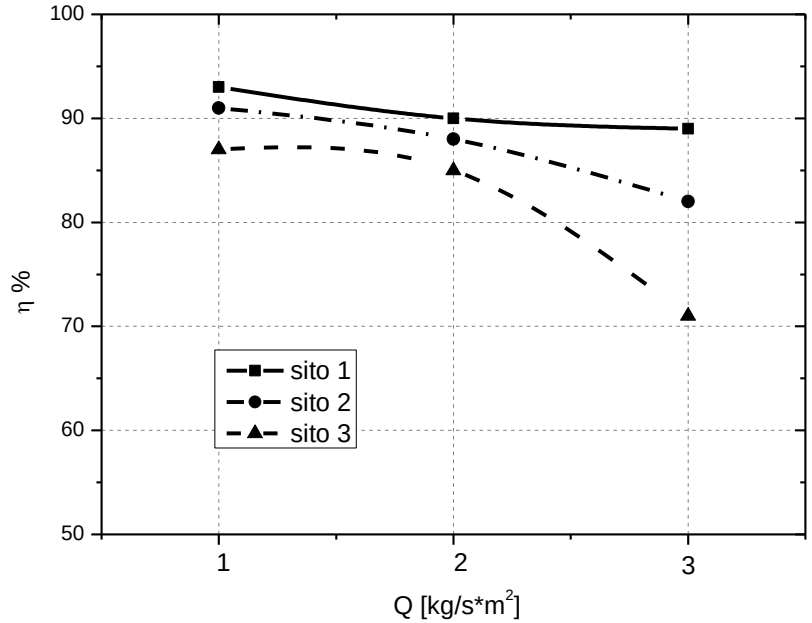
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zgodnych, czyli stosunku ω_1/ω_2 = +1/3, a na rysunku 5 wyniki dla wariantu drugiego napędu, a więc częstości obrotowych przeciwnych, to jest stosunku ω_1/ω_2 = –1/3. Na osi odciętych odłożono jednostkową masową wydajność procesu przesiewania liczoną na nadawę, natomiast na osi rzędnych zaznaczono sprawność przesiewania wyrażoną w %.

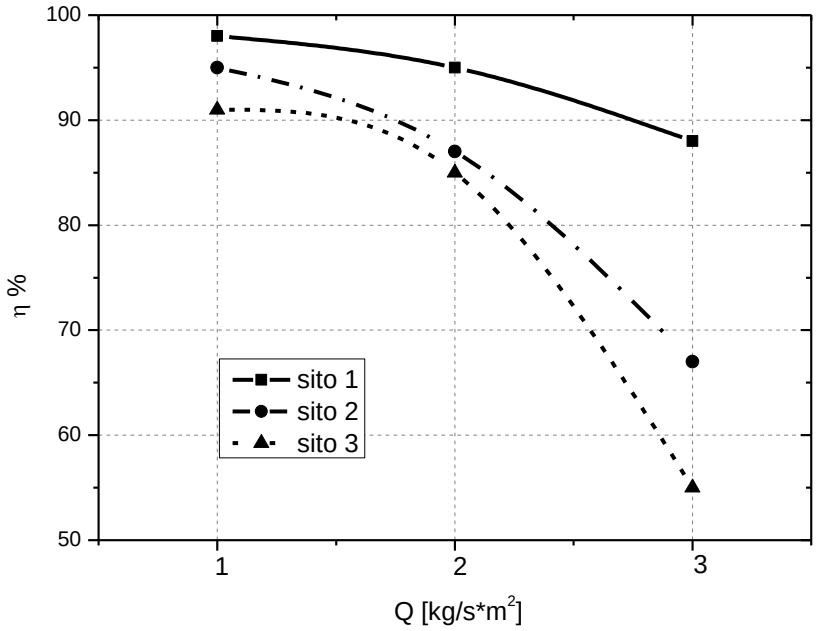
Wyniki badań procesowych [źródło: opracowanie własne]

Tabela 3

Wydajność Q [kg/s m^2]	Sito [nr]	Sito [mm]	Napęd +1/3 (zgodne)	Napęd -1/3 (przeciwne)
			η [%]	η [%]
1	1	2,4	93	98
	2	1,5	90	95
	3	0,7	89	88
2	1	2,4	91	95
	2	1,5	88	87
	3	0,7	82	67
3	1	2,5	87	91
	2	1,5	85	85
	3	0,7	71	55



Rys.4. Wpływ wydajności jednostkowej na sprawność przesiewania – przy napędzie zgodnym ω_1/ω_2 = +1/3 [źródło: opracowanie własne]



Rys.5. Wpływ wydajności całkowitej na sprawność przesiewania przy napędzie przeciwbieżnym $\omega_1/\omega_2 = -1/3$ [źródło: opracowanie własne]

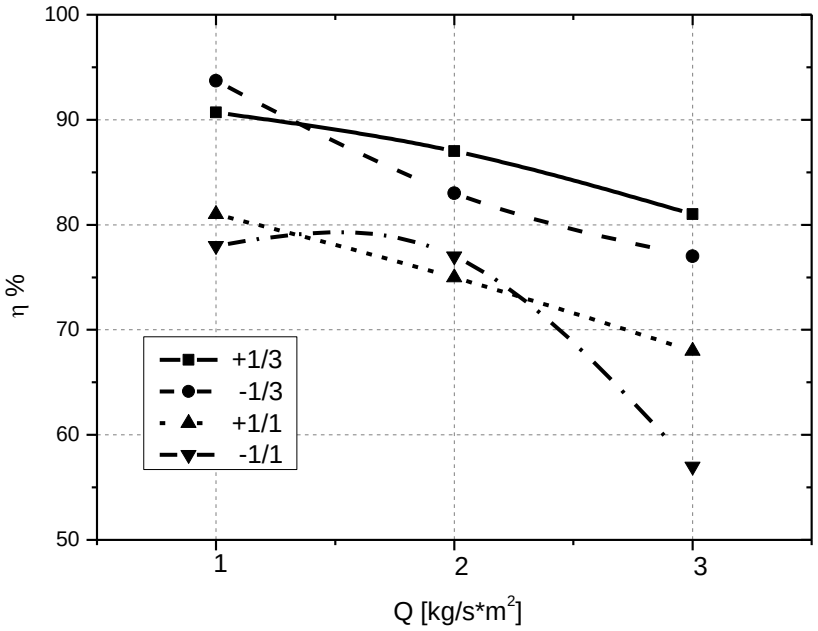
4. Podsumowanie

W celu weryfikacji wyników otrzymanych dla napędu dwuczęstościowego, dokonano takich samych pomiarów również dla napędu jednoczęstościowego – tzn. kiedy obydwa wibratory napędowe pracowały z jednakową częstością obrotową, zgodnie co do kierunku lub przeciwnie. W celach porównawczych oraz dla większej czytelności, dokonano uśrednienia sprawności ze wszystkich trzech sit, stąd tabela 4 przedstawia wartości średniej arytmetycznej sprawności przesiewania η z trzech sit dla danej wydajności *Q* i wariantu napędu. Graficzne porównanie tych wyników przedstawia rysunek 6.

Porównanie napędu dwu- i jedno-częstościowego [źródło: opracowanie własne]

Tabela 4

Wydajność Q [kg/s m^2]	Napęd +1/3 (zgodne)	Napęd -1/3 (przeciwne)	Napęd +1/1 (zgodne)	Napęd -1/1 (przeciwne)
	η , [%]	η , [%]	η , [%]	η, [%]
1	90,7	93,7	81,0	78,0
2	87,0	83,0	75,0	77,0
3	81,0	77,0	68,0	57,0



Rys.6. Porównanie wpływu obu rodzajów napędu przesiewacza na jego sprawność [źródło: opracowanie własne]

Można z całą pewnością stwierdzić, iż sprawność przesiewania, a tym samym jakość produktu końcowego jest lepsza w przypadku zastosowania napędu dwuczęstościowego (rys.6). Różnica ta wynosi średnio około 10%, a dla dużych wydajności masowych jest nawet nieco większa. Nie ma natomiast znaczących różnic między napędem dwuczęstościowym zgodnym (współbieżnym) i przeciwnym (przeciwbieżnym), choć nieco lepszy wydaje się wariant współbieżny (rys. 4). Jeśli jednak głównym celem przesiewania jest jakość i dokładność rozdziału ziaren, a tak jest na przykład w przypadku chalcedonitu mającego stanowić wypełnienie filtrów wodnych, to najlepszym rozwiązaniem jest napęd dwuczęstościowy przeciwbieżny (rys. 5) i jednoczesne obniżenie jednostkowej wydajności masowej do ok. 1 – 1,5 kg/s m^2. Wówczas produkty ze wszystkich trzech sit wykazują sprawność rozdziału powyżej 90 %.

Zauważyć można, iż niezależnie do rodzaju napędu najniższą sprawność wykazuje zawsze najniższe sito (rys. 4 i 5). Jest to całkowicie zrozumiałe, gdyż jest tam rozdzielany materiał najdrobniejszy, sprawiający najwięcej kłopotów przy segregacji. Ponadto udział klasy dolnej jest tam zwykle mniejszy niż na wyższych sitach, co dodatkowo utrudnia przesiewanie.

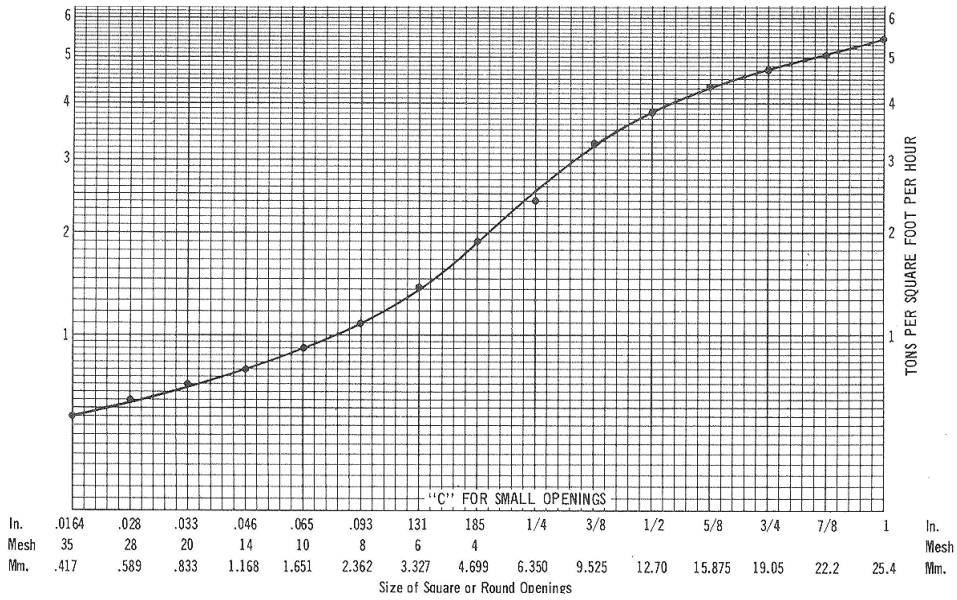
Jeśli porówna się uzyskane wydajności z wydajnościami przesiewania kruszyw mineralnych podawanymi przez amerykańskich producentów tradycyjnych jedno-częstościowych przesiewaczy (rys. 7), to dla zakresu ziaren drobnych, czyli klasy ziarnowej poniżej 2,362 mm, wydajności wynoszą

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

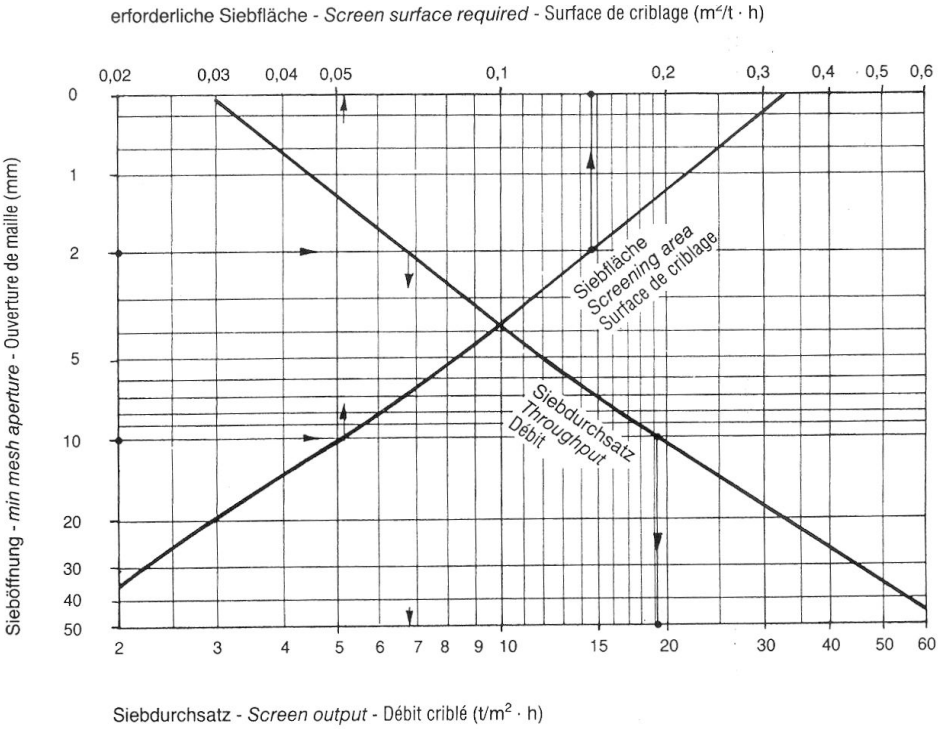
0,5 - 1 tony na stopę kwadratową na godzinę, co po przeliczeniu na jednostki metryczne wynosi 1,5 – 3 kg/s m^2. Na przesiewaczu dwuczęstościowym uzyskano więc wartości zbliżone. Należy jednak zaznaczyć, iż podawane przez tych samych producentów sprawności przesiewania dla ziaren drobnych były znacznie niższe od uzyskanych na przesiewaczu dwuczęstościowym i rzadko przekraczały 60-70%.

Podobnie jest w przypadku europejskich producentów przesiewaczy jednoczęstościowych (rys. 8). Na osi rzędnych tego wykresu oznaczono wymiar otworu sitowego (w milimetrach), zaś na dolnej osi odciętych przepustowość (wydajność masową) w tonach na godzinę i na metr kwadratowy sita. Linia rosnąca określa wymaganą powierzchnię sita (jej wartości odczytuje się na górnej osi odciętych), natomiast linia malejąca oznacza maksymalną możliwą do uzyskania wydajność przesiewacza, która dla drobnych ziaren - poniżej 2 mm nie przekracza 7 Mg/m^{2}h, co w przeliczeniu na przyjęte w pracy jednostki wynosi niecałe 2 kg/s m^2. Również tutaj uzyskiwane sprawności przesiewania są znacząco niższe niż na przesiewaczu dwuczęstościowym.

Podsumowując można stwierdzić, że przesiewacz dwuczęstościowy daje wyraźną poprawę jakości przesiewania materiału drobnoziarnistego. Dotychczas, trudności przy przesiewaniu drobnych klas ziarnowych, próbowano rozwiązywać stosując np. przesiewanie na mokro – z natryskiem wodnym. Było to jednak kosztowne i mało ekologiczne. Alternatywa w postaci stosowania napędu dwuczęstościowego wydaje się rozwiązaniem lepszym i bardziej racjonalnym.



Rys.7. Wydajności przesiewania kruszyw mineralnych na przesiewaczu jednoczęstościowym [źródło: katalog producenta, firma: Allis-Chalmers]



Rys.8. Wydajności przesiewania kruszyw mineralnych na przesiewaczu jednoczęstościowym [źródło: katalog producenta, firma: Humbold - Wedeg]

Literatura

1. Banaszewski T.: Przesiewacze. Wydawnictwo Śląsk. 1990.
2. Fischer M.: Doppel-Frequenz-Siebmaschinen in der Bewahrung. Aufbereitungs Technik nr 12. 1982.
3. Modrzewski R., Wodziński P.: The results of process investigations of a double-frequency screen. Physicochemical Problems of Mineral Processing nr 44. 2010.
4. Modrzewski R., Wodziński P.: Grained material classification on a double-frequency screen. Physicochemical Problems of Mineral Processing nr 46. 2011.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Projektowanie automatycznych systemów poboru próbek węgla dla EDF Rybnik z wykorzystaniem modelowania 3D

Michał Zuba, Arkadiusz Tomas, Krzysztof Kwaśny, Piotr Matusiak – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Polityka ograniczenia emisji CO_2 w UE powoduje, że polskie elektrownie i elektrociepłownie zwracają coraz większą uwagę na jakość dostarczanego im paliwa. Jego niewłaściwa jakość skutkuje zwiększoną emisją CO_2 i innymi zanieczyszczeniami, a w konsekwencji ewentualnymi opłatami i karami finansowymi.

W związku z powyższym, w ostatnich kilkunastu latach w Polsce nastąpił gwałtowny wzrost liczby systemów poborów próbek węgla, biomasy i koksu, służących do badania, jakości dostarczanego paliwa. W 2010 r. w kopalniach, elektrowniach węglowych, elektrociepłowniach, ciepłowniach i koksowniach stosowano ponad 160 automatycznych próbobiorników węgla, koksu i biomasy [3].

Systemy poboru próbek stają się niezbędnym wyposażeniem zakładów wydobywczych i przeróbczych surowców mineralnych.

Należy podkreślić, że pobieranie próbek znajduje również zastosowanie w branżach pozagórniczych, w tym w przemyśle paliwowym (również paliw alternatywnych), spożywczym (zboża i produkty sypkie), drzewnym, budownictwa, recyklingu oraz przy kontroli jakości wody i ścieków, a także popiołów.

Pobieranie próbek realizowane jest zgodnie z normą PN-ISO 13909-2:2004, PN-EN ISO 13909-5:2005 oraz PN-90/G-04502. Systemy poboru powinny być certyfikowane z ww. normą.

W dniu 5 października 2012 r. Komisja Europejska opublikowała wytyczne „The Monitoring and Reporting Regulation – Guidance on Sampling and Analysis" [10] w celu dostosowania się do rozporządzenia Komisji Europejskiej nr 601/2012 z dn. 21 czerwca 2012 r. w sprawie monitorowania i raportowania w zakresie emisji gazów cieplarnianych zgodnie z dyrektywą 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, w których można znaleźć zapisy traktujące m.in. o ogólnych wymogach dotyczących analiz laboratoryjnych, o procedurach dotyczących metod analitycznych i o wymogach w zakresie planu pobierania próbek oraz częstotliwości dokonywanych analiz.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Sposoby poboru próbek

Najstarszym i zarazem najprostszym sposobem poboru próbek jest metoda ręczna z wykorzystaniem prostych narzędzi, takich jak wiadro i łopata. Sposób ten nie jest jednak wiarygodny, ponieważ jest obarczony dużym ryzykiem popełnienia błędu ludzkiego, potęgowanym przez ewentualne niekompetencje osoby dokonującej poboru. Brak jest również powtarzalności warunków poboru, co wpływa niekorzystnie na porównywanie uzyskanych wyników analizy. Metoda ta stwarza również kłopoty natury technologicznej, ponieważ przy próbach poboru wymagane jest zatrzymanie urządzenia, co implikuje przestoje oraz znaczne obciążenia napędów przenośników. Kolejnym aspektem jest bezpieczeństwo osoby dokonującej poboru próbki np.: przebywanie w bezpośrednim otoczeniu urządzenia w ruchu stwarza zagrożenie wypadkowe.

W XX wieku powstało kilka koncepcji mechanicznego poboru próbek, jednak nie były one szeroko i powszechnie stosowane. Dopiero na początku XIX wieku nastąpił znaczący wzrost zainteresowania próbobiornikami, co związane było z wymogami kontroli jakości paliwa energetycznego. Obecnie obserwowany jest znaczący rozwój automatycznych próbobiorników. Urządzenia i systemy sterowania wykorzystywane w systemach automatycznego poboru próbek są ciągle usprawniane i modernizowane, wraz ze wzrostem postępu technologicznego oraz rosnących wymagań klientów.

3. Charakterystyka automatycznych systemów poboru próbek węgla

Automatyczne urządzenia do pobierania próbek węgla pozwalają na zwiększenie dokładności tego procesu, przy jednoczesnym zmniejszeniu pracochłonności. Podstawą próbobrania jest pobór reprezentatywnych próbek z całej partii węgla umożliwiający dostęp do każdej próbki węgla lub towarzyszącej mu substancji mineralnej. Właściwy pobór próbek umożliwia przeprowadzenie wiarygodnych analiz.

Współczesne automatyczne systemy próbobobrania węgla są w pełni autonomiczne, programowalne i wizualizowane. Cechują się one dużą niezawodnością i indywidualnymi konfiguracjami, zależnymi od wymagań użytkownika oraz lokalnych warunków zabudowy.

Kluczowym elementem całego automatycznego systemu jest próbobiornik. Obecnie stosowane są następujące rozwiązania próbobiorników [2]:

1. Łyżkowe pobierające próbkę bezpośrednio z przenośnika taśmowego będącego w ruchu z ruchem łyżki:
   - po łuku,
   - obrotowym,
   - prostym (rozwiązanie – KOMAG),

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- złożonym (mieszanym),
- łamanym (rozwiązanie – KOMAG),

2. Pobierające próbkę z przesypu lub zsypu:
   - szufladowe, z szufladą z dnem otwieranym,
   - rynnowe, ze zgarniaczami,
   - kubełkowe, pracujące w poprzek przenośnika taśmowego na przesypie (rzadko stosowane),
   - z pojemnikiem dosuwanym,
   - łopatkowe (rozwiązanie – KOMAG),
3. Z wiertnicą, pobierające próbkę z przestrzeni ładunkowej samochodu dostawczego (zastosowanie dla biomasy) [12].

Każdy z próbobiorników może współdziałać w systemie z kruszarką wyposażoną w podzielnik. Pobrana próbka może być dostarczana do kruszarki grawitacyjnie lub z wykorzystaniem przenośnika. W kruszarce ziarno zostaje pomniejszone, a następnie za pomocą podzielnika próbka jest dzielona w stosunku 9:1 (10:1). Mniejsza część (tzw. próbka właściwa) trafia do pojemnika na próbkę, natomiast większa część (tzw. nadmiar) wraca bezpośrednio do ciągu technologicznego lub do osobnego pojemnika. Powrót nadmiaru realizowany jest za pomocą przenośników taśmowych, zgrzebłowych lub grawitacyjnie.

Spotykane są również rozwiązania z pojemnikiem odbiorczym pobranych próbek. W takich przypadkach mielenie i podział materiału realizowane jest w laboratorium.

3.1. Wady i zalety automatycznych systemów poboru próbek węgla

Wady:

- wysokie koszty zakupu systemu,
- problem z zabudową i unifikacją systemów w istniejących zakładach przeróbki węgla.

Zalety:

- powtarzalność warunków poboru,
- pobór materiału z całego przekroju strugi,
- pobór materiału w trakcie ruchu przenośnika taśmowego,
- automatyczne pomniejszanie i dzielenie próbki,
- automatyczna odstawa nadmiaru próbki,
- programowanie procesu poboru próbek,
- zwiększenie bezpieczeństwa pracy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Automatyczny system poboru próbek węgla dla EDF Rybnik

W 2013 r. Instytut Techniki Górniczej KOMAG opracował rozwiązanie systemu poboru próbek węgla dla EDF Rybnik z taśmociągów T6D, T7A, T7B i T15. Opracowano modele wirtualne systemów do poboru próbek węgla w oparciu o program Autodesk Inventor 2013. Podczas procesu projektowania zunifikowano systemy poboru zgodnie z wymaganiami klienta. Na podstawie modeli trójwymiarowych opracowano dokumentację w układzie 2D.

4.1. Analiza warunków zabudowy

W EDF Rybnik nie uwzględniono lokalizacji pod zabudowę projektowanych aktualnie systemów poboru próbek. Na podstawie ustaleń wybrano 3 lokalizacje, które pozwoliłyby na zabudowę 4 systemów.

Głównym ograniczeniem zabudowy, dla wszystkich systemów, było zachowanie ciągów komunikacyjnych wzdłuż trasy przenośników, co wymusiło konieczność ich zabudowy w układzie pionowym. Zachowanie ciągów komunikacyjnych okazało się szczególnie kłopotliwe dla taśmociągu T15. Lokalizacja systemu próbobrania dla ww. przenośnika znajduje się w lokalnym rozszerzeniu betonowego tunelu, stanowiącego trasę przenośnika, biegnącego częściowo pod powierzchnią gruntu. Lokalizacja ta wymusiła duże ograniczenie gabarytów systemu, zarówno wzdłużnych, jak i poprzecznych. Ograniczenie wymiarów systemu pozwoliło na zachowanie ciągów komunikacyjnych w ich wymaganym zakresie.

Kolejnym ograniczeniem zabudowy systemów była dostępna wysokość miejsca zabudowy. Wspólna lokalizacja dla taśmociągów T7A i T7B mieści się w budynku, z wysoko umiejscowionym stropem, co pozwoliło na jego zabudowę w pionie. Lokalizacja dla przenośnika T6D, mieszcząca się pod wiatą zewnętrzną ograniczyła znacząco możliwości takiej zabudowy systemu. Również lokalizacja taśmociągu T15 wymusiła potrzebę ograniczenia gabarytów systemu w kierunku pionowym.

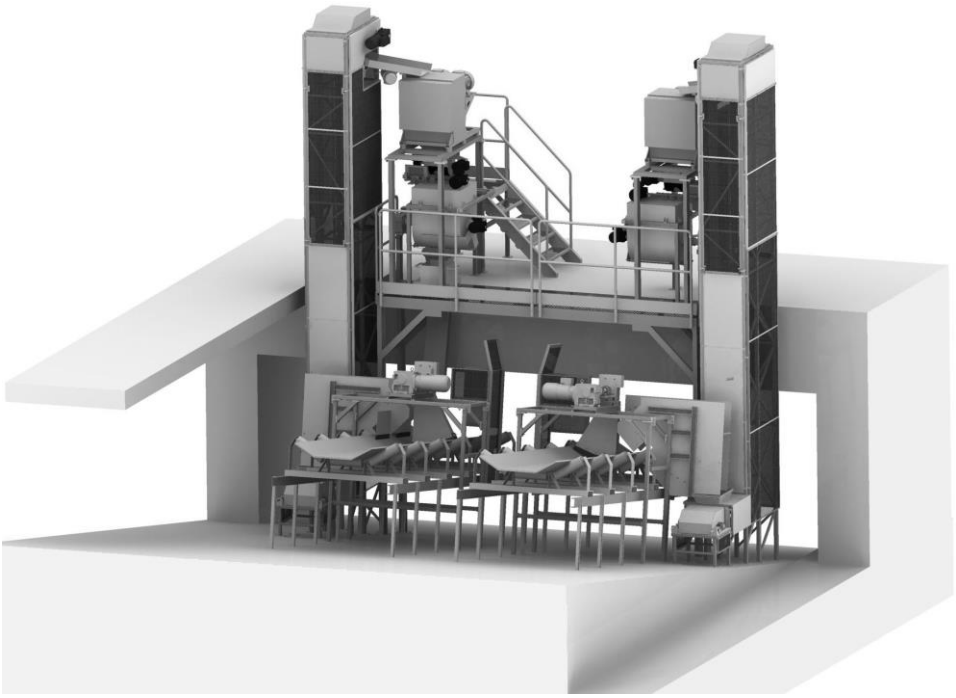
4.2. Modele systemu poboru próbek i jego składowe

Na podstawie przeprowadzonej analizy dostępnych rozwiązań oraz warunków zabudowy, jak również wymagań EDF Rybnik, podjęto decyzję o zaprojektowaniu 4 systemów automatycznego poboru próbek w układzie pionowym, z wykorzystaniem próbobiornika łyżkowego z ruchem łyżki obrotowym, pobierającego próbkę bezpośrednio z przenośnika taśmowego będącego w ruchu. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono model systemu

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

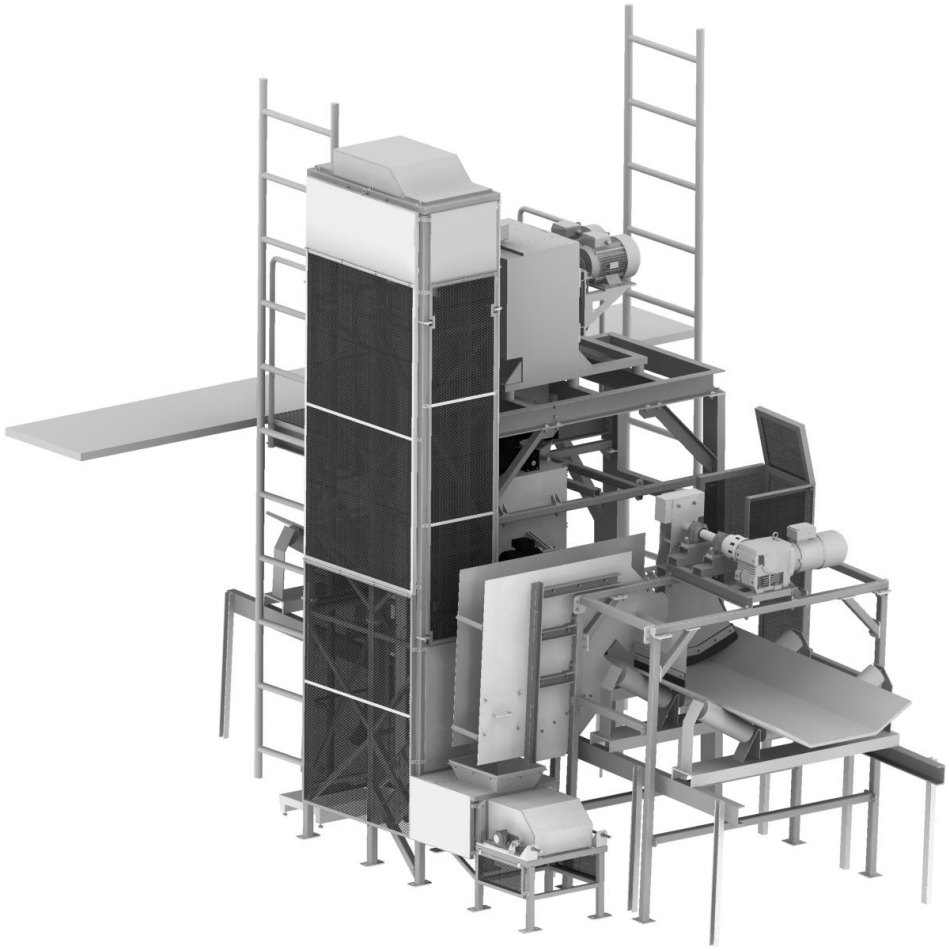
opracowany w programie Autodesk Inventor 2013 dla przenośników T7A, T7B, T15 i T6D.

W procesie projektowania automatycznych systemów poboru próbek dla przenośników T6D, T7A oraz T15 zunifikowano wszystkie podzespoły. Warunki zabudowy wymusiły, jednak konieczność zmian niektórych wymiarów gabarytowych (zsuwnie i konstrukcja nośna pionowego transportera próbki PTP), jak i również zastosowanie indywidualnych rozwiązań konstrukcji nośnych i podestów. Część konstrukcji nośnych wykonano jako odmiany (różnica polegała na zmianie kąta nachylenia stopy, ze względu na stopień pochylenia gruntu zależny od lokalizacji projektowanego systemu). System poboru próbek dla taśmociągu T7B stanowi lustrzane odbicie systemu dla T7A (systemy wykorzystują jeden wspólny podest).



Rys.1. Model automatycznego systemu poboru próbek dla przenośników T7A i T7B (w celu przejrzystości usunięto niektóre osłony) [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.2. Model automatycznego systemu poboru próbek dla przenośników T15 i T6D (w celu przejrzystości usunięto niektóre osłony) [4]

4.2.1. Model próbobiornika

Kształt oraz wymiary próbobiornika dobrano indywidualnie do przekroju poprzecznego przenośnika taśmowego transportującego węgiel w ciągu technologicznym zakładu (szerokość B = 1200 i kąt niecki β = 30°).

Model próbobiornika pokazano na rysunku 3. Składa się on z łyżki z przeciwwagą, zamocowanych na wale. Wał posadowiony jest w łożyskach. Napęd z motoreduktora przenoszony jest na łyżkę poprzez sprzęgło. Elementy mocowane są do ramy. Łyżka wyposażona jest w fartuchy gumowe boczne i tylni.

Łyżka podczas ruchu obrotowego wycina z transportowanej strugi węgla próbkę pierwotną i zgarnia ją do zsypu. Następnie powraca do pozycji wyjściowej – ok. 20° powyżej krawędzi taśmy. Kontrola położenia realizowana jest za pomocą odpowiednich czujników. W rozpatrywanym przypadku łyżka wycina około 25 dm^3 materiału.

Rys.3. Model próbobiornika łyżkowego [4]

4.2.2. Model układu transportowego

We wszystkich projektowanych automatycznego systemach poboru próbek zastosowano pionowy transporter próbki z przenośnikiem kubełkowym.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Na rysunku 4 pokazano model kubła przenośnika. Zbudowany jest on z korpusu, ogniwa łączącego z łańcuchem wraz z rolką oraz rolki odchylającej.

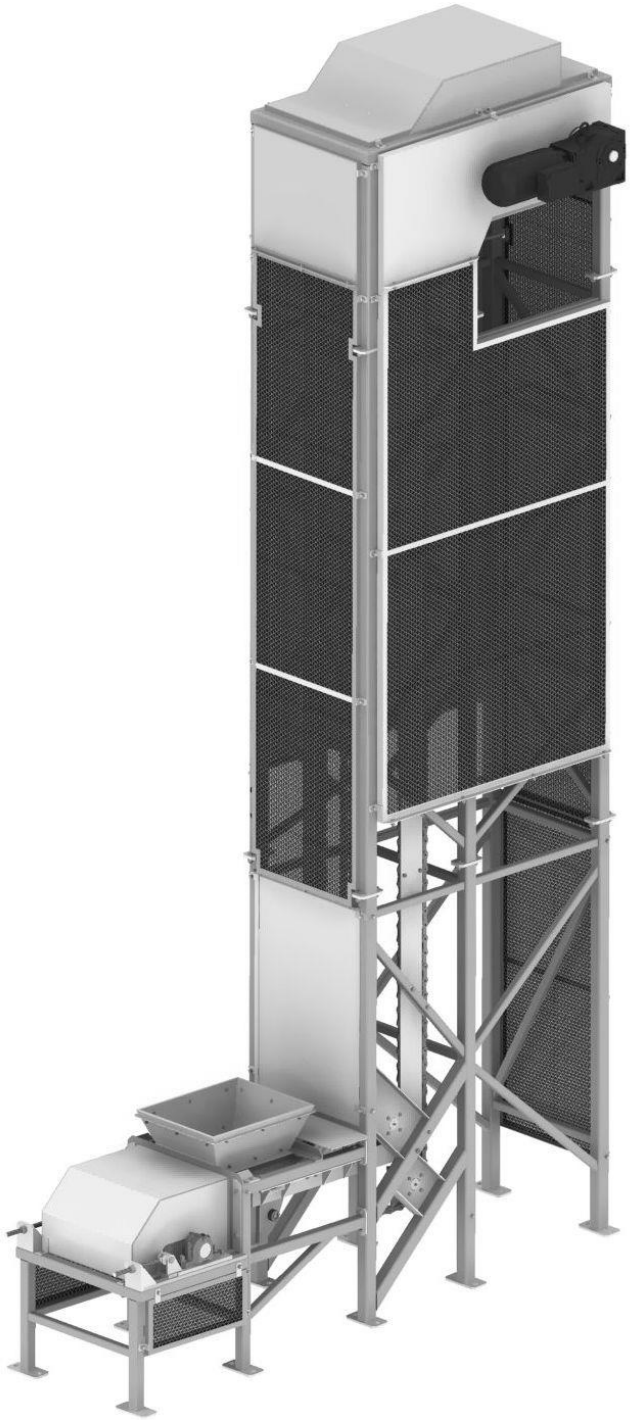
Na rysunku 5 przedstawiono model pionowego transportera próbki. Składa się on z czterech modułów. Dwa górne moduły we wszystkich systemach są identyczne. Różnice w dwóch dolnych modułach polegają na zmianie wysokości i/lub długości oraz kąta pochylenia stopy, co było uzależnione warunkami zabudowy.

Transporter składa się z ramy nośnej, do której zamocowany jest motoreduktor. Napęd, za pomocą łańcuchów, przekazywany jest na kubeł transportowy. Kubeł, podczas wyładunku, obracany jest w wyniku najazdu rolek na odpowiednio ukształtowane krzywki. Po wyładunku wraca do położenia pierwotnego, tą samą trasą, poruszając się w kierunku przeciwnym.

Czas pełnego cyklu wynosi ok. 40 sek. Próbobiornik pobiera próbkę co 80 sek. Do napędu przenośnika przewidziano motoreduktor o mocy 0,75 kW i prędkości obrotowej 21 obr/min, regulowanej przemiennikiem częstotliwości.

Rys.4. Model kubła przenośnika [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

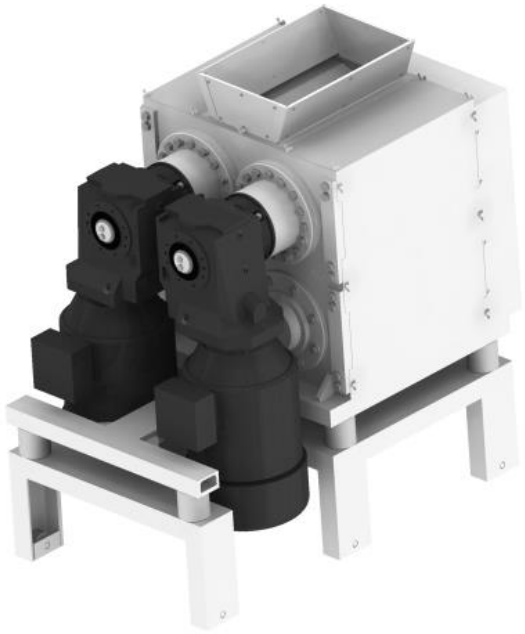


Rys.5. Model pionowego transportera próbki
(w celu przejrzystości usunięto niektóre osłony) [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4.2.3. Model kruszarki

W automatycznych systemach poboru próbek stosowane są kruszarki walcowe, klasy kruszarki KW-240M typu KOMAG (rys. 6). Kruszarka KW-240M przeznaczona jest do mielenia materiałów o wilgotności do 20% i twardości poniżej 7 w skali Mohsa, takich jak: węgiel, rudy, minerały, żużle, szkło, spieki, topniki, gleby, ziarna zbóż, klinkier, rośliny, popioły, cement, nawozy, pyły, osady, koks, dolomit. Składa się ona z układu czterech walców. Walce górne napędzane są dwoma motoreduktorami. Z walców górnych napęd przekazywany jest na walce dolne, poprzez przekładnię łańcuchową o przełożeniu i = 2,67. Prędkość obrotowa walców górnych wynosi n_1 = 298 obr/min, dolnych zaś n_2 = 795,7 obr/min. Walce górne posiadają rowki wzdłużne, frezowane na obwodzie (karbowanie), poprawiające wstępne kruszenie dużych brył. Ilość i kształt rowków dobrano w zależności od kruszonego materiału i stosowanej techniki. Walce dolne są gładkie. Stopień rozdrobnienia może być regulowany (w standardowym wykonaniu ustalono granulację wyjściową 0-3 mm).



Rys.6. Model kruszarki KW-240M typu KOMAG [4]

4.2.4. Model mieszalnika

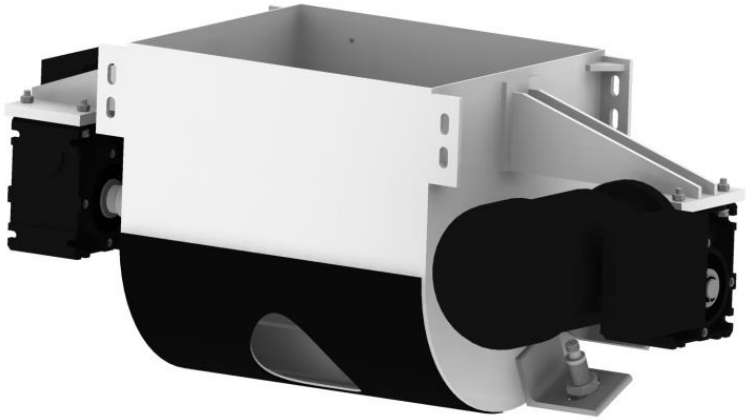
W mieszalniku AK25 (rys. 7) następuje zmieszanie pobranej przez próbobiornik próbki. Podstawowe elementy mieszalnika AK25 to: korpus mieszalnika, wał, mieszadło, sprzęgło, napęd mieszadła: motoreduktor,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

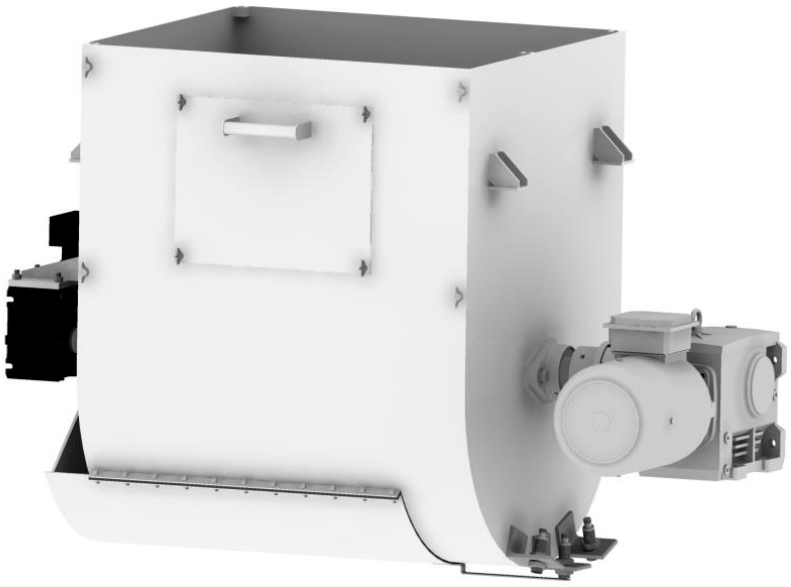
zamknięcie wylotu nadmiaru próbki pierwotnej, wylot próbki właściwej i napęd zamknięcia wylotu mieszalnika.

Materiał mieszany jest dzięki obrotowemu ruchowi mieszadła. Kształt łopatek umożliwia swobodne przemieszczanie materiału wewnątrz mieszalnika. Pojemność mieszalnika wynosi 25 dm^3, co odpowiada objętości materiału jednorazowo pobranego przez łyżkę próbobiornika.

W mieszalniku AK240 (rys. 8) następuje zmieszanie wszystkich wydzielonych próbek z mieszalnika AK25 oraz wydzielenie próbki laboratoryjnej o żądanej masie.



Rys.7. Model mieszalnika AK25 [4]



Rys.8. Model mieszalnika AK240 [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Podstawowe elementy mieszalnika AK240 to: korpus mieszalnika, wał, mieszadło, sprzęgło, napęd mieszadła: motoreduktor i zamknięcia wylotu mieszalnika (przez pierwszy wylot próbka trafia poprzez zsuwnię do zbiornika umiejscowionego na elektronicznej wadze, przez drugi wylot próbka zwracana jest do ciągu technologicznego zakładu). Zamknięcia mogą być napędzane siłownikami elektrycznymi lub motoreduktorami.

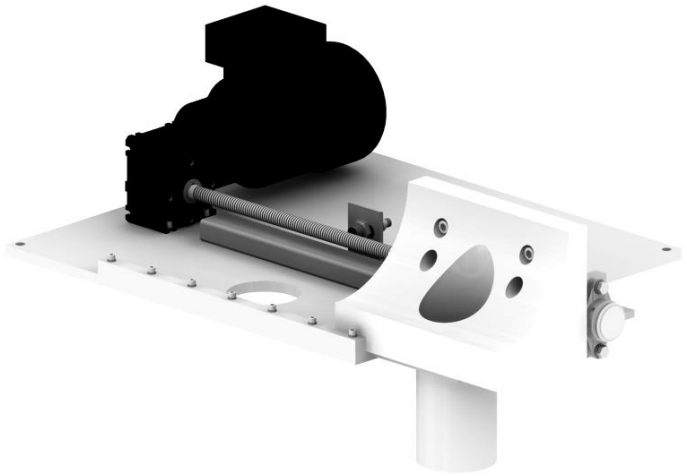
Mieszalnik ma objętość 240 dm^3, co wystarcza do całodobowej obsługi pracującego systemu poboru próbek.

4.2.5. Model podzielnika próbki

W podzielniku próbek (rys. 9) następuje wydzielenie próbki z mieszalnika AK25. Podzielnik umiejscowiony jest pomiędzy mieszalnikami AK25 i AK240. Zbudowany jest jako szuflada, w której wycięty jest otwór, stanowiący pojemnik na próbkę. Szuflada napędzana jest motoreduktorem poprzez śrubę pociągową. Podzielnik ma cztery charakterystyczne położenia:

- położenie spoczynkowe, pojemnik szuflady jest zamknięty dnem mieszalnika AK25,
- napełnianie pojemnika szuflady - otwór w dnie mieszalnika AK25 i pojemnik pokrywają się,
- opróżnianie pojemnika - pojemnik i otwór w pokrywie mieszalnika AK240 pokrywają się,
- pobór indywidualnych próbek - zasyp do dodatkowego pojemnika.

Zaletą takiego rozwiązania jest odmierzenie (pomniejszenie) próbki zawsze tej samej objętości. Objętość próbki determinowana jest objętością pojemnika szuflady. Uwzględniając normy [7, 9], przyjęto objętość próbki 0,7 dm^3.



Rys.9. Model podzielnika próbki [4]

4.2.6. Modele zsypów

Zsuwnia wysypu z łyżki (rys. 10), ma za zadanie transport materiału pobranego z taśmy przez próbobiornik łyżkowy do transportera pionowego próbki.

Zsuwnia wibracyjna (rys. 11), ma za zadanie transport materiału wysypanego z kubła transportera pionowego próbki do kruszarki.

Zsuwnia zwrotu I (rys. 12a), ma za zadanie zwrot nadmiaru pobranego materiału, podzielonego przez podzielnik, bezpośrednio do ciągu technologicznego zakładu.

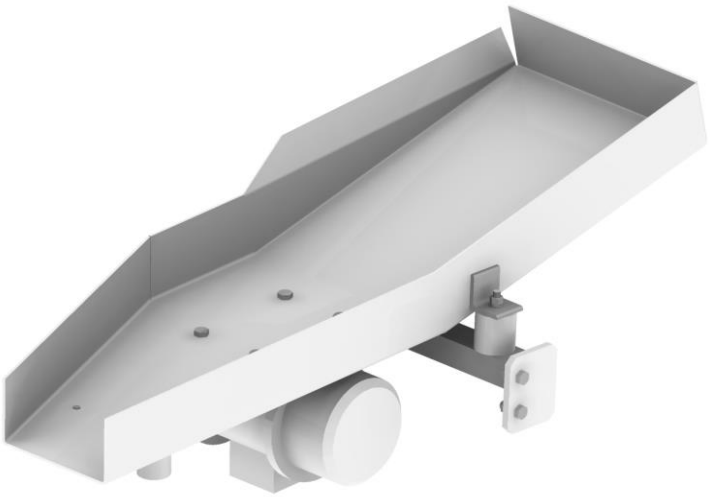
Zsuwnia zwrotu II (rys. 12b), ma za zadanie zwrot nadmiaru materiału z mieszalnika AK240, bezpośrednio do ciągu technologicznego zakładu.

Zsuwnia próbki właściwej (rys. 12c), ma za zadanie transport materiału próbki z mieszalnika AK240, bezpośrednio na wagę przemysłową.

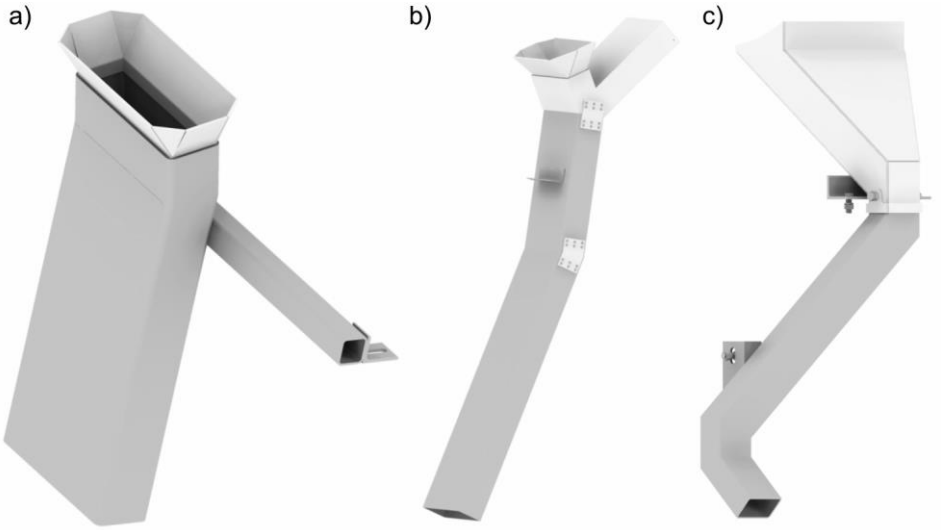
Długość oraz kąt pochylenia każdej zsuwni jest dostosowywany indywidualnie do istniejących warunków zabudowy.

Rys.10. Model zsuwni wysypu z łyżki [4]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.11. Model zsuwni wibracyjnej [4]



Rys.12. Model zsuwni zwrotu I (a), zsuwni zwrotu II (b),
zsuwni próbki właściwej (c) [4]

4.2.7. Waga

Waga elektroniczna, poprzez sprzężenie z mieszalnikiem AK240, steruje ilością węgla, zebranej w zbiorniku próbki laboratoryjnej. W momencie osiągnięcia żądanej masy próbki, wylot mieszalnika AK240 zostaje zamknięty. Przewiduje się zastosowanie przemysłowej wagi elektronicznej, z możliwością współpracy z układem sterowania oraz zadawania żądanej wartości, której osiągnięcie wywoła sygnał do układu sterującego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4.2.8. Układ zasilania i sterowania

Układ zasilania i sterowania stanowi integralną część automatycznego systemu poboru próbek. Opiera się on o mikroprocesorowy sterownik swobodnie programowalny, z wbudowanym panelem operatorskim, na którym oznaczone będą poszczególne funkcje przycisków. Rozwiązanie to zapewni łatwość oraz szybkość diagnostyki pracy układu.

Układ sterowania oraz blokad będzie włączony do ciągu technologicznego blokad przenośnika na którym będzie zainstalowany. Zatrzymanie awaryjne systemu poboru próbek, ze względów bezpieczeństwa, unieruchomi również taśmociąg oraz wszytkie współpracujące urządzenia.

4.3. Działanie automatycznego systemu poboru próbek węgla

W pracy systemu można wyróżnić następujące fazy:

1. Po pobraniu próbki przez łyżkę, następuje jej transport do kruszarki, gdzie zostaje skruszona do ziarna 0-3 mm.
2. Następnie próbka trafia do mieszalnika AK25. W mieszalniku następuje zmieszanie pobranej próbki. Mieszanie odbywa się w trakcie kruszenia próbki. Po wymieszaniu następuje napełnienie pojemnika szuflady podzielnika próbką, a następnie otwarcie dna mieszalnika i wysypanie pozostałej zawartości - nadmiaru (wirnik mieszalnika w momencie opróżniania pozostaje w ruchu czyszcząc wnętrze mieszalnika) i jego zwrot do ciągu technologicznego.
3. Z podzielnika ujednorodniona i pomniejszona próbka trafia do mieszalnika AK240.
4. W mieszalniku AK240 następuje zmieszanie wszystkich pomniejszonych próbek z całej badanej partii węgla. Po skończonym procesie próbkowania następuje opróżnienie mieszalnika. Po zasterowaniu przez użytkownika, przed otwarciem wylotu zbiornika, następuje dodatkowe przemieszanie materiału. Kolejno następują: sekwencyjne otwieranie i zamykanie wylotu dozowania próbki laboratoryjnej oraz wylotu zwrotu nadmiaru próbki. Po odważeniu przez wagę wymaganej masy próbki laboratoryjnej, wylot dozowania zostaje zamknięty, a wylot zwrotu nadmiaru próbki pozostaje otwarty do czasu opróżnienia całego mieszalnika.
5. Nadmiar próbki zostaje w całości zwrócony do ciągu technologicznego za pomocą zsuwni zwrotu II, a odważona próbka laboratoryjna zostaje zebrana w zbiorniku.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

5. Podsumowanie

Przedstawione automatyczne systemy poboru próbek z taśmociągów układu nawęglania elektrowni węglowej EDF Rybnik zgodnie z normami PN-90/G-04502 oraz PN-ISO 13909. Zaprojektowane urządzenia mają budowę modułową, co obniży koszty wytwarzania i ułatwi ich instalację w przewidzianych lokalizacjach. Wykorzystanie programów do modelowania trójwymiarowego pozwoliło na usprawnienie procesu projektowo – konstrukcyjnego, obniżenie jego pracochłonności i redukcję ilości błędów w projekcie. Doświadczenia zebrane podczas prac projektowych oraz przyszłej eksploatacji systemów umożliwią rozwój zarówno urządzeń, jak i technologii automatycznego poboru próbek.

Literatura

1. Tomas A., Matusiak P., Bal M.: „Automatyczne próbobiorniki materiałów sypkich stosowanych w przemyśle", Górnictwo i Geoinżynieria 2010, 34 zeszyt 4/1 str.271-284.
2. Tomas A., Matusiak M., Bal P.: „Przygotowanie koncepcji oraz dokumentacji nowego rozwiązania systemu poboru próbki materiałów sypkich." Praca statutowa ITG KOMAG 2009, (nie publikowana).
3. Tomas A., Matusiak P., Bal M.: „Przegląd systemów próbobrania oraz rozwiązań zainstalowanych próbobiorników węgla w przemyśle, w szczególności w górnictwie węgla kamiennego". Praca statutowa ITG KOMAG 2010, (nie publikowana).
4. Tomas A., Matusiak P., K. Kwaśny: „Systemy automatycznego poboru próbek węgla dla elektrowni węglowej". Praca statutowa ITG KOMAG 2013, (nie publikowana).
5. Tomas A., Wieczorek A.: „Problemy eksploatacyjne systemów poborów próbek materiałów sypkich." Maszyny Górnicze 2011 nr 1 s. 39-43.
6. PN-EN ISO 13909-2:2004 Mechaniczne pobieranie próbek. Pobieranie ze strug materiału.
7. PN-EN ISO 13909-5:2005 Mechaniczne pobieranie próbek. Pobieranie próbek z partii nieruchomych.
8. PN-EN ISO 9001:2009 Systemy Zarządzania Jakością.
9. PN-90/G-04502 „Węgiel kamienny i brunatny – Metody pobierania i przygotowania próbek do badań laboratoryjnych"
10. http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/monitoring/docs/gd5_sampling_analysis_en.pdf (z dn. 15.01.2014 r).
11. http://www.nettg.pl/ (z dn. 15.01.2014 r).
12. http://testchem.pl/ (z dn. 15.01.2014 r).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zwiększenie wydajności stacji odwadniania odpadów flotacyjnych poprzez zastosowanie nowoczesnej prasy filtracyjnej

Bartosz Piechaczek, Marek Lenartowicz, Grzegorz Gruszka, Andrzej Pyc – PROREM sp. z o.o., **Henryk Kaczmarczyk** – JSW SA KWK Krupiński

1. Wstęp

W wyniku urabiania, transportu, a także samych procesów wzbogacania węgla kamiennego powstają znaczne ilości ziaren o uziarnieniu poniżej 0,5 mm. Ziarna te w przypadku węgla koksowego wzbogaca się przede wszystkim metodą flotacji [2, 4].

W procesie wzbogacania węgla koksowego metodą flotacji uzyskuje się koncentrat flotacyjny i odpady flotacyjne, które należy odwodnić. Zagęszczone odpady flotacyjne najczęściej odwadnia się w prasach filtracyjnych komorowych [1, 3]. W polskich kopalniach węgla kamiennego najczęściej stosowane są do odwadniania odpadów o uziarnieniu poniżej 0,5 mm prasy komorowe typu PF ROW [1, 3].

Prasy PF-ROW/570 to prasy filtracyjne komorowe o działaniu okresowym. Płyty w tych prasach są tak ukształtowane, że w ich wnętrzu po dociśnięciu dwóch płyt powstaje komora filtracyjna [3]. Prasy te składają się z płyt kwadratowych o wymiarach boku 1500 mm [3]. Konstrukcja ww. pras pochodzi z lat siedemdziesiątych XX wieku [5].

W związku ze wzrostem ilości bardzo drobnych ziaren w węglu surowym, zwiększają się potrzeby w zakresie odwadniania tych ziaren. Jednym ze sposobów jest zwiększenie wydajności węzła odwadniania odpadów drobno uziarnionych poprzez zastosowanie pras filtracyjnych o większej pojemności.

W niniejszym rozdziale przedstawiono prasę filtracyjną komorową typu GHT 2000, którą zastosowano do odwadniania odpadów flotacyjnych węgla kamiennego. Omówiono również efekty zastosowania ww. prasy.

2. Prasa filtracyjna GHT 2000

Konstrukcja pras filtracyjnych typu PF ROW, które zabudowane są w większości Zakładów Przeróbczych w polskich kopalniach węgla kamiennego, sięga lat 70. ubiegłego stulecia [5]. Jednakże od tamtego czasu myśl techniczna wykonała znaczny postęp, a prasy filtracyjne nie są tutaj odosobnionym wyjątkiem.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Na pierwszy rzut oka widać, iż główne różnice w budowie pras typu PF ROW oraz maszyn typu GHT to:

- zamocowanie płyt filtracyjnych,
- przesuw płyt filtracyjnych,
- zamykanie zespołu płyt filtracyjnych,
- napełnianie prasy filtracyjnej,
- mycie tkanin filtracyjnych.

Największe jednak różnice w tych dwóch typach urządzeń służących do filtracji ciśnieniowej ukryte są przed okiem potencjalnego obserwatora. Są to:

- pełna automatyzacja procesu filtracji,
- układ bezpieczeństwa.

Przyjrzyjmy się po kolei wyżej wymienionym aspektom.

2.1. Sposób zamocowania płyt filtracyjnych

W prasach filtracyjnych starego typu, np. PF ROW, płyty filtracyjne wsparte są na bocznych belkach stanowiących ramę prasy. W tym celu płyty wyposażone są w specjalne uchwyty, które przesuwane są po górnej powierzchni belek.

Rys.1. Boczne podparcie płyt [źródło: opracowanie własne]

Natomiast nowoczesne prasy filtracyjne, których przedstawicielem jest model GHT, podwieszone są do górnej belki, która wsparta jest na dwóch stałych głowicach. W tym celu płyty filtracyjne wyposażone są w wózki, które przesuwają się po torach znajdujących się wewnątrz górnej belki. Dzięki górnemu zamocowaniu płyt dostęp do nich jest o wiele łatwiejszy, co ma niebagatelne znaczenie w przypadku czynności konserwacyjnych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rys.2. Górne podwieszenie płyt [źródło: opracowanie własne]

2.2. Sposób przesuwu płyt filtracyjnych

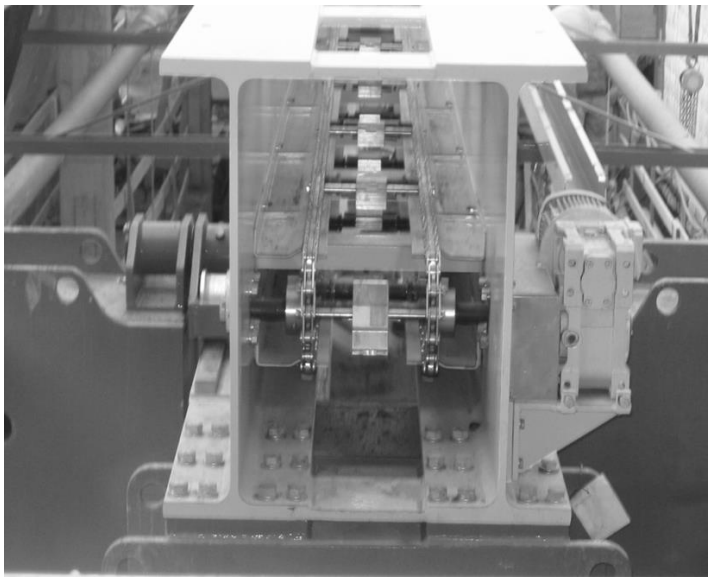
W prasach filtracyjnych typu PF ROW płyty filtracyjne przesuwane są za pomocą dwóch wózków zabudowanych na układzie lin i łańcuchów, które przesuwają się po powierzchni bocznych belek. Z każdej strony prasy pracuje jeden wózek, który kolejno przesuwa poszczególne płyty, przesuwając się na przemian w przód i w tył.

Rys.3. Wózek przesuwu płyt podpartych bocznie [źródło: opracowanie własne]

Prasy filtracyjne typu GHT mają mechanizm przesuwu płyt zabudowany wewnątrz górnej belki. Składa się on z dwóch łańcuchów rolkowych, do których za pomocą trzpieni przymocowanych jest kilkadziesiąt haków. Łańcuchy te w odróżnieniu od mechanizmu napędowego pras PF ROW nie

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

cofają się, lecz w sposób ciągły poruszają się w jednym kierunku, na takiej samej zasadzie jak łańcuch w rowerze. Skutkiem takiego rozwiązania jest znaczne skrócenie czasu potrzebnego na rozładowanie całej prasy, co bezpośrednio przekłada się na wydajność urządzenia. Dzięki umieszczeniu mechanizmu przesuwu płyt w górnej belce nigdy nie dochodzi do jego kontaktu z filtrowanym produktem, co jest znanym problemem w prasach z bocznym podparciem płyt. Przy odpowiedniej konserwacji mechanizm ten cechuje się bardzo dużą żywotnością.



Rys.4. Urządzenie przesuwu płyt w prasie GHT [źródło: opracowanie własne]

2.3. Sposób zamykania zespołu płyt filtracyjnych

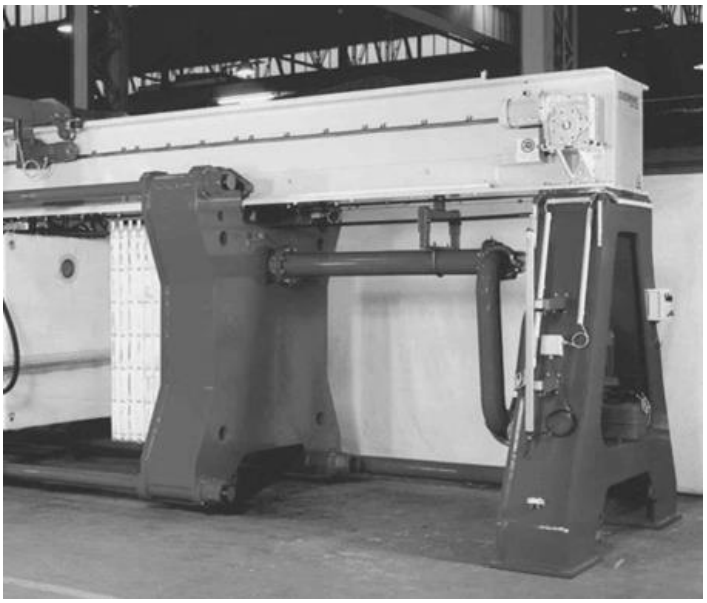
Za zamykanie zespołu płyt filtracyjnych w prasach typu PF ROW odpowiedzialny jest siłownik hydrauliczny, który poprzez ruchomą głowicę dociska płyty do stałej głowicy znajdującej się na drugim końcu urządzenia. Cały ciężar płyt filtracyjnych oraz ruchomej głowicy spoczywa na bocznych belkach.

Układ zamykania pras GHT wyposażony jest w cztery siłowniki, do których zamocowane są cięgna łączące je z ruchomą głowicą. Zarówno płyty filtracyjne, jak i ruchoma głowica podwieszone są do górnej belki. W celu zamknięcia zespołu płyt siłowniki przyciągają ruchomą głowicę. Dzięki takiej konstrukcji siły konieczne do zamknięcia i utrzymania szczelności zespołu płyt nie są przenoszone na górną belkę, która podlega jedynie obciążeniom płyt oraz ruchomej głowicy. Zastosowanie czterech narożnych siłowników oznacza jednorodne rozłożenie ich siły, dzięki czemu zarówno ruchoma głowica, jak

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

i płyty filtracyjne są mniej narażone na uszkodzenia, a szczelność zamkniętego zespołu płyt idealna.

Rys.5. Ruchoma głowica wsparta na bocznych belkach [źródło: opracowanie własne]



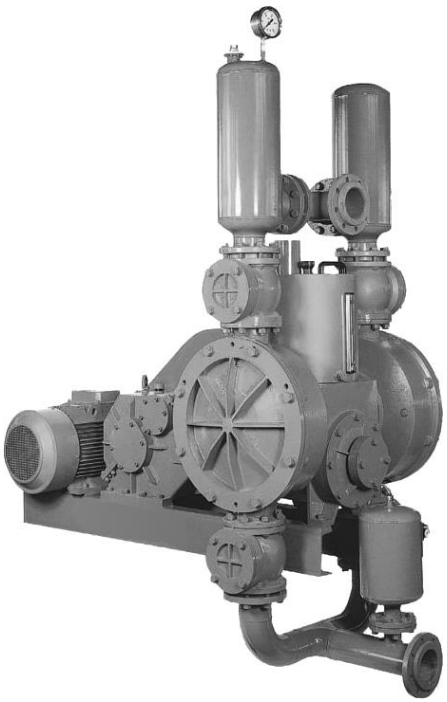
Rys.6. Ruchoma głowica podwieszona do górnej belki [źródło: opracowanie własne]

2.4. Sposób napełniania prasy filtracyjnej

Prasy filtracyjne typu PF ROW zazwyczaj napełniane są jedną pompą wirową lub dwustopniowym układem pomp wirowych. Przy czasie cyklu filtracji trwającym od 1,5 h do nawet 4 h oznacza to znacznie szybsze zużycie tego typu pomp.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Do napełniania prasy filtracyjnej GHT w aplikacji odwadniania odpadów flotacyjnych stosowany jest dwustopniowy układ pompowy. Pierwszy stopień, którego zadaniem jest jak najszybsze napełnienie prasy filtracyjnej nadawą, jest oparty na pompie wirowej. W drugiej części cyklu filtracji, gdy konieczne jest podawanie nadawy o małej prędkości przepływu lecz większym ciśnieniu, używana jest pompa tłokowo-membranowa.



Rys.7. Pompa tłokowo-membranowa DMPM [źródło: opracowanie własne]

2.5. Sposób mycia tkanin filtracyjnych

Nie bez znaczenia dla wydajności pras filtracyjnych, lecz również wilgoci placka filtracyjnego oraz czystości filtratu, jest czystość tkanin filtracyjnych. W prasach filtracyjnych typu PF ROW sporadycznie przemywa się poszczególne tkaniny z użyciem ręcznej myjki wysokociśnieniowej.

Prasy filtracyjne typu GHT fabrycznie wyposażane są w automatyczny wysokociśnieniowy układ mycia tkanin filtracyjnych. Układ ten składa się z myjki zabudowanej na górnej belce prasy filtracyjnej oraz wysokociśnieniowej pompy tłokowej. Zależnie od charakterystyki konkretnej aplikacji tkaniny myte są wodą pod ciśnieniem 50 lub 100 bar z częstotliwością co kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt cykli. Taka dbałość o czystość tkanin filtracyjnych odwdzięcza się czystym filtratem o zawartości części stałych maksymalnie 7 g/l, lepszym odwodnieniem placka filtracyjnego oraz

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

automatycznym jego rozładunkiem, dzięki czemu czas cyklu ulega skróceniu skutkując większą wydajnością prasy filtracyjnej.

2.6. Pełna automatyzacja procesu filtracji

Układy odwadniające oparte na prasach filtracyjnych typu PF ROW są urządzeniami wymagającymi sterowania ręcznego. Dotyczy to zarówno inicjowania cyklu filtracji, przechodzenia w kolejne jego etapy, obsługi armatury, rozładunku, jak i okresowego mycia tkanin filtracyjnych. Wiąże się to ze sporą niedokładnością utrzymywania rygoru technologicznego oraz wydłużonym czasem cyklu filtracji, co bezpośrednio przekłada się na mniejszą wydajność stacji odwadniania odpadów flotacyjnych.

Prasy filtracyjne GHT są w pełni automatycznymi urządzeniami wymagającymi jedynie uruchomienia pierwszego cyklu filtracji. Urządzenie płynnie przechodzi przez kolejne etapy cyklu, a po jego zakończeniu rozpoczyna kolejny cykl. Dopiero przejście w tryb mycia tkanin filtracyjnych kończy cykl filtracji. Każda prasa filtracyjna GHT dostarczana jest wraz z systemem sterowania składającym się z:

- sterownika PLC,
- jednego lub więcej falowników,
- układu zasilania prasy filtracyjnej i urządzeń pomocniczych,
- układu sterowania prasą filtracyjną i urządzeniami pomocniczymi,
- osprzętu sieciowego i komunikacyjnego.

Zależnie od aplikacji system ten może w pełni sterować:

- wszystkimi urządzeniami zabudowanymi na prasie filtracyjnej, tj. agregatem hydraulicznym, urządzeniem przesuwu płyt, itp.,
- układem pompowym nadawy,
- misą obciekową zabudowaną pod prasą filtracyjną,
- układem pompowym obcieków, rząpi i zbiorników pośrednich,
- układem ściskania membran,
- układem dosuszania placka,
- układem przedmuchu i przemycia kolektora,
- myjką tkanin filtracyjnych,
- pompą zasilającą myjkę w wodę,
- układem centralnego smarowania i/lub oliwienia,
- armaturą zarówno w obrębie prasy, jak i na rurociągach nadawczych, filtratu, czystej wody, obcieków, itp.,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- osprzętem elektronicznym, tj. czujnikami, wyłącznikami krańcowymi, przekaźnikami, przepływomierzami, tensometrami, itp.,
- jednym lub więcej przenośnikami odstawy placka filtracyjnego.

W takim przypadku zadanie obsługi sprowadza się jedynie do inspekcji wszystkich elementów wchodzących w skład układu odwadniania oraz ustawienie wszystkich urządzeń w tryb automatyczny. Dzięki zastosowaniu szeregu czujników: zbliżeniowych, poziomu, ciśnienia, przepływu, itp. program sterujący układem odwadniania może odpowiednio sterować wszystkimi komponentami w taki sposób, aby z jednej strony w czasie rzeczywistym dopasować się do zmiennych warunków technologicznych, a z drugiej strony zapobiec uszkodzeniu poszczególnych elementów z powodu awarii np. zasilania lub braku nadawy.

2.7. Układ bezpieczeństwa

Nadrzędnym celem producenta pras filtracyjnych typu GHT jest bezpieczeństwo zarówno obsługi urządzenia, jak i osób przebywających w jej pobliżu. Z tego względu prasa wyposażona jest szereg rozwiązań mających za zadanie ochronę życia i zdrowia osób mających jakąkolwiek styczność z układem filtracji. Pierwszym – najbardziej widocznym – elementem jest stała barierka zabudowana wokół prasy. Urządzenie jest w pełni automatyczne, dlatego nie ma potrzeby dostępu do zespołu płyt w trakcie normalnej pracy. Z każdej strony zabudowana jest bramka wejściowa posiadająca dwa zamki: mechaniczny oraz elektromagnetyczny. Aby uniknąć wypadków, gdy czynności konserwacyjne lub naprawcze wykonuje jedna osoba, do otwarcia bramki potrzebne są dwie osoby. Kolejnym rozwiązaniem jest bariera fotokomórkowa działająca wzdłuż prasy. W razie gdyby z jakiegokolwiek powodu należało zatrzymać pracę urządzenia, np. z powodu niedokładnego odspojenia się placka filtracyjnego w trakcie rozładunku, wystarczy przeciąć laserową wiązkę, co zatrzyma urządzenie przesuwu płyt. Standardowym wyposażeniem są również wyłączniki linkowe oraz grzybkowe pozwalające na zatrzymanie urządzenia z kilku miejsc. Istotne jest również zabezpieczenie układu pneumatycznego. Cała armatura automatyczna sterowana jest pneumatycznie za pomocą stacji zabudowanej na prasie filtracyjnej. Wyposażona jest ona w zbiornik sprężonego powietrza o objętości pozwalającej na zamknięcie wszystkich zaworów, zasuw i przepustnic w przypadku zaniku zasilania.

Również urządzenia wchodzące w skład węzła filtracji zabezpieczone są przed poważniejszymi awariami. Użyte rozwiązania to m.in. laserowy czujnik wyrównania ruchomej głowicy, czujniki ciśnienia na rurociągu nadawy, czujniki zbliżeniowe ruchomej głowicy i myjki tkanin, czujniki położenia napędów, czujniki tensometryczne i wiele innych. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom użytkownik może mieć pewność, że nie dojdzie do

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

poważniejszych awarii wymagających znacznych nakładów finansowych na usunięcie ich skutków.

3. Węzeł odwadniania odpadów w prasie GHT 2000 w KWK Krupiński

Na rysunku 8 przedstawiono węzeł odwadniania odpadów flotacyjnych w prasie filtracyjnej komorowej typu GHT. Do odwadniania odpadów flotacyjnych o uziarnieniu poniżej 0,5 mm (w których ziarna poniżej 0,063 mm stanowią 80%) i zagęszczeniu 450 g/l zastosowano prasę komorową typu GHT 2000.P9 (poz. 2). Jest to prasa komorowa wyposażona w:

- 117 polipropylenowych płyt o wymiarach 2000x2000 mm, głębokość komory 25 mm;
- 117 polipropylenowych tkanin filtracyjnych;
- 117 tkanin dolnych;
- układ górnego zawieszenia i transportu płyt;
- czteropunktowy docisk ruchomej głowicy;
- sprężarkę do powietrza sterowniczego i przedmuchu kolektora (poz. 6),
- wysokociśnieniowy układ mycia tkanin filtracyjnych,
- szafę zasilająco-sterowniczą z dotykowym panelem sterowniczym,
- pompę nadawy (poz. 1),
- wysokociśnieniową pompę myjki (poz. 3),
- stałą barierę ochronną wokół prasy z bramkami wejściowymi z obu stron;
- fotokomórkową barierę z jednej strony prasy;
- rurociąg obustronnego napełniania;
- rurociąg ujścia filtratu z automatycznym zaworem odwadniającym;
- funkcję bezpiecznego zakończenia filtracji z magnetycznym przepływomierzem;
- funkcję automatycznej redukcji ciśnienia;
- automatyczny układ przedmuchu i przemycia kolektora;
- układ automatycznego smarowania i oliwienia urządzenia przesuwu płyt.

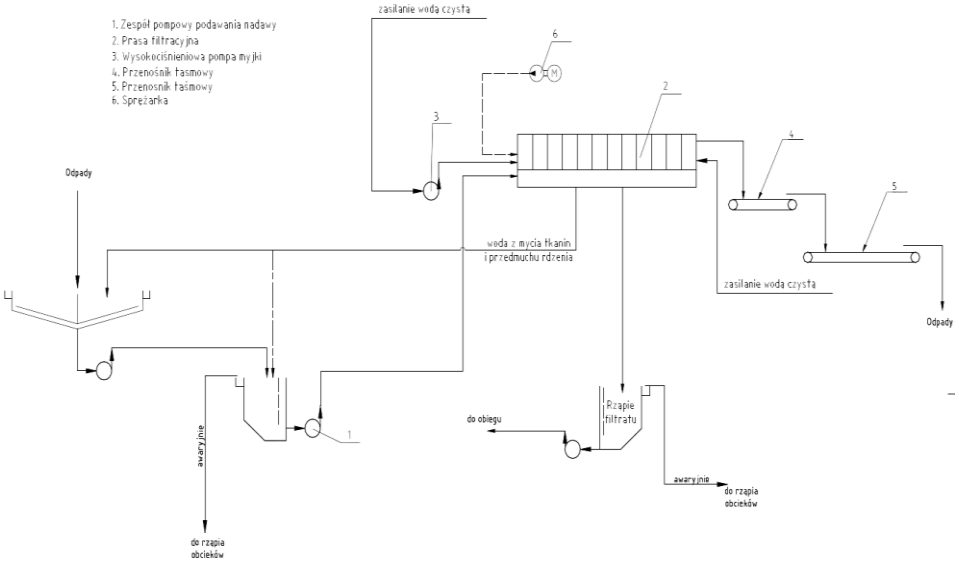
Prasa (poz. 2) napełniana jest poprzez układ pompowy składający się z pompy wirowej i tłokowo-membranowej (poz. 1). W pierwszym etapie nadawa pompowana jest z dużą prędkością przez pompę wirową. W miarę upływu czasu w komorach gromadzi się coraz więcej części stałych, powodując wzrost ciśnienia nadawy przy obniżeniu tempa jej napływu. Po osiągnięciu zadanych wartości ciśnienia i natężenia przepływu pompa wirowa wyłącza się, a załącza się pompa tłokowo-membranowa, która doprowadza etap filtracji do końca, tj. do momentu osiągnięcia zadanego ciśnienia filtrowanego medium.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Harmonogram pracy prasy składa się z następujących operacji:

- zamknięcie prasy siłownikami hydraulicznymi,
- napełnienie prasy za pomocą układu pompowego,
- zakończenie filtracji, zatrzymanie pomp,
- przemycie i przedmuch kolektora nadawczego,
- rozładunek prasy.

Prasa filtracyjna GHT 2000.P9 pracuje w trybie automatycznym, nie wymaga bezpośredniej obsługi, szczególnie przy operacji rozładunku prasy.



Rys.8. Węzeł odwadniania odpadów flotacyjnych w prasie GHT 2000.P9 [źródło: opracowanie własne]

4. Efekty eksploatacyjne uzyskane w wyniku zastosowania nowoczesnej prasy

Prasa komorowa GHT 2000.P9 pracuje w węźle odwadniania odpadów flotacyjnych węgla koksowego od 2012 r. W okresie uruchomienia prasy prowadzone były badania kontrolne w celu sprawdzenia czy prasa uzyskiwała założone parametry, a mianowicie osiągała wydajność min. 9 t/h odwodnionego odpadu flotacyjnego w suchej masie oraz zawartość wilgoci w placku nie przekraczała 25%.

W tabeli 1 zestawiono uśrednione parametry techniczne prasy filtracyjnej GHT 2000.P9 oraz dotychczas pracujących pras PF ROW, natomiast w tabeli 2 przedstawiono porównanie efektów eksploatacyjnych prasy GHT 2000.P9 oraz równolegle pracujących pras PF ROW.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Parametry techniczne prasy filtracyjnej zabudowanej w KWK Krupiński oraz dotychczas pracujących pras PF ROW (źródło: opracowanie własne)

Tabela 1

Parametr	J.m.	Wartość	
Typ	–	GHT 2000.P9	PF ROW 570
Rozmiar płyt	[mm]	2 000 x 2 000	1 500 x 1 500
Liczba zabudowanych płyt	–	117	151
Głębokość komory	[mm]	25	30
Pojemność płyty	[dm^3]	82,8	63,3
Pojemność prasy	[dm^3]	9604,8	9495
Powierzchnia filtracyjna płyty	[m^2]	6,7	3,84
Powierzchnia filtracyjna prasy	[m^2]	777,2	576
Ciśnienie filtracji	[bar]	13	10

Efekty eksploatacyjne prasy filtracyjnej GHT 2000 oraz pras PF ROW (źródło: opracowanie własne)

Tabela 2

Parametr	J.m.	Wartość	
Typ	–	GHT 2000.P9	PF ROW 570
Wydajność prasy w przeliczeniu na placek filtracyjny	[t/d]	280	115
Ilość filtrowanej nadawy	[m^3/d]	484	202,75
Całkowity czas trwania cyklu	[min]	70	150
Czas trwania etapu rozładunku prasy	[min]	10	30
Żywotność tkanin	[mies.]	18	6

Jak wynika z tabeli 2 czas trwania cyklu odwadniania w prasie GHT jest dwukrotnie krótszy niż w prasie PF ROW, a wydajność prasy GHT w przeliczeniu na placek filtracyjny jest ponad dwukrotnie większa niż prasy PF ROW.

Zastosowanie w prasie GHT mycia tkanin pozwoliło trzykrotnie wydłużyć żywotność tkanin w stosunku do prasy PF ROW.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki pracy uzyskane w nowoczesnej prasie komorowej typu GHT potwierdzają, że można zwiększyć wydajność węzła odwadniania odpadów poprzez zabudowę większych i bardziej nowoczesnych pras filtracyjnych. Potwierdzeniem tego jest zabudowa kolejnych pras GHT 2000 w ZMPW KWK Krupiński.

5. Podsumowanie

W 2012 r. w stacji odwadniania odpadów flotacyjnych w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK Krupiński należącej do Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA firma PROREM zabudowała i uruchomiła prasę filtracyjną GHT 2000.P9. KWK Krupiński była pierwszym zakładem w Polsce, w którym zabudowana została prasa typu GHT 2000 oraz w którym do napełniania prasy filtracyjnej została użyta pompa tłokowo-membranowa – w układzie tandemowym z pompą wirową. Pierwszą kopalnią, w której zabudowana została prasa typu GHT była KWK Jas-Mos. Zabudowano tam prasę GHT 1500.P7 służącą do odwadnianiu najdrobniejszych ziaren koncentratu flotacyjnego (poniżej 25 μm) obecnych w odcieku z wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych, co pozwala na skuteczne zamknięcie obiegu wodno-mułowego. Aktualnie firma PROREM jest również w trakcie realizacji inwestycji w KGHM Polska Miedź SA pn. „Modernizacja układu filtracji i suszenia koncentratu w Rejonie ZWR Rudna – Zakup prasy filtracyjnej do odwadniana koncentratu miedzi", która obejmuje dostawę i zabudowę prasy filtracyjnej typu GHT 2500.F8, wyposażonej w największe na świecie płyty filtracyjne o rozmiarze 2500x2500 mm.

Wspomnieć tutaj należy, iż doboru pomp nadawy dla KWK Krupiński dokonał producent prasy filtracyjnej, dzięki czemu ich parametry optymalnie wpisują się w cały układ odwaniania – w odróżnieniu od przypadków, gdy do istniejących pomp wirowych „na siłę" dobierane są pompy drugiego stopnia bez przeprowadzenia głębszej analizy stawianych im wymagań i dopasowania ich do charakterystyki zarówno prasy filtracyjnej, jak i pompy pierwszego stopnia.

Należy również nadmienić, iż firma PROREM zmodernizowała większość pras PF ROW w zakresie układów hydraulicznych, przesuwu płyt oraz wymiany płyt żeliwnych na polipropylenowe. Do dnia dzisiejszego firma dostarczyła swoim odbiorcom ponad 6 tysięcy płyt filtracyjnych. Obecnie nikt nie kwestionuje wyposażania pras filtracyjnych w płyty filtracyjne wykonane z polipropylenu w miejsce płyt żeliwnych, w które pierwotnie były wyposażane prasy filtracyjne typu PR ROW. Tak samo oczywistym jest fakt, iż obecnie w urobku coraz większy udział ma skała płonna, którą następnie należy w procesach przeróbczych wydzielić, a którą w ostatecznych rozrachunku należy w maksymalnym stopniu odwodnić. W przypadku istniejącej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

infrastruktury zazwyczaj nie ma możliwości zabudowy kolejnych pras filtracyjnych. Dlatego jedynym ekonomicznym rozwiązaniem problemu wąskiego gardła jest maksymalizacja wydajności stacji odwadniania odpadów flotacyjnych poprzez zabudowę większych oraz bardziej nowoczesnych urządzeń.

Literatura

1. Aleksa H., Tumidajski T., Saramak D., Gawenda T., Osoba M., Lenartowicz M., Blaschke W., Lutyński A.: Scenariusz rozwoju technologii przeróbki mechanicznej węgla kamiennego energetycznego. Opracowanie etapu 4.4. Foresight „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego" (nie publikowane), 2007.
2. Lenartowicz M.: Aktywność flotacyjna węgla w korytowej pneumo-mechanicznej maszynie flotacyjnej w funkcji napięcia powierzchniowego zwilżania. Praca doktorska. Katowice, GIG 2007.
3. Nowak Z.: Gospodarka wodno-mułowa w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.
4. Sablik J.: Flotacja węgli kamiennych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 1998.
5. Tomas A., Matusiak P., Kwaśny K.: Zmodernizowana prasa filtracyjna PFK 570N. KOMEKO 2013, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2013 s. 235-244.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

...dotychczasowe badania wykazują, że odpowiednia gęstość mokrej nadawy (ok. 20% cząstek stałych w jednostce objętości) oraz szerokość sita mają decydujące znaczenie dla wydajności przesiewania na mokro drobnych frakcji. Odkrycie to legło u podstaw rozwoju konstrukcji przesiewaczy wielopokładowych z równoczesnym podawaniem nadawy na każdy pokład. Jednym z najnowszych urządzeń tego rodzaju jest opracowany w firmie Derrick Corporation, Separation Technolgy Group (USA), pięciopokładowy przesiewacz z sitami poliuretanowymi, o zdolności przesiewania do 45 µm (325 mesh). Przesiewacz wyposażony w dwa wibratory o mocy 2x1,9 kW, osiąga wydajność dochodzącą do 350 t/godz., co stanowi 3- lub 4-krotny wzrost w porównaniu z urządzeniami starszego typu.

Aufbereitungstechnik 2013 nr 1 s.58-64

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wdrożenie nowego typu wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej w KWK „Sośnica – Makoszowy", Ruch „Sośnica"

Piotr Myszkowski – PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k., **Joachim Król** – KWK „Sośnica-Makoszowy"

1. Wprowadzenie [1]

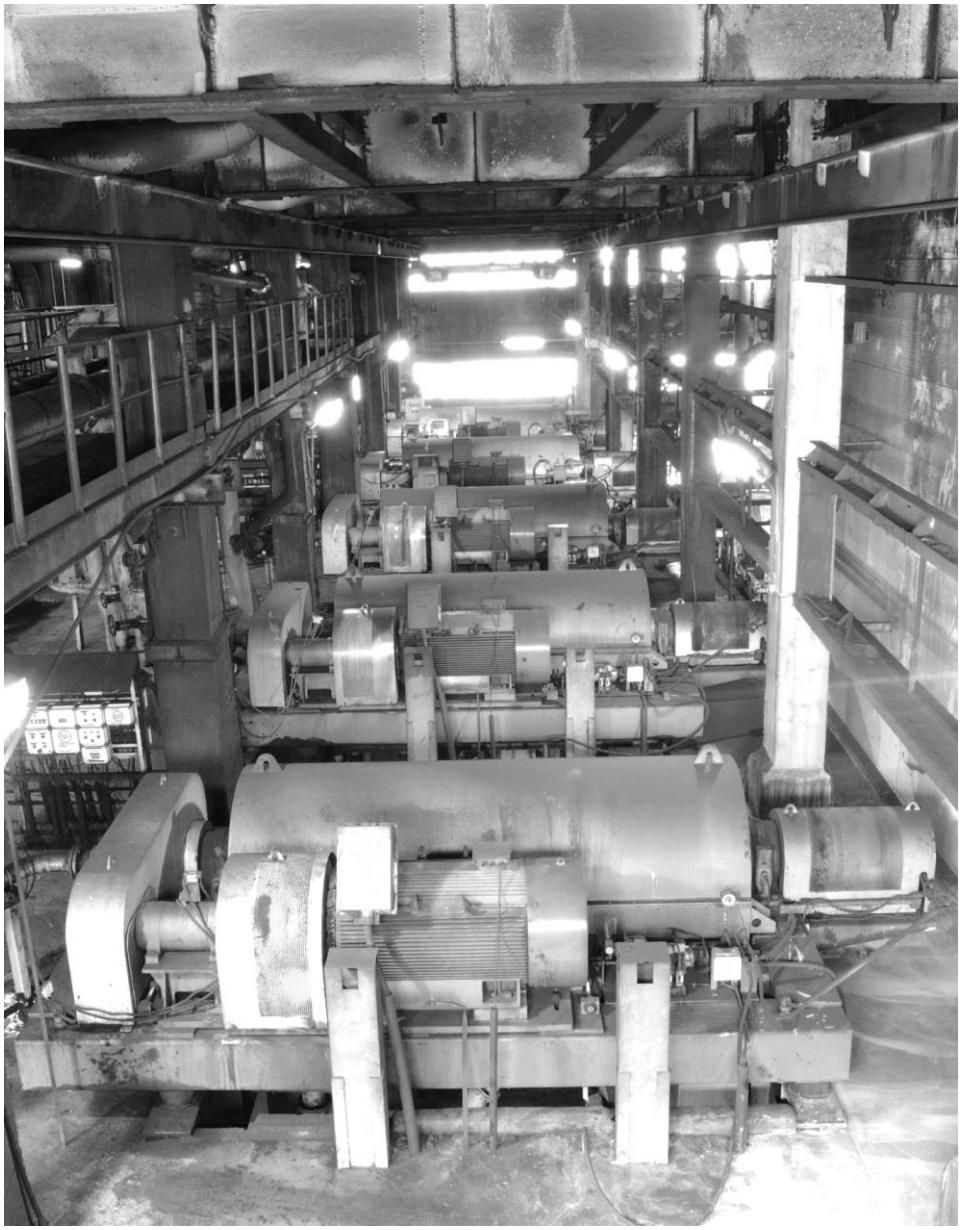
Nowoczesne technologie odzysku węgla z flotokoncentratów opierają się zwykle na intensywnych metodach separacji fazowej, zwłaszcza na dekantacji lub filtracji wirowej, ewentualnie filtracji ciśnieniowej z pominięciem lub znaczącym ograniczeniem węzła suszenia. Ze względu na duże strumienie mediów ma to decydujące znaczenie w rachunku kosztów.

W wypadku filtrowania flotokoncentratów na filtrach próżniowych uzyskany filtrat jest zwykle na tyle klarowny, że może być zawracany do obiegu, natomiast przy dużych strumieniach flotokoncentratów użycie metod o stosunkowo małych modułach napędowych procesu (czyli niskich ΔP) staje się nieracjonalne ze względu na konieczność użycia dużej ilości takich urządzeń. Zdecydowaną przewagę ma wówczas metoda filtracji lub dekantacji wirowej, jednak o jej użyciu decyduje rachunek kosztów (głównie koszty inwestycyjne urządzeń odwadniających, a więc dekantera czy wirówki filtracyjnej). Oprócz użycia intensywnych metod odwadniania istnieje jeszcze możliwość przyspieszenia rozdziału poprzez modyfikację składu ziarnowego zawiesiny np. poprzez użycie flokulantów, przez co separacja staje się łatwiejsza.

Pierwsze wirówki sedymentacyjne zostały wyprodukowane przez firmę BIRD Machine w roku 1934. W roku 1947 zastosowano wirówki sedymentacyjno-filtracyjne BIRD do odwadniania miału węglowego. Od tego czasu wirówki typu SB6400 oraz SVS1100x3300 produkowane później przez HUMBOLDT, z powodzeniem zaczęto stosować do odwadniania węgla oraz odpadów w przeróbce mechanicznej. Do dnia dzisiejszego zostało wprowadzonych szereg usprawnień i modyfikacji, które umożliwiły zastosowanie wirówek w coraz szerszym zakresie. Wirówki są eksploatowane przy większych wydajnościach, z dłuższymi resursami między remontowanymi, o mniejszych kosztach eksploatacyjnych. W roku 2004 BIRD HUMBOLD dołączyła do grupy ANDRITZ. Nowy właściciel postanowił przeznaczyć znaczne nakłady na badania i rozwój, w celu zmodyfikowania wirówek. W efekcie opracowano nową wirówkę oznaczoną AS11-3. W chwili obecnej pracuje ponad 5000 wirówek sedymentacyjnych, przy czym kilkaset z nich jest eksploatowanych ciągle od ponad 25 lat [2].

W polskim górnictwie węgla, do chwili obecnej dostarczono ok. 25 szt. wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych produkcji BIRD-HUMBOLD i ANDRITZ [4]

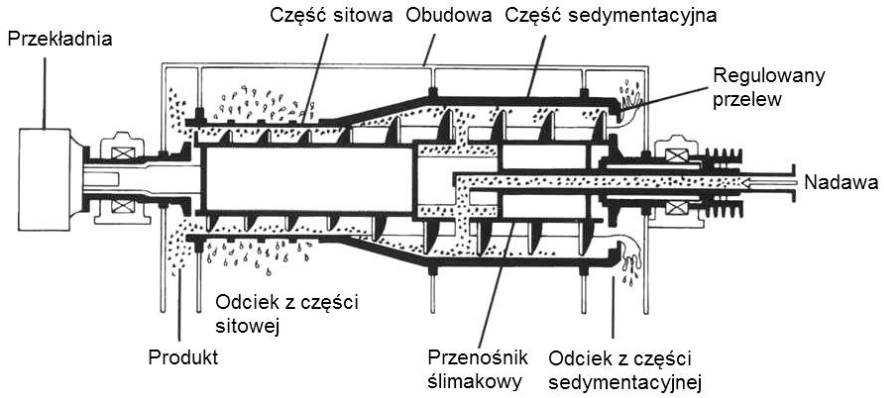
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Wirówki SB6400 ANDRITZ/BIRD w KWK Zofiówka [3]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Zasada działania wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej [4]



Rys.2. Schemat budowy wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej

Dwie zasadnicze części wirówki sedymentacyjnej to: bęben - część sedymentacyjna oraz ślimak - przenośnik, element przesuwający materiał wewnątrz bębna, w kierunku wylotu. Wylot produktu oraz filtratu znajdują się po przeciwnych stronach wirówki. Obracający się bęben powoduje utworzenie pierścienia nadawy o pewnej objętości, grubość którego jest regulowana na wlocie do wirówki. Dalsza część wirówki bębna posiada zmniejszoną średnicę w celu uformowania placka przed jego wypadem z urządzenia. Przed wyrzutem z urządzenia, materiał przesuwa się jeszcze poprzez część filtracyjną, dzięki której usuwana jest pozostała część wilgoci.

W porównaniu z innymi metodami odwadniania, użycie wirówek charakteryzuje się niskimi kosztami utrzymania, brakiem konieczności stosowania tkanin filtracyjnych lub specjalnych filtrów, bezobsługową, ciągłą pracą urządzenia, wysoką wydajnością przy małym zapotrzebowaniu na powierzchnię zabudowy, stosunkowo niską wilgocią produktu odwodnionego, brakiem konieczności dozowania odczynników. Ponadto, wirówki uruchamia się w sposób szybki, a ich obsługa jest prosta.

3. Typowe parametry wirówek SB6400 przy odwadnianiu koncentratu flotacyjnego węgla [3]:

Nadawa:		zagęszczenie 220 – 350 g/l
Popiół		9-12%
Granulacja		5-25 % + 0,5 mm
		70-95% + 0,044 mm
Placek:	wilgoć powierzchniowa	13-20%
Odzysk cz. stałych:	w zależności od < 44 μm	93-98%
Punkt klasyfikacji:		ok. 10-20 μm

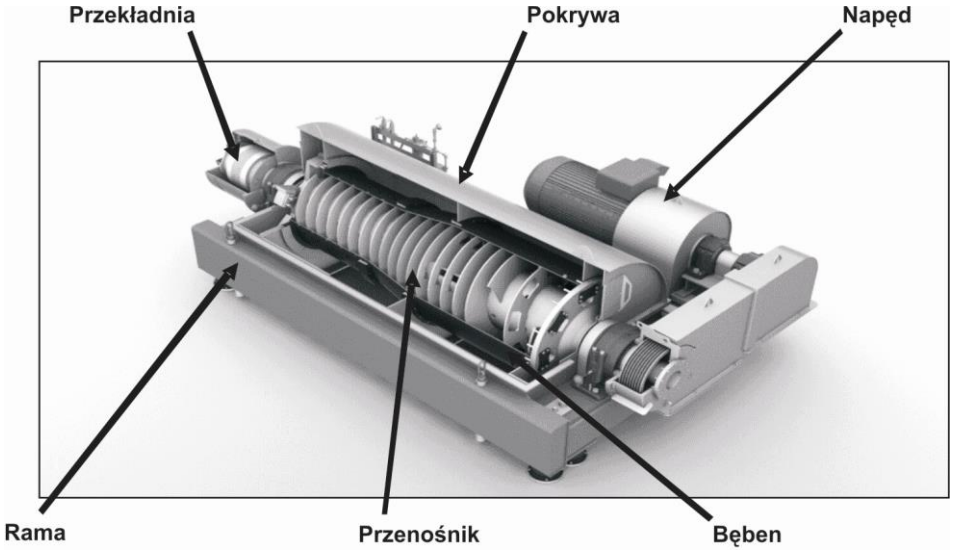
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Podstawowe parametry eksploatacyjne [3]

Tabela 1

Typ wirówki:	BIRD SB6400 SVS1100x3300
Wydajność	25-50 t/h
Przepływ	80-120 m^3/h
Prędkość robocza	800-1000 obr^{-1}
Liczba wirowania	450-600
Zainstalowana moc	315 kW
Waga maszyny	24.000 kg
Waga wirnika z przekładnią	8.900 kg
Jednostkowa moc zużywana	4-4,5 kWh/t

4. Wirówka typu AS11-3, cechy odróżniające od wirówki SB6400 [6]



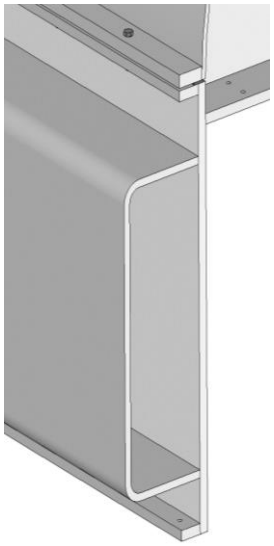
Rys.3. Wirówka AS11-3

Nowy model wirówki AS11-3 charakteryzuje się następującymi zmianami i usprawnieniami w stosunku do dotychczas produkowanych wirówek typu SB6400 i SVS1100x3300:

– Zmniejszenie ogólnej wagi maszyny do 18.900 kg (z ok. 24 t w przypadku wirówki SB6400), przy czym wirnik z przekładnią waży 7.173 kg. Łatwiejszy jest transport maszyny do użytkownika, jak również wszelkie

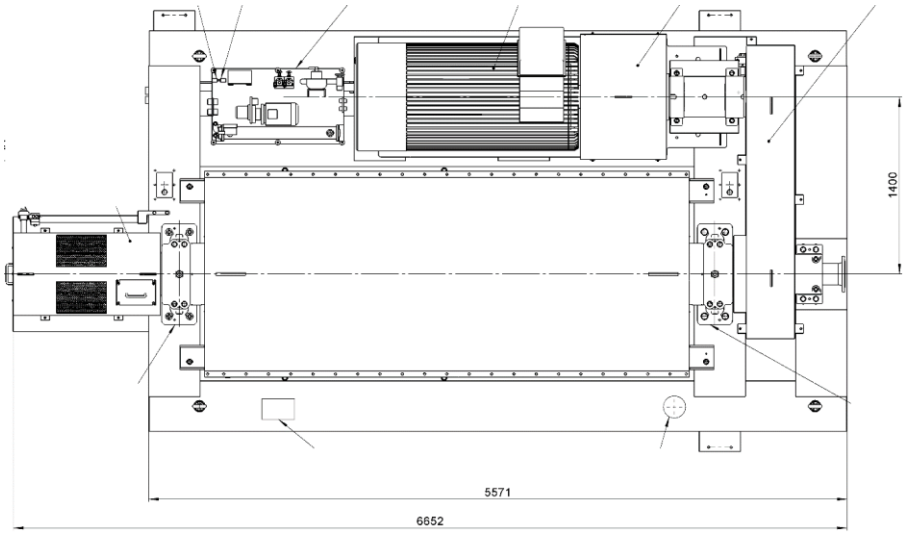
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

prace transportowe związane z zabudową. Ponadto, łatwiejszy jest transport pionowy zespołu wirującego wybudowanego do remontu.

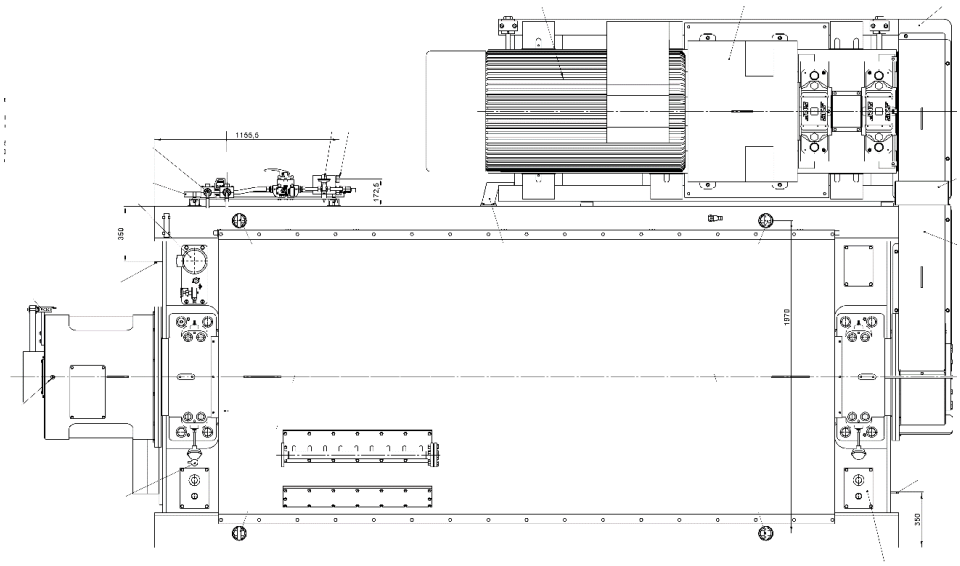


Rys.4. Szczegół konstrukcyjny ramy

– Polepszono zabezpieczenie przeciwścierne poprzez wyłożenie płytkami ceramicznymi całego bębna oraz całej części sitowej, wydłużając okresy międzyremontowe.
– Odseparowano ramę podstawy silnika od ramy wirówki, co umożliwia dużo łatwiejszy transport maszyny, zarówno drogowy, jak i pionowy na miejsce zabudowy. Eliminuje się także wzajemny wpływ wibracji zespołu silnik/maszyna, wydłużając żywotność.



Rys.5. Wirówka SB6400 – wspólna rama



Rys.6. Wirówka AS11-3 – dwie ramy, dla wirówki i dla silnika

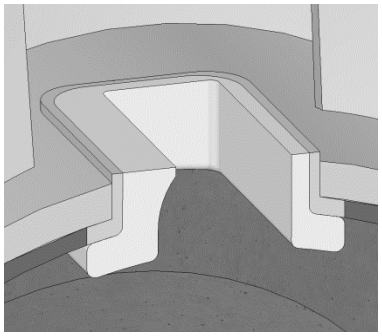
Rys.7. Rozładunek wirówki AS11-3

– Zastosowano nowy system smarowania olejowego łożysk przenośnika ślimakowego. Uzyskano wydłużenie okresu wymiany oleju, na co 4000 godz. pracy lub 6 miesięcy, znacznie ułatwiono obsługę.

– Zwiększono średnicę rury nadawy do DN200 mm oraz zmieniono geometrię części sitowej, co przyczynia się do wzrostu wydajności.

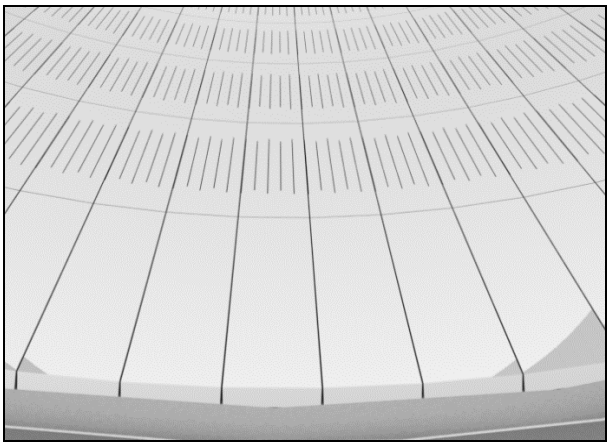
Rys.8. Rura nadawy

– Zoptymalizowano konstrukcję przenośnika ślimakowego oraz zmieniono geometrię komory nadawy wraz z dyszami, uzyskując wzrost wydajności oraz większe przyspieszenie materiału po wlocie do wirówki.



Rys.9. Dysze wypływu

– Zoptymalizowano część sitową, zwiększając powierzchnię czynną sita, co przyczyni się do zmniejszenia zawilgocenia produktu odwodnionego.



Rys.10. Część sitowa

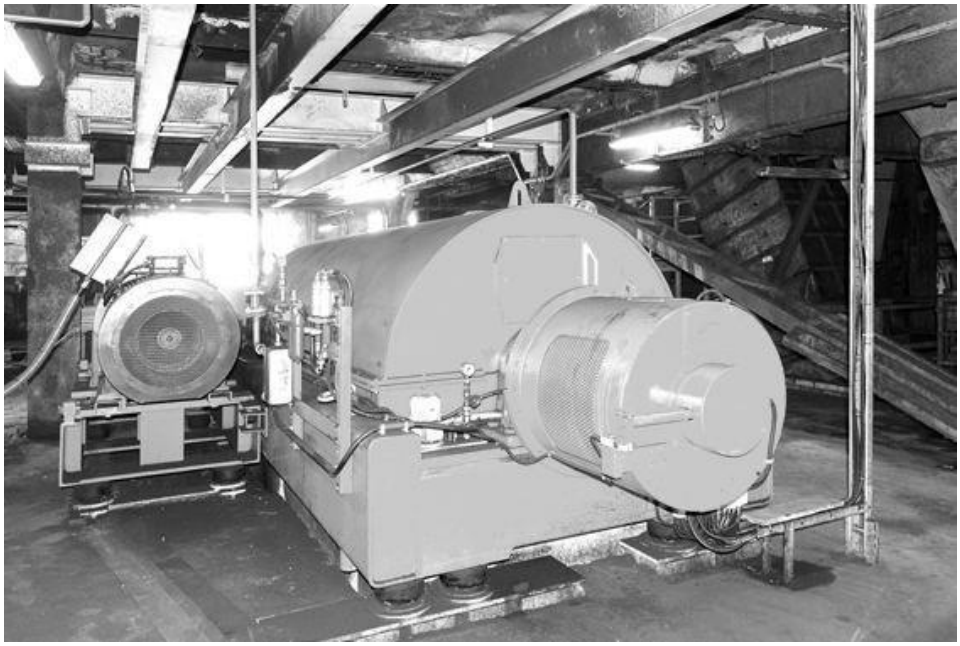
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

– W końcowej części łopat przenośnika ślimakowego (strona mokra) wykonano specjalne otwory przelewowe umożliwiające wzrost wydajności.

Rys.11. Część mokra przenośnika ślimakowego

5. Wyniki analiz laboratoryjnych uzyskane w KWK „Sośnica-Makoszowy", Ruch „Sośnica"

W roku 2013 zabudowano i uruchomiono pierwszą w Polsce wirówkę AS11-3.



Rys.12. Wirówka AS11-3 w KWK „Sośnica"

Poniżej przedstawiono wstępne dane analityczne otrzymane z laboratorium kopalni, po pierwszym okresie rozruchowym.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Podstawowe parametry technologiczne nadawy [7]

Tabela 2

Zakres badań według dowodu dostawy				Nr próbki według DKJ/L	Zag.	Analiza sitowa fr. 2 mm		Analiza sitowa fr. 1 mm	Analiza sitowa fr. 0,5 mm		Analiza sitowa fr. 0,063 mm
Kod próbki DKJ/K	Data	Zm.	Opis próbki (sortyment typ, rodzaj)		[g/l]	Udział		Udział	Udział		Udział
						[%]		[%]	[%]		[%]
1083	2014-02-19	A	nadawa na wirówkę	1083	430,0	16,5		33,1	41,5		8,9
1084	2014-02-19	A	odsacz II z części sitowej	1084	26,8	1,7		8,8	72,3		17,2
1085	2014-02-19	A	odsącz I z części bezsitowej	1085	37,1				0,1		99,9

Wyniki analizy sitowej produktu wyjściowego wirówki sedymentacyjnej oraz zawartość popiołu i wilgoci [7]

Tabela 3

Data	Nr analizy Laboratorium	Użyte sita Wym. oczek [mm]	Rodzaj metody	Skład ziarnowy	Zawartość popiołu A^a	Zawartość wilgoci W^t
				[%]	[%]	[%]
12-02-2014	913/T/913	>1,0	na sucho	4	35,29	18,7
		1,0-0,5		62,5	28,9	
		0,5-0,063		32,9	30,38	
		<0,063		0,6	36,61	
19-02-2014	1086/T/1086	>1,0	na sucho	10,2	32,65	13,8
		1,0-0,5		33,1		
		0,5-0,063		45,3		
		<0,063		11,4		

1. *Oznaczenia wykonane według: PN-ISO 1953/1999, PN-G-04512:1980 i PN-G-04511:1980*
2. *Uwagi: Próbka ważyła ogółem 3037,0 g*

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Sprawozdanie z badań produktu odwadniania: popiół i wilgoć w dniach od 04-02-2014 r. do 17-02-2014 r. [7]

Tabela 4

Zakres badań według dowodu dostawy				Nr próbki według DKJ/L	Wilgoć według PN-G-04560 *według PN-80/G-04511			Popiół według PN-G-04560 *według PN-80/G-04512		
Kod próbki DKJ/K	Data	Zm.	Opis próbki (sortyment typ, rodzaj)		W^a [%]	W_{ex} [%]	W_f [%]	A^a [%]	A^d [%]	A^r [%]
727	2014-02-04	A	wirówka/T	723	-	-	11,20	29,69	-	-
730	2014-02-04	B	wirówka/T	735	-	-	18,00	28,34	-	-
744	2014-02-04	C	wirówka/T	744	-	-	12,00	20,83	-	-
750	2014-02-05	A	wirówka/T	751	-	-	10,00	26,47	-	-
755	2014-02-05	B	wirówka/T	755	-	-	12,40	31,56	-	-
773	2014-02-05	C	wirówka/T	770	-	-	20,60	16,16	-	-
781	2014-02-06	A	wirówka/T	781	-	-	13,80	25,30	-	-
788	2014-02-06	B	wirówka/T	795	-	-	25,60	18,24	-	-
803	2014-02-06	C	wirówka/T	803	-	-	20,40	19,34	-	-
814	2014-02-07	B	wirówka/T	814	-	-	12,60	26,03	-	-
832	2014-02-07	C	wirówka/T	832	-	-	13,40	31,91	-	-
851	2014-02-10	A	wirówka/T	851	-	-	16,60	23,97	-	-
887	2014-02-11	C	wirówka/T	887	-	-	15,40	48,45	-	-
906	2014-02-12	A	wirówka/T	906	-	-	18,20	28,84	-	-
946	2014-02-13	A	wirówka/T	946	-	-	13,40	28,52	-	-
958	2014-02-13	B	wirówka/T	958	-	-	12,00	30,83	-	-
982	2014-02-14	A	wirówka/T	982	-	-	18,40	28,54	-	-
991	2014-02-14	B	wirówka/T	989	-	-	17,80	25,51	-	-
1016	2014-02-17	A	wirówka/T	1016	-	-	17,00	26,65	-	-
307	2014-02-15	A	wirówka/T	307	-	-	13,80	27,73	-	-
385	2014-02-17	A	wirówka/T	385	-	-	11,00	28,63	-	-
454	2014-02-21	A	wirówka/T	454	-	-	14,20	18,98	-	-
485	2014-02-22	A	wirówka/T	485	-	-	11,20	26,18	-	-
512	2014-02-23	A	wirówka/T	512	-	-	10,60	26,58	-	-
535	2014-02-24	A	wirówka/T	535	-	-	12,40	30,00	-	-

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

6. Wnioski z badań

Po otrzymaniu wstępnych danych laboratoryjnych z pierwszego okresu eksploatacji wirówki typu AS11-3 można wysnuć następujące wnioski:

1. Od strony eksploatacyjnej wirówka pracuje w sposób dobry.
2. Wirówka była eksploatowana przy stałym obciążeniu wynoszącym ok. 50%, co odpowiadało ok. 200 m^3/h przy zagęszczeniu ok. 430 g/l (por. tabela 2.). Proste obliczenia wskazują, że wydajność wirówki wynosiła ok. 86 t/h suchej masy, co było potwierdzane odczytem z wagi taśmowej zlokalizowanej za wysypem z wirówki. Typową wartością obciążenia wirówek typu SB6400 jest 60% przy wydajności 50 t/h [4].
3. W porównaniu z wirówkami typu SB6400 widoczne jest większe zagęszczenie odcieku z części sedymentacyjnej. W przypadku AS11-3 wynosi 37,1 g/l (tab. 2.), podczas gdy dla nowych wirówek SB6400 wartość ta oscyluje w granicach 20-30 g/l [4]. Większe zagęszczenie odcieku świadczy o łatwiejszym rozdziale i odprowadzaniu najdrobniejszej klasy ziarnowej wraz z odciekiem z części sedymentacyjnej wirówki AS3-11.
4. Bardzo wyraźna zmiana występuje także w przypadku zagęszczenia odcieku z części sitowej, który w przypadku AS11-3 wynosi jedynie 26,8 g/l (Tab. 2), a dla SB6400 waha się w granicach 200 g/l [4]. Prawdopodobnie większość najdrobniejszych ziaren odprowadzona została z odciekiem z części sedymentacyjnej.
5. Wirówka AS11-3 charakteryzuje się dużo większą skłonnością do separacji klasy ziarnowej -0,063 mm (tab. 2.) w porównaniu do innych typów wirówek.
6. Nie stwierdzono znacznych zmian w wilgoci produktu końcowego w porównaniu do innych typów wirówek (tab. 3.) [4].
7. Dane porównawcze przedstawiono w poniższej tabeli.

Dane porównawcze wirówek [4, 7]

Tabela 5

Typ wirówki:	BIRD SB6400 SVS1100x3300	AS11-3
Nadawa: zagęszczenie	220 – 350 g/l	430 g/l
Granulacja + 0,5 mm	5-25 %	49,6 %
+ 0,044 mm	70-95%	91,1 %
Produkt odwodniony wilgoć Wt^r	13-20%	11-19%
Wydajność	25-50 t/h	ok. 86 t/h
Przepływ	80-120 m^3/h	ok. 200 m^3/h
Prędkość robocza	800-1000 obr^{-1}	1000 obr^{-1}
Liczba wirowania	450-600	600
Zainstalowana moc	315 kW	315 kW
Waga maszyny	24.000 kg	18.900 kg
Waga wirnika z przekładnią	8.900 kg	7.173 kg
Średnica rury nadawy	150 mm	200 mm

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

7. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opisane powyżej, wstępne parametry technologiczne wirówki typu AS11-3, eksploatowanej w zakładzie mechanicznej przeróbki węgla w KWK „Sośnica-Makoszowy" Ruch „Sośnica", należy stwierdzić, że wymagane jest dalsze opróbowanie i prowadzenie badań, które umożliwią znacznie dokładniejszą analizę parametrów. Z pewnością, należny zwrócić szczególną uwagę na sprawdzenie wydajności wirówki pod kątem obciążenia, uzyskiwanej wilgoci produktu końcowego oraz zagęszczenia odcieku z części sedymentacyjnej.

Jakkolwiek prezentowane tutaj dane są niepełne, to jednak można określić ogólne zależności, związane z zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi:

1. Zmniejszenie ogólnej wagi maszyny ułatwia transport maszyny do użytkownika, jak również wszelkie prace transportowe związane z zabudową. Ponadto, łatwiejszy jest transport pionowy zespołu wirującego wybudowanego do remontu.
2. Odseparowano ramę podstawy silnika od ramy wirówki, co umożliwia dużo łatwiejszy transport maszyny, zarówno drogowy, jak i pionowy na miejsce zabudowy. Eliminuje się także wzajemny wpływ wibracji zespołu silnik/maszyna, wydłużając żywotność.
3. Zastosowano nowy system smarowania olejowego łożysk przenośnika ślimakowego.
4. Zwiększono średnicę rury nadawy do DN200 mm oraz zmieniono geometrię części sitowej, co przyczynia się do wzrostu wydajności, w wypadku KWK Sośnica do ok. 86 t/h.
5. Zoptymalizowano konstrukcję przenośnika ślimakowego, zmieniono geometrię komory nadawy wraz z dyszami, a także, w końcowej części łopat przenośnika ślimakowego (strona mokra), wykonano specjalne otwory przelewowe, uzyskując wzrost wydajności oraz większe przyspieszenie materiału po wlocie do wirówki, co skutkuje ułatwieniem separacji ziaren o najmniejszej średnicy, poniżej 0,063 mm.

Z całą pewnością wirówka typu AS11-3 jest urządzeniem umożliwiającym pracę przy dużo większych wydajnościach i mniejszym zużyciu energii elektrycznej, co w wypadku zakładów przeróbki mechanicznej węgla jest czynnikiem pożądanym i oczekiwanym.

Literatura

1. Opis odwadniania zawiesiny zrzutowej po wirówce filtracyjno-sedymentacyjnej BIRDa modelem SØRENSENA, Michał Palica i inni, 2007, http://www.wbiis.tu.koszalin.pl/towarzystwo/text/pp_2007_010.pdf

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Konkurencja na rynku wirówek odwadniających w przemyśle węglowym, John Orphanos, 2008, BIRD Inc.
3. Materiały własne ANDRITZ.
4. Materiały własne PRO-INDUSTRY.
5. Wirówki sedymentacyjno-sitowe ANDRITZ w przeróbce węgla, ANDRITZ, 2006.
6. AS11-3_cyl_presentation_2012-11-15, ANDRITZ, 2012.
7. Certyfikowane laboratorium przyzakładowe KWK "Sośnica-Makoszowy" Ruch „Sośnica” w Gliwicach.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zastosowanie bezinwazyjnych przepływomierzy sonarowych SONARtrack® w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin

Piotr Myszkowski, Mariusz Brzozowski – PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k.

1. Wprowadzenie

Biorąc pod uwagę liczbę i różnorodność dostępnych obecnie na rynku przepływomierzy, wybór odpowiedniego urządzenia pomiarowego staje się niejednokrotnie zadaniem bardzo trudnym. Zwykle większość użytkowników dokonuje go, biorąc pod uwagę głównie cenę oraz specyfikacje parametryczne, dostępne w katalogach i broszurach informacyjnych. Wielu z nich dostrzega jednak i sygnalizuje niekorzystne zjawiska, wynikające z takiego najprostszego podejścia do kwestii doboru czujników:

- zwykle przepływomierze, najtańsze przy zakupie, wymagają znaczących nakładów finansowych w trakcie późniejszej eksploatacji,
- wybór czujnika o bardzo dużej dokładności wskazywanej w jego specyfikacji technicznej często skutkuje jej obniżeniem po zaimplementowaniu w konkretnej aplikacji przemysłowej,
- bazowanie jedynie na porównaniu parametrów technicznych i informacji katalogowych może w rzeczywistości skutkować znacznymi kosztami i stratami w związku z przestojami zakładu lub konkretnych procesów produkcyjnych czy przetwórczych.

Rodzaje przepływomierzy [1]

Od wielu dziesięcioleci człowiek wykorzystywał pomiary strat ciśnienia jako element informacji o przepływie cieczy. Przez lata, wraz z rozwojem nauki, coraz lepiej poznawano naturę cieczy i zachodzące w niej zjawiska, takie jak tworzenie się wirów, efekt Coriolisa, efekt Dopplera, ale również zjawiska charakterystyczne dla innych obszarów fizyki, jak chociażby zmiany indukcji magnetycznej. Te badania i odkrycia umożliwiły rozwój nowych technik pomiaru przepływów oraz legły u podstaw konstrukcji nowych, odmiennych fizycznie i technicznie przepływomierzy. Obecnie do najbardziej rozpowszechnionych technologii konstrukcji czujników wykorzystywanych w różnych przepływomierzach dostępnych na rynku należą:

- czujniki zwężkowe: kryzy, zwężki Venturiego, dysze, rurki spiętrzające Pitota, rotametry itp.,
- czujniki wyporowe: tłoki posuwno-zwrotne, owalne zębatki, czujniki precesyjne, czujniki rotacyjne oraz membrany,
- czujniki Coriolisa,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- czujniki elektromagnetyczne,
- czujniki rozproszenia termicznego,
- czujniki ultradźwiękowe,
- czujniki wirowe,
- turbinki.

Wszystkie stosowane przepływomierze charakteryzują się szeregiem cech, które określają ich przydatność, lub nie, dla danej aplikacji. Jednakże nie istnieje rozwiązanie uniwersalne, które można by było zastosować we wszystkich aplikacjach z zadowalającymi rezultatami.

Obecnie, w praktyce przemysłowej zakładów przeróbki mechanicznej kopalin wykorzystuje się w większości przypadków przepływomierze elektromagnetyczne, ze względu na ich uniwersalność zastosowań, stosunkowo niską cenę (jednak jedynie w przypadku niewielkich rozmiarów) i akceptowaną dokładności pomiarów.

Przepływomierz elektromagnetyczny - to przyrząd pomiarowy, mierzący prędkość przepływu medium przez daną powierzchnię prostopadłą do kierunku pola magnetycznego, wykorzystując zjawisko indukcji elektromagnetycznej Faradaya.

Zasada działania przepływomierza elektromagnetycznego

Zgodnie z prawem indukcji elektromagnetycznej Faradaya, w przewodniku poruszającym się w polu magnetycznym indukowana jest siła elektromotoryczna zależna od natężenia pola magnetycznego i prędkości ruchu przewodnika. W pomiarach przepływu metodą elektromagnetyczną rolę przewodnika pełni przepływająca ciecz (zatem przepływomierz wymaga przewodzącego medium, np. wody, ale także izolowanej elektrycznie powierzchni rury pomiarowej).

Pole magnetyczne wytwarzane za pomocą prądu stałego o zmiennej biegunowości zapewnia stabilność punktu zerowego. Takie rozwiązanie czyni pomiar niezależnym od właściwości medium, np. w przypadku cieczy wielofazowych i niejednorodnych lub cieczy o niskiej przewodności.

Zalety:

- metoda zapewniająca niezależność pomiaru od ciśnienia, gęstości, temperatury i lepkości produktu,
- możliwość pomiaru produktów o wysokiej koncentracji ciał stałych (np. szlamów kopalnianych, masy celulozowej),
- brak części ruchomych,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- przepływomierz nie wprowadza spadku ciśnienia (pomiar pełnym przekrojem rury pomiarowej),
- stosunkowo wysoka niewrażliwość na profil przepływającej cieczy [2].

Wady:

- praca wyłącznie z cieczami przewodzącymi,
- konieczność cyklicznego sprawdzania kalibracji,
- konieczność powtórnej kalibracji przy zmianach gęstościowych mierzonego medium,
- montaż wymaga zatrzymania instalacji, wykonania połączeń kołnierzowych,
- korpus i czujniki stykają się z medium, dlatego są narażone na zużycie ścierne oraz korozję,
- powtarzalność pomiarów jest niewystarczająca do zastosowania jako detektory wycieków w rurociągach.

2. Nowa klasa przepływomierzy – sonarowe

W dalszej części rozdziału omówiony zostanie, sposób pomiaru oparty na zastosowaniu sonaru, który wykorzystuje analizę zjawisk dźwiękowych powstających podczas przemieszczania się danego medium w rurociągu. Po raz pierwszy, technologia ta została zaadaptowana do pomiaru przepływów, na początku lat 2000, przez grupę specjalistów, zajmujących się wcześniej wykorzystaniem sonaru dla celów militarnych, w budowie łodzi podwodnych. W celu komercjalizacji tej technologii, została stworzona firma CiDRA, zlokalizowana w stanie Connecticat, USA. Dzięki zastosowaniu matrycy czujników sonaru w formie maty pasywnych czujników piezoelektrycznych do pomiarów przepływów w rurociągach, uzyskano dokładną informację o dwóch podstawowych zjawiskach występujących podczas hydrotransportu:

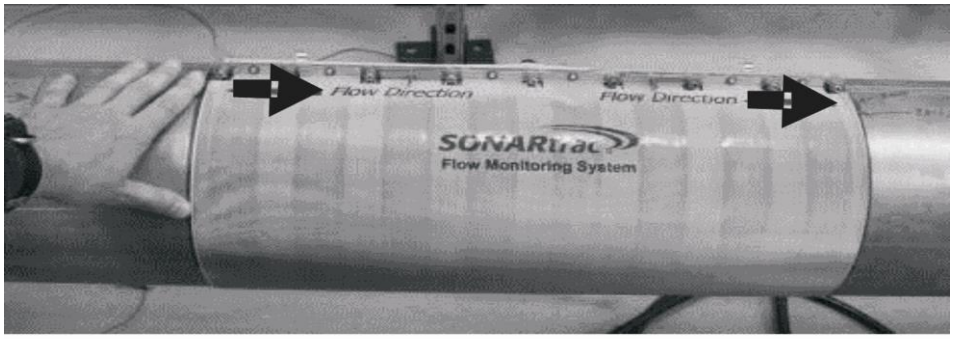
- wielkość przepływu objętościowego:
  - pomiar dokonywany jest w szerokim zakresie na mediach jedno, jak i wielofazowych:
    - szeroki zakres materiałów rurociągu, rozmiarów, wykładzin (wewnętrznych i zewnętrznych),
    - w ograniczonym zakresie możliwość pomiaru przepływu dla gazów i pary wodnej,
    - dokładność pomiarów +/- 1% odczytu,
    - minimalna prędkość przepływu umożliwiająca pomiar: dla cieczy i zawiesin 0,3-0,9 m/s (w zależności od medium), dla gazów i pary 6 m/s,
    - maksymalna temperatura ścianki rurociągu: 125 – 165°C,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- udział objętościowy gazu:
  - pomiar dokonywany jest w szerokim zakresie dla cieczy z gazem:
    - do 20% udziału objętościowego gazu,
    - ciecze/zawiesiny wielofazowe, ciecze o różnej lepkości,
    - zawiesiny minerałów i kopalin, pasty, roztwory…,
    - dokładność pomiarów +/- 5%.

System SORARTrack® charakteryzuje się prostą budową. Składa się z trzech podstawowych komponentów:

1. Matryca (mata) czujników piezoelektrycznych, owijana na rurze.



Rys.1. Mata czujników SONARtrack®

2. Osłona zabezpieczająca czujniki.

Rys.2. Osłona

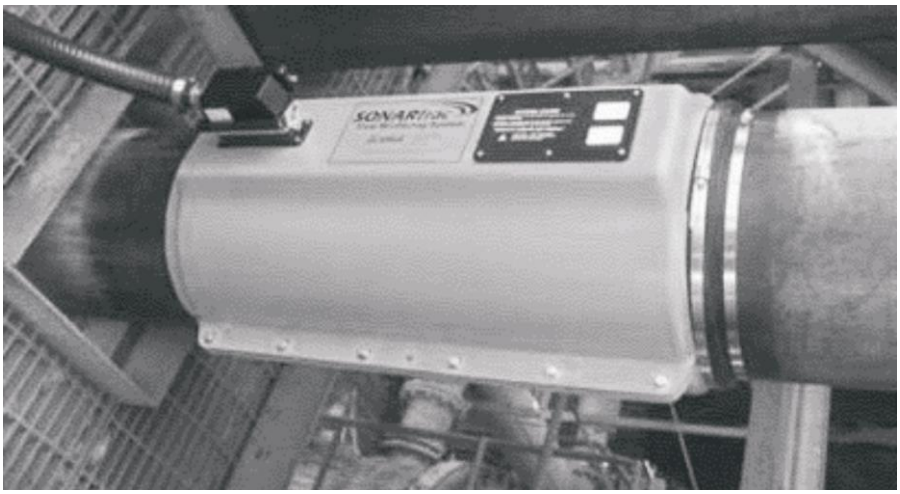
3. Skrzynka transmitera sygnałów.

Rys.3. Transmiter sygnałów elektrycznych

Zasada działania

Technologia sonarowa wykorzystuje techniki analizy szeregowej danych, podobnie, jak przy zastosowaniu sonaru. Początkowo CiDRA opracowała system SONARtrac® dla najbardziej wymagających aplikacji takich jak, pomiary przepływu przy odwiertach, wydobyciu ropy i gazu ziemnego.

Po uzyskaniu potwierdzenia przydatności i niezawodności działania w branży wydobywczej ropy naftowej i gazu ziemnego, CiDRA z powodzeniem, od wielu lat stosuje system SONARtrac® również w innych, wymagających dziedzinach przemysłu.



Rys.4. SONARtrack® zamontowany na instalacji

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

System pomiarowy CiDRA SONARtrac® wykorzystuje do pomiaru czujniki umieszczone szeregowo w macie pomiarowej, która jest owijana wokół rurociągu. Natężenie przepływu jest określane poprzez pomiar przemieszczania się zaburzeń akustycznych generowanych przez mikroturbulencje w przemieszczającym się medium. Wielkość przepływu jest obliczana bezpośrednio na podstawie prędkości przemieszczania się turbulencji z uwzględnieniem średnicy wewnętrznej rurociągu.

W zastosowaniach przemysłowych, wszystkie zalety i cechy charakterystyczne systemu pomiarowego CiDRA SONARtrac®, umożliwiają użytkownikowi osiągnięcie następujących, wymiernych korzyści:

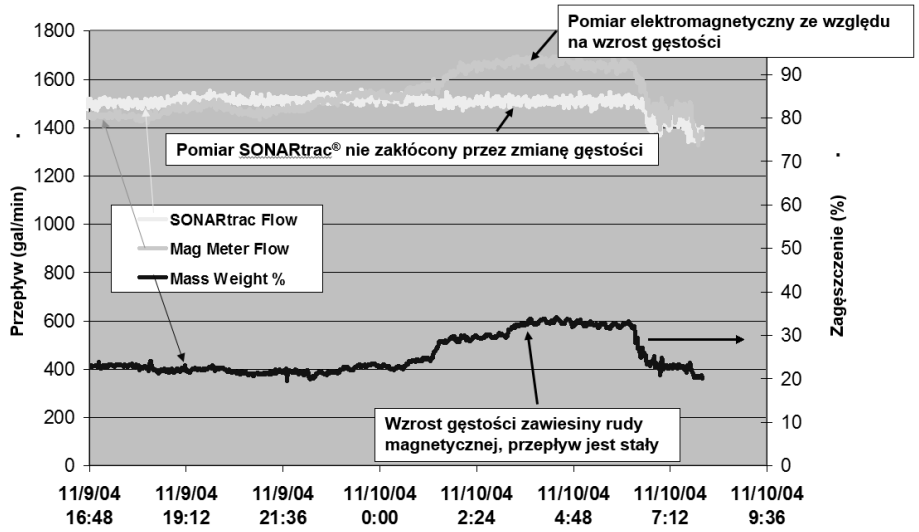
- obniżenie kosztów instalacji i użytkowania,
- wydłużenie czasu działania,
- lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów,
- niższe koszty operacyjne,
- większa stabilność procesu,
- wyższa jakość uzyskiwanych produktów [3].

3. Porównanie wyników pomiaru przepływu w instalacjach przeróbki mechanicznej kopalin

3.1. Pomiar przepływu przy obecności cząstek magnetycznych

Na jednym rurociągu, na odcinku prostym, zamontowano obok siebie przepływomierz elektromagnetyczny oraz SONARtrack®. W rurociągu transportowano zawiesinę rudy żelaza o stałym przepływie 1500 gpm (co odpowiada 409 m^3/h). Początkowo, zagęszczenie ciał stałych wynosiło 20% wagowo, które następnie wzrosło do 33% i po pewnym czasie spadło poniżej 20%. Odczyt przepływu na przyrządzie elektromagnetycznym odpowiadał charakterystyce zmian zagęszczenia magnetytu czyli z poziomu 1500 gpm, wzrósł do 1680 gpm (458 m^3/h), a następnie zmniejszył się. Jest to normalne zachowanie się tego typu przepływomierzy, ponieważ wrażliwe są one na zmianę przewodności magnetycznej mierzonego medium. Odczyty systemu SONARtrack® były stabilne, przez cały czas wskazywały poprawną wartość przepływu 1500 gpm.

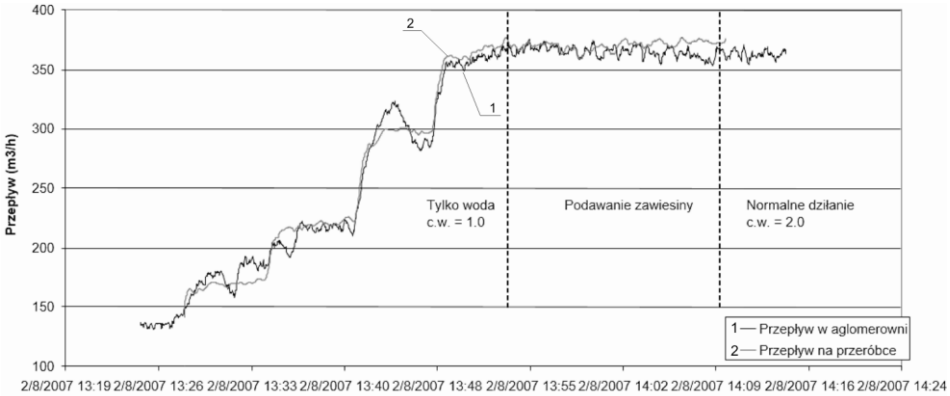
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.5. Porównanie pomiarów przepływu dla rudy magnetycznej wykonywanych na przepływomierzu elektromagnetycznym oraz SONARtrack® przy zmieniającym się zagęszczeniu cząstek magnetycznych [4]

3.2. Pomiar przepływu przy zmieniającym się zagęszczeniu ciał stałych

Przejście mierzonego medium ze stanu jednofazowego (woda) do dwufazowego (zawiesina) nie wpływa na odczyty SONARtrack® (por. rys. 6). W celu uzyskania stabilności przepływu pompowanego medium, zastosowano pompę wyporową (tłokową), której wydajność jest niezależna od zagęszczenia ciał stałych pompowanego medium. W tym wypadku można stwierdzić, że system SONARtrack®, nawet w przypadku znacznych zmian zagęszczenia ciał stałych, nie wymaga przeprowadzenia kalibracji i wskazuje wiarygodne wyniki.

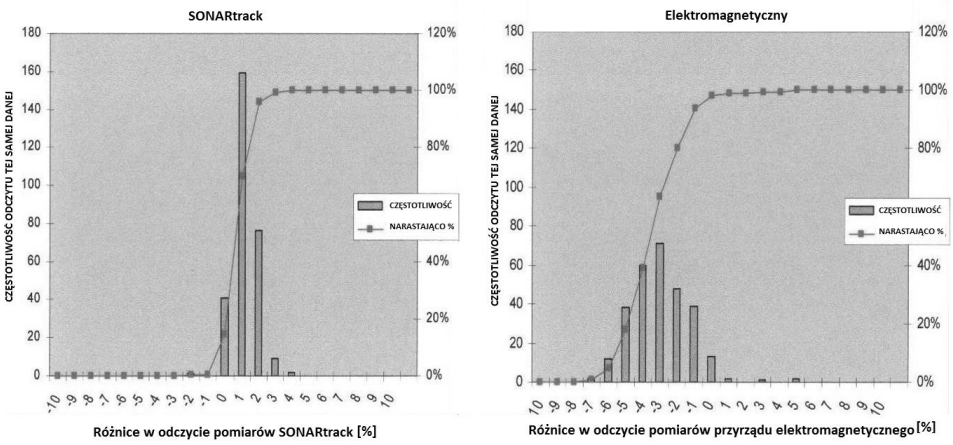


Rys.6. Porównanie pomiarów przepływu wykonanych na SONARtrack® pomiędzy zakładem przeróbczym a aglomerownią Sicartsa (25 km) dla rudy magnetycznej przy zmieniającym się zagęszczeniu cząstek [4]

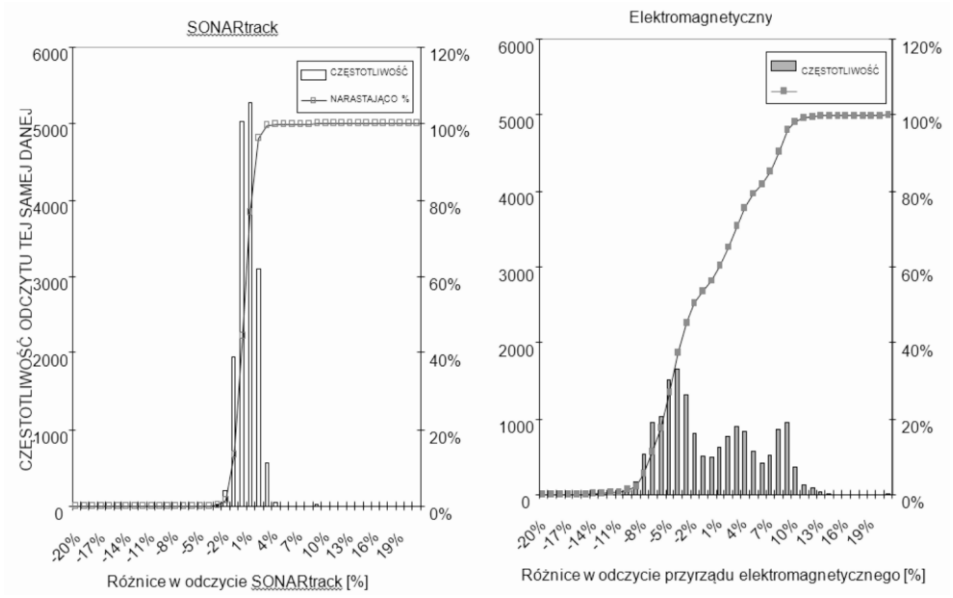
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3.3. Powtarzalność odczytów dwóch systemów pomiaru przepływu

Na jednym rurociągu zamontowano dwa przepływomierze SONARtrack® oraz dwa przepływomierze elektromagnetyczne.



Rys.7. Porównanie pomiarów powtarzalności przepływu wykonanych na SONARtrack® oraz przyrządem elektromagnetycznym przy stałym przepływie wody [5]



Rys.8. Porównanie pomiarów powtarzalności przepływu wykonanych na SONARtrack® oraz przyrządem elektromagnetycznym przy stałym przepływie zawiesiny o gęstości 1,8 g/cm^3 [5]

Badano różnice pomiarów pomiędzy dwoma urządzeniami tego samego typu. Na rysunku 7 pokazane są wyniki dla pomiaru cieczy jednofazowej, natomiast na rysunku 8 dla pomiarów przy zmieniającym się zagęszczeniu

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

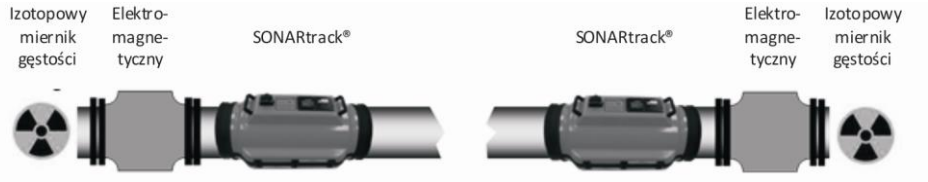
(od 0% wagowo do 1.8% w/w). Na osiach poziomych, wszystkich wykresów zaznaczono procentową różnicę w odczytach obu przepływomierzy (różnica pomiędzy pomiarami przepływomierzy a i b), Na lewej osi pionowej zaznaczono ilość odczytów dla danej wartości z osi poziomej, na prawej osi pionowej zaznaczono skumulowaną ilość odczytów dla danej wartości osi poziomej.

Przy pomiarach przepływu jednofazowego, błąd odczytu dla SONARtrack® nie przekraczał 4%, podczas gdy przepływomierze elektromagnetyczne wskazywały różnicę odczytów ok. 12-14%. Dla zawiesiny wartości te wynosiły odpowiednio 6% i 21%!

Biorąc pod uwagę powyższe, SONARtrack® z powodzeniem można zastosować do detekcji wycieków z rurociągu hydrotransportu.

3.4. Odczyty pomiarów przepływów dla długich rurociągów

Wykonano także testy porównawcze odczytów przepływu dla bardzo długich rurociągów, o długości 50 km. Na początku i końcu rurociągu zamontowano izotopowe mierniki gęstości, przepływomierze elektromagnetyczne oraz SONARtrack®.



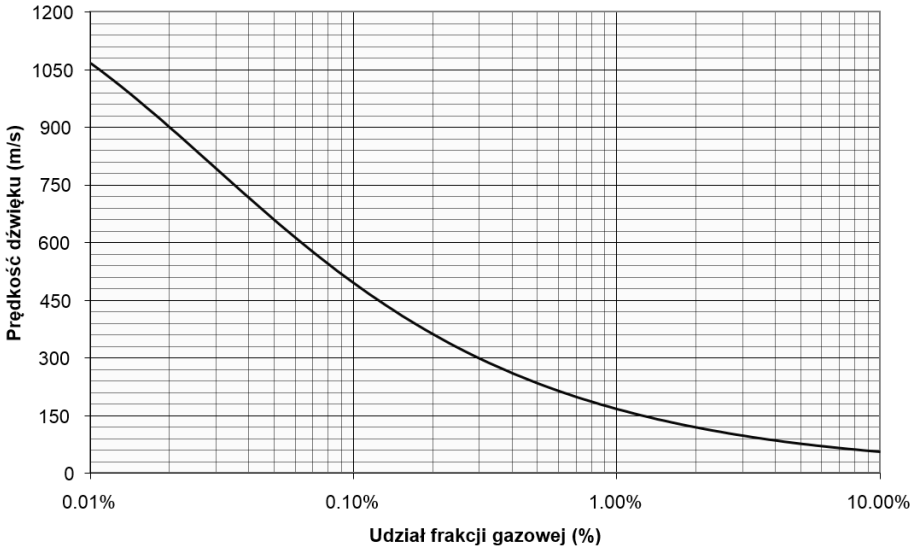
Rys.9. Schemat instalacji do pomiaru odczytów przepływu

Stwierdzono, że po porównaniu odczytów z obu, tego samego typu przepływomierzy elektromagnetycznych, uzyskano znaczną wrażliwość na zmiany gęstości oraz duże różnice w pomiarach prędkości przepływu. Oba urządzenia SONARtrack® dawały pokrywające się odczyty.

3.5. Pomiar niesionego wraz z medium gazu

Wszystkie urządzenia generujące hałas (pompy, zawory, itp.) wytwarzają także fale dźwiękowe przemieszczające się wraz z przepływem oraz przeciwnie do kierunku przepływu medium wewnątrz rurociągu. Zmodyfikowana wersja SONARtrack®, przystosowana do pomiaru niesionego gazu wraz z medium, mierzy prędkość fal dźwiękowych w celu określenia prędkości dźwięku w medium. Ponieważ prędkość dźwięku zależy od ilości gazu wmieszanego w medium, możliwe jest określenie zawartości gazu – rysunek 10.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.10. Zmiana prędkości dźwięku w wodzie
w zależności od udziału frakcji gazowej [4]

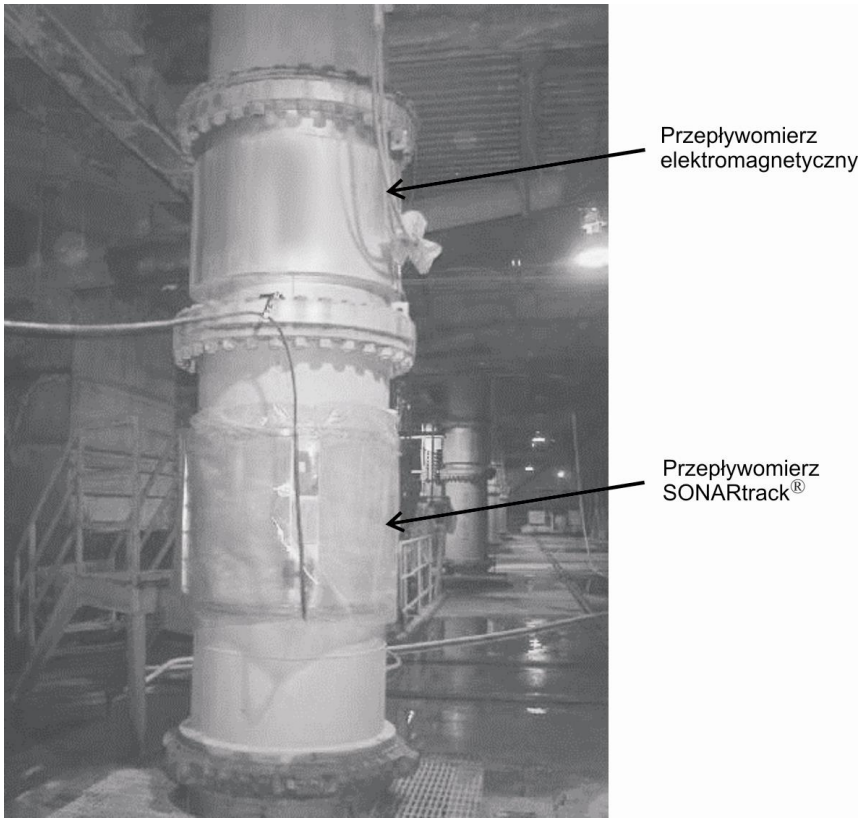
Należy także zauważyć, że zmienna ilość niesionego wraz z medium gazu powoduje błędy odczytu przepływomierzy elektromagnetycznych, ponieważ wraz ze zmianą udziału frakcji gazowej, zmienia się przewodność mierzonego medium. SONARtrack® wykrywa obecność gazu w niesionej mieszaninie. Umożliwia pomiar wartości rzeczywistego przepływu cieczy/mieszaniny oraz określa udział % niesionego gazu. W praktyce przemysłowej okazuje się, że w większości przypadków mamy do czynienia z pewną ilością gazu przemieszczającego się wraz z medium. Zaburza to odczyty innych przepływomierzy i daje błędne wyniki pomiarów.

3.6. Nadawa do hydrocyklonu 900 mm w układzie zamkniętym mielenia młyna kulowego (145 000 t/d zakład wzbogacania rudy miedzi w Chile)

Przepływomierz SONAR mierzył przepływ zgodny ze zmianą obciążenia pompy (badanego poprzez monitorowanie prądu pobieranego przez silnik napędowy pompy), zarówno podczas stanów równowagi, jak i nieustalonych (rys. 12) w przeciwieństwie do przyrządu elektromagnetycznego.

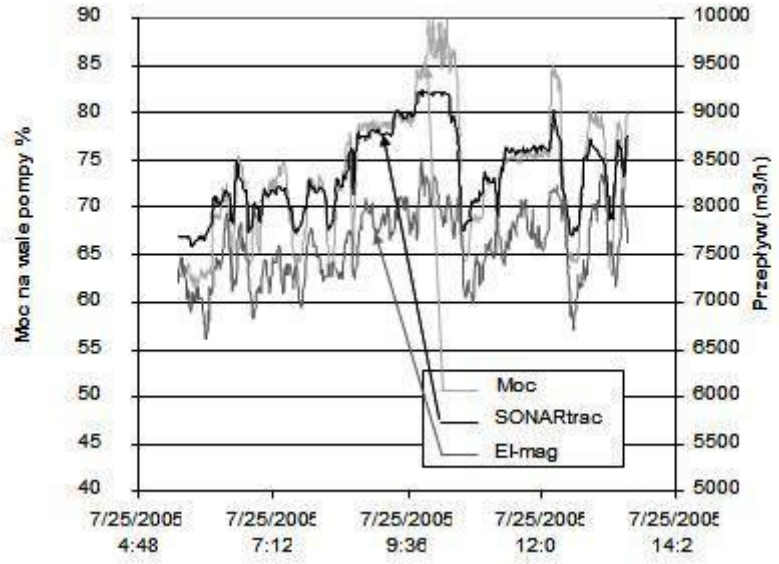
Ponadto, zbadano również dokładność pomiaru, za pomocą obliczeniowego współczynnika korelacji przy zmieniającym się przepływie zawiesiny do hydrocyklonu klasyfikującego (o średnicy 900 mm) w zamkniętym układzie mielenia, przy wydajności 145 tyś. t/dobę. Okazało się, że współczynnik korelacji rozrzutu pomiarów dla SONARtrack® wyniósł 0,9, a dla przyrządu elektromagnetycznego 0,58. Tak wysoki współczynnik korelacji dla SONARtrack® świadczy o dokładnej i powtarzalnej pracy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.11. Układ pomiarowy na rurociągu nadawy do hydrocyklonu

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.12. Pomiar przepływu za pomocą SONARtrack® oraz przyrządu elektromagnetycznego, w zależności od obciążenia pompy [4]

4. Wnioski

W ostatnim czasie, w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin w świecie, z powodzeniem wdrażany jest nowatorski, bezinwazyjny przepływomierz SONARtrack®. Pomiar przepływu cieczy/mieszaniny odbywa się przy wykorzystaniu generowanych wewnątrz rurociągu zjawisk dźwiękowych (wykorzystywana jest przy tym technologia sonarowa). Jest to urządzenie monitorujące zmiany prędkości fali akustycznej, generowanej wewnątrz rurociągu, przez przepływające medium. Jako detektory zastosowano pasywne czujniki piezoelektryczne w formie matrycy (elastyczna mata), dlatego montaż jest bardzo prosty i polega jedynie na owinięciu rury z zewnątrz. Wszystko odbywa się podczas eksploatacji, bez wstawiania jakichkolwiek elementów w rurociąg, w ciągu maksymalnie 2 godzin. Materiał rurociągu jest praktycznie dowolny, a wewnątrz rurociągu mogą tworzyć się osady. Mierzona ciecz lub mieszanina jest także dowolna. Pomiary są bardzo dokładne i powtarzalne, ewentualna obecność powietrza jest wykrywana, a jego wpływ na pomiar jest kompensowany.

W przypadku zakładów przeróbki mechanicznej, zastosowanie przepływomierzy sonarowych SONARtrack® jest proste i przynosi wymierne korzyści. Ponieważ żaden z elementów składowych systemu SONARtrack® nie styka się z przepływającym medium, nie są one narażone na zużycie ścierne,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

przez cały okres żywotności nie ma konieczności przeprowadzania rutynowych czynności konserwacyjnych, nie potrzeba wymieniać żadnych części ani dokonywać powtórnej kalibracji, itp. Dodatkowo, na dokładność i niespotykaną powtarzalność pomiarów, nie wpływa zawartość niesionego z medium powietrza lub ziaren magnetytu.

Przepływomierze te można zastosować jako detektory wykrywające wycieki oraz na instalacjach z cieczą ciężką.

Porównanie wyników testów systemów SONARtrack®, z powszechnie stosowanymi w przemyśle przepływomierzami elektromagnetycznymi wskazuje, że systemy SONARtrack® dokonują pomiaru przepływu w sposób jednoznacznie odzwierciedlający warunki panujące wewnątrz rurociągu, niezależnie od zmiany gęstości lub ilości medium, a powtarzalność pomiarów jest większa niż innych typów przepływomierzy.

Zastosowanie przepływomierzy nowej generacji SONARtrack®, w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin, charakteryzuje:

- dokładność i powtarzalność pomiaru, dla wszystkich mediów, w przypadku jedno i wielofazowych przepływów, również cieczy ciężkich,
- pomiar nawet w przypadku wysokiej zawartości ciał stałych i obecności pęcherzyków gazu, a także pomiar ilości niesionego gazu,
- określenie rzeczywistego przepływu cieczy,
- wykrywanie zmian w procesie spowodowanych pojawieniem się fazy gazowej w wyniku nieszczelności zaworów /uszczelnień itp.,
- brak konieczności okresowych kalibracji nawet w przypadku zmian gęstości medium bądź zmiany parametrów procesu,
- szybki, prosty montaż, wykonywany na pracującej instalacji bez konieczności osiowania lub montażu kołnierzy,
- pomiar „pełnoprzekrojowy”, nie generujący spadku ciśnienia,
- wyeliminowanie ryzyka przecieku, brak dryftu,
- brak części ruchomych,
- obojętność na materiał rurociągu i rodzaj jego wyłożenia,
- możliwe pomiary w przypadku wykładzin teflonowych, HDPE, poliuretanowych, gumowych, chromowych, ceramicznych, betonowych, itp.

Jako przyrząd pomiarowy, przepływomierz SONARtrack® umożliwia

- zwiększenie dokładności pomiarów i pewniejsze prowadzenie procesu produkcyjnego,
- obniżenie kosztów instalacji i użytkowania (montaż niezwykle prosty, poprzez owinięcie z zewnątrz rury, w której przepływa mierzone medium),
- wydłużenie czasu działania (brak części stykających się z medium),

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

- lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów w wyniku bardziej precyzyjnego prowadzenia procesów technologicznych, możliwość sterowania on-line,
- niższe koszty operacyjne,
- wyższa jakość uzyskiwanych produktów.

Jest to produkt szczególnie polecany do zakładów przeróbki mechanicznej kopalin ze względu na swoje dopasowanie do specyficznych wymagań techniczno-technologicznych.

Literatura

1. Fretschel B., Johnson A.K., opracował dr inż. Andrzej Ożadowicz, AGH Kraków, 2013.
2. http://pl.wikipedia.org/
3. CiDRA Arkusz Danych Model VF-100.
4. CiDRA Arkusz Danych Model GVF-100.
5. Materiały własne CiDRA, 2012.
6. Prezentacja SONARtrack info by Esko Thakola, 2010.
7. Materiały własne PRO-INDUSTRY Sp. z o.o.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Próby techniczne i stanowiskowe grudkownika mułów węglowych

Jacek Feliks – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

1. Wprowadzenie

W trakcie procesów wzbogacania węgla w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego powstają muły węglowe. Są to najdrobniejsze klasy o uziarnieniu poniżej 1 mm, w których klasy poniżej 0,035 mm stanowią nawet do 60 % składu ziarnowego mułów. W zależności od parametrów jakościowych (zawartość popiołu i siarki, wartość opałowa) muły te mogą być kierowane bezpośrednio do mieszanek energetycznych lub są deponowane w osadnikach ziemnych poszczególnych kopalń. Duża wilgotność powierzchniowa mułu, wynosząca po odwodnieniu na filtrach około 25 do 30% powoduje specjalne trudności przy wyładunku tego produktu z wagonów, zwłaszcza w okresie zimowym, z uwagi na brak skutecznych tanich środków zabezpieczających przeciw zamarzaniu. Muł w klasie 0,1 mm z dodatkiem rozmytych iłów stanowi zawiesinę praktycznie nie dającą się skutecznie odwodnić. Nieekonomiczny jest proces suszenia termicznego mułu. Najkorzystniejszym sposobem obniżenia zawartości wilgoci w mule węglowym jest oddziaływanie chemiczne, w wyniku którego obniżona zostanie wilgotność przemijająca mułu węglowego umożliwiająca jego użycie do mieszanek energetycznych. W rozdziale przedstawiono wyniki prób technicznych i stanowiskowych nowego typu urządzenia służącego do granulowania mułów węglowych, zaprojektowanego w KMGPiT a wykonanego w Kompanii Węglowej.

Ilość tych odpadów jak pokazują raporty środowiskowe nie maleje, chociaż większość nowo tworzonych odpadów zostaje poddana odzyskowi, jednak ok 1,6 mln Mg rocznie zostaje poddane unieszkodliwianiu poprzez składowanie. Obecnie szacuje się, że ilość nagromadzonych mułów wynosi 500 mln Mg [3, 4].

Największą część odpadów górniczych stanowią odpady przeróbcze, które obejmują materiał skalny wydobyty wraz z urobkiem i oddzielany w procesach wzbogacania kopaliny (np. w trakcie sortowania, rozdrabniania, płukania, flotacji), a ich udział w ogólnej masie odpadów wynosi średnio 88%.

W rozdziale zajęto się mułami dostarczonymi z Kopalni Węgla Kamiennego Piast, których wytwarza się w ilości ok. 30 tys. Mg na miesiąc. Według informacji struktura rozchodu ww. mułów wygląda następująco:

- 72% zagospodarowywane jest jako odpad,
- 24% sprzedawane w mieszankach energetycznych,
- reszta jako deputat i sprzedaż drobnicowa.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Ekonomicznie opłacalne jest zagospodarowanie mułów w mieszankach energetycznych, jednak problemem jest forma występowania mułu surowego. Parametry techniczne mułu z KWK Piast pokazano w tabeli 1. W tabeli tej dla porównania pokazano parametry mułów z innych kopalń.

Parametry techniczne mułów węglowych (źródło: opracowanie własne)

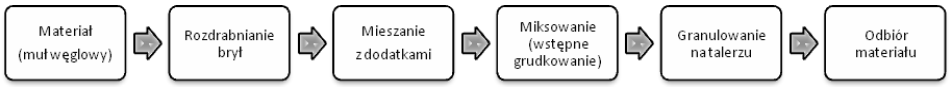
Tabela 1

Zawartość	KWK Jas-Mos	KWK Piast	Nowa Zelandia
Wody [%]	34,9	25,5	40
Wartość opałowa [kJ/kg]	11 935	8327	25 MJ/kg
Popiołu (w stanie roboczym) [%]	30,25	41,4	<4,5
Siarki [%]	0,71	0,88	

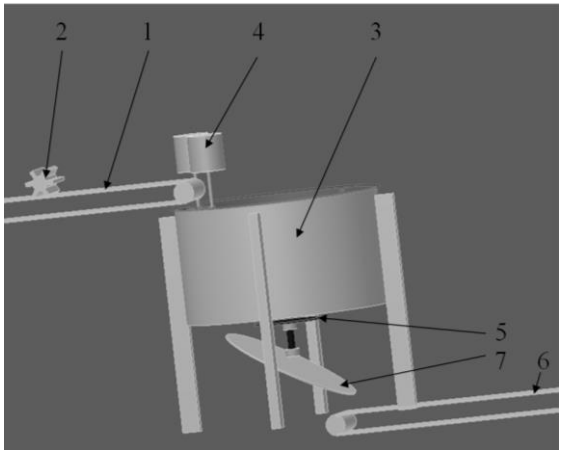
Muł surowy jako produkt końcowy procesu wzbogacania węgla znajduje coraz mniej nabywców i przysparza wiele kłopotów kopalniom. Spowodowane jest to zarówno stosunkowo niską wartością opałową, jak i trudnościami w transporcie, wyładunku i procesie spalania. Z przeprowadzonych analiz wynika nieopłacalność wprowadzania procesu flotacji dla mułów energetycznych, aby po termicznym suszeniu dołączyć je do koncentratów miarowych. Nieekonomiczny jest proces suszenia termicznego mułu. Najkorzystniejszym sposobem obniżenia zawartości wilgoci w mule węglowym jest oddziaływanie chemiczne w wyniku którego obniżona zostanie wilgotność przemijająca mułu węglowego, umożliwiająca jego mieszanie do mieszanek energetycznych. Wzrost cen węgli sortymentowych jest przyczyną zainteresowania energetycznym wykorzystaniem znacznie tańszych mułów węglowych. Indywidualne spalanie mułów węglowych wymaga kotłów o specjalnej konstrukcji oraz dostosowania infrastruktury do fizycznych cech tego paliwa. Jedną z metod ominięcia tych problemów jest wytwarzanie mieszanek miału węglowego z mułem węglowym poflotacyjnym.

Istotne role w przebiegu procesu mieszania odgrywają własności fizykochemiczne mieszanych składników oraz konstrukcje stanowiska do wykonywania mieszanek. Miały węglowe charakteryzują się niewielką spójnością co umożliwia ich sprawne mieszanie i transport, natomiast muły węglowe są materiałem o dużej spójności, zawilgoceniu trudnym do homogenizacji [1]. Stacje do granulacji mułu węglowego muszą być urządzeniem o działaniu ciągłym, którego konstrukcja musi zapewnić możliwość rozbijania brył mułu. Na rysunku 1 przedstawiono proces granulowania mułów węglowych.

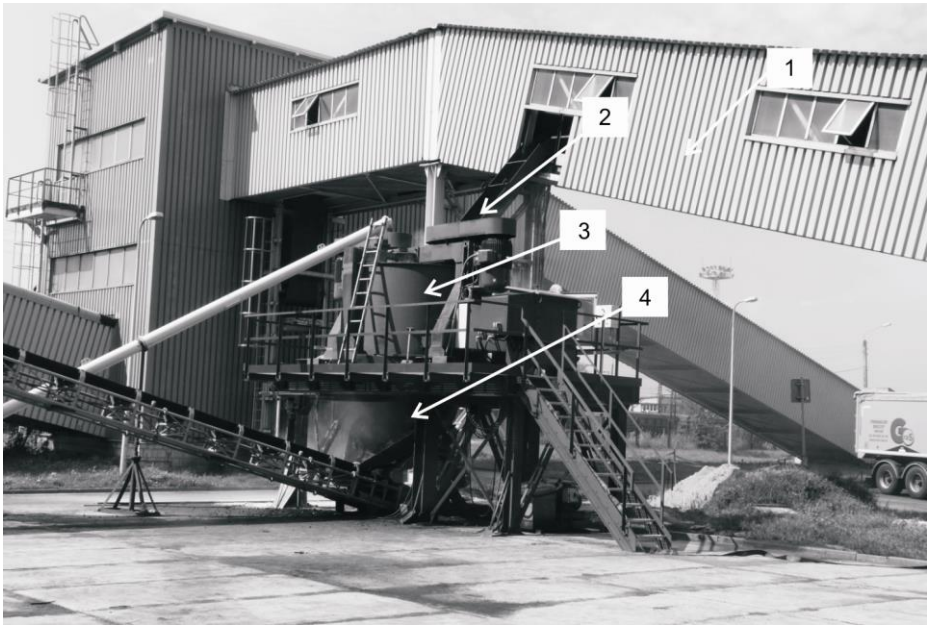
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Schemat procesu granulowania mułów węglowych [źródło: opracowanie własne]



Rys.2. Schemat stacji do granulowania mułów: *1 – taśmociąg doprowadzający muł, 2 – urządzenie kruszące, 3 – bęben obrotowy, 4 – mieszalnik łopatkowy, 5 – klapa zamykająca otwór w bębnie, 6 – taśmociąg odprowadzający produkt, 7 – talerz grudkujący* [źródło: opracowanie własne]



Rys.3. Widok stacji do granulacji mułów węglowych: *1 - taśmociąg doprowadzający muł, 2 - zsuwnia, 3 - mieszalnik (mikser), 4 - granulator talerzowy* [źródło: opracowanie własne]

W celu przeprowadzenia procesu granulacji należy skonstruować i wykonać stacje do granulowania mułów węglowych. Schemat stacji przedstawiono na rysunku 2.

W Katedrze Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Transportowych zaprojektowano stacje, a następnie wykonano w Kompanii Węglowej. Wykonana stacja została zainstalowana w Zakładzie Wzbogacania Miału KWK Piast gdzie poddano ją próbom technicznym (rys. 3).

2. Określenie rzeczywistych obrotów urządzeń w zależności od nastaw układu zasilania

Określenie rzeczywistych obrotów bębna

Bęben miksera napędzany jest silnikiem 2Sg 315 M4-12 o parametrach:

- obroty znamionowe 1487 obr/min,
- moc 132 kW,
- napięcie zasilania 500 V.

Poprzez sprzęgło napęd przekazywany jest na reduktor SBH-V-225-2-S-6,3-1/A o następujących parametrach:

- przełożenie nominalne – $u_R = 6,3$,
- moc przenoszona P = 320 kW (dla $n_S = 1500$ obr/min),
- moc cieplna $P_t = 90$ kW - bez chłodzenia, dopuszczalne obciążenie promieniowe (z przesunięciem o 20 mm na wale wyjściowym $F_r = 24$ kN),
- smarowanie - wymuszone,
- masa przekładni – ok. 650 kg.

Rzeczywiste przełożenie reduktora wynosi: U = 6,211.

Napęd z reduktora poprzez przekładnie zębatą przekazywany jest na bęben miksera. Przełożenie przekładni wynosi 168/30 czyli 5,6.

Obroty znamionowe takiego układu napędowego powinny wynosić:

$$obr_{znam} = 1487/(6,211*5,6) = 42,8 \text{ [obr/min]}.$$

Wykonano pomiary rzeczywistych obrotów miksera (rys. 4) w zależności od nastawionej częstotliwości zasilania.

Pomiar polegał na zmierzeniu czasu 10 obrotów bębna dla różnych nastaw układu zasilania. W celu łatwiejszego określenia pozycji bębna na podstawie bębna naklejono znacznik. Pomiaru dokonywano dwukrotnie stoperem po ustabilizowaniu się obrotów.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rys.4. Pomiar prędkości obrotowej bębna miksera [źródło: opracowanie własne]

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Obroty bębna (źródło: opracowanie własne)

Tabela 2

% częstotliwości znamionowej	Czas 10 obrotów	Prędkość obrotowa	Zakładana prędkość obrotowa
%	[s]	[obr/min]	[obr/min]
33	41	14,6	14,1
50	28	21,4	21,4
70	19,8	30,3	29,9
100	14	42,9	42,8

W tabeli 2 pokazano również teoretyczne wartości prędkości obrotowych wynikających z wyliczeń układu napędowego. Różnice pomiędzy tymi prędkościami są niewielkie i nie przekraczają 3 %.

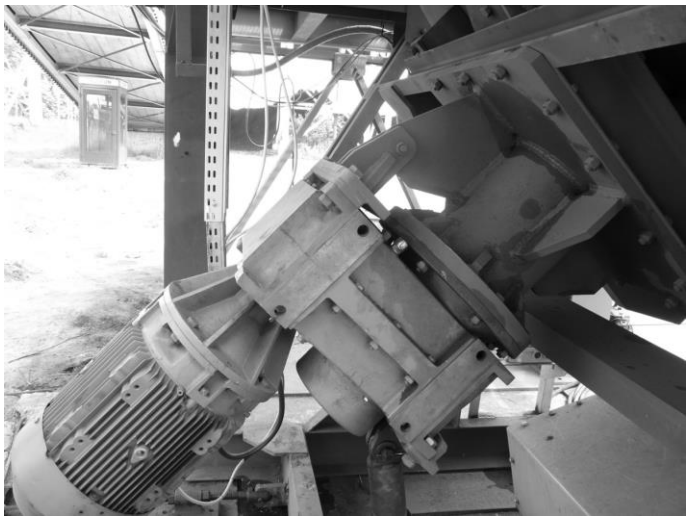
Określenie rzeczywistych obrotów granulatora talerzowego

Talerz granulatora (rys. 5) napędzany jest poprzez motoreduktor firmy BEFARED o symbolu MH-V-160-3-FH-35,5-2-180L-4 o parametrach podanych przez producenta:

- obroty znamionowe silnika 1465 obr/min,
- moc 22 kW,
- napięcie zasilania 500 V,
- przełożenie nominalne – $u_R = 35,5$,
- moc przenoszona P = 28 kW (dla $n_S = 1500$ obr/min),
- moment obrotowy 4980 Nm,
- moc cieplna $P_t = 30$ kW,
- masa motoreduktora –ok. 425 kg.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rzeczywiste przełożenie reduktora wynosi: U = 34,881.



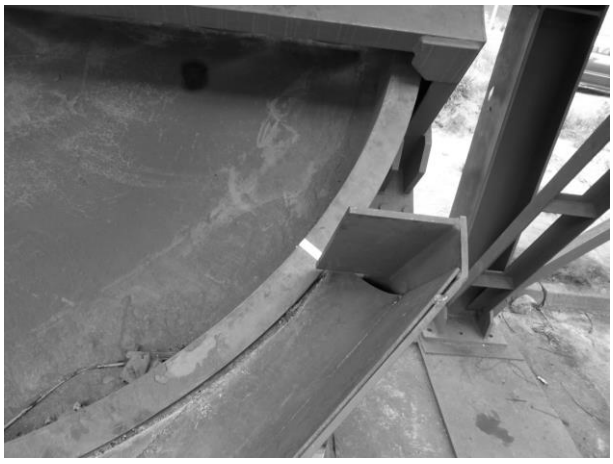
Rys.5. Napęd granulatora talerzowego [źródło: opracowanie własne]

Obroty znamionowe takiego układu napędowego powinny wynosić:

$$obr_{znam} = 1465/(34,881) = 42 \text{ obr/min}$$

Wykonano pomiary rzeczywistych obrotów granulatora talerzowego (rys. 6) w zależności od nastawionej częstotliwości zasilania.

Pomiar polegał na zmierzeniu czasu 10 obrotów talerza dla różnych nastaw układu zasilania. W celu łatwiejszego określenia pozycji talerza naklejono znacznik. Pomiaru dokonywano dwukrotnie stoperem po ustabilizowaniu się obrotów.



Rys.6. Pomiar prędkości obrotowej granulatora talerzowego
[źródło: opracowanie własne]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3.

Obroty granulatora talerzowego (źródło: opracowanie własne)

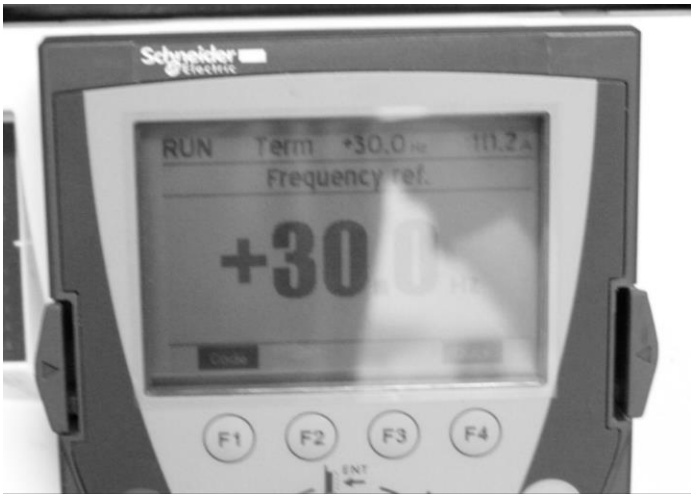
Tabela 3

% częstotliwości znamionowej	Czas 10 obrotów	Prędkość obrotowa	Zakładana prędkość obrotowa
%	[s]	[obr/min]	[obr/min]
50	27,5	21,8	21,0
60	23,5	25,5	25,2
70	20,2	29,7	29,4
80	17,5	34,3	33,6
90	15,7	38,2	37,8
100	14,1	42,6	42,0

W tabeli 3 pokazano również teoretyczne wartości prędkości obrotowych wynikających z wyliczeń układu napędowego. Różnice pomiędzy tymi prędkościami są niewielkie i nie przekraczają 4 % .

3. Wyznaczenie zapotrzebowania mocy napędów głównych

Układ napędowy składa się z trzech silników głównych. Są to silniki o mocy 132 kW do napędu bębna miksera i dwa silniki o mocy 75 kW do napędu mieszadeł. Silniki zasilane są napięciem 500 V poprzez przetworniki częstotliwości. Silnik bębna posiada samodzielny układ zasilania, natomiast mieszadła są podłączone do wspólnego przetwornika częstotliwości. Układ taki pozwala na płynną regulację obrotów, jak również na pomiar prądów w układzie (rys. 7).



Rys.7. Pomiar prądu [źródło: opracowanie własne]

Badania poboru mocy podzielono na dwa etapy:

- pomiar prądu dla różnych częstotliwości zasilania na biegu jałowym (bez nadawy),
- pomiar prądu z napełnionym bębnem miksera 1 Mg i 2 Mg mułu węglowego.

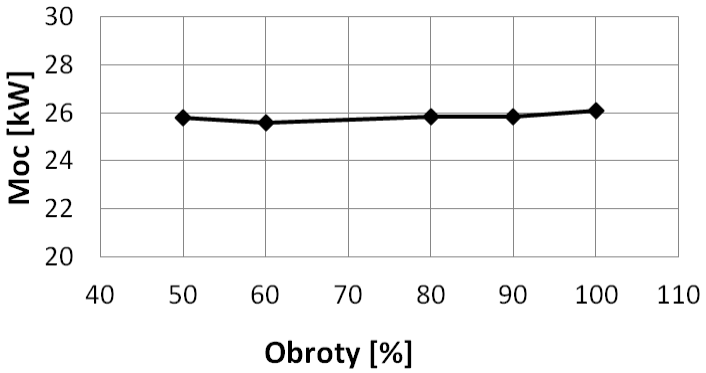
W trakcie badań przyjęto oznaczanie procentowe odniesienia prędkości obrotowej w stosunku do prędkości znamionowej, czyli 60% w tabelach oznacza częstotliwość zasilania wynoszącą 60% * 50 Hz = 30 Hz.

Praca jałowa bez nadawy

Pierwszy etap polegał na pomiarze prądu w trakcie pracy bez nadawy – bieg jałowy.

Bęben miksera

Bęben miksera posiada możliwość regulacji obrotów w zakresie od 0 do 120% obrotów znamionowych. Zakres ten jest dozwolony w przypadku zastosowania obcego układu chłodzenia silnika. Silniki zastosowane w prototypie nie posiadają dodatkowych wentylatorów, stąd też ograniczono zakres badań od 50 do 100% obrotów znamionowych. Wyniki badań pokazano na wykresie 8. Wartość prądu wzrasta i zależy od obrotów bębna. Wzrost ten jest jednak niewielki i wynosi 0,6 A, co stanowi 1%.



Rys.8. Moc pobierana przez napęd bębna miksera [źródło: opracowanie własne]

Wynika z tego, że bęben w stanie jałowym pracuje stabilnie i podniesienie obrotów nie zwiększa oporów ruchu.

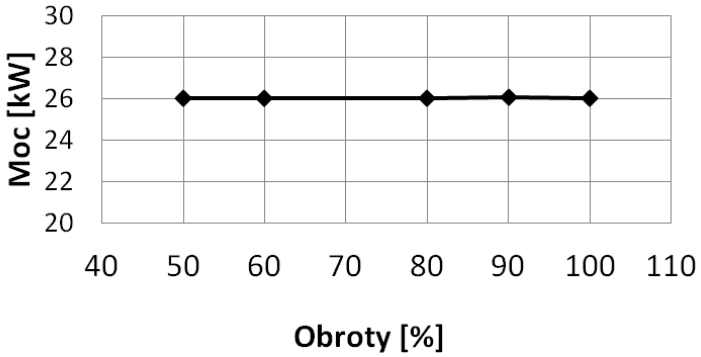
Mieszadła

Napędy mieszadeł miksera są zasilane z falownika i posiadają możliwość regulacji obrotów w zakresie od 0 do 120% obrotów znamionowych. Zakres ten

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

jest dozwolony w przypadku zastosowania obcego układu chłodzenia silnika podobnie jak w przypadku napędu bębna. Silniki zastosowane w prototypie nie posiadają dodatkowych wentylatorów, stąd też ograniczono zakres badań od 50 do 100% obrotów znamionowych. Dwa silniki są podłączone do jednego falownika, stąd prąd mierzony stanowi sumę prądów dwóch napędów.

Wyniki badań pokazano na wykresie 9. Moc jest podana dla pojedynczego silnika przy założeniu symetrycznego obciążenia mieszadeł. Moc pobierana przez mieszadła jest stała nie zależy od obrotów mieszadeł i wynosi 26 kW.



Rys.9. Moc pobierana przez mieszadła [źródło: opracowanie własne]

Praca pod obciążeniem nadawą

W drugim etapie badań mierzono prądy i na ich podstawie określano moc dla obciążonego miksera. Mikser napełniony był 1 Mg i 2 Mg mułu węglowego.

Bęben miksera

Badania przeprowadzone były dla dwóch częstotliwości zasilania stanowiących 60 i 80% obrotów znamionowych. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Pomiary prądu napędu bębna miksera (źródło: opracowanie własne)

Tabela 4

% częstotliwości znamionowej	Obciążenie [Mg]	Prąd [A]	Moc [kW]
60	1	62	31,0
80	1	64	32,0
80	2	105	52,5

Wzrost prędkości obrotowej w niewielkim stopniu powoduje podniesienie poboru mocy, natomiast zmiana wypełnienia powoduje 60 % wzrost w stosunku do wypełnienia 1 Mg materiału i 100 % wzrost w stosunku do biegu jałowego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Największą wartość prądu zmierzono przy obciążeniu 2 Mg materiału i 80% obrotów znamionowych; wynosi ona 105 A czyli 52,5 kW mocy. Moc ta stanowi 40% mocy znamionowej napędu.

Mieszadła

Badania napędów mieszadeł były przeprowadzone równocześnie z badaniami bębna i przy takich samych nastawach, czyli 60 i 80% obrotów znamionowych i wypełnieniu 1 Mg i 2 Mg mułu węglowego. Wyniki pokazano w tabeli 5.

Prąd i moc pobierana w napędzie mieszadeł (źródło: opracowanie własne)

Tabela 5

% częstotliwości znamionowej	Obciążenie [Mg]	Prąd [A]	Moc [kW]
60	1	112	28,0
80	1	112	28,0
80	2	135	33,8

Wzrost prędkości obrotowej podobnie jak w przypadku bębna nie powoduje wzrostu mocy pobieranej przez napędy. Natomiast zwiększenie wypełnienia powoduje 20 % wzrost obciążenia w stosunku do mniejszego wypełnienia i 30 % wzrost w stosunku do biegu jałowego. Maksymalna moc pobierana przez mieszadła stanowi 45 % mocy znamionowej.

4. Badania procesu granulowania

Badania eksploatacyjne przeprowadzono na stanowisku do granulacji mułów węglowych pokazanym na rysunku 3. Stanowisko znajduje się na terenie Zakładu Wzbogacania Miału kopalni Piast.

Materiał podawany był z placu składowego mułu węglowego za pomocą ładowarki kołowej do kosza zasypowego (rys. 10). Z kosza materiał wydostaje się pod zasuwą pozwalającą regulować ilość materiału wydostającego się. Pod koszem znajduje się przenośnik zgrzebłowy napędzany silnikiem zasilanym przez przetwornik częstotliwości. Układ ten umożliwia regulacji wielkości strugi materiału w zakresie od 30 do 110 Mg/h.

Struga materiału z przenośnika zgrzebłowego podawana jest na przenośnik taśmowy nadawy. Na przenośniku taśmowym nad mikserem znajduje się zgarniak umożliwiający skierowanie materiału na zsuwnię (rys. 11) podającą materiał do wnętrza miksera.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rys.10. Przesyp na przenośnik taśmowy [źródło: opracowanie własne]

Rys.11. Zsuwnia [źródło: opracowanie własne]

W dolnej części zsuwni znajduje się układ rozdziału nadawy kierujący materiał bezpośrednio na mieszadła.

Ważnym elementem układu grudkowania mułów węglowych jest układ podawania wapna pokazany na rysunku 12. Układ umożliwia płynną regulację ilości wapna przez użycie dozownika celkowego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rys.12. Układ podawania wapna [źródło: opracowanie własne]

Rys.13. Plac składowy produktu [źródło: opracowanie własne]

Przy wydajności układu 50 Mg/h częstotliwości ustawiane na falowniku powinny wynosić według tabeli 6.

Produkt granulacji odbierany jest za pomocą przenośnika taśmowego i składowany jest na placu produktu (rys. 13).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

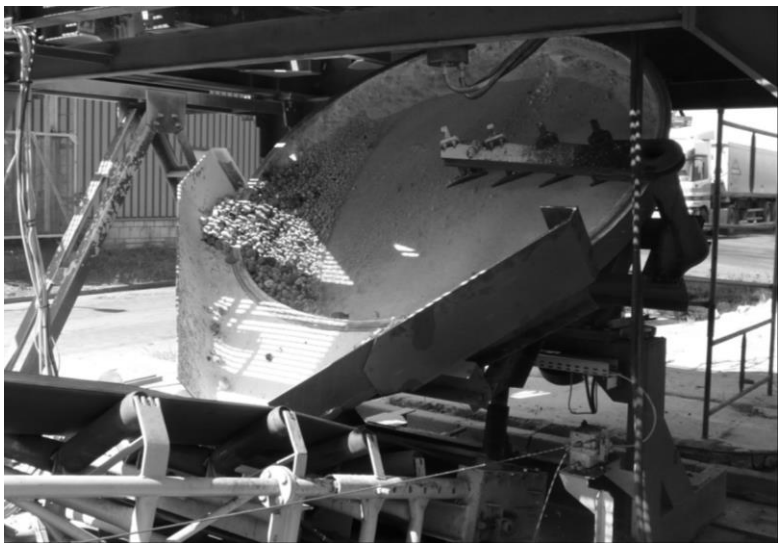
Nastawy układu podawania wapna (źródło: opracowanie własne)

Tabela 6

Wymagana ilość wapna		Obroty podajnika	
%	kg/min	obr/min	% znam
1	8,33	3,09	24%
2	16,67	6,18	48%
3	25,00	9,27	71%
4	33,33	12,36	95%

5. Badania stanowiskowe

Badania eksploatacyjne przeprowadzono w kilku etapach. Pierwszy etap badań eksploatacyjnych przeprowadzonych w Kopalni Węgla Kamiennego Piast polegał na doborze odpowiedniej ilości wapna dla ustalonej ilości podawanego mułu węglowego. Problemem okazało się ustawienie odpowiedniej równomiernej strugi materiału. Dla zbyt małej ilości materiału granulowanego duża ilość wapna powodowała, że granulat miał barwę białą i powodował duże zapylenie (rys. 14).



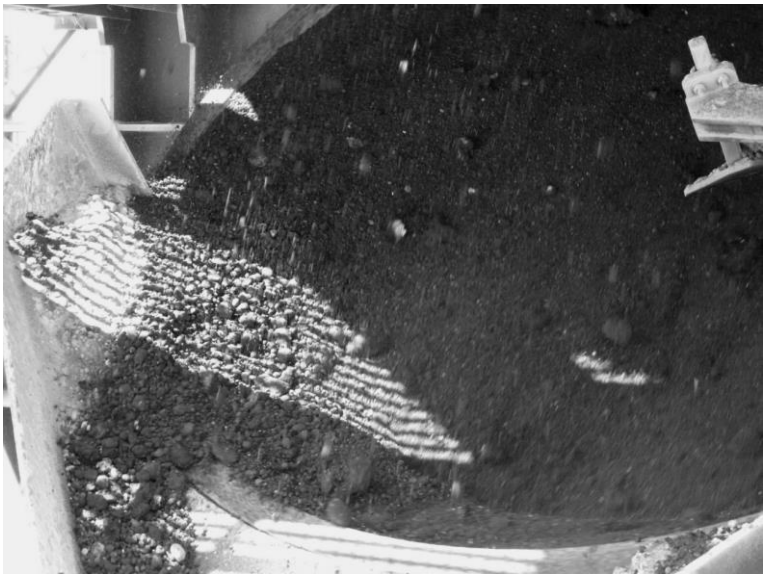
Rys.14. Granulator talerzowy z materiałem ze zbyt dużą ilością wapna [źródło: opracowanie własne]

W pierwszej kolejności przebadano pracę układu bez dodatku wapna (rys. 15), który polegał na ustaleniu odpowiednich obrotów urządzeń:

- granulatora talerzowego,
- bębna miksera,
- mieszadeł.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Obroty talerza granulującego ustawiano tak, aby materiał opadał z najwyższego punktu lecz nie następowało przerzucanie materiału na zgarniaki. W wyniku eksperymentu ustalono, że najkorzystniejsze warunki granulowania występują przy ustalonych obrotach na poziomie 35% obrotów znamionowych (15 obr/min). Dla takich parametrów granulat był dobrze rozdrobniony i równomiernie przesuwał się po talerzu, wypełniając jego całą powierzchnię.



Rys.15. Ruch materiału na granulatorze talerzowym [źródło: opracowanie własne]

Rys.16. Struga materiału bez dodatku wapna [źródło: opracowanie własne]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

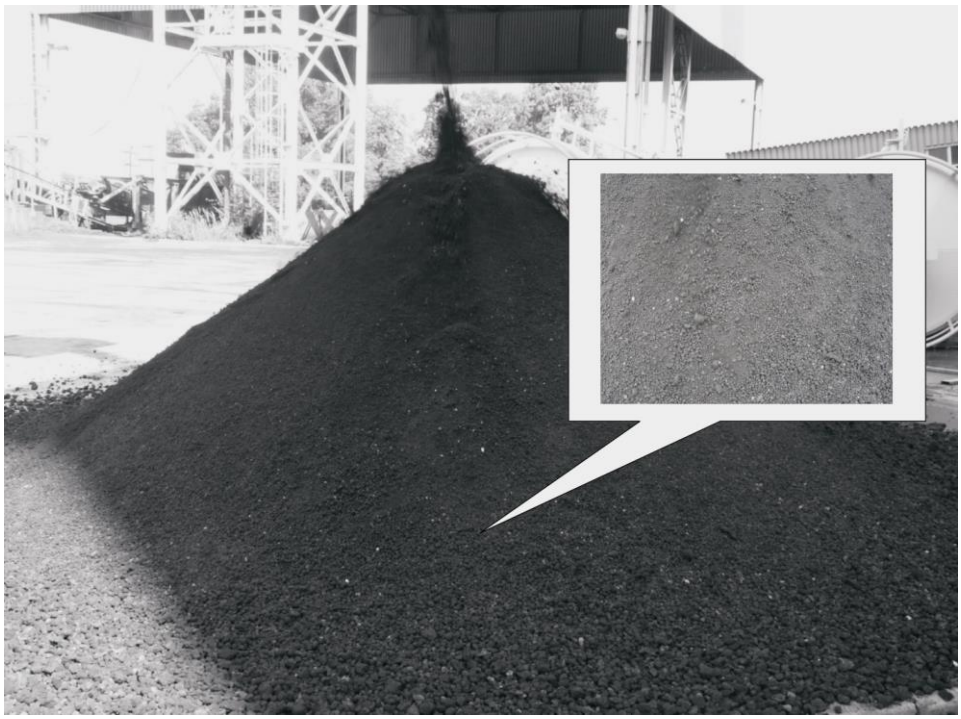
Obroty bębna ustalono na poziomie 40% obrotów znamionowych. Obroty mieszadeł są zależne od materiału i ustawione zostały na poziomie 80% obrotów znamionowych przy pierwszych próbach i obrotach znamionowych w trakcie następnych badań.

Regulowano również wielkość szczeliny pomiędzy bębnem i klapą zamykającą, regulując w ten sposób ilość materiału wydostającego się z miksera. W przypadku zbyt małej szczeliny następowało zwiększanie ilości materiału w mikserze, czego skutkiem było zatrzymanie układu z koniecznością jego oczyszczenia.

Produkt granulacji pokazany na poniższych rysunkach spełniał wymagania stawiane przez kopalnie. Wydajność określona na podstawie ilości podawanego mułu wahała się pomiędzy 30 a 70 Mg/h.

Pobrano próbki produktu i poddano je dalszej analizie.

Następnie przebadano pracę granulatora z włączonym układem podawania wapna. Układ zasilany był strugą nadawy o wydajności 50 Mg/h i 1% wapna. Powstały granulat pokazano na rysunku 17. Podobnie jak w pierwszym przypadku, produkt poddano dalszej analizie.



Rys.17. Usypana pryzma materiału [źródło: opracowanie własne]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Pryzma zgranulowanego materiału została pozostawiona na placu na okres 1 miesiąca. Po tym czasie nie straciła swoich własności, materiał był nadal sypki.

Następnym etapem były próby zwiększenia wydajności układu kosztem mniejszego rozdrobnienia produktu. Uzyskano to poprzez większe otwarcie klapy miksera. W trakcie tych badań uzyskano wydajność dochodzącą do 90 Mg/h.

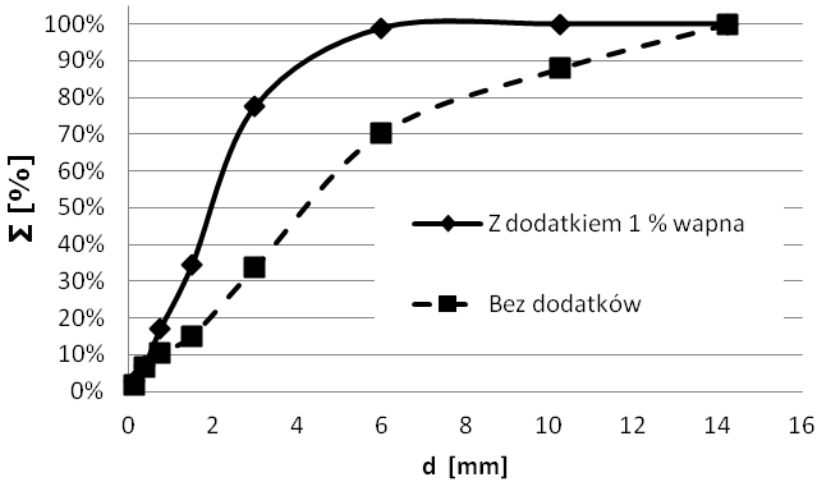
Granulaty otrzymane w trakcie badań poddano następnie dalszym badaniom laboratoryjnym.

6. Badania składów ziarnowych otrzymanego granulatu

Badania składów ziarnowych przeprowadzono na dwóch próbkach materiału :

- próbka bez dodatku wapna,
- próbka z 1% wapna.

Wyniki analizy pokazano na rysunku 18.



Rys.18. Krzywe składu ziarnowego [źródło: opracowanie własne]

Określono również średnią wielkość ziarn. Wyniosła ona dla produktu bez wapna 8,2 mm, a w przypadku 1 % wapna 4,3 mm.

Produkt granulacji poddano analizie w kopalni, określając podstawowe parametry, które pokazano w tabeli 7. Dla porównania pokazano te same parametry nadawy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Porównanie podstawowych parametrów nadawy i produktu (źródło: opracowanie własne)

Tabela 7

Parametr	Nadawa	Produkt granulacji
Wartość opałowa	8327 [kJ/kg]	8327 [kJ/kg]
Zawartość popiołu	41,4 %	44,6 %
Zawartość siarki	0,88 %	0,73 %
Wilgotność WTR	25,5 %	24 %

Jak widać produkt granulacji ma niższą wilgotność.

7. Wnioski i zalecenia eksploatacyjne

Próby techniczne wykazały zgodność z założeniami projektowymi kinematyki urządzeń wchodzących w skład stacji do granulowania mułów węglowych. Napędy pod obciążeniem działały poprawnie.

Badania eksploatacyjne granulowania mułów węglowych przeprowadzone w Kopalni KWK Piast pokazały korzystną zmianę ich formy. Materiał został rozdrobniony przez co stał się bardziej sypki i nie zbryla się nawet pod wpływem niekorzystnych warunków atmosferycznych. Zastosowany układ obniża wilgotność produktu przez co ułatwione jest składowanie i transport materiału.

W trakcie badań określono zalecenia eksploatacyjne:

1. Do prawidłowej pracy układu istotne jest zsynchronizowanie układów podawania wapna i mułu węglowego. Muł węglowy powinien być podawany równomierną strugą ze stałą wydajnością. Nie wolno dopuścić do sytuacji, w której do miksera dostarczane jest tylko wapno.
2. Obroty granulatora talerzowego powinny wynosić ok. 40% obrotów znamionowych.
3. Obroty bębna powinny znajdować się w granicach 30% - 40% obrotów znamionowych.
4. Mieszadła mogą pracować w okolicach swoich obrotów znamionowych.
5. W trakcie pracy układu klapa zamykająca powinna być uchylona i należy kontrolować czy nie następuje podnoszenie poziomu wypełnienia bębna. W przypadku podnoszenia się poziomu mułu należy otworzyć klapę lub zmniejszyć ilość podawanego mułu.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Literatura

1. Feliks J.: Badania laboratoryjne granulowania mułów węglowych. Chemik nr. 5/2012.
2. Feliks J.: Performance tests of waste coal sludge granulation. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 21 no. 5A, 2012.
3. Góralczyk S.: Foresight a problematyka odpadów z górnictwa węgla kamiennego w Polsce. Przegląd górniczy, nr 10 (1043), październik 2009, Tom 69.
4. Urząd Marszałkowski woj. śląskiego, Wydział Ochrony Środowiska, Dane o odpadach, Katowice 2008.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Możliwości zastosowania małogabarytowego urządzenia odpylającego w zakładach przeróbki mechanicznej węgla

Marek Jedziniak - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wstęp

Procesy technologiczne prowadzone w zakładach przeróbki mechanicznej węgla mogą być źródłem emisji zapylenia, stwarzającego zagrożenie zdrowotne oraz wybuchowe [2]. Źródłami emisji pyłu mogą być:

- maszyny – źródła punktowe i powierzchniowe,
- zbiorniki – źródła powierzchniowe,
- ciągi transportowe – źródła liniowe.

W zależności od charakterystyki linii technologicznych mogą być stosowane trzy rodzaje instalacji zwalczających zapylenie:

- lokalne – ograniczone do jednego źródła emisji,
- technologiczne – obejmujące cały ciąg technologiczny lub jego większy fragment,
- strukturalne – obejmujące całe budynki lub pomieszczenia.

Bez względu na rodzaj zastosowanego odpylania technologicznego lub strukturalnego, zawsze występować będą jednak miejsca zwiększonej koncentracji pyłu. Konieczne jest tam wówczas dodatkowe stosowanie lokalnych odpylaczy.

2. Wymagania dla urządzeń stosowanych do lokalnego odpylania

Urządzenia odpylające, które mają być zastosowane do lokalnego odpylania, powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- niewielkie gabaryty,
- możliwość doprowadzenia zapylonego powietrza przez odpowiedni układ ssawny,
- możliwość odprowadzenia oczyszczonego powietrza bezpośrednio do hali lub do układu wylotowego,
- własny zespół napędowy lub zintegrowany wentylator,
- mobilność,
- możliwość ustawienia na konstrukcji wsporczej lub podwieszenia.

Niezwykle istotnym wymaganiem dla tego typu urządzeń są niewielkie gabaryty. Urządzenie to ma bowiem jedynie charakter pomocniczy, nie związany bezpośrednio z prowadzonym procesem przeróbczym, stąd

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

najczęściej w projekcie linii technologicznej czy całego zakładu dla tego typu środków zwalczających zapylenie nie przewiduje się odrębnej przestrzeni do zabudowy. Urządzenia takie muszą zatem zostać zabudowane w odpowiednio przystosowanych miejscach, przy spełnieniu następujących wymagań:

- zapewnienie możliwości sterowania urządzeniem,
- zapewnienie odpowiednich przejść obok, pod lub nad urządzeniem odpylającym,
- możliwość stabilnego zamocowania urządzenia,
- brak kolizji przestrzennych urządzenia odpylającego z innymi urządzeniami i maszynami technologicznymi,
- możliwość doprowadzenia układu ssawnego i układu wylotowego, transportujących zapylone i oczyszczone powietrze,
- bezpieczeństwo osób przebywających w rejonie odpylacza (zapobieganie możliwości zassania części ubioru, włosów, zapobieganie narażeniu na kontakt ze strumieniem powietrza lub wody wydobywających się z urządzenia).

Do instalacji tego typu często stosuje się filtry workowe, których użycie w warunkach zagrożeń związanych z wybuchowymi właściwościami pyłu węglowego jest problematyczne, z uwagi na koncentrację suchego pyłu w tych urządzeniach i związane z tym zagrożenie wybuchem. Z kolei urządzenia odpylające przeznaczone do odpylania powietrza z wyrobisk korytarzowych charakteryzują się wydajnościami przepływowymi predestynującymi ich zastosowanie do strukturalnych instalacji odpylających, a nie do lokalnych odciągów zapylenia. Ponadto gabaryty tego typu urządzeń są na tyle duże, że rozwiązania te stanowią istotną przeszkodę przestrzenną.

Dlatego pożądane jest stosowanie urządzeń o jak najmniejszych gabarytach, co najczęściej wiąże się również z niewielką masą instalacji odpylającej, co sprzyja jej stabilnej i prawidłowej instalacji poprzez:

- montaż na odrębnej konstrukcji wsporczej posadowionej na posadzce poziomu technologicznego (stojaki) lub dowiązanej do konstrukcji budynku (wieszaki, podpory itp.),
- podwieszenie na łańcuchach zamocowanych w konstrukcji budynku,
- instalację bezpośrednio na konstrukcji maszyny, z której następuje emisja pyłu.

Prawidłowa praca instalacji odpylającej wymaga również prawidłowego wychwycenia pyłu ze źródła emisji i jego doprowadzenia do odpylacza. Zadanie to spełniają odpowiednio dobrane odciągi i obudowy wraz z układami ssawnymi transportującymi powietrze do odpylacza. Powietrze po oczyszczeniu może zostać wyprowadzone bezpośrednio z wylotu odpylacza do przestrzeni budynku zakładu przeróbki (hali przemysłowej), bądź za pomocą przewodów wylotowych do emitora.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Transport powietrza w układzie lokalnej instalacji odpylającej może zapewnić odrębny wentylator lub zespół napędowy samego urządzenia odpylającego. Jego wydajność i spiętrzenie muszą zapewniać:

- prędkość zasysania przekraczającą prędkość porywania cząstek pyłu w miejscu odciągu,
- pokonanie miejscowych oporów przepływu odciągu (okapu) lub obudowy przeciwpyłowej oraz wlotu do układu ssawnego,
- pokonanie liniowych oporów przepływu na długości układu ssawnego,
- pokonanie miejscowych oporów przepływu urządzenia odpylającego,
- pokonanie miejscowych i liniowych oporów przepływu układu wylotowego.

Ze względu na zmienne warunki stosowania lokalnych instalacji odpylających preferowanym rozwiązaniem powinny być urządzenia odpylające wyposażone we własne zespoły napędowe, z uwagi na ich przystosowanie do opisanych powyżej warunków pracy. Stosowanie odrębnych wentylatorów może powodować konieczność ich zmiany po przebudowie lub zmianie technologicznej w obrębie źródła emisji pyłu.

3. Małogabarytowe urządzenie odpylające

W ramach realizacji projektu celowego nr ROW-III-233/2012, na podstawie trójstronnej umowy pomiędzy FSNT NOT, firmą Wiromag Sp. z o.o. – producentem urządzenia oraz Instytutem Techniki Górniczej KOMAG, opracowano małogabarytowe urządzenie odpylające UO-400-02 [3].

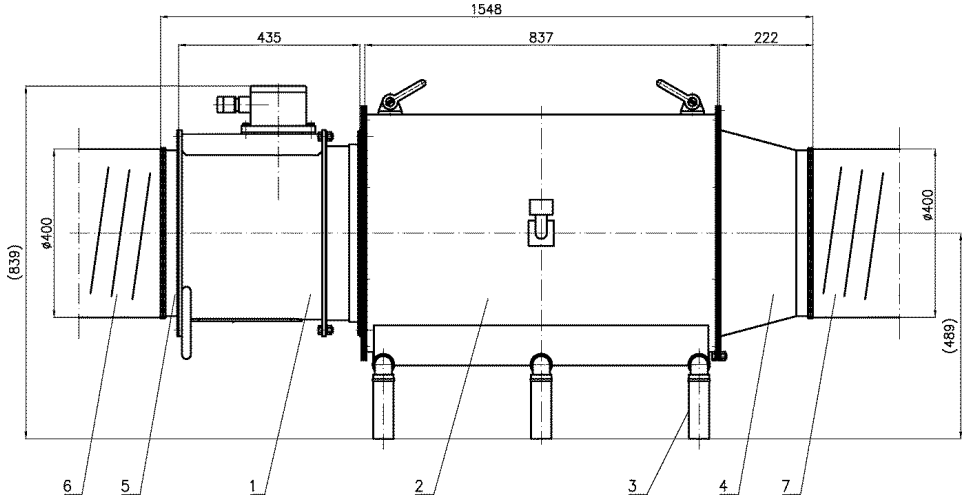
Budowę urządzenia odpylającego UO-400-02 przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie składa się z następujących zasadniczych zespołów:

- dyszy wirowej (wyposażonej w wentylator) (poz. 1),
- odkraplacza (poz. 2),
- węży spływowych (poz. 3),
- konfuzora i króćca (poz. 4 i 5),
- układu lutni elastycznych (poz. 6, 7).

W urządzeniu tym zatrzymywanie pyłu z zapylonego powietrza odbywa się metodą mokrą. Metoda odpylania na mokro polega w tym przypadku na zassaniu zanieczyszczonego powietrza, wprowadzeniu go do urządzenia odpylającego typu UO-400-02, poprzez dyszę wirową z wentylatorem, gdzie pył łączy się z wodą. Dzięki wykorzystaniu energii kinetycznej kropel wody, nadawanej przez walcowy wirnik dyszy, zapewnia ona wysoką skuteczność tego procesu. Jest to rozwiązanie konkurencyjne wobec stosowania natrysku wody za pomocą dysz stałych, gdzie niższa energia kinetyczna kropel wody nie

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

gwarantuje uzyskania wysokiego stopnia odpylania przez niską wartość energii kontaktu kropel wody z cząstkami pyłu, stanowiącą moduł napędowy mechanizmu inercyjnego, powodującego wnikanie cząstek aerozolowych do kolektorów – kropel wody.



Rys.1. Budowa urządzenia odpylającego UO-400-2 (*1 – dysza wirowa, 2 – odkraplacz, 3 – węże spływowe, 4 – konfuzor, 5 – króciec, 6 – lutnia elastyczna ssąca, 7 – lutnia elastyczna tłocząca*) [3]

Na skutek działania siły odśrodkowej pochodzącej od wiru powietrza wywoływanego przez wirnik dyszy wirowej, w odkraplaczu urządzenia odpylającego, następuje oddzielenie mieszaniny wodno – pyłowej od powietrza. Oczyszczone powietrze jest wyprowadzane do otoczenia lub poprzez układ wylotowy do emitora.

Zastosowane rozwiązanie odkraplacza charakteryzuje się wysoką skutecznością separacji kropel wody ze strumienia powietrza, dzięki czemu powietrze wypływające z odpylacza jest pozbawione wody i może być wyprowadzone bezpośrednio do przestrzeni hali zakładu przeróbki mechanicznej węgla. Jeśli jednak jest taka konieczność, powietrze może być odprowadzane, poprzez odpowiedni układ wylotowy, do emitora lub kolektora wylotowego.

Dysza wirowa wyposażona w wentylator przetłacza powietrze silnie zanieczyszczone pyłem, które może również zawierać metan. Silnik elektryczny zespołu zabudowany jest w specjalnej, odpowiednio uszczelnionej komorze o odrębnym przewietrzaniu, usytuowanej częściowo w kanale przepływowym członu nadłopatkowego i kadłuba. Obudowa silnika wyposażona jest w odpowiednie kanały doprowadzające powietrze z otoczenia i odprowadzające powietrze, którym chłodzony jest silnik elektryczny. Wlot dyszy wirowej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zabezpieczony jest sitem o wielkości oczek 12,5 mm (stopień ochrony IP2X), zgodnie z wymaganiami odpowiednich norm górniczych [4].

Dysza wirowa (poz. 1) połączona jest z odkraplaczem (poz. 2). Do odkraplacza za pomocą zespołu gniazda, wężem DN19 doprowadzana jest woda. Wewnątrz odkraplacza znajduje się zespół rurek zakończonych dyszą wodną oraz dwa segmenty żeber, pomiędzy którymi zatrzymywane są krople wody. Woda z pyłem wytrąconym w odkraplaczu spływa króćcami znajdującymi się przy dnie odkraplacza i wężami spływowymi (poz. 3).

Po stronie wlotowej urządzenia, do króćca (poz. 5) podłącza się lutnię elastyczną ssącą (poz. 6) za pomocą opaski, stanowiącą układ ssawny, doprowadzający zapylone powietrze do urządzenia. Analogicznie po stronie wylotowej, do konfuzora (poz. 4) montuje się podobny układ (poz. 7), odprowadzający oczyszczone powietrze z urządzenia.

Użytkownik może we własnym zakresie wyposażyć urządzenie w zamknięty układ wodny, składający się ze zbiornika, pompy tłoczącej i przewodu tłocznego. Jedna pompa wodna ze zbiornikiem może zasilać kilka urządzeń UO-400-02. W tabeli 1 przedstawiono parametry techniczne urządzenia.

Parametry techniczne urządzenia odpylającego UO-400-2 [3]

Tabela 1

Parametr	**Wymiar**	**Wartość**
Wydajności nominalna	m^3/min	80
Zakres wydajności	m^3/min	40-120
Nominalne zużycie wody przy pracy bez zbiornika	dm^3/min	30
Zużycie wody przy pracy ze zbiornikiem i pompą (z zamkniętym obiegiem wodnym)	dm^3/min	1-3
Długość całkowita	mm	1548
Średnica wlotowa i wylotowa przyłączeniowa	mm	400
Maksymalna długość przyłączonego przewodu ssącego lub tłoczącego	m	15
Masa całkowita	kg	ok. 246
Skuteczność odpylania (całkowita / respirabilna):	%	99/97

Po stronie wlotowej i wylotowej urządzenie współpracować może zarówno z lutniami metalowymi, jak i z lutniami elastycznymi. Zastosowanie lutni elastycznych jest szczególnie pożądane w przypadku układów ssawnych, do podłączenia z odciągami lub obudowami zlokalizowanymi w rejonie ruchomych, bądź drgających części maszyn.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Parametry użytkowe urządzenia zostały potwierdzone w badaniach przeprowadzonych w ramach realizacji projektu celowego. Badania te zostały przeprowadzone na stanowisku do badań urządzeń odpylających w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG [1], zgodnie z normą [5].

Na rysunku 2 przedstawiono prototyp urządzenia odpylającego na stanowisku badawczym.

Rys.2. Prototyp urządzenia odpylającego UO-400-2 na stanowisku badawczym [3]

Do najważniejszych przeprowadzonych badań należy zaliczyć:

2. badania wydajności powietrza przepływającego przez urządzenie,
3. badania natężenia przepływu wody zraszającej wirnik dyszy wirowej,
4. badania skuteczności odpylania.

Badania wydajności powietrza przepływającego przez urządzenie prowadzone były w układzie z zamocowanym wlotem pomiarowym ISO po stronie napływu powietrza i układem pomiarowym do badań skuteczności odpylania na wylocie z urządzenia. Elementy te powodowały opory przepływu i symulowały opory powodowane przez układy ssawne i wylotowe. W trakcie badań ustalono nominalną wydajność powietrza na poziomie 80 m^3/min, przy czym w różnych konfiguracjach urządzenie pracowało z wydajnościami w zakresie od 40 do 120 m^3/min.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badania natężenia przepływu wody zraszającej dysze wirową miały na celu ustalenie maksymalnego strumienia wody, przy którym nie występuje zjawisko wyrzutu mgły wodnej z urządzenia. Ustalono, że maksymalny strumień wody, który jest całkowicie zatrzymywany w układzie odkraplającym, odpowiada natężeniu przepływu wody 30 dm^3/min. Zastosowanie większych strumieni wody może poprawić skuteczność odpylania, wiąże się jednak z częściowym wypływem kropel wody z urządzenia, unoszonych ze strumieniem oczyszczonego powietrza. Rozwiązanie takie może być zastosowane w przypadku, gdy pożądane jest zwiększenie wilgotności powietrza w pomieszczeniu, gdzie wypływa powietrze z urządzenia odpylającego bądź zastosowanie zraszania np. w celu ograniczenia wtórnej emisji pyłu.

Najważniejszym etapem badań było określenie skuteczności odpylania. Badania całkowitej skuteczności odpylania i skuteczności wobec frakcji respirabilnej przeprowadzono wg metody II, tj. z zastosowaniem przenośnego pyłomierza grawimetrycznego EMIOTEST. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 2.

Wyniki badań skuteczności odpylania urządzenia odpylającego UO-400-02 [3]

Tabela 2

Natężenie przepływu powietrza	V_p	m^3/min	86,46	86,46
Strumień pyłu podawany z wagi	m_{p0}	kg/h	2,6	2,6
Stężenie początkowe pyłu	c_0	mg/m^3	501,2	501,2
Natężenie przepływu powietrza w sondzie	V_s	m^3/h	7,900	7,850
Masa filtra czystego	m_0	mg	4058,7	3831,1
Masa filtra z pyłem po osuszeniu	m_k	mg	4069,8	3839,6
Masa pyłu wydzielonego na filtrze	m_p	mg	11,1	8,5
Czas pomiaru	t	min	15	15
Strumień pyłu w sondzie	m_{ps}	mg/min	0,7400	0,5667
Stężenie pyłu końcowe	c_k	mg/m^3	5,6203	4,3312
Skuteczność odpylania	η	%	98,88	99,14
Średnia z dwóch pomiarów	η	%	99,01	
Skuteczność wobec frakcji respirabilnej	η_r	%	96,19	

Zastosowanie mokrej metody odpylania ma jednocześnie tę zaletę, że część wody po rozpyleniu przez dyszę wirową ulega odparowaniu, co obniża temperaturę przepływającego powietrza. W trakcie badań stwierdzono spadek temperatury powietrza średnio o 1,5 K.

Realizacja projektu celowego zakończyła się w 2013 roku, a urządzenie jest obecnie wdrażane w kopalniach węgla kamiennego.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Podsumowanie

Przedstawione małogabarytowe urządzenie odpylające zostało zaprojektowane do stosowania w lokalnych instalacjach odciągowo – odpylających. Jest ono przystosowane do pracy z pyłami o własnościach wybuchowych, dzięki czemu może być stosowane do odpylania pyłu węglowego w podziemiach kopalń oraz w zakładach przeróbki mechanicznej węgla.

Istotną zaletą zaprezentowanego urządzenia są jego niewielkie gabaryty (długość ok. 1,5 m, średnica nominalna lutniociągów: 400 mm) oraz niewielka masa całkowita, poniżej 250 kg. Pozwala to na umieszczenie urządzenia w warunkach ograniczonej przestrzeni oraz na jego stosunkowo łatwy transport i zmianę lokalizacji w miarę potrzeb. Urządzenie może być zabudowane wraz z odpowiednim układem ssawnym w oddaleniu od źródła emisji pyłu, a zanieczyszczone powietrze może wypływać bezpośrednio do przestrzeni hali przemysłowej lub być transportowane do emitora.

Przedstawione wyniki badań potwierdzają wysoką skuteczność odpylania, co przekłada się na efektywne zwalczanie zagrożeń pyłowych i istotną poprawę bezpieczeństwa pracy.

Literatura

1. Chmielniak T., Otte J., Frydel W., Roj L.: Instalacja badawcza urządzeń odpylających. Maszyny Górnicze 1992 nr 37.
2. Jedziniak M., Loster-Mańka A.: Ochrona środowiska pracy przed zapyleniem w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. KOMEKO 2010, Paliwa - Bezpieczeństwo - Środowisko. Innowacyjne Techniki i Technologie, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2010 s. 185-194.
3. Jedziniak M.: Małogabarytowe urządzenie odpylające. Masz. Gór. 2013 nr 4 s. 34-38.
4. PN-EN 1710+A1:2010 Urządzenia i podzespoły przeznaczone do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych.
5. PN-G-52002:2009 Urządzenia odpylające w górnictwie podziemnym - Wymagania i badania.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach węglowych

Sebastian Jendrysik, Daniel Kowol, Michał Łagódka, Krzysztof Stankiewicz – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wstęp

Węgiel surowy, w celu jego wzbogacenia, poddawany jest procesom przeróbczym. Wzbogacanie ma na celu wyeliminowanie lub ograniczenie zawartości substancji balastowych (odpadowych) w produkcie użytecznym. Wzbogacanie odbywa się najczęściej w osadzarkach pulsacyjnych. Bardzo duży wpływ na skuteczność mają czynniki hydrodynamiczne, do których należy zaliczyć charakterystykę cyklu pulsacyjnego, ciśnienie powietrza roboczego oraz natężenie dopływu i sposób podawania wody dolnej [3].

2. Charakterystyka ruchu pulsacyjnego

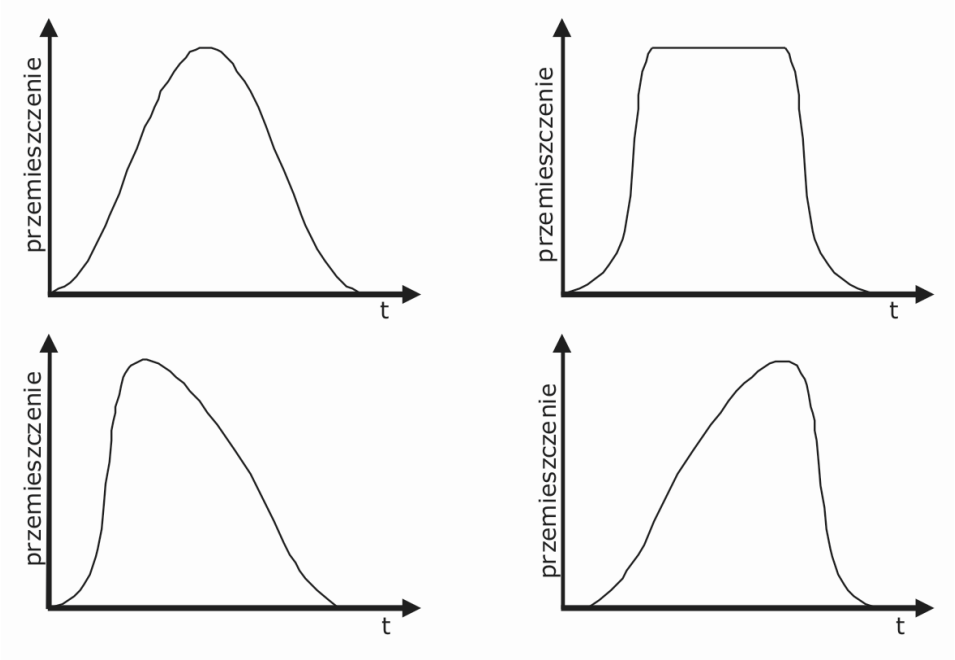
Celem wzbogacania jest rozdzielenie nadaw węglowych na frakcje koncentratu o małej zawartości popiołu i wysokiej wartości opałowej oraz odpadów o możliwie najmniejszej zawartości substancji palnej. Proces wzbogacania jaki odbywa się w osadzarkach pulsacyjnych składa się z dwóch zasadniczych operacji. Pierwszą z nich stanowi rozwarstwianie materiału, pod wpływem pulsacyjnego ruchu wody. Podrzucane w ośrodku wodnym ziarna materiału opadając grupują się według gęstości, tworząc warstwy. Warstwę górną tworzą ziarna urobku o niższej gęstości, z mniejszą zawartością skały płonnej i popiołu. Warstwę dolną natomiast tworzą ziarna o większej gęstości stanowiące odpady. Drugą operacją jest odprowadzanie produktów, poprzez ich wyprowadzanie z dolnej warstwy łoża osadzarki oraz odpływ górnej warstwy do sąsiedniego przedziału lub do układu odbioru wzbogaconego koncentratu.

Dla uzyskania rozdziału materiału surowego na warstwy ziaren o różnych gęstościach materiał poddawany jest ruchowi pulsacyjnemu w wodzie roboczej. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe charakterystyki cyklu pulsacji wody.

Amplituda i częstotliwość ruchu pulsacyjnego wody są podstawowymi parametrami decydującymi o dokładności rozdziału wzbogacanego materiału. Wpływ mają jeszcze inne parametry, z których najważniejsze to:

- obciążenie osadzarki nadawą,
- wysokość łoża (warstwy materiału) w komorze roboczej osadzarki,
- ciśnienie powietrza roboczego,
- gęstość rozdziału,
- ilość wody dostarczanej do osadzarki,
- zakres uziarnienia nadawy.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Charakterystyki cyklu pulsacji wody: *a) sinusoidalny, b) trapezoidalny, c) Bird'a, d) Thomasa* [3]

Obciążenie osadzarki nadawą jest kontrolowane w celu uniknięcia przeciążenia. Wysokość progów w komorze roboczej osadzarki, decydująca o wysokości łoża, powinna zapewniać najkorzystniejsze warunki rozdziału materiału, w odniesieniu do określonego zakresu uziarnienia. Ciśnienie i natężenie dopływu powietrza roboczego musi być optymalizowane pod kątem uzyskania jak największej skuteczności rozwarstwiania materiału. Częstotliwość ruchu pulsacyjnego wody dobierana jest odpowiednio do rozmiaru ziaren nadawy. Dobór gęstości rozdziału dokonywany poprzez regulację obciążenia czujnika pływakowego mierzącego poziom warstwy rozdzielczej i wysokość jej położenia określany jest zarówno względem charakterystyki wzbogacalności nadawy, jak i wymogów produkcji [1]. Duży wpływ na skuteczność rozdziału ma zakres uziarnienia nadawy oraz sposób jej dostarczania do osadzarki.

Z przedstawionych uwarunkowań procesu wzbogacania odbywającego się w osadzarkach wynika, że skuteczność rozdziału materiału jest zależna od charakterystyki ruchu pulsacyjnego wody, która może być niezmienna, gdy parametry nadawy są stałe [1]. Powyższy warunek nie jest spełniony podczas długotrwałej eksploatacji osadzarki. Wynika to z faktu, że do osadzarki trafia często materiał pochodzący z różnych wyrobisk, charakteryzujący się zróżnicowanym składem grawimetrycznym.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3. Automatyczne sterowanie ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach węglowych

Zmiana ustawienia cyklu pulsacyjnego wody, wykonywana automatycznie przez układ sterowania osadzarką jest problematyczna ze względu na trudności z dokładnym pomiarem amplitudy pulsacji. W osadzarkach węglowych z pływakowym pomiarem warstwy rozdzielczej, stosowany jest najczęściej pomiar skoku pływaka. Pomiar taki jest łatwy do zrealizowania i nie wymaga stosowania dodatkowych urządzeń pomiarowych. Jest to jednak pomiar niedokładny ze względu na stały przepływ wody wzdłuż komory roboczej oraz zmienne obciążenie pływaków. Nie odzwierciedla również rzeczywistych zmian poziomu wody podczas pulsacji. Konstrukcja osadzarek powoduje, że jedynym miejscem pozwalającym na dokładniejszy pomiar parametrów ruchu pulsacyjnego wody są komory pulsacyjne [1].

W Instytucie Techniki Górniczej KOMAG przeprowadzono szereg testów mających na celu określenie amplitudy pulsacji za pomocą pomiaru poziomu wody w komorach pulsacyjnych. Próby dotyczyły wykorzystania do pomiaru sond pojemnościowych, jak również różnicy ciśnień powietrza pomiędzy komorą pulsacyjną, a zbiornikiem wyrównawczym.

3.1. Osadzarka laboratoryjna ITG KOMAG

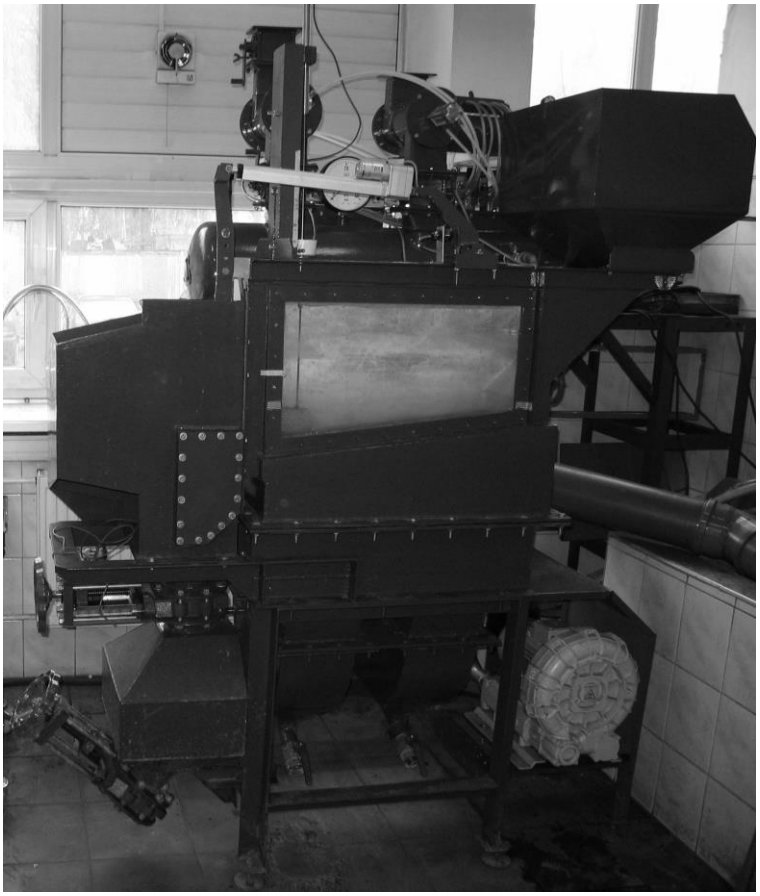
Przeprowadzono szereg doświadczeń i badań pozwalających na weryfikację sposobu regulacji parametrów pracy osadzarki. Do badań wykorzystano osadzarkę laboratoryjną przedstawioną na rysunku 2.

Osadzarka doświadczalna jest modelem zbudowanym z jednego, dwukomorowego, przedziału roboczego. Model osadzarki został tak zaprojektowany i wykonany, aby umożliwiał symulację rzeczywistych warunków pracy osadzarki przemysłowej w zakresie podawania nadawy, pulsacji wzbogacanej mieszaniny materiał/woda oraz odbioru produktów rozdziału. Na wlocie osadzarki zabudowany jest dwudzielny zbiornik nadawczy o pojemności równej dwukrotnej pojemności zbiornika produktu ciężkiego tj. 2 x 0,03 m^3 = 0,06 m^3.

Urządzenie laboratoryjne jest wyposażone w dwie pary zaworów wlotowych i wylotowych, zasilających oddzielnie dwie komory pulsacyjne, usytuowane poniżej poziomu pokładu sitowego. Przed każdą parą zaworów zabudowane są przepustnice powietrza, które służą do regulacji ilości dostarczanego do osadzarki powietrza roboczego. Koryto robocze zakończone jest progiem przelewowym, ponad którym wydzielany jest produkt „lekki” (koncentratowy). Produkt „ciężki” (odpadowy) odprowadzany jest poprzez układ odbioru ww. produktu. Model posiada częściowo zamknięty układ zasilania wodą, który złożony jest z 3 pomp zanurzeniowych, znajdujących się

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

w zbiorniku (rząpiu) i takiej samej ilości rotametrów. Woda procesowa dostarczana jest do komór pulsacyjnych (woda dolna) oraz na wlocie nadawy (woda górna). Woda z sita odciekowego produktu koncentratowego zawracana jest do zbiornika (rząpia).



Rys.2. Stanowisko doświadczalne osadzarki laboratoryjnej [2]

Parametry techniczne osadzarki laboratoryjnej są następujące

- wymiary powierzchni roboczej - 0,7 x 0,25 m,
- powierzchnia robocza - 0,175 m^2,
- łączna wydajność pomp - 6 m^3/h.

Jako źródło powietrza roboczego o niskim ciśnieniu do wywoływania ruchu pulsacyjnego w osadzarce laboratoryjnej zastosowano dmuchawę bocznokanałową MAPRO typ CL12/21, wyposażoną w filtr powietrza.

Podstawowe parametry techniczne dmuchawy są następujące:

- wydajność odniesiona do parametrów na ssaniu - 60 m^3/h,

- nadciśnienie robocze wg DIN 1945 - 300 mbar,
- moc zainstalowanego silnika - 1,5 kW,
- poziom hałasu - 71 dB.

Powietrze o wysokim ciśnieniu wykorzystywane do sterowania ruchem zaworów talerzowych dostarczane jest ze sprężarki tłokowej PROFI 255-10/100.

Podstawowe parametry sprężarki są następujące:

- pojemność zbiornika – 100 l,
- ilość cylindrów - 2,
- ilość stopni sprężania - 1,
- wydajność teoretyczna (na ssaniu) - 254 l/min,
- wydajność efektywna - 130 l/min,
- maksymalna moc silnika - 1,5 KW,
- ciśnienie nominalne - 1 MPa.

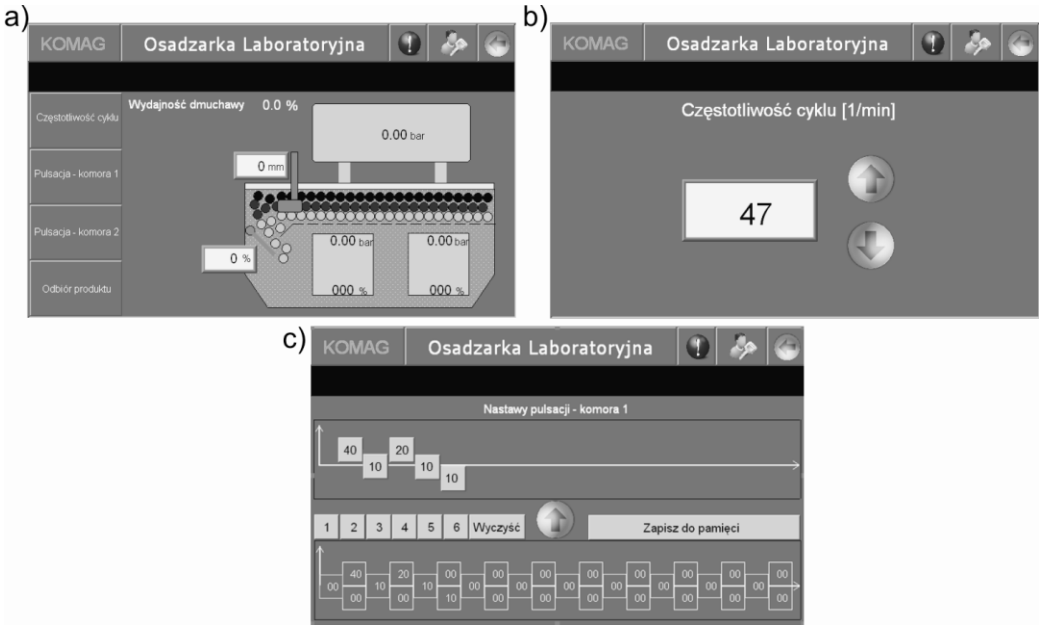
Rys.3. Układ sterowania osadzarki laboratoryjnej [2]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Do automatycznej regulacji ilości powietrza dostarczanego do osadzarki laboratoryjnej wykorzystywana jest dmuchawa sprężonego powietrza zasilania z przemiennika częstotliwości. Osadzarka doświadczalna wyposażona została w dwie komory pulsacyjne. Do dystrybucji powietrza w komorach pulsacyjnych służą dwa zespoły zaworów pulsacyjnych. Na zespół składa się jeden pojedynczy zawór wlotowy i jeden wylotowy. Poprzez zmianę czasu otwarcia zaworu wlotowego i wylotowego możliwa jest regulacja zarówno amplitudy i częstotliwości pulsacji, jak i krzywej pulsacji. Rozmieszczenie czasowe, w pojedynczym cyklu pulsacji faz pracy tych zaworów, ich ilości oraz przerw pomiędzy nimi pozwala, dzięki elektronicznemu sterowaniu napędów pneumatycznych, uzyskiwać znaczną swobodę w kształtowaniu przebiegu wykresu ruchu pulsacyjnego wody.

Układ sterowania osadzarką laboratoryjną zbudowano w oparciu o swobodnie programowalny sterownik PLC. Szafę sterowniczą układu sterowania przedstawiono na rysunku 3. Za pomocą panelu dotykowego operator ma możliwość ukształtowania cyklu pulsacyjnego i zadania częstotliwości jego powtarzania.

Na rysunku 4 pokazano okno do wprowadzania zadanej wartości częstotliwości cyklu pulsacyjnego.



Rys.4. Okna panelu operatorskiego: *a) ekran główny, b),c) ekrany nastaw charakterystyki pulsacji* [4]

Możliwe jest dowolne kształtowanie cyklu pulsacyjnego, który podzielono na 20 przedziałów czasowych, 10 przedziałów do ustawiania przerw i 10

przedziałów do ustawiania faz wlotowych bądź wylotowych. Algorytm umożliwia, poprzez wybór odpowiedniej kombinacji, ustawienie w pojedynczym cyklu pulsacji różnych wariantów rozmieszczenia faz wlotu i wylotu powietrza oraz ich ilości. Cykl pulsacji ustawia się osobno, w odniesieniu do każdej komory pulsacyjnej. Istnieje również możliwość zapisu 6 wybranych cykli do pamięci wewnętrznej sterownika. Wprowadzane wartości przerw, faz wlotowych bądź wylotowych, są procentowym udziałem danej fazy w cyklu.

Generowanie pulsacyjnego przepływu wody w osadzarce następuje przez realizację, w pojedynczym cyklu pracy zaworów talerzowych, co najmniej jednej fazy wlotu sprężonego powietrza do komory pulsacyjnej i jednej fazy wylotu z niej powietrza.

Maksymalna częstotliwość ruchu pulsacyjnego, ze względu na potrzebę dostosowania parametrów pracy zaworów pulsacyjnych do charakterystyki pneumatycznych napędów (siłowniki pneumatyczne) oraz zakresu kształtowania ruchu pulsacyjnego wody, wynosi 200 min^{-1}. Siłowniki pneumatyczne wyposażone zostały w wyłączniki krańcowe, które pozwalają kontrolować skrajne pozycje tłoczyska siłownika. Ma to szczególne znaczenie dla większych częstotliwości pracy i gwarantuje powtarzalność pracy siłownika. Osadzarka umożliwia ustawienie częstotliwości pulsacji o zgodnym lub przesuniętym sygnale rozpoczynania cyklu pulsacji, jak i zróżnicowanej częstotliwości pulsacji.

Zakres doboru nastaw pracy zaworów umożliwia realizację dowolnej krzywej pulsacji wody. Układ sterowania umożliwia stosowanie, w pojedynczym cyklu pulsacji, różnych wariantów rozmieszczenia w nim faz wlotu i wylotu powietrza oraz ich ilości. Oprócz realizacji zwielokrotnionego wlotu powietrza, poprzez zastosowanie dwóch lub więcej faz wlotu, przy pojedynczej fazie wylotowej, sterownik umożliwia zwielokrotnienie fazy wylotowej oraz umieszczanie części z nich pomiędzy fazami wlotowymi. Powyższy zakres doboru charakterystyki pracy zaworów pulsacyjnych wykorzystywany jest między innymi, w procesie stabilizacji ciśnienia w komorach pulsacyjnych, polegającej na ograniczaniu w nich występowania zjawiska nadciśnienia i podciśnienia, powodowanego niezgodnością kierunków przepływu wody i powietrza [1].

3.2. Badania laboratoryjne procesu pulsacji

Badania przeprowadzone w ITG KOMAG z wykorzystaniem osadzarki doświadczalnej miały na celu sprawdzenie funkcjonowania automatycznej regulacji charakterystyki pulsacji wody i jej wpływ na proces rozwarstwienia wzbogacanego materiału. Ocena stopnia rozwarstwienia materiału prowadzona była wizualnie. W trakcie badań sprawdzono również przydatność wykorzystania sond pojemnościowych do pomiaru średniego poziomu lustra

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wody w komorze pulsacyjnej. Podczas realizacji prób w osadzarce doświadczalnej wymuszano dwa typy ruchu pulsacyjnego wody: sekwencyjny i złożony. Podczas ruchu sekwencyjnego pojedyncze cykle pulsacji odbywały się przy stałych nastawach pracy poszczególnych zaworów, a częstotliwość ruchu pulsacyjnego była stała. Charakterystyka ruchu pulsacyjnego wody (sinusoidalna, trapezowa, Thomasa itd.) realizowana była poprzez dobór nastaw faz pracy zaworów, w odniesieniu do pojedynczego cyklu pulsacji. Stosowanie sekwencyjnego typu pulsacji było realizowane poprzez każdorazowe wprowadzanie poszczególnych nastaw pracy zaworów pulsacyjnych lub w drodze wyboru gotowego zestawu nastaw, z archiwizowanego zbioru w pamięci systemu sterowania. W przypadku działania układu automatycznej stabilizacji pulsacji, nastawy początkowe pracy zaworów mogą w określonym zakresie wartości ulegać zmianie, w wyniku np. zwiększenia oporu przepływu wody przez warstwę wzbogacanego materiału. Złożony ruch pulsacyjny wody polegał na naprzemiennym stosowaniu, co najmniej dwóch różnych cykli typu sekwencyjnego, przy zachowaniu kolejności ich realizacji i ilości, przy czym czasy realizacji cykli nie były jednakowe. Odmianą tego typu pulsacji była realizacja określonej ilości cykli pulsacji składających się z różnych cykli sekwencyjnych, bez ich naprzemiennego stosowania. W tym przypadku układ sterowania pozwalał określić ilość pojedynczych cykli pulsacji jaką miała zrealizować osadzarka podczas okresowego wzbogacania materiału. Złożony ruch pulsacyjny umożliwiał badanie skuteczności rozdziału materiału o szerokim zakresie uziarnienia, który utrudnia proces jego wzbogacania.

W trakcie badań prowadzono również pomiary średniego poziomu lustra wody w komorach pulsacyjnych za pomocą sond pojemnościowych, rysunek 5.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Sygnał wyjściowy	4..20mA
Długość elektrod	0,1m..2m
Przyłącze	R 1" stal KO AISI 316 DIN 1.4401
Elektroda pomiarowa	Ø 6mm 1-elektroda w osłonie stal KO
Obudowa	ALU powlekane emalią kreodurową
Temperatura	produktu: -15÷60 [°C] otoczenia: -15÷45 [°C]
	-0,2..0,6 [MPa]

Rys.5. Sonda pojemnościowa do pomiaru poziomu lustra wody w komorze pulsacyjnej [5]

Otrzymane wyniki uśrednionych wartości poziomu wody w komorach pulsacyjnych, porównano ze wskazaniami przetworników ciśnienia, które zainstalowano w komorach pulsacyjnych. Pozwoliło to na wyznaczenie zależności pomiędzy poziomem wody w komorach pulsacyjnych, a wartościami maksymalnego i średniego ciśnienia powietrza w tych komorach, w trakcie cyklu pulsacji [5].

Regulacja czasu otwarcia zaworów wylotowych powietrza w odniesieniu do różnych częstotliwości pulsacji oraz nastaw procentowych fazy wlotu, do drugiej komory pulsacyjnej, przy stałej nastawie wlotu powietrza do pierwszej komory pulsacyjnej, pozwoliła określić pełny zakres regulacji poziomu wody na wysokości komór pulsacyjnych.

Otrzymane wyniki wskazują na możliwość wykorzystania zmian czasu otwarcia zaworu wylotowego powietrza do automatycznej kontroli średniego poziomu wody w komorze pulsacyjnej osadzarki, w oparciu o pomiar dokonywany przy użyciu sondy pojemnościowej, przy stałych czasach otwarcia zaworów wlotowych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

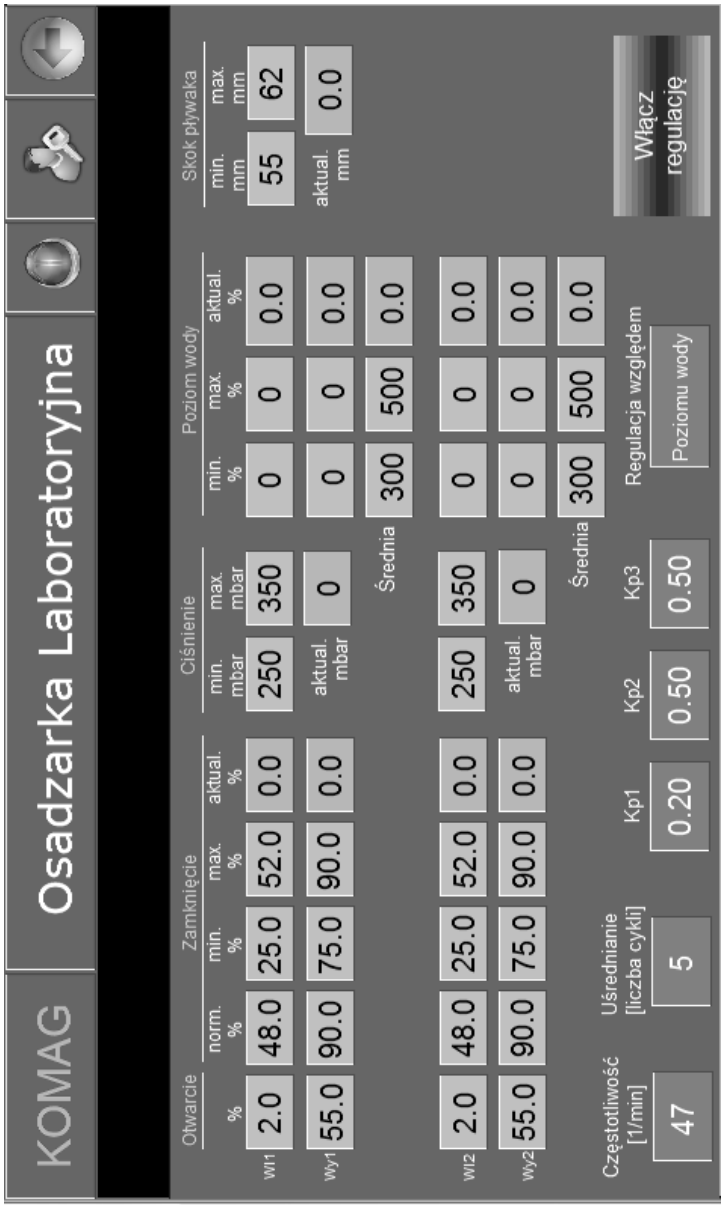
Analiza pomiaru zmian ciśnienia powietrza w komorze pulsacyjnej wykazała możliwość wykorzystania wartości maksymalnych i średnich tego parametru do kontroli poziomu wody. Podwyższanie poziomu wody w komorze pulsacyjnej powodowało jednoczesny wzrost maksymalnego ciśnienia powietrza w fazie jego wlotu oraz zmniejszenie wartości średniego ciśnienia i odwrotnie. Powyższe zależności zostały wykorzystane do budowy algorytmów stabilizujących parametry ruchu pulsacyjnego wody lub alternatywnie z pomiarem poziomu wody przy użyciu sondy pojemnościowej.

4. Podsumowanie

Badania przeprowadzone na modelu doświadczalnym osadzarki pulsacyjnej w ITG KOMAG pozwoliły na opracowanie koncepcji układu automatycznej regulacji parametrów ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce, w funkcji średniego poziomu wody w komorze pulsacyjnej. Opracowany regulator automatycznie stabilizuje wartość średniego poziomu wody oraz skok pulsacji poprzez zmiany czasu trwania faz wlotu i wylotu powietrza do i z komór pulsacyjnych. Na rysunku 6 przedstawiono ekran panelu operatorskiego do nastaw i uruchomienia regulatora.

Badania wykazały również możliwość wykorzystania sond pojemnościowych do pomiaru średniego poziomu wody w komorach pulsacyjnych. Wyznaczanie poziomu wody może być realizowane również w sposób pośredni, za pomocą przetworników ciśnienia umiejscowionych w części powietrznej komory pulsacyjnej oraz w kolektorze zasilającym. Wykorzystując pośredni sposób wyznaczania poziomu wody, układ regulacji stabilizuje średni jej poziom w komorze pulsacyjnej, w oparciu o pomiar maksymalnego ciśnienia powietrza podczas fazy jego wlotu i korekty czasu wylotu powietrza, natomiast, gdy parametrem regulowanym jest skok pulsacji, układ dodatkowo wykorzystuje pomiar minimalnego ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym, podczas fazy do wprowadzania korekty czasu jej trwania.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.6. Ekran panelu operatorskiego do stabilizacji rozluzowania materiału [1]

Literatura

1. Jendrysik S. i in.: Osadzarka Laboratoryjna. Instrukcja użytkowania. Prace statutowe ITG KOMAG Gliwice 2013 (materiały nie publikowane).
2. Kowol D.: Wpływ zmian parametrów nadawy na efekty działania pływakowego układu sterowania odbiorem produktów osadzarki. Praca doktorska. Politechnika Śląska 2010.
3. Łagódka M. i in.: Opracowanie metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach do wzbogacania nadaw węglowych. Prace statutowe ITG KOMAG Gliwice 2013 (materiały nie publikowane).
4. Łagódka M. i inni: Opracowanie systemu pomiarowo-regulacyjnego dla automatycznej, mikroprocesorowej regulacji parametrów ruchu pulsacyjnego wody i odprowadzania produktu ciężkiego w osadzarce doświadczalnej. Prace statutowe ITG KOMAG Gliwice 2012-2013 (materiały nie publikowane).
5. Matusiak P. i in.: Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zamiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki. Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych: bezpieczeństwo, jakość, efektywność. KOMEKO 2014. Red. nauk.: Klich A. Kozieł A., ITG KOMAG, Gliwice 2014
6. Strona internetowa firmy Elektromontex: www.elektromontex.com.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki

Piotr Matusiak, Michał Łagódka, Daniel Kowol - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wstęp

W osadzarkach do wzbogacania surowców mineralnych, zwłaszcza węgla, sterowanie przepływem powietrza periodycznie wywołującym pulsację wody w komorze powietrzno – wodnej (pulsacyjnej) i w przestrzeni roboczej wpływa zarówno na charakterystykę ruchu wody, jak i na zmiany ciśnienia powietrza w pneumatycznym układzie zasilania oraz w komorach pulsacyjnych.

Podczas osadzarkowego wzbogacania nadaw dostosowanie parametrów ruchu pulsacyjnego wody do charakterystyki rozdzielanego gęstościowo materiału jest jednym z najbardziej istotnych czynników mających wpływ na skuteczność procesu rozdziału.

Przepływ ruchu pulsacyjnego wody, optymalny ze względu na szybki i dokładny gęstościowy rozdział materiału, niezbędny do uzyskania prawidłowego rozwarstwienia ziaren według gęstości, zależy głównie od składu grawimetrycznego i granulometrycznego nadawy. Powoduje to, że dla różnych zakresów rozmiaru ziaren i różnych zawartości frakcji gęstościowych wymagane jest stosowanie odmiennych charakterystyk krzywych pulsacji wody. Dokładne oddzielenie produktu lekkiego od ciężkiego jest tym trudniejsze do zrealizowania, im mniejsza jest różnica gęstości ziaren podlegających rozdziałowi oraz im większy jest zakres uziarnienia wzbogacanego materiału.

W osadzarkach zasilanych sprężonym powietrzem stosowane są układy regulujące jego przepływ, do i z komór powietrzno – wodnych, w celu wywoływania ruchu pulsacyjnego wody w komorze roboczej, gdzie następuje wzbogacanie materiału.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych urządzeń do regulacji – rozruchu przepływu powietrza roboczego w osadzarce jest zespół pulsacyjnych zaworów talerzowych z napędem pneumatycznym lub hydraulicznym, składający się z co najmniej jednego zaworu wlotowego i wylotowego. Ilość zespołów zaworów pulsacyjnych jest zależna od budowy osadzarki, głównie od ilości komór powietrzno – wodnych.

W większości osadzarek, pojedynczy zespół zaworów pulsacyjnych służy do regulacji przepływu powietrza przez jedną lub dwie komory powietrzno-

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wodne. Parametry pracy zaworów pulsacyjnych, w zakresie częstotliwości i okresu fazy wlotu powietrza z kolektora zasilającego do komory powietrzno – wodnej i fazy wylotu powietrza do atmosfery, są określane wielkością nastaw w elektronicznym systemie sterowania osadzarką.

Działanie układu rozrządu powietrza roboczego, ze względu na mechanizm wywoływania w osadzarce ruchu pulsacyjnego wody powoduje, że parametry przepływu powietrza przez zawory wlotowe i wylotowe w istotny sposób wpływają na zmiany poziomu wody i ciśnienia powietrza w powietrzno-wodnych komorach pulsacyjnych, a tym samym na parametry pulsacji wody w komorze roboczej osadzarki. Ze względu na stosunek objętości, zmiany poziomu wody podczas realizacji cyklu pulsacji na wysokości komór powietrzno – wodnych są około dwukrotnie większe, w porównaniu do skoku pulsacji uzyskiwanego w komorze roboczej osadzarki.

Regulacja skoku pulsacji wody w osadzarce była tematem szeregu opracowań, mających na celu jego stabilizację na zadanej wielkości, w warunkach zmian przepływu wody, powodowanych różnicą obciążenia materiałem powierzchni roboczej lub zmian szybkości działania napędów zaworów pulsacyjnych (postępujące zużycie, temperatura medium zasilającego itp.) [1, 2, 4, 5].

Wyznaczanie skoku pulsacji wody w osadzarkach odbywa się w oparciu o pomiar skoku pływakowego czujnika mierzącego poziom warstwy rozdzielczej w komorze roboczej osadzarki lub o pomiar ciśnienia powietrza w kolektorze zasilającym i komorach pulsacyjnych.

Jednym z istotnych warunków uzyskiwania wysokiej wydajności i skutecznego wzbogacania materiału jest zapewnienie możliwości pełnego, prawidłowego wykorzystania objętości komory pulsacyjnej do generowania ruchu wody poprzez stałe utrzymywanie średniego poziomu wody na połowie jej wysokości.

Podczas badań laboratoryjnych, prowadzonych dla różnych częstotliwości i czasów otwarcia zaworów pulsacyjnych, pomiar średniego poziomu wody w komorach pulsacyjnych doświadczalnej osadzarki był wykonywany za pomocą sond o długości odpowiadającej wysokości ścian bocznych komór.

W rozdziale omówiono wyniki badań wpływu zmian wartości ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym i komorach powietrzno – wodnych, na skutek skoku pulsacji wody dla różnych nastaw regulujących przepływ powietrza przez zawory pulsacyjne i przy stabilizacji średniego poziomu wody w komorach powietrzno – wodnych na połowie ich wysokości [3].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Metodyka badań

Celem badań nad procesem sterowania przepływem powietrza w osadzarkach było określenie zakresu zmian ciśnienia powietrza w pneumatycznym układzie zasilania w komorach powietrzno – wodnych (pulsacyjnych) dla wybranych charakterystyk pracy zaworów pulsacyjnych dających różnicowanie częstotliwości i skoku pulsacji wody w przestrzeni roboczej osadzarki oraz stwierdzenie możliwości wykorzystywania pomiaru ciśnienia powietrza do stabilizacji parametrów ruchu pulsacyjnego wody, gdy średni jej poziom w komorze pulsacyjnej jest wyznaczony i kontrolowany w oparciu o pomiar dokonywany przy użyciu sondy pojemnościowej.

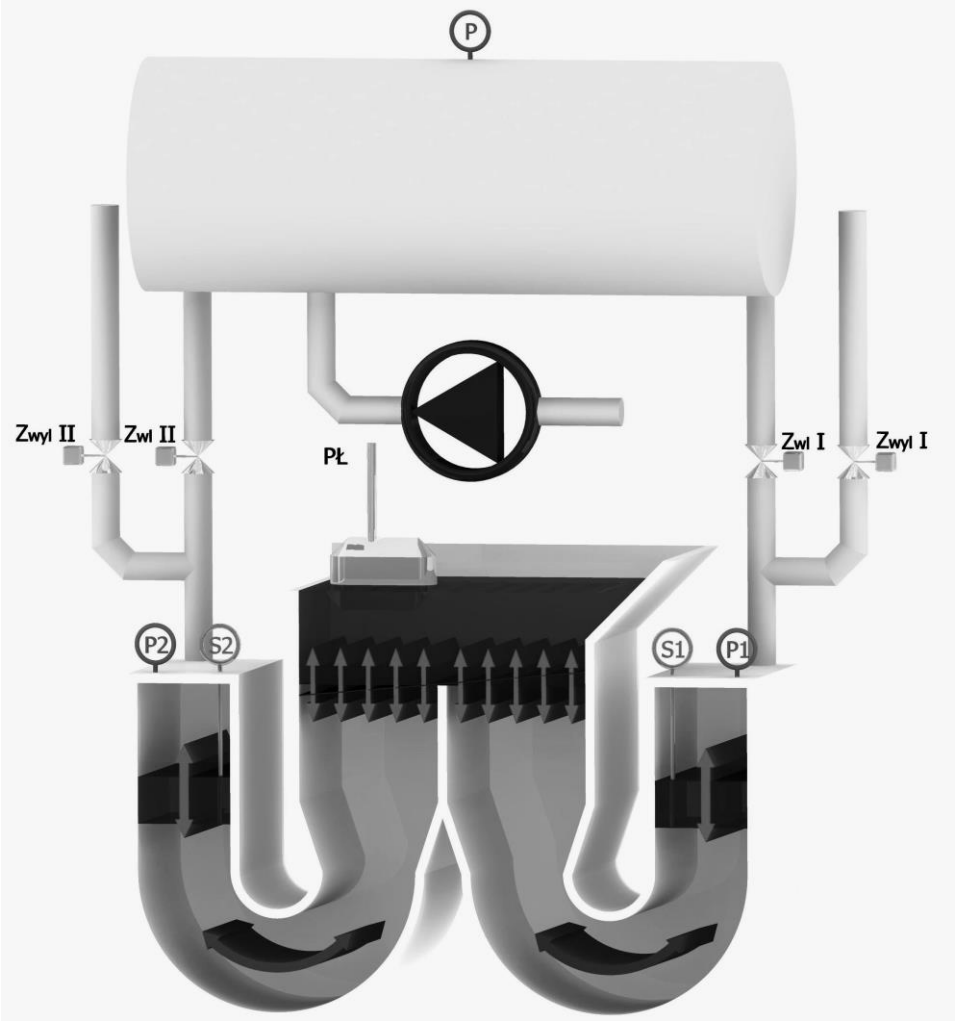
Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia powietrza w komorze pulsacyjnej i w zbiorniku wyrównawczym przeprowadzono z wykorzystaniem jednokomorowej osadzarki doświadczalnej. W posobnie umiejscowionych bocznych komorach powietrzno-wodnych regulowano przepływ powietrza z dmuchawy i zbiornika wyrównawczego do atmosfery poprzez oddzielne zespoły zaworów talerzowych z napędem pneumatycznym wyposażone po jednym zaworze wlotowym i wylotowym. Schemat osadzarki doświadczalnej przedstawiono na rysunku 1.

Sterowanie pracą zaworów pulsacyjnych realizowano poprzez panel operatorski elektronicznego systemu sterowania osadzarką, umożliwiający wizualizację i rejestrację danych pomiarowych przetworników ciśnienia i sond poziomu wody.

Pomiar ciśnienia powietrza dokonywano w zbiorniku wyrównawczym oraz w górnej (powietrznej) przestrzeni komór pulsacyjnych. Pomiar średniego poziomu wody w komorach pulsacyjnych realizowano przy użyciu parametrów sond pojemnościowych zabudowanych w ich wnętrzu, równolegle do ścian bocznych. Skok pulsacji wody określano na podstawie odczytu zmian poziomu wody w wizjerach rurowych zabudowanych na zewnątrz komór pulsacyjnych i połączonych z nimi w dolnej oraz w górnej części. Dane, będące przedmiotem analiz porównawczych, uzyskiwano jako wartości uśrednione wyników pomiarów z dziesięciu kolejnych cykli pulsacji.

Materiałem wypełniającym komorę roboczą osadzarki do wysokości 14 cm, nie podlegającym degradacji wymiarowej, był żwir o uziarnieniu 20 – 10 mm. Kąt nachylenia poliuretanowego sita, o otworach kwadratowych i długości boku 6 cm, w kierunku przelewu, wynosił 5°, a zastosowana wysokość progu przelewowego, wynosząca 25 cm, uniemożliwiała wypływ materiału z komory roboczej.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Schemat osadzarki doświadczalnej; *P – ciśnienie powietrza w zbiorniku wyrównawczym, P1, P2 – ciśnienie powietrza w komorze pulsacyjnej 1, 2, S1, S2 – średni poziom wody w komorze pulsacyjnej 1, 2, PŁ – poziom pływaka w komorze roboczej, Zwl I, II – zawór wlotu powietrza do komory pulsacyjnej 1, 2, Zwyl I, II – zawór wylotu powietrza do komory pulsacyjnej 1, 2*

W rozdziale zaprezentowano wyniki badań dla częstotliwości ruchu pulsacyjnego wody 50 i 70 min^{-1} i okresu otwarcia zaworu wlotowego powietrza roboczego zasilającego I komorę pulsacyjną (przeciwległą do progu przelewowego) odpowiadającego 20% czasu trwania pojedynczego cyklu pulsacji. Sygnał sterujący początkiem zamykania zaworów wylotowych powietrza, w obydwu komorach pulsacyjnych był generowany, w 8 % czasu trwania pojedynczego cyklu pulsacji.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zmiany parametrów ciśnienia powietrza i średniego poziomu wody w komorach pulsacyjnych, przy stałych wartościach nastaw wlotu powietrza, uzyskiwano regulując czas otwarcia zaworów wylotowych powietrza. Dla każdej z dwóch częstotliwości pulsacji wody wykonano oddzielne próby, przy różnych okresach otwarcia zaworu wlotowego powietrza zasilającego II komorę pulsacyjną, odpowiadających 20%, 10% i 5% czasu trwania pojedynczego cyklu pulsacji. Podczas doboru nastawy pracy zaworu wylotowego powietrza, dokonywanego w celu uzyskania średniego poziomu wody w komorach pulsacyjnych, na połowie ich wysokości (około 30 cm), wykorzystywano najmniejsze dostępne wartości regulacyjne pracy zaworów. Przy stosowaniu częstotliwości pulsacji f = 50 min^{-1}, najmniejsza różnica regulacyjna czasu pracy zaworu wynosiła 12,0 ms, a przy f = 70 min^{-1} była równa 8,6 ms.

Pomiar parametrów procesowych dokonywano, gdy średni poziom wody w komorach pulsacyjnych znajdował się w przybliżeniu na połowie ich wysokości (największa różnica wynosiła 6% wysokości komory pulsacyjnej – 1 cm).

3. Wyniki badań laboratoryjnych

Badania doświadczalne poprzedzono testami różnych czasów otwarcia zaworów wylotowych powietrza w celu doboru nastawy zapewniającej utrzymywanie średniego poziomu wody w komorze pulsacyjnej na połowie jej wysokości i w rezultacie uzależnienie parametrów przepływu wody oraz powietrza w osadzarce jedynie od wartości nastaw działania talerzowych zaworów pulsacyjnych eliminujących dzięki temu wpływ zmian średniego poziomu wody w ww. komorach na parametry procesowe.

W każdej z dwóch serii pomiarowych (dla częstotliwości ruchu pulsacyjnego wody f = 50 min^{-1} i 70 min^{-1}) różnicowano czas otwarcia zaworu wlotowego doprowadzającego sprężone powietrze do II komory pulsacyjnej, wywołującej pulsację w części przestrzeni roboczej osadzarki usytuowanej bliżej progu przelewowego, jednocześnie zachowując stały czas otwarcia zaworu wlotowego do I komory pulsacyjnej.

Wyniki badań prowadzanych przy częstotliwości pulsacji f = 50 min^{-1} zamieszczono w tabeli 1.

Uzyskane zróżnicowanie skoku pulsacji wody na długości komory roboczej w komorach pulsacyjnych, wynikało zarówno z różnicy obciążenia powierzchni sitowej osadzarki materiałem (na skutek stosowania pochylonego sita), jak i ilości powietrza doprowadzanego do dwóch usytuowanych posobnie komór pulsacyjnych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wpływ czasu wlotu powietrza do komór pulsacyjnych - Częstotliwość f = 50 min^{-1} [3]

Tabela 1

Częstotliwość pulsacji, min^{-1}			50					
Komora pulsacyjna			I	II	I	II	I	II
Nastawy zaworów, % (ms)	Wlotowy		20 (240)	20 (240)	20 (240)	10 (120)	20 (240)	5 (60)
	Wylotowy		38 (456)	38 (456)	38 (456)	24 (288)	37 (444)	12 (144)
Ciśnienie powietrza, kPa	Zasilanie-zbiornik wyrównawczy	Max	30		34		35	
		Min	5		11		14	
		Średnia	19		23		25	
	Komory pulsacyjne	Max	28	28	31	27	33	28
		Średnia	5	4	5	5	6	6
Poziom wody w komorach pulsacyjnych		Wys., %	51	52	52	53	52	51
		Skok, cm	17	13	20,5	10,5	26,5	6,5
Czas nastaw pulsacji			T pojedynczego cyklu pulsacji = 1200 ms (100%) T jednostki regulacyjnej nastawy = 12 ms (1%)					

Jak wynika z przedstawionych danych zmniejszenie czasu wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej, według wartości procentowych czasu trwania pojedynczego cyklu pulsacji z 20 % do 5 % powodowało zmniejszenie skoku pulsacji wody z 13 do 6,5 cm oraz jednoczesne jego znaczne zwiększenie w I komorze pulsacyjnej, z 17 do 26 cm. Zmianom w wielkości skoku pulsacji wody towarzyszył znaczny wzrost wartości maksymalnego ciśnienia powietrza w komorach pulsacyjnych, z 28 do 33 kPa w I komorze i z 26 do 28 kPa w II komorze oraz mały wzrost średniego ciśnienia powietrza, z 5 do 6 kPa w I komorze oraz z 4 do 6 kPa w II komorze.

Odnotowano również znaczący wzrost ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym, świadczący o zmniejszaniu się natężenia przepływu sprężonego powietrza do układu komór pulsacyjnych, na skutek skracania czasu otwarcia zaworu wlotowego do II komory pulsacyjnej. Wartości maksymalnego, minimalnego oraz średniego ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym wzrastały odpowiednio w przedziałach od 30 do 35 kPa; od 5 do 14 kPa oraz od 19 do 25 kPa. Jednocześnie odnotowano spadek różnicy ciśnienia powietrza pomiędzy wartościami maksymalnymi i minimalnymi, uzyskiwanymi podczas realizacji cyklu pulsacji z 25 do 21 kPa wynikający z większego przerostu wartości minimalnego ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zmiany czasu otwarcia zaworu wlotowego powietrza do II komory pulsacyjnej powodowały konieczność dokonania korekt czasu otwarcia zaworów wylotowych powietrza odprowadzanego z komór pulsacyjnych do atmosfery, w celu utrzymywania średniego poziomu wody na połowie ich wysokości. Dla cyklu pulsacji o częstotliwości f = 50 min^{-1}, w którym czas realizacji pojedynczego cyklu wynosił 1200 ms, zmniejszanie czasu otwarcia zaworu wlotowego powietrza zasilającego II komorę pulsacyjną z 240 ms do 60 ms powodowało konieczność zmniejszania czasu otwarcia zaworu wylotowego powietrza z 456 ms do 144 ms.

Zmiana czasu otwarcia zaworu wlotowego powietrza z II komory pulsacyjnej była proporcjonalna do zmiany czasu otwarcia zaworu wlotowego w stosunku liczbowym 1:2,4, gdy czas wlotu wynosił 60 i 120 ms. Dla dłuższego czasu wlotu powietrza, równego 240 ms, proporcja ta wynosiła 1:1,9, ze względu na konieczność zastosowania krótszego czasu wylotu powietrza z II komory pulsacyjnej i była porównywalna do uzyskiwanej dla czasów otwarcia zaworów pulsacyjnych, regulujących przepływ powietrza przez I komorę pulsacyjną.

Zestawienie wyników badań uzyskanych, dla częstotliwości pulsacji f = 70 min^{-1} pokazano w tabeli 2.

Wpływ czasu wlotu powietrza do komór pulsacyjnych – Częstotliwość f = 70 min^{-1} [3]

Tabela 2

Częstotliwość pulsacji, min^{-1}			70					
Komora pulsacyjna			I	II	I	II	I	II
Nastawy zaworów, % (ms)	Wlotowy		20 (171)	20 (171)	20 (171)	10 (86)	20 (171)	5 (43)
	Wylotowy		27 (231)	27 (231)	28 (240)	16 (137)	28 (240)	8 (69)
Ciśnienie powietrza, kPa	Zasilanie-zbiornik wyrówna-wczy	Max	28		31		32	
		Min	10		16		18	
		Średnia	19		24		25	
	Komory pulsa-cyjne	Max	25	24	28	26	29	26
		Średnia	5	5	6	6	6	6
Poziom wody w komorach pulsacyjnych		Wys., %	56	48	52	50	50	47
		Skok, cm	6	6	6,5	4,5	6,5	3,5
Czas nastaw pulsacji			T pojedynczego cyklu pulsacji = 857 ms (100%) T jednostki regulacyjnej nastawy = 8,6 ms (1%)					

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Z przedstawionych danych w tabeli 2 wynika, że zmniejszenie czasu wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej w przedziale nastaw procentowych od 20% do 5% powodowało zmniejszenie skoku pulsacji wody z 6 cm do 3,5 cm oraz jednocześnie jego nieznaczne zwiększenie w I komorze pulsacyjnej z 6 cm do 6,5 cm. Zmianom wielkości skoku pulsacji wody odpowiadał wzrost wartości maksymalnego ciśnienia powietrza, z 25 do 29 kPa w I komorze pulsacyjnej i z 24 do 26 kPa w II komorze oraz wzrost średniego ciśnienia powietrza z 5 do 6 kPa w obydwu komorach pulsacyjnych.

Analogicznie jak przy stosowaniu częstotliwości pulsacji f = 50 min^{-1}, również dla częstotliwości f = 70 min^{-1} następował wzrost ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym, świadczący o zmniejszaniu się natężenia przepływu sprężonego powietrza do układu komór pulsacyjnych wraz ze skracaniem czasu otwarcia zaworu wlotowego do II komory pulsacyjnej. Wartości maksymalnego, minimalnego oraz średniego ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym wzrastały odpowiednio w przedziałach od 28 do 32 kPa; od 10 do 18 kPa i od 19 do 25 kPa. Jednocześnie następował spadek różnicy ciśnienia powietrza pomiędzy wartościami maksymalnymi i minimalnymi, uzyskiwanymi podczas realizacji cyklu pulsacji z 18 do 14 kPa, na skutek przyrostu wartości minimalnego ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym.

Skracanie czasu otwarcia zaworu wlotowego powietrza do II komory pulsacyjnej powodowało konieczność jednoczesnego skracania czasu otwarcia zaworów wylotowych powietrza odprowadzanego z komór pulsacyjnych do atmosfery, w celu utrzymywania średniego poziomu wody na połowie ich wysokości.

Dla cyklu pulsacji o częstotliwości f = 70 min^{-1}, w którym czas realizacji pojedynczego cyklu wynosił 857 ms, zmniejszanie czasu otwarcia zaworu wlotowego powietrza zasilającego II komorę pulsacyjną z 171 ms do 43 ms, powodowało konieczność zmniejszania czasu otwarcia zaworu wylotowego powietrza z 231 ms do 69 ms. Porównanie czasów otwarcia zaworów wlotowych i wylotowych powietrza potwierdza, że dla czasów otwarcia zaworów wlotowych 86 ms i 43 ms zmiana czasu otwarcia zaworów wylotowych była proporcjonalna w stosunku liczbowym 1:1,16. Przy dłuższym czasie wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej równego 171 ms, proporcja czasu wlotu do wylotu powietrza wynosiła 1:1,35 i była porównywalna do uzyskiwanej dla czasów otwarcia zaworów w I komorze pulsacyjnej.

Wyniki badań przedstawiające wpływ częstotliwości ruchu pulsacyjnego wody, równoważnej z częstotliwością pracy zaworów talerzowych, przy zachowaniu stałych nastaw procentowych, nastaw regulacyjnych na parametry procesowe zamieszczono w tabelach 3 ÷ 5.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wpływ częstotliwości pulsacji na parametry procesowe.
Czasy wlotu $T_I = T_{II} = 20\%$ [3]

Tabela 3

Częstotliwość pulsacji, min^{-1}			50		70	
Komora pulsacyjna			I	II	I	II
Nastawy zaworów, % (ms)	Wlotowy		20 (240)		20 (171)	
	Wylotowy		38 (456)		27 (231)	
Ciśnienie powietrza, kPa	Zasilanie-zbiornik wyrównawczy	Max	30		28	
		Min	5		10	
		Średnia	19		19	
	Komory pulsacyjne	Max	28	28	25	24
		Średnia	5	4	5	5
Poziom wody w komorach pulsacyjnych		Wys., %	51	52	56	48
		Skok, cm	17	13	6	6

Wpływ częstotliwości pulsacji na parametry procesowe.
Czasy wlotu $T_I = 20\%$, $T_{II} = 10\%$ [3]

Tabela 4

Częstotliwość pulsacji, min^{-1}			50		70	
Komora pulsacyjna			I	II	I	II
Nastawy zaworów, %	Wlotowy		20 (240)	10 (120)	20 (171)	10 (86)
	Wylotowy		38 (456)	24 (288)	28 (240)	16 (137)
Ciśnienie powietrza, kPa	Zasilanie-zbiornik wyrównawczy	Max	34		31	
		Min	11		16	
		Średnia	23		24	
	Komory pulsacyjne	Max	31	27	28	26
		Średnia	5	5	6	6
Poziom wody w komorach pulsacyjnych		Wys., %	52	53	52	50
		Skok, cm	20,5	10,5	6,5	4,5

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wpływ częstotliwości pulsacji na parametry procesowe. Czasy wlotu T_I = 20%, T_{II} = 5% [3]

Tabela 5

Częstotliwość pulsacji, min^{-1}			50		70	
Komora pulsacyjna			I	II	I	II
Nastawy zaworów, % (ms)	Wlotowy		20 (240)	5 (60)	20 (171)	5 (43)
	Wylotowy		37 (444)	12 (144)	28 (240)	8 (69)
Ciśnienie powietrza, kPa	Zasilanie-zbiornik wyrównawczy	Max	35		32	
		Min	14		18	
		Średnia	25		25	
	Komory pulsacyjne	Max	33	28	29	26
		Średnia	6	6	6	6
Poziom wody w komorach pulsacyjnych		Wys., %	52	51	50	47
		Skok, cm	26,5	6,5	6,5	3,5

Z zestawionych danych wynika, że zastosowanie większej częstotliwości pracy zaworów talerzowych powodowało zmniejszenie skoku pulsacji wody w komorach pulsacyjnych I/II w zakresie od 17 cm do 6 cm/od 13 cm do 6 cm, gdy fazy wlotu powietrza były równe (tabela 3), od 20,5 cm do 6,5 cm/od 10,5 cm do 4,5 cm, gdy czas wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej był dwukrotnie krótszy niż do I komory (tabela 4) oraz od 26,5 cm do 6,5 cm/ od 6,5 cm do 3,5 cm, gdy czas wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej był czterokrotnie krótszy niż do I komory (tabela 5).

Powyższe rezultaty świadczą o istotnym wpływie częstotliwości pracy zaworów na skok pulsacji wody w komorach pulsacyjnych i w przestrzeni roboczej osadzarki, co powoduje, że podczas doboru charakterystyki ruchu pulsacyjnego wody korzystne jest uwzględnienie współzależności pomiędzy powyższymi parametrami technologicznymi. Z zamieszczonych w tabelach 3 ÷ 5 danych, przedstawiających skok pulsacji wody w I i II komorze pulsacyjnej wynika, że zmniejszenie częstotliwości pulsacji z 70 do 50 min $^{-1}$ powodowało większe zróżnicowanie ruchu pulsacyjnego wody na długości komory roboczej osadzarki. Przy częstotliwości pulsacji f = 70 min^{-1} skok pulsacji wody w I komorze pulsacyjnej maksymalnie był dwukrotnie większy niż w II komorze pulsacyjnej, natomiast przy f = 50 min^{-1} był czterokrotnie większy dla przyjętego w badaniach zakresu czasu otwarcia zaworów pulsacyjnych.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Analiza porównawcza wzrostu ciśnienia maksymalnego powietrza w komorach pulsacyjnych, na skutek zmniejszenia czasu wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej wykazała, że przy częstotliwości pulsacji f = 50 min^{-1} był on większy (od 28 do 33 kPa) niż przy częstotliwości pulsacji f = 70 min^{-1} (od 26 do 28 kPa).

Z porównania zmian ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym, uzyskanych przy dwóch częstotliwościach pulsacji wynika, że stosowanie (przy porównywalnych nastawach pracy zaworów pulsacyjnych) większej częstotliwości pulsacji f = 70 min^{-1} nie powodowało zmian wartości średniego ciśnienia powietrza, w przeciwieństwie do wartości maksymalnego i minimalnego ciśnienia powietrza, których różnica ulegała zmniejszeniu z 25 do 18 kPa przy jednakowych czasach wlotu powietrza do komór pulsacyjnych oraz z 18 do 14 kPa, gdy czas wlotu powietrza do II komory pulsacyjnej był czterokrotnie krótszy niż do I komory pulsacyjnej.

4. Podsumowanie

Przedstawione w rozdziale wyniki badań ruchu pulsacyjnego wody w osadzarkach zasilanych sprężonym powietrzem, którego ciśnienie w zbiorniku wyrównawczym i pulsacyjnych komorach powietrzno-wodnych było zależne jedynie od charakterystyki działania pneumatycznych zaworów talerzowych pozwalają sformułować następujące stwierdzenia:

- parametry ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym i pulsacyjnych komorach powietrzno-wodnych są zależne głównie od czasu otwarcia zaworów wlotowych i wylotowych oraz częstotliwości ich działania równoważnej z częstotliwością ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce. Następuje to przy stabilnym dopływie sprężonego powietrza z dmuchawy, stałych oporach przepływu wody przez sito i materiał w przestrzeni roboczej osadzarki oraz przy stabilizowanym średnim poziomie wody w komorach powietrzno-wodnych,
- skracanie czasu wlotu powietrza w zaworach pulsacyjnych np. dla uzyskania zróżnicowania skoku pulsacji wody na długości komory roboczej osadzarki powoduje, że występuje wzrost ciśnienia powietrza w komorach powietrzno-wodnych oraz zbiorniku wyrównawczym. Jednocześnie następuje zmniejszanie się w zbiorniku wyrównawczym różnicy pomiędzy ciśnieniem maksymalnym i minimalnym (podczas realizacji pojedynczego cyklu pulsacji),
- zwiększanie częstotliwości działania zaworów zmniejszające skok pulsacji wody, przy zachowaniu stałych procentowych nastaw otwarcia zaworów wlotowych, w odniesieniu do pojedynczego cyklu pulsacji, powoduje:

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

  - zmniejszanie maksymalnego ciśnienia powietrza w komorach powietrzno-wodnych i zbiorniku wyrównawczym,
  - wzrost w zbiorniku wyrównawczym wartości minimalnego ciśnienia powietrza, przy zachowaniu zbliżonych wartości średniego ciśnienia powietrza,
- dokładność kontroli parametrów ruchu pulsacyjnego wody i prawidłowość działania mechanizmów rozrządu powietrza w osadzarce, dla określonej regulacji przepływu powietrza charakterystycznych zmian ciśnienia powietrza w zbiorniku wyrównawczym i komorze powietrzno-wodnej jest uwarunkowana skutecznością wyznaczania i stabilizacji w tej ostatniej średniego poziomu wody np. przy wykorzystywaniu sondy pojemnościowej.

Literatura

1. Jendrysik S. i in.: Metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym. Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych: bezpieczeństwo, jakość, efektywność. KOMEKO 2014, Red. nauk.: Klich A. Kozieł A., ITG KOMAG, Gliwice 2014.
2. Lundt M.: Coal jigging in South Africa. Exxaro 2010.
3. Łagódka M. i in.: Opracowanie metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach do wzbogacania nadaw węglowych. Praca statutowa ITG KOMAG Gliwice 2013 (materiały nie publikowane).
4. Myburgh H.A.: The influence of contro land mechanical conditions of certain parameters on jogging. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metalurgy. Vol. 110, 2010, s. 655-661.
5. Opis patentowy 100331: Osadzarka do przeróbki surowców mineralnych, zwłaszcza węgla. KHD, 1979.
6. www.batemanbv.com: The Apic Jig now fitted with JigScan.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Możliwości zastosowania procesu flotacji pianowej do wzbogacania „sedymentu" z wirówek sedymentacyjno-sitowych

Daniel Kowol, Michał Łagódka, Piotr Matusiak - Instytut Techniki Górniczej KOMAG, **Andrzej Gawliński** - Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. KWK „Budryk"

1. Wstęp

Flotacja jest fizykochemiczną metodą wzbogacania, w której rozdział ziaren następuje na podstawie różnic ich właściwości powierzchniowych, dodatkowo zwiększanych przez stosowanie odczynników flotacyjnych [2, 4, 6, 8, 12, 13].

Procesowi flotacji poddaje się bardzo drobne ziarna węgla poniżej 0,3 (0,5) mm. W przypadku wzbogacania węgla kamiennego flotacji podlegają ziarna węgla o powierzchniach hydrofobowych - zostają one wyniesione przez pęcherzyki powietrza na powierzchnię zawiesiny, natomiast nie flotują ziarna skały płonnej, o powierzchniach hydrofilowych, pozostając w zawiesinie.

Flotację mułów węglowych w sposób masowy prowadzi się w maszynach zwanych flotownikami. W przeważającej mierze, w polskich zakładach przeróbczych, do wzbogacania mułów węgli koksowych i energetycznych wykorzystuje się korytowe maszyny (flotowniki) pneumomechaniczne typu IZ [7].

W wyniku wzbogacania flotacyjnego uzyskuje się koncentrat i odpady flotacyjne, które należy odwodnić. Zagęszczone odpady flotacyjne najczęściej poddaje się odwodnieniu w prasach filtracyjnych, natomiast odwadnianie produktu koncentratowego może być prowadzone w różny sposób.

Powszechnie stosowane filtry próżniowe oraz dosuszanie termiczne, z uwagi na wysokie koszty i rosnące wymagania ograniczania emisji zanieczyszczeń są zastępowane przez wirówki sedymentacyjno-sitowe [1, 3, 9, 11].

W literaturze omawiane są również rozwiązania pras filtracyjnych komorowo-membranowych jako alternatywy dla wirówek sedymentacyjno – sitowych [11].

Flotokoncentrat odwadniany w wirówkach sedymentacyjno-sitowych, poddawany jest dwustopniowej separacji. Początkowo nadawa znajduje się w części bezsitowej, po czym przesuwana jest do części sitowej za pomocą ślimaka. W rezultacie uzyskuje się niską wilgotność (co eliminuje konieczność dosuszania na filtrach próżniowych) oraz wysoki odzysk części stałych.

Efektem ubocznym tego procesu jest powstawanie bardzo drobnych frakcji ziarnowych z części bezsitowej, tak zwanych „sedymentów". Niekorzystny

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

skład ziarnowy, w którym przeważającą ilość stanowią ziarna najdrobniejsze < 0,045 mm i niewielkie ilości ziaren w zakresie 0,1-0,5 mm, stwarzają problem ich zagospodarowania, stanowiąc dla zakładu przeróbczego problem technologiczny i ekonomiczny [3].

W przypadku wysokiego zapopielenia (ok. 50%) sedyment najczęściej traktowany jest jako produkt uboczny, łączony z odpadem flotacyjnym i kierowany jako element składowy podsadzki hydraulicznej do podziemnych wyrobisk górniczych. Inną możliwością jego wykorzystania, w przypadku niższego zapopielenia, jest stosowanie go jako dodatku do produkcji sortymentów handlowych, po wcześniejszym odwodnieniu w prasach filtracyjnych [10].

W przypadku sedymentu o wysokiej zawartości popiołu, jednym z potencjalnych kierunków jego wykorzystania może być powtórne wzbogacanie w procesie flotacji pianowej i w efekcie dodatkowy odzysk ziaren użytecznych – węglowych.

W pracy zaprezentowano wyniki przeprowadzonych prób laboratoryjnych, podczas których badano możliwość wykorzystania procesu flotacji pianowej do wzbogacania „sedymentu". Wykonano próby dla trzech kompleksowych odczynników flotacyjnych i wybranych parametrów procesowych (dawka odczynnika, zagęszczenie, natężenie dopływu powietrza, liczba obrotowa wirnika) [5].

2. Badania procesu flotacji „sedymentu"

2.1. Metodyka badań

Obiektem badań był „produkt" części bezsitowej wirówek sedymentacyjno – sitowych, którego wyniki analizy granulometryczno-popiołowej próbki zamieszczono w tabeli 1.

Skład granulometryczny badanego materiału [5]

Tabela 1

Klasa ziarnowa, mm	Wychód, %
> 0,071	-
0,071 – 0,063	<0,01
0,063 – 0,045	0,11
0,045 – 0,025	1,87
<0,025	98,02
Suma	100,00
Średnia zawartość popiołu, %	29,77

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Badany materiał charakteryzował się przeważającą ilością ziaren najdrobniejszych >0,025 mm, na poziomie 98,02%, oraz śladowymi ilościami ziaren >0,045 mm. Średnia zawartość popiołu w całości analizowanej próbki wynosiła 29,77%. Pobrane próbki „sedymentu" pochodziły ze wzbogacania węgla gazowo-koksowego typu 34.

Badania możliwości wzbogacania „sedymentu" wykonano na stanowisku laboratoryjnym do badań procesu flotacji (rys. 1).

Rys.1. Stanowisko laboratoryjne procesu flotacji [5]

W przeprowadzonych badaniach stosowano trzy kompleksowe przemysłowe odczynniki flotacyjne, które oznaczono jako R1, R2 i R3.

Odczynnik flotacyjny podawano na początku procesu flotacji i kondycjonowano przez 30 sekund. Poziom mętów w komorze flotacyjnej uzupełniano wodą tak, aby się utrzymywał na wysokości 1 cm poniżej progu przelewowego. Proces flotacji przerywano po upływie 180 s. Produkty flotacji odwadniano, suszono w temperaturze otoczenia, a następnie ważono w celu określenia wychodu oraz oznaczano w nim zawartość popiołu, zgodnie z normą PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe – Oznaczanie popiołu.

Do oceny wyników flotacji, oprócz zawartości popiołu w produktach, przyjęto uzysk substancji palnej w koncentracie flotacyjnym obliczony według zależności:

$$\varepsilon = \gamma \cdot \frac{100 - \lambda}{100 - \alpha} \tag{1}$$

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

gdzie:

α – zawartość popiołu w nadawie [%],

γ – wychód koncentratu [%],

λ – zawartość popiołu w koncentracie [%].

W oparciu o wyniki wstępnych prób określono parametry procesowe doświadczeń.

Badania prowadzono przy zagęszczeniach na poziomie 40 i 100 g/l. W doświadczeniach stosowano wysokie dawki odczynników, które wynosiły 1,2; 1,6 i 2,0 kg/Mg suchego materiału.

Pozostałe parametry techniczne doświadczeń były stałe i wynosiły:

– liczba obrotów wirnika - 1040 obr/min,

– natężenie dopływu powietrza - 2 dm^3/min.

Po wykonaniu ww. doświadczeń zdecydowano o poszerzeniu zakresu badanych parametrów poprzez zwiększenie natężenia przepływu powietrza do poziomu 4 dm^3/min oraz zwiększenie liczby obrotów do wartości 1340 obr/min.

Próby przeprowadzono z wykorzystaniem wody pochodzącej z zakładu przeróbczego kopalni, z której pobrano próbki „sedymentu". Wodę pobrano na przelewie zagęszczacza promieniowego (osadnika Dorr'a).

3. Wyniki badań

W tabeli 2 zestawiono wybrane wyniki flotacji dla trzech odczynników flotacyjnych i przyjętych podstawowych parametrów procesu.

W tabeli 3 zamieszczono wyniki uzyskane przy dwukrotnie zwiększonym natężeniu dopływu powietrza do komory flotacyjnej do 4 dm^3/min.

W tabeli 4 zaprezentowano wyniki doświadczeń, w których zwiększona została prędkość obrotowa wirnika do wartości 1340 obr/min.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki flotacji węgla w maszynce laboratoryjnej (natężenie dopływu powietrza 2 dm^3/min, prędkość obrotowa wirnika 1040 obr/min) [5]

Tabela 2

Odczynnik	Zagęszczenie [g/l]	Ilość odczynnika [kg/Mg]	Parametr		
			A_k [%]	A_o [%]	ε [%]
R1	100	1,2	16,16	53,23	81,05
		1,6	15,94	60,18	86,34
		2,0	16,25	56,24	84,06
	40	1,2	12,86	55,83	80,07
		1,6	14,54	56,68	82,17
		2,0	15,46	59,14	85,71
R2	100	1,2	16,25	53,79	81,71
		1,6	14,98	58,88	84,01
		2,0	15,58	57,21	84,31
	40	1,2	16,05	63,43	87,62
		1,6	15,56	60,34	85,59
		2,0	15,98	60,18	86,62
R3	100	1,2	17,26	55,94	82,84
		1,6	15,47	57,99	84,65
		2,0	16,14	50,20	78,72
	40	1,2	15,06	64,38	86,77
		1,6	15,00	64,63	87,45
		2,0	13,65	53,92	77,73

A_k – zawartość popiołu w koncentracie [%]

A_o – zawartość popiołu w odpadach [%]

ε – uzysk substancji palnej w koncentracie [%]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyniki flotacji węgla w maszynce laboratoryjnej przy zwiększonym natężeniu dopływu powietrza do 4 dm^3/min [5]

Tabela 3

Odczynnik	Zagęszczenie [g/l]	Ilość odczynnika [kg/Mg]	Parametr		
			A_k [%]	A_o [%]	ε [%]
R1	100	1,6	18,04	54,95	84,86
	40		17,87	40,78	65,58
R2	100	1,6	18,70	53,18	83,04
	40		17,57	57,43	85,32
R3	100	1,6	16,99	49,76	78,45
	40		16,73	47,49	74,25

Wyniki flotacji węgla w maszynce laboratoryjnej przy zwiększonej prędkości obrotowej wirnika do 1340 obr/min [5]

Tabela 4

Odczynnik	Zagęszczenie [g/l]	Ilość odczynnika [kg/Mg]	Parametr		
			A_k [%]	A_o [%]	ε [%]
R1	100	1,6	16,76	66,99	90,30
	40		14,56	71,74	90,86
R2	100	1,6	17,26	72,11	92,50
	40		15,72	70,34	91,87
R3	100	1,6	16,20	60,55	86,42
	40		14,02	67,82	88,81

4. Omówienie wyników badań

Woda procesowa pochodząca z obiegu wodno-mułowego Zakładu Przeróbczego KWK „Budryk" charakteryzowała się podwyższoną gęstością równą 1,016 g/cm^3, która wynikała najprawdopodobniej z jej znacznego zasolenia.

4.1. Wpływ typu odczynnika flotacyjnego

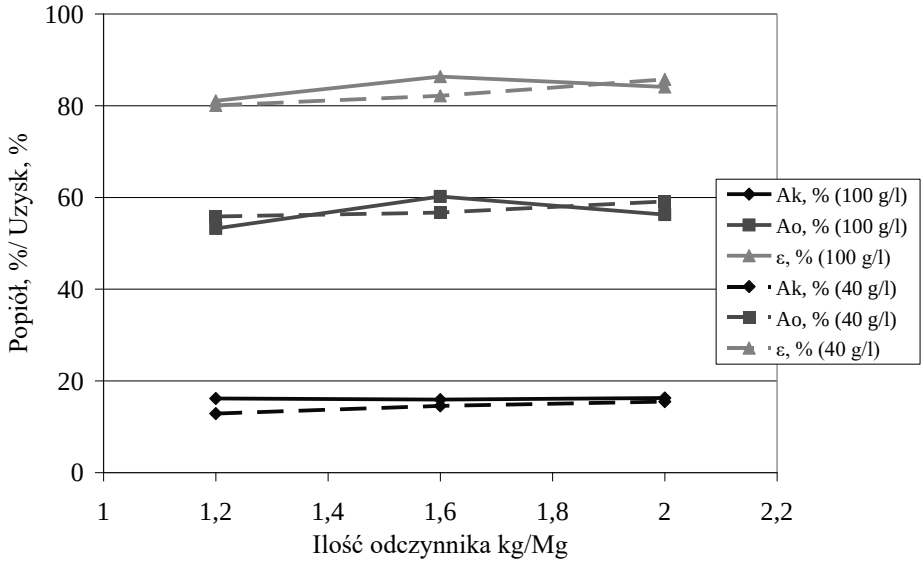
Analizując wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych prób stwierdzono, że zawartość popiołu w produkcie koncentratowym wynosiła od 12,86% do 17,26%, natomiast zapopielenie produktu odpadowego mieściło się w przedziale od 50,20% do 64,63%. Uzysk substancji palnej w każdym doświadczeniu przekraczał 75 % - od 77,73% do 87,62%.

Analiza wykazała, że dla odczynnika R1 najniższą zawartość popiołu w koncentracie równą 12,37% (najniższa zawartość popiołu w koncentracie

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

z wszystkich doświadczeń) uzyskano dla zagęszczenia 40 g/l i dawce odczynnika równej 1,2 kg/Mg, oraz najwyższą – 16,25% - dla zagęszczenia 100 g/l przy najwyższej zastosowanej dawce odczynnika 2,0 kg/Mg. Najlepszy wynik zapopielenia odpadów – 60,18% uzyskano dla zagęszczenia 100 g/l, przy dawce odczynnika równej 1,6 kg/Mg. Najgorszy wynik równy 55,83% otrzymano przy zagęszczeniu równym 40 g/l i najniższej stosowanej dawce odczynnika równej 1,2 kg/Mg. Najwyższy uzysk substancji palnej równy 86,34% uzyskano dla zagęszczenia 100 g/l i dawce odczynnika na poziomie 1,6 kg/Mg.

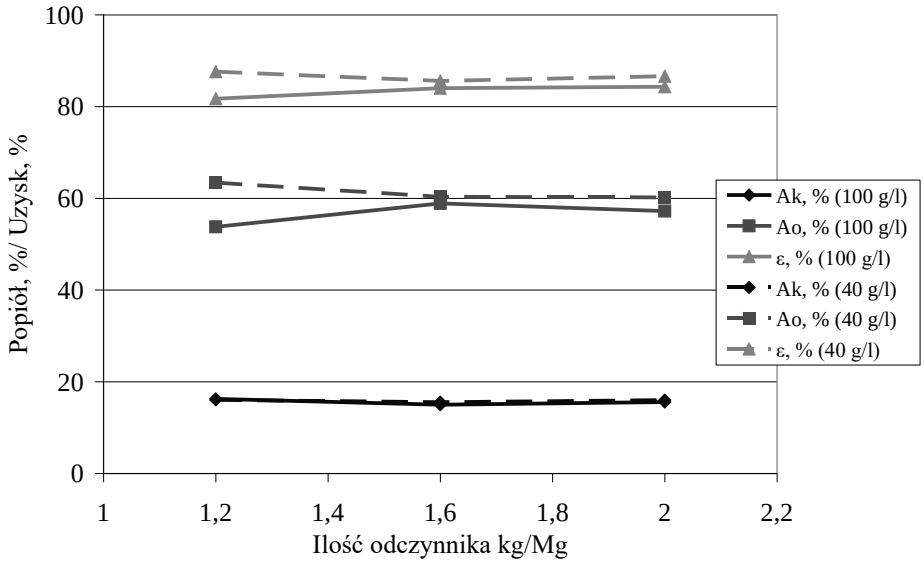
Zawartość popiołu w produktach oraz uzysk substancji palnej w koncentracie w zależności od ilości odczynnika pokazano na rysunku 2.



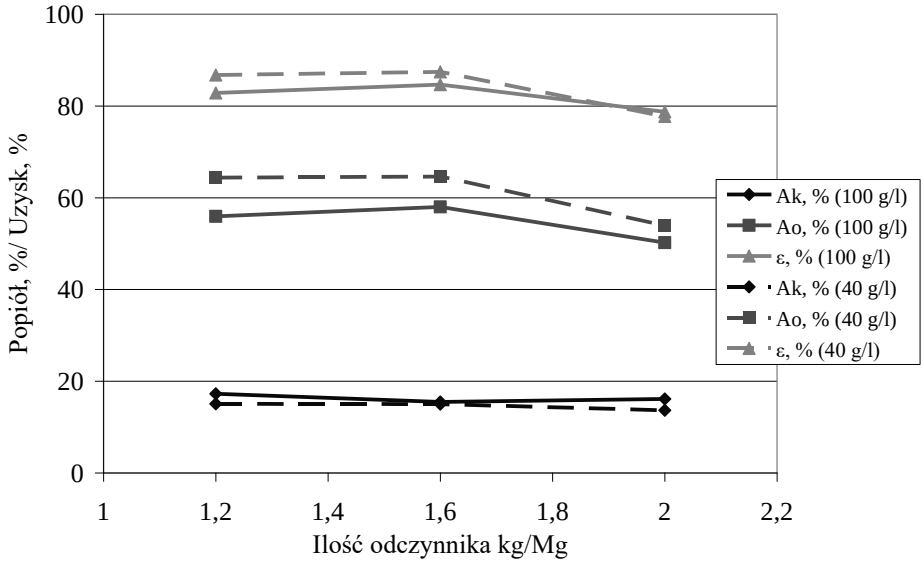
Rys.2. Wyniki doświadczeń (A_k, A_o, ε) – odczynnik R1 [5]

Zastosowanie odczynnika R2 spowodowało, że najniższą zawartość popiołu w koncentracie, równą 14,98%, uzyskano dla zagęszczenia 100 g/l oraz dawce odczynnika 1,6 kg/Mg. Najwyższą zawartość popiołu w produkcie koncentratowym – 16,25%, otrzymano również dla zagęszczenia 100 g/l i dawce 1,2 kg/Mg. Najwyższą zawartość popiołu w odpadach – 63,43% uzyskano dla zagęszczenia 40 g/l i dawce odczynnika na poziomie 1,2 kg/Mg. Najgorszy (najniższy) wynik równy 53,79% otrzymano przy zagęszczeniu równym 100 g/l i dawce odczynnika 1,2 kg/Mg. Najwyższy uzysk substancji palnej (87,62%) otrzymano przy zagęszczeniu 40 g/l i dawce odczynnika flotacyjnego na poziomie 1,2 kg/Mg. Była to najwyższa wartość z wszystkich porównywanych doświadczeń. Otrzymane wyniki doświadczeń zobrazowano graficznie na rysunku 3.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.3. Wyniki doświadczeń (A_k, A_o, ε) – odczynnik R2 [5]



Rys.4. Wyniki doświadczeń (A_k, A_o, ε) – odczynnik R3

Dla odczynnika R3 najniższą zawartość popiołu w koncentracie, równą 13,65%, uzyskano dla zagęszczenia 40 g/l i dawce odczynnika 2,0 kg/Mg, najwyższą – 17,26% - dla zagęszczenia 100 g/l i dawce 1,2 kg/Mg. Najlepszy wynik zapopielenia odpadów – 64,63% uzyskano dla zagęszczenia 40 g/l, przy najwyższej dawce odczynnika równej 1,6 kg/Mg. Najniższą zawartość popiołu

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

w produkcie odpadowym, równą 50,20%, otrzymano przy zagęszczeniu równym 100 g/l i najwyższej dawce odczynnika na poziomie 2,0 kg/Mg. Najwyższy uzysk substancji palnej (87,45%) otrzymano przy zagęszczeniu 40 g/l i dawce odczynnika flotacyjnego na poziomie 1,6 kg/Mg. Wyniki doświadczeń z zastosowaniem odczynnika R3 pokazano na rysunku 4.

4.2. Wpływ natężenia przepływu powietrza

Badania wpływu natężenia przepływu powietrza prowadzono przy zagęszczeniach 40 i 100 g/l oraz jednej dawce odczynnika na poziomie 1,6 kg/Mg.

Stwierdzono, że zwiększenie natężenia przepływu powietrza do komory flotacyjnej z 2 dm^3/min do 4 dm^3/min spowodowało pogorszenie wyników i obniżenie ogólnej sprawności procesu, w każdym badanym przypadku.

Zawartość popiołu w produkcie koncentratowym w zależności od zastosowanego odczynnika i przyjętego zagęszczenia, zawierała się w przedziale od 16,73% do 18,70%, natomiast zapopielenie odpadów nie przekraczało 60 % i wynosiło od 40,78% do 57,43%.

Uzysk substancji palnej mieścił się w zakresie 65,58% do 85,32%.

4.3. Wpływ prędkości obrotowej wirnika

Podobnie jak podczas badań wpływu natężenia powietrza również i w tym przypadku próby prowadzono przy zagęszczeniach 40 i 100 g/l oraz dawce odczynnika równej 1,6 kg/Mg.

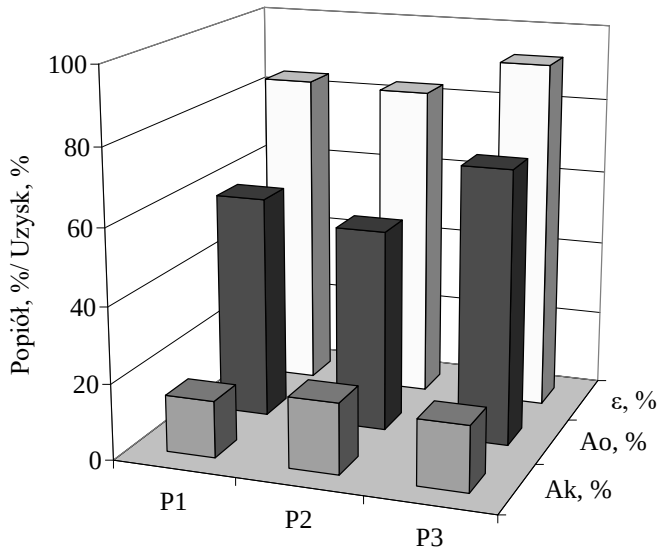
Analiza otrzymanych wyników wykazała, że zwiększenie prędkości obrotowej wirnika do wartości 1340 obr/min wpłynęło pozytywnie na parametry jakościowe produktów.

W porównaniu do wyników otrzymanych przy standardowych obrotach (1040 obr/min) uzyskano w każdym przypadku znaczącą poprawę zawartości popiołu w odpadach (zakres od 60,55% do 72,11%) oraz zwiększenie uzysku substancji palnej produkcie koncentratowym (zakres od 86,42% do 92,50%). Niewielkiemu pogorszeniu uległo zapopielenie koncentratu, które zawierało się w zakresie 14,02% do 17,26%.

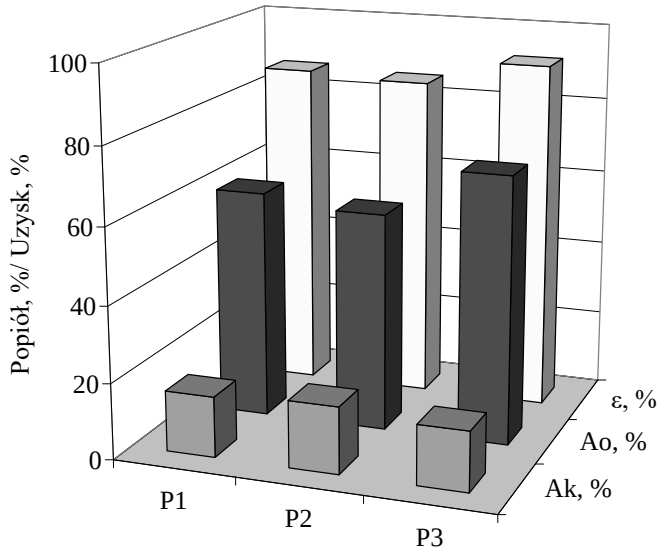
Na rysunkach 5 i 6 pokazano wybrane wyniki (zawartość popiołu w produktach, uzysk substancji palnej w koncentracie) dla różnych parametrów procesowych doświadczeń, przy wykorzystaniu odczynnika R2.

Wyniki doświadczeń dla zagęszczenia 100 g/l zobrazowano na rysunku 5, natomiast na rysunku 6 zaprezentowano wyniki uzyskane dla zagęszczenia części stałych równych 40 g/l.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.5. Porównanie wyników doświadczeń – zagęszczenie 100 g/l [5]; (P1 – 2 dm^3/min, 1040 obr/min.; P2 – 4 dm^3/min, 1040 obr/min.; P3 – 2 dm^3/min, 1340 obr/min.)



Rys.6. Porównanie wyników doświadczeń – zagęszczenie 40 g/l [5]; (P1 – 2 dm^3/min, 1040 obr/min.; P2 – 4 dm^3/min, 1040 obr/min.; P3 – 2 dm^3/min, 1340 obr/min.)

W przedstawionych na powyższych rysunkach porównaniach widać wpływ parametrów procesowych na osiągane wyniki wzbogacania. Najkorzystniejsze parametry produktów rozdziału uzyskano dla zwiększonej prędkości obrotowej (do 1340 obr./min.) i nominalnym podstawowym natężeniu dopływu powietrza – 2 dm^3/min. Najmniej korzystne wyniki osiągano

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

dla zwiększonego natężenia dopływu powietrza do 4 dm^3/min przy nominalnej prędkości obrotowej wirnika – 1040 obr/min.

5. Podsumowanie

Materiał („sedyment") stanowiący nadawę podczas prowadzonych doświadczeń, charakteryzował się bardzo niekorzystnym dla wzbogacania flotacyjnego udziałem ziaren najdrobniejszych (< 0,025 mm) wynoszącym 98,02% i zawartością popiołu równą 29,77%.

Przeprowadzone badania wykazały, że dla określonych podstawowych parametrów doświadczeń, możliwe było uzyskanie produktu koncentratowego o zapopieleniu poniżej 13%, co skutkowało jednak otrzymaniem produktu odpadowego o zawartości popiołu nie przekraczającej 56%.

Biorąc pod uwagę wszystkie analizowane parametry produktów (zapopielenie i uzysk substancji palnej w koncentracie) należy uznać, że najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla dawki odczynnika wynoszącej 1,6 kg/Mg i zagęszczeniu równym 40 g/l. Uzyskany produkt koncentratowy charakteryzował się zapopieleniem na poziomie 15,00%, przy uzysku substancji palnej równym 87,45%, natomiast zawartość popiołu w produkcie odpadowym wynosiła 64,63%.

Zwiększenie prędkości obrotowej wirnika spowodowało, poprzez zwiększoną dyspersję powietrza, znaczącą poprawę skuteczności procesu w zakresie zwiększenia uzysku substancji palnej i wzrostu zawartości popiołu w produkcie odpadowym, przy niewielkim pogorszeniu jakości (zapopielenie) produktu koncentratowego. Szczegółowa analiza wyników wykazała, że możliwe jest uzyskanie produktu odpadowego o zapopieleniu 71,74%, przy zawartości popiołu w koncentracie wynoszącym 14,56% i uzysku substancji palnej równym 90,86%.

W próbach ze zwiększonym natężeniem przepływu powietrza uzyskano znacząco gorsze wartości analizowanych parametrów w każdym badanym przypadku.

Dotychczasowe wyniki doświadczeń wskazują na możliwość wykorzystania (zagospodarowania) „sedymentu" poprzez jego powtórne wzbogacenie w procesie flotacji i w efekcie odzysk znacznej ilości ziaren użytecznych.

Przyszłe badania zostaną ukierunkowane na określenie efektywności procesu wzbogacania, w którym „sedyment" będzie stanowił dodatek do właściwej nadawy kierowanej do procesu flotacji pianowej.

Celowe będzie również uwzględnienie aspektu ekonomicznego procesu, z uwagi na użycie znaczących dawek odczynnika flotacyjnego niezbędnego do uzyskania akceptowalnych parametrów produktów wzbogacania.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Literatura

1. Aleksa H.: Stan i kierunki rozwoju technologii odwadniania koncentratów węglowych. Przegląd Górniczy Nr 9, 2005. s. 44 – 51.
2. Gaudin A.M.: Flotacja. Wyd. „Śląsk", Katowice 1963.
3. Giemza H., Gruszka G., Hycnar J.J, Józefiak T., Kiermaszek K., Pyc A.: Innowacyjne kierunki optymalizacji obiegów wodnych dla wydzielania i wykorzystania „sedymentów" w ZMPW Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. KOMEKO 2008. s. 171 - 182.
4. Kłassen W.I: Flotacja węgla. Wyd. „Śląsk", Katowice 1966.
5. Kowol i in.: Wykonanie badania możliwości zastosowania fizykochemicznych metod wzbogacania do odzysku substancji węglowej (palnej) z klasy drobnej (sedymentu) dla ZPMW JSW S.A. KWK „Budryk". ITG KOMAG Gliwice 2013 (materiały nie publikowane).
6. Laskowski J.: Fizyko-chemiczne podstawy i niektóre zagadnienia technologii procesu flotacji kopalin. Politechnika Śląska, Gliwice 1964.
7. Sablik J. Lenartowicz M.: Energetyczne właściwości powierzchniowe ziaren w produktach przemysłowej flotacji węgla. Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG, 2007.
8. Lenartowicz M., Kowol D.: Badania wpływu kształtu wirnika na przebieg procesu flotacji w skali laboratoryjnej. Górnictwo i Geologia, Tom 6, 2011. s. 83 - 93.
9. Pawlica M., Korcz Ł., Niemirowski J., Szeja W.: Filtracja wirowa zawiesiny zrzutowej po odwodnieniu flotokoncentratu na wirówkach BIRD'a. Karbo 2007, nr 1 s. 57 – 62.
10. 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. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 136, 2013. s. 175-183.
11. Pyc A., Giemza H., Gruszka G., Lenartowicz M.: Odwadnianie flotokoncentratu węgla koksowego w prasach filtracyjnych komorowo – membranowych. Górnictwo i Geologia, Tom 6, 2011. s. 181 - 188.
12. Sablik J.: Flotacja węgli kamiennych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 1998.
13. Poradnik Górnika, Tom 5, Wydawnictwo „Śląsk", Katowice 1976.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Kolektory do flotacji węgla kamiennego na bazie olejów popirolitycznych

Stanisław Budzyń, Barbara Tora - Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wprowadzenie

Piroliza jest procesem endotermicznym, który polega na termicznym rozkładzie materii organicznej (np. biomasy, odpadów organicznych, węgla, gumy) bez dostępu tlenu lub przy pomijalnie małej jego ilości, do postaci ciekłej, stałej i gazowej. Pirolizie mogą być poddawane również materiały nieorganiczne np. ceramiczne. W skali przemysłowej celem procesu pirolizy materiałów organicznych jest przetwarzanie surowców (węgiel, biomasa) do użytecznych form energii, recykling surowcowy (polimery odpadowe) oraz wytwarzanie półproduktów będących surowcami do dalszego ich wykorzystania. Piroliza surowców ceramicznych w wysokich temperaturach, powoduje ich spiekanie przy jednoczesnym usunięciu wody. Otrzymuje się w ten sposób materiały ceramiczne o dużo niższej gęstości od gęstości surowca.

Do prowadzenia procesu pirolizy wymagane jest dostarczenie ciepła w takiej ilości, aby w komorze reakcyjnej utrzymać wymaganą temperaturę. Ciepło może być dostarczane w wyniku spalania wytwarzanego gazu pirolitycznego w piecu. Temperatura procesowa wynosi od 200 do 1100^0C.

Produktami pirolizy są: frakcja gazowa, której podstawowymi składnikami są CO_2, CO i węglowodory (metan, etan), frakcja ciekła, składająca się z wody, oleju i smoły oraz frakcja stała – karbonizat.

Termochemiczne przetwarzanie surowców pochodzenia organicznego na drodze pirolizy zalicza się do najstarszych przemysłowych procesów termicznych znanych człowiekowi. Sucha destylacja drewna znana jest od ok. 8000 lat. W jej wyniku otrzymywany jest węgiel drzewny, który stanowił podstawowy materiał w procesach metalurgicznych. Smoła dostarczała substancji do impregnacji, izolacji itp. Woda wytlewna znajdowała zastosowanie w balsamowaniu.

Piroliza odpadów gumowych, takich jak zużyte opony, taśmy transporterowe, uszczelki gumowe, odpady przemysłu gumowego itp. jest jedną z podstawowych metod zagospodarowania odpadów gumowych, dającą możliwość wykorzystania w całości jej produktów zwłaszcza pod kątem energetycznym, badania nad możliwością wykorzystnia frakcji olejowej są przedmiotem niniejszego rozdziału.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

2. Wytwarzanie oleju pirolitycznego

Na skład poszczególnych frakcji produktów pirolizy, jak również na ich uzysk wpływają takie czynniki, jak czas i temperatura pirolizy, budowa reaktora, sposób przygotowania i podawania surowca, jego skład granulometryczny. Niższe temperatury procesu pirolizy oraz dłuższe czasy przebywania surowca w niskiej temperaturze sprzyjają powstawaniu większej ilości karbonizatu. Z kolei wysokie temperatury i krótsze czasy, w których przebywają produkty pirolizy sprzyjają uzyskiwaniu produktów ciekłych.

Tym samym, regulując temperaturę i czas pirolizy można wpływać na ilość uzyskiwanych produktów ciekłych, jak również ich właściwości. Karbonizat znajduje zastosowanie m.in. do produkcji stałych paliw wtórnych (SRF) [2].

3. Flotacja

Jednym ze sposobów wzbogacania węgla kamiennego o drobnym uziarnieniu jest flotacja, czyli proces w którym wykorzystuje się właściwości hydrofobowe powierzchni wzbogacanego materiału. W celu zwiększenia hydrofobowości stosuje się odczynniki adsorbujące się na powierzchni ziarna węglowego. Substancje takie nazywane zbieraczami lub kolektorami są najczęściej substancjami węglowodorowymi np. ropa naftowa.

Flotacja jest jedną z metod wzbogacania stosowaną do rozdziału bardzo drobnych ziarn mineralnych. Proces flotacji przeprowadza się w zawiesinie wodnej drobno zmielonego surowca mineralnego i polega na selektywnym przyczepianiu się rozpraszanych w tej zawiesinie pęcherzyków powietrza do wybranych ziaren mineralnych. Powstający agregat pęcherzyk powietrza - ziarno jest lżejszy od wody i wypływa na powierzchnię zawiesiny skąd może być zebrany w postaci piany. Olej popirolityczny spełnia funkcję kolektora. ***Odczynniki zbierające*** (zbieracze, kolektory po wprowadzeniu do zawiesiny flotacyjnej adsorbują się wybiórczo (selektywnie) na powierzchni ziarn tylko wybranych minerałów, hydrofobizując ich powierzchnię i w efekcie umożliwiają ich skuteczne wyniesienie do piany (wyflotowanie). Olej popirolityczny jest odczynnikiem niejonowym (apolarnym). W próbkach olejów popirolitycznych stwierdza się obecność wiązań nasyconych C-H. Stwierdza się również obecność grup C=O oraz związków aromatycznych.

Oleje popirolityczne są produktami odpadowymi pirolizy, ich zastosowanie do flotacji jest jedną z metod ich zagospodarowania.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Badania nad możliwością wykorzystania oleju popirolitycznego jako kolektora do flotacji

Badania na wykorzystaniem oleju po pirolizie węgla brunatnego jako kolektora do flotacji wegla kamiennego były prowadzone w Vysokiej Skole Banskiej TU w Ostravie, w latach 2008-2010 [4, 3]. Praca dotyczyła możliwości wykorzystania olejów z pirolizy węgła brunatnego i zastosowania ich jako zbieracza do flotacji węgla kamiennego z OKD. Próbki węgla brunatnego zostały pobrane z największego zagłębia czeskiego (Kopalnia Czeskoslovenská Armada) i Zagłębia Sokołów (Kopalnia Jiri). Próbki węgla były poddane pirolizie w zamkniętym reaktorze rurowym w temperaturze 900°C (nagrzewanie z szybkością 5°C/min, przez okres 30 minut), a uzyskanym produktem była ciecz. Skład olejów pirolitycznych (węglowodory alifatyczne i aromatyczne, alkohole i grupy funkcyjne) jest analogiczny jak w przypadku odczynników konwenalnych do flotacji węgla (w tym przypadku Montanol 800). Oleje wykorzystano w procesie flotacji szlamów węgla kamiennego z Regionu Karwiny (z kopalni Lazy i osadnika odpadów z kopalni Darkov). Oleje pirolityczne stosowano w mieszaninie z Montanolem 800 w dawce 500 g/Mg, proporcje poszczególnych odczynników wynosiły 1:4 (olej pirolityczny: Montanol 800). Uzyskane wartości- uzysk koncentratu i zawartość popiołu w koncentracie, zostały porównane z wartościami uzyskanymi przy zastosowaniu czystego Montanolu 800. Zawartość popiołu w koncentracie flotacyjnym została ustalona na poziomie 10%. Węgiel brunatny, poddawany pirolizie zawierał siarkę, w ilości do 1%. Przeprowadzono próbę zmniejszenia zasiarczenia w procesie ługowania bakteryjnego. Odsiarczanie prowadzono za pomocą czystych kultury bakterii *Acidithiobacillus Ferrooxidans.* Uzyskane wyniki potwierdziły, że oleje pizolityczne mogą być zastosowane jako zbieracze do flotacji. Uzyskanie założonej zawartości popiołu w koncentracie (poniżej 10%) było możliwe tylko w przypadku zastosowania do flotacji mieszaniny Montanolu z olejem pirolitycznym, ze znaczną przewagą Montanolu.

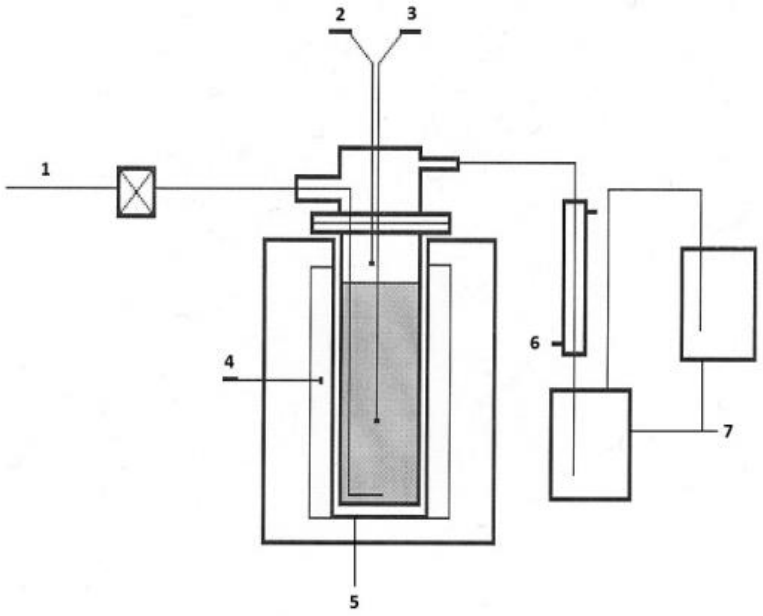
5. Badania własne

Celem badań było określenie możliwości odzysku materiałowego oleju popirolitycznego po pirolizie odpadów organicznych, takich jak biomasa pochodzenia roślinnego: liście zbóż, łupiny orzecha włoskiego, łupiny z cebuli, łupiny z fasoli, pestki z fasoli, makowiny, liście jabłoni oraz odpadów gumowych w procesie flotacji węgla kamiennego. Olej pirolityczny zastosowano jako odczynnik zbierający (kolektor) [5]. Przyjęto założenie dla procesu flotacji – uzyskanie koncentratu o zawartości popiołu poniżej 10%.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

5.1. Instalacja laboratoryjna do badań pirolizy

Instalację do pirolizy przedstawiono na rysunku 1 [2]. Zasadniczym elementem instalacji jest retorta ze stali żaroodpornej o średnicy 90 mm i wysokości 700 mm. W dolnej części retorty umieszczona jest pirolizowana próbka. Część górna, stanowiąca zamknięcie retorty, posiada rurkę doprowadzającą wodę oraz rurkę służącą do odprowadzania gazów popirolitycznych. Retorta umieszczona jest w piecu elektrycznym o mocy 10 kW, który zapewnia strefę jednakowej temperatury na całej wysokości wsadu oraz utrzymywanie zadanych szybkości grzania i stabilizację temperatury na określonym poziomie. Temperatura mierzona jest za pomocą termopary umieszczonej w środkowej części wsadu oraz na jego powierzchni. W zamknięciu retorty umiejscowiona jest rura doprowadzająca wodę do wsadu oraz rura odprowadzająca części lotne. Woda do retorty doprowadzana jest za pomocą pompy perystaltycznej, która umożliwia dokładny pomiar i kontrolę ilości dozowanej wody. Gaz popirolityczny kondensowany jest w odbieralnikach.



Rys.1. Schemat instalacji do pirolizy (źródło: opracowanie własne); *1- pompa dozująca, 2, 3, 4 - termopary pomiarowe, 5 – retorta, 6 – chłodnica, 7- odbieralnik oleju*

W tabeli 1 przedstawiono uzyski produktów pirolizy odpadów biomasowych w zależności od temperatury.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wychód produktów pirolizy z zależności od temperatury procesu (piroliza makówek, łupin z orzecha włoskiego i łupin z fasoli oraz gumy - wartości średnie) (źródło: wyniki własne)

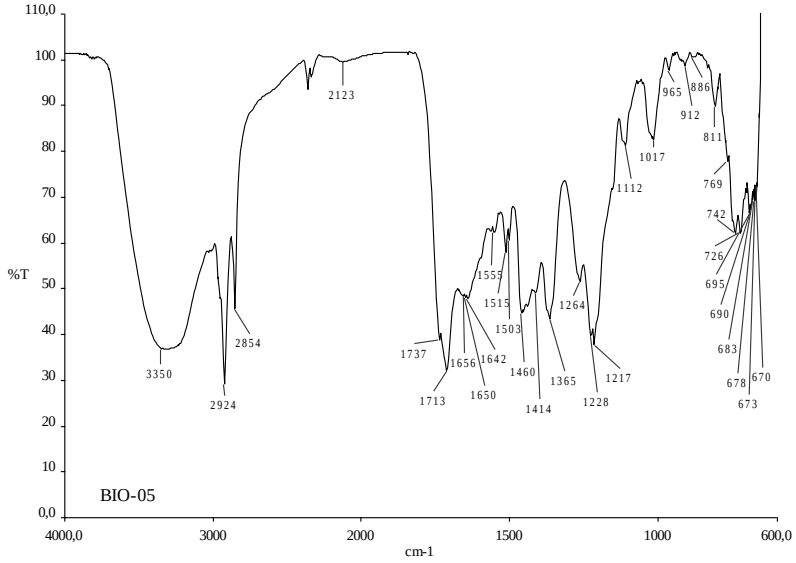
Tabela 1

	Temperatura pirolizy [^{o}C]			
Produkty pirolizy	450	500	550	600
	Udziały produktów [%]			
karbonizat	44,0	43,5	35,7	34,0
olej	46,0	49,0	53,0	54,5
gaz	10,0	7,5	11,3	11,5

Właściwości oleju pirolitycznego po pirolizie (wartości średnie)

- temperatura wrzenia od 210°C do 480°C,
- lepkość kinematyczna w temperaturze 50°C nie niższej niż 5,5 mm^2/s,
- zawartości siarki poniżej 0,9% masowych,
- temperatura zapłonu powyżej 54°C.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wyniki analizy IR oleju po pirolizie łupin orzecha



Rys.2. Analiza IR oleju po pirolizie łupin orzecha, źródło [3]

Surowy olej popirolityczny jest złożoną mieszaniną nasyconych i nienasyconych węglowodorów liniowych i cyklicznych oraz węglowodorów o charakterze aromatycznym. Zawiera około 48% związków aromatycznych, 18% alkanów i cykloalkanów, 11% olefin i cykloolefin.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

5.2. Instalacja do procesu flotacji

Flotację prowadzono w laboratoryjnej maszynce laboratoryjnej, o pojemności komory roboczej 1 dm^3. Flotacji poddano węgiel z kopalni Jankowice. Gęstość mętów flotacyjnych 150g/dm^3, czas flotacji 5 minut. Czas kondycjonowania 1 minuta.

5.3. Badanie flotacji zbieraczem z oleju po pirolizie makówek, łupin z orzecha włoskiego i łupin z fasoli

Pirolizie poddano odpady organiczne w skład których wchodziły łupiny z orzecha włoskiego, łupiny z fasoli. Szybkość ogrzewania odpadów wynosiła 5 K/min. Proces prowadzono przez 30 minut, a temperatura końcowa pirolizy wynosiła 900^0C. Otrzymany olej popirolityczny wprowadzono jako kolektor (zbieracz) do zawiesiny węgla kamiennego w wodzie w ilości 500g/Mg suchej masy węgla. Flotację prowadzono w następujących warunkach: gęstość mętów 150 g/dm^3, czas flotacji 5 minut, czas mieszania z odczynnikiem 1 minuta. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki flotacji węgla – kolektor olej popirolityczny (źródło: badania własne)

Tabela 2

Zbieracz	Produkt flotacji	Wychód [%]	Zawartość popiołu [%]
Olej po pirolizie łupin z orzecha włoskiego	Koncentrat	19,17	8,7
	Odpady	80,83	13,12
	Nadawa	100	12,27
Olej po pirolizie pestek ze śliwek	Koncentrat	28,04	8,17
	Odpady	71,96	11,43
	Nadawa	100	10,52
Olej po pirolizie łusek z cebuli	Koncentrat	14,22	9,7
	Odpady	85,78	9,36
	Nadawa	100	9,41

5.4. Badanie flotacji zbieraczem z oleju po pirolizie makówek, łupin z cebuli i liści jabłoni

Pirolizie poddano makówki, łupiny cebuli, liście jabłoni. Uzyskany olej wykorzystano do flotacji węgla jako zbieracz, stosując go w mieszaninie z odczynnikiem flotacyjnym Monatol 551 produkcji firmy Reaflot, w proporcji objętościowej 1:1. Flotacji poddano próbkę węgla kamiennego, ilość zastosowanego odczynnika zbierającego 450 g/Mg suchej masy węgla.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Flotację prowadzono w następujących warunkach: gęstość mętów 150 g/dm^3, czas flotacji 5 minut, czas mieszania z odczynnikiem 1 minuta. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Wyniki flotacji węgla – zbieracz: Montanol 551 + olej popirolityczny (źródło: badania własne)

Tabela 3

Zbieracz	Produkt flotacji	Wychód	Zawartość popiołu
Olej po pirolizie + Montanol 551 2:1	Koncentrat	95,85	10,53
	Odpady	4,15	78,32
	Nadawa	100	13,34
Olej po pirolizie + Montanol 551 1:1	Koncentrat	93,7	9,35
	Odpady	6,3	79,37
	Nadawa	100	13,76
Olej po pirolizie	Koncentrat	92,01	16,91
	Odpady	11,99	55,57
	Nadawa	100	14,48

5.5. Flotacja węgla za pomocą oleju po pirolizie odpadów gumowych

W tabeli 4 przedstawiono wyniki flotacji z zastosowaniem oleju po pirolizie gumy oraz mieszaniny tego oleju z Montanolem.

Wyniki flotacji węgla za pomocą oleju po pirolizie gumy (źródło: badania własne)

Tabela 4

Zbieracz	Produkt flotacji	Wychód	Zawartość popiołu
Olej po pirolizie + Montanol 551 2:1	Koncentrat	85,1	10,05
	Odpady	14,9	62,4,
	Nadawa	100	13,34
Olej po pirolizie + Montanol 551 1:1	Koncentrat	92,2	9,9
	Odpady	7,8	59,39
	Nadawa	100	13,76
Olej po pirolizie	Koncentrat	89,10	11,67
	Odpady	10,90	31,41
	Nadawa	100	13,76

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

5.6. Analiza wyników

Uzyskane wyniki wskazują na możliwość zastosowania olejów po pirolizie odpadów biomasowych oraz oleju po pirolizie gumy jako komponentu do tworzenia zbieraczy do flotacji węgla kamiennego. Wyniki uzyskane po zastosowaniu samego oleju pirolitycznego w niewielkim stopniu (ok. 10%) nie odpowiadają założonemu celowi jakim jest uzyskanie koncentratu o zawartości popiołu mniejszej niż 10%. Jednak z uwagi na efekt ekonomiczny, wynikający z zastosowania odpadów w miejsce stosunkowo drogiego odczynnika, celowe jest prowadzenie dalszych badań w tym zakresie.

6. Podsumowanie

Piroliza jest jedną z metod termicznej utylizacji odpadów organicznych. Powstający z wyniku procesu olej pirolityczny może być wykorzystany jako zamiennik standardowo stosowanych do flotacji węgla odczynników Montanol lub Flotmix, przy czym lepsze wyniki flotacji uzyskuje się stosując mieszaninę olejów popirolitycznych z odczynnikami oryginalnymi. W warunkach przemysłowych charakterystykę (skład) odczynników flotacyjnych każdorazowo dobiera się do flotowanego węgla. Również zastosowanie kolektora na bazie oleju popirolitycznego będzie przedmiotem dalszych badań.

Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych AGH, Wydział Energetyki i Paliw nr 11.11.210.213 oraz nr Wydział Górnictwa i Geoinżynierii nr. 11.11.100.276.

Literatura

1. Budzyń S., Jakóbiec J., Tora B., Żmuda W.A.: Laboratory analysis of rubber wastes in order to their utilization in energy sector - AGH Journal of Mining and Geoengineering ; ISSN 2299-257X. - Tytuł poprz.: Górnictwo i Geoinżynieria; ISSN: 1732-6702. - 2013 vol. 37 no. 2, s. 9–13.
2. Depta G., Kielec R., Tora B., Żmuda W. A., Budzyń S.: Sposób wytwarzania ukształtowanego paliwa stałego z materiałów odpadowych - Patent PL 394987 A1.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

3. Fečko P., Kříž V., Gondek H., Kašpárková, Tora B., Isek J., Pham Duc T.: Applicaton of pyrolysis oils from agricultural wastes in flotation**,** Komeko 2010. - ISBN 978-83-60708-42-2.
4. Guziurek M., Zechner V., Fecko P.: Application of Brown Coal Pyrolityc Oils in Black Coal Slurry Flotation, Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management, zeszyt 2, tom 29, 2013 pp. 51-67.
5. Tora B., Budzyń S., Żmuda W. A., Fecko P., Kriz V. Sposób wykorzystania olejów po pirolizie odpadów organicznych. Patent PL 393095 A1. Zgłosz. 2010-11-30, Biuletyn Urzędu Patentowego; ISSN: 0137-8015; 2012 nr 12. s. 6.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

…górnictwo węglowe nadal jest istotną gałęzią gospodarki nie tylko polskiej czy europejskiej, ale światowej. Prognozy Międzynarodowej Agencji Energii wykazują, że globalne zapotrzebowanie na węgiel oraz jego zużycie będą rosnąć. W ciągu ostatnich 20 lat wydobycie węgla kamiennego na wszystkich kontynentach podwoiło się, osiągając poziom prawie 7 mld ton, a węgla brunatnego – blisko 1 mld ton. Światowy rynek węgla rośnie i nie sposób tu przecenić roli Chin. Do końca roku 2017 mogą one przewyższyć resztę państw w zakresie zużycia tego surowca. Popyt na czarne paliwo wzrasta wszędzie poza Stanami Zjednoczonymi – z powodu boomu na gaz łupkowy na tamtejszym rynku.

Nowy Przemysł 2013 nr 5 s.74-78

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Charakterystyka i możliwości zastosowania jonitów w technologii wody i ścieków

Agnieszka Bożęcka, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska – Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wprowadzenie

Obecność metali ciężkich, azotanów i substancji humusowych w wodzie, a także w ściekach kierowanych do odbiorników jest bardzo ważnym problemem w ochronie środowiska.

Najprostszą metodą oczyszczania wód i ścieków z zanieczyszczeń jest chemiczne wytrącanie, które wiąże się jednak z powstawaniem znacznych ilości trudnych do zagospodarowania osadów. Ponadto, w procesie tym wymagane jest podniesienie pH oczyszczanego roztworu, co powoduje zużycie dużych ilości odczynników. Z kolei metody koagulacyjno – flokulacyjne czy procesy membranowe zazwyczaj wymagają zachowania ściśle określonych warunków technologicznych, co związane jest z wysokimi kosztami.

W związku z tym, w obecnych czasach coraz częściej sięga się do technologii opartych na wymianie jonowej. Przy odpowiednim doborze wymieniacza charakteryzuje się ona wysoką skutecznością usuwania niskich stężeń metali z wód przekraczającą zazwyczaj 90%. Istotną zaletą metody wymiany jonowej jest także możliwość wielokrotnego użycia jonitów oraz możliwość odzysku usuwanych substancji z zatężonego roztworu poregeneracyjnego [3].

2. Rodzaje i budowa jonitów

Jonity (zwane też wymieniaczami jonowymi lub żywicami jonowymiennymi) są to wielkocząsteczkowe, przestrzennie usieciowane i w większości bezpostaciowe substancje stałe. Zalicza się je do organicznych polielektrolitów. Jonity zawierają w swej strukturze część nośną, którą jest szkielet wielkocząsteczkowy pochodzenia naturalnego lub syntetycznego oraz grupy funkcyjne zdolne do dysocjacji elektrolitycznej. Charakter grup funkcyjnych warunkuje ich zdolności wymienne. Jonit jako nierozpuszczalna struktura jest porowaty, a do jego wnętrza mogą przenikać cząsteczki wody, powodując efekt jego pęcznienia. Ponadto cząsteczki wody mogą hydratyzować grupy jonowymienne. Jeśli grupy te mają charakter mocnych kwasów lub zasad, następstwem procesu hydratacji jest ich dysocjacja wewnątrz jonitu. Proces dysocjacji praktycznie nie zachodzi dla grup funkcyjnych o charakterze słabych kwasów lub zasad. Ilość grup funkcyjnych określa tzw. „zdolność wymienną jonitu”. Jest to bardzo ważny parametr, który decyduje o praktycznej

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

możliwości wykorzystania jonitów do usuwania zanieczyszczeń jonowych z wód i ze ścieków [29, 32, 36].

Podział jonitów podyktowany jest charakterem wprowadzonych grup funkcyjnych do ich sztywnej struktury. Synteza żywic jonowymiennych opiera się głównie na reakcjach polimeryzacji monomerów zawierających grupy czynne lub na wprowadzeniu grup czynnych za pomocą reakcji chemicznych do uprzednio otrzymanych polimerów. Do pierwszej grupy należą jonity otrzymane przez polikondensację, do drugiej przez polimeryzację addycyjną. Polimery polikondensacyjne mają polarny charakter szkieletu, w którym zachowana jest woda warunkująca ich dobrą zdolność wymienną. Natomiast jonity polimeryzacyjne mają szkielet niepolarny (na ogół są to węglowodory), który z kolei warunkuje im większą trwałość.

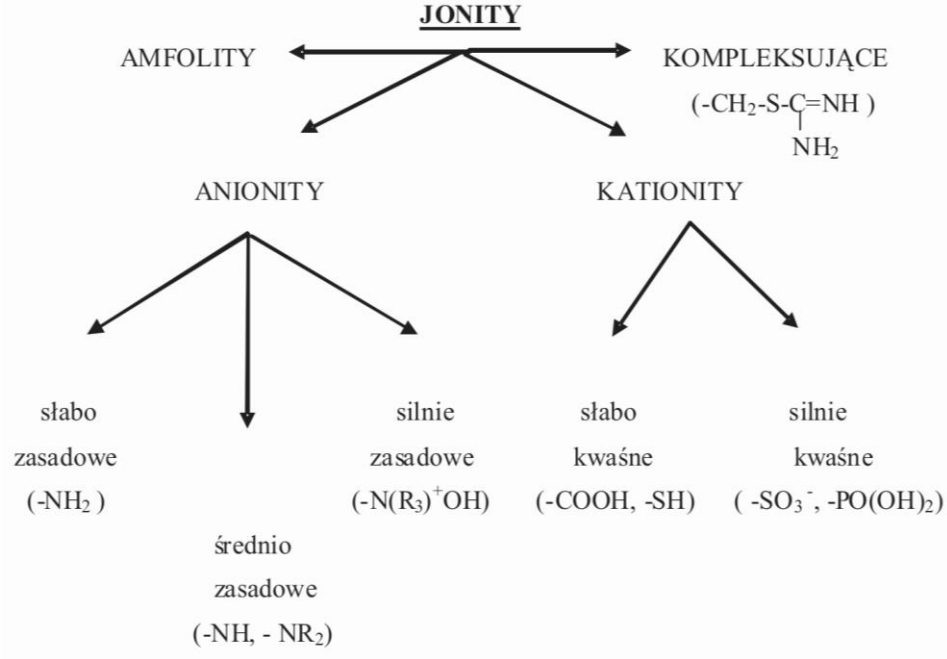
Struktura, jak i sam proces syntezy jonitów mogą być więc oparte zarówno na polimerach pochodzenia syntetycznego (np.: polistyrenie, diwinylobenzenie) oraz naturalnego, co zostało przedstawione m.in. w pracy zespołu Singh A.V., Gupta S. oraz Gupta S.C. z Indii [30]. Autorzy tej publikacji do syntezy wymieniacza jonowego użyli polisacharydów guarany będących powszechnie dostępnym produktem rolnym w tym regionie. Sam wymieniacz jonowy wykorzystano następnie do usuwania jonów metali ciężkich z wód kopalnianych [26].

Wymieniacze jonowe mogą być także pozyskiwane ze środowiska przy okazji wydobycia innych kopalin. Przykładem jonitów naturalnych są m.in.: montmorylonit, wchodzący w skład kopalin towarzyszących w KWB Bełchatów oraz glaukonit, występujący powszechnie w utworach trzeciorzędowych na Lubelszczyźnie [5].

Właściwości fizykochemiczne jonitów stały się więc podstawą do ich podziału na [8, 17, 22]:

- anionity - jonity posiadające na powierzchni, między innymi, grupy funkcyjne o właściwościach zasadowych (np.: $–NH_3OH$;$=NH_2OH$; ≡NH OH), zdolne do wymiany jonów o ładunku ujemnym;
- kationity - posiadające grupy funkcyjne o właściwościach kwasowych (np.: –OH; –COOH; $–SO_3H$), wymieniające jony o ładunku dodatnim;
- amfolity posiadające grupy funkcyjne z jonami dodatnimi i ujemnymi, w zależności od wartości pH środowiska;
- kompleksujące.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



3. Charakterystyka procesu wymiany jonowej

Jonity odznaczają się zdolnością do zamiany ruchliwych jonów przyłączonych do ich centrów aktywnych, na jony o takim samym znaku znajdujące się w otaczającym roztworze (ścieku) [36]. Większość wymieniaczy jonowych jest nierozpuszczalna w rozpuszczalnikach organicznych i nieorganicznych. W większości jonity odporne są na wysokie temperatury, szok osmotyczny oraz pracują w szerokim zakresie pH [14, 21].

Proces wymiany jonowej z udziałem żywic jonowymiennych można przedstawić następującymi równaniami reakcji [6, 36]:

$$R– XK_1 + K_2^+ = R – XK_2 + K_1^+ \quad (1)$$

$$R– YA_1 + A_2^- = R – YA_2 + A_1^- \quad (2)$$

gdzie:

R	–	szkielet polimeryczny,
X	–	kationowa grupa jonowymienna,
Y	–	anionowa grupa jonwymienna,
K_1^+ i K_2^+	–	ruchliwe kationy ulegające wymianie jonowej,
A_1^- i A_2^-	–	ruchliwe aniony ulegające wymianie jonowej.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wyróżnia się cztery zasadnicze etapy opisujące ten proces i jego kinetykę [6, 36]:

- transport dyfuzyjny jonów z roztworu zewnętrznego (przeciwjonów) do powierzchni ziaren jonitu,
- transport dyfuzyjny przeciwjonów w warstwie granicznej (adhezyjnej),
- reakcja wymiany jonowej w grupach jonowymiennych (wewnątrz jonitu),
- transport dyfuzyjny wymienionych jonów do roztworu zewnętrznego.

Kinetykę procesu opisaną powyższymi etapami tłumaczy model dyfuzyjny, który ilościowo jest opisywany za pomocą równań Ficka [17]. O szybkości całego procesu wymiany jonowej decyduje etap najwolniejszy, a może nim być każdy z wymienionych etapów. Zależy to od parametrów roztworu, rodzaju wymieniacza jonowego oraz od hydrauliki złoża.

Istotną zaletą wymieniaczy jonowych jest ich selektywne działanie. O selektywności poza charakterem grup funkcyjnych, decyduje promień jonów hydratyzowanych i ich wartościowość [29, 32, 36]. Im wyższe powinowactwo do danego jonu, tym jon jest chętniej wymieniany [36]. Przykładowy szereg powinowactwa dla kationitu słabo kwaśnego z grupą karboksylową w stosunku do kationów zamieszczono poniżej [29]:

$$H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Li^+ > Na^+ > K^+ > Rb^+ > Cs^+$$

Regeneracja takich jonitów jest łatwiejsza, ze względu na duże powinowactwo do jonów wodorowych. Z uwagi jednak na ich wrażliwość na pH środowiska, nie są one w stanie usunąć metali ze środowiska kwaśnego. Kationit z grupami karboksylowymi poza wymianą jonową wolnych jonów, może w niektórych przypadkach tworzyć kompleksy między kationami a grupami funkcyjnymi. Dzieje się tak w przypadku protonu H^+, ponieważ jonit ma charakter słabego kwasu.

Proces wymiany jonowej wykonywany jest aż do wysycenia jonitu. Jest to równoważne z faktem, iż jonit nie jest w stanie efektywnie oczyszczać danego roztworu i musi być zregenerowany. Punkt, w którym następuje znaczny spadek efektywności procesu wymiany jonowej nazywany jest punktem przebicia. Uznaje się, że jest on osiągnięty w momencie, gdy w wypływającym roztworze pojawia się ok. 5% jonów, które powinny zostać usunięte. Wymieniacze jonowe, po regeneracji odczynnikami o charakterze kwasów, zasad lub soli (np.: roztwory HCl, HNO_3, NaCl, NaOH), są ponownie gotowe do pracy [32, 36].

4. Interpretacja wyników wymiany jonowej

Ilościowo proces wymiany jonowej na jonitach jest oceniany na podstawie tzw. współczynnika wydzielenia (redukcji) – X z badanego roztworu danego

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

jonu (jonów). Wyraża się go jako procentowy ubytek stężenia tego składnika w stosunku do początkowego jego stężenia, co określa wzór (1):

$$X = \frac{C_O - C_t}{C_O} \tag{1}$$

gdzie:

X – współczynnik wydzielenia [%],

C_0 i C_t – początkowe i końcowe stężenie jonów w roztworze [mg/dm^3].

Pojemność sorpcyjną jonitu oblicza się ze wzoru (2):

$$Q = \frac{V \times (C_O - C_t)}{m} \tag{2}$$

gdzie:

V – objętość roztworu [dm^3],

m – masa jonitu.

Istotnym zagadnieniem jest rozpoznanie kinetyki procesu usuwania jonów na jonicie w oparciu o modele procesu adsorpcji, przy założeniu, że na granicy międzyfazowej stała faza jonitu – oczyszczany roztwór, zachodzi proces różnicowania stężeń badanych form jonowych. Powierzchnia jonitu jest dość nieregularna i należy przypuszczać, że jej właściwości są też zróżnicowane w różnych jej miejscach. Jonit do pracy musi być wstępnie przygotowany m.in. w procesie jego pęcznienia, stąd formy adsorbowane na jego powierzchni mogą być w innej sytuacji dynamicznej niż wewnątrz fazy jonitu. Ponieważ proces adsorpcji na granicy międzyfazowej jest zagadnieniem niezwykle skomplikowanym, stąd omówione zostaną tylko podstawowe teorie adsorpcji [2].

Odmienne właściwości obszaru powierzchniowego w stosunku do wnętrza graniczących ze sobą faz powodują, że na granicy faz mogą gromadzić się w nadmiarze, w stosunku do stężenia w głębi faz, cząsteczki jednego (lub więcej) składników fazy objętościowej. Ten fakt oznacza, że zachodzi zjawisko adsorpcji. Adsorpcję należy odróżniać od przenikania jednej substancji w masę drugiej substancji, które to zjawisko nazywa się absorpcją.

Adsorpcja może być potraktowana jako zjawisko występujące na granicy zetknięcia się dwóch różnych faz, a to wiąże się z występowaniem pewnego pola niewysyconych sił międzycząsteczkowych. Głównie są to siły van der Waalsa, siły wiązań wodorowych i wiązania jonowe. W wyniku ich działania obserwuje się różnicę stężeń określonego składnika (adsorbatu) w fazie ciekłej, a także jego stężenia na granicy faz. Faza stała, na której zachodzi adsorpcja nosi nazwę adsorbenta. Jeżeli stężenie na powierzchni adsorbenta wzrasta to mamy do czynienia z adsorpcją dodatnią. W zdecydowanej większości

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

przypadków adsorpcja jest procesem egzoenergetycznym, co jest związane z utratą translacyjnych stopni swobody i entropia procesu jest ujemna ($\Delta S < 0$). Dla procesu samorzutnego, zmiana entalpii swobodnej $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ też musi być mniejsza od zera. Z tych zależności wynika, że zarówno zmiana entalpii swobodnej (ΔG), jak i zmiana entalpii (ΔH) muszą być mniejsze od zera.

Rodzaj sił oddziaływania na granicy międzyfazowej określa dwa podstawowe rodzaje adsorpcji: fizyczną i chemiczną.

Adsorpcja fizyczna jest związana z działaniem na granicy faz sił van der Waalsa, jest procesem egzotermicznym i odwracalnym w podwyższonej temperaturze. Szybkość procesu jest ograniczona szybkością dyfuzji adsorbatu do powierzchni, a ciepło adsorpcji nie przekracza kilku kJ/mol. Z uwagi na liczbę stopni swobody zaadsorbowane cząsteczki mogą tworzyć więcej niż jedną warstwę na powierzchni adsorbentu.

Adsorpcja chemiczna wiąże się z powstaniem na powierzchni adsorbentu połączenia chemicznego, które pokrywa ją tylko jedną warstwą (z uwagi na zero stopni swobody pojedynczej cząsteczki) - monomolekularna. Często jest to proces nieodwracalny o wysokiej entalpii rzędu do 400 kJ/mol. Oczywiście obok sił natury chemicznej, równocześnie zawsze występują siły dyspersji i odpychania, niezależnie od charakteru adsorpcji i granic fazowych.

Ponieważ adsorpcji chemicznej czasami towarzyszy zrywanie bądź osłabianie wiązań w cząsteczce ulegającej adsorpcji, to zaadsorbowana cząsteczka może wykazywać inną podatność na reakcje chemiczne niż swobodna cząsteczka znajdująca się w głębi fazy. Sprawia to, że adsorbent może pełnić rolę katalizatora. W przypadku adsorpcji z fazy, która jest mieszaniną różnych substancji należy pamiętać o tym, że może mieć miejsce adsorpcja konkurencyjna bądź też adsorpcja jednej substancji może być połączona z desorpcją drugiej. Jest to często spotykane w przypadku adsorpcji z roztworów rozpuszczalników – często sam rozpuszczalnik, jak np. woda, może ulegać adsorpcji. Ilość substancji zaadsorbowanej można wyrazić poprzez stężenie powierzchniowe. Określa ono liczbę moli zaadsorbowanej substancji przypadającą na jednostkę powierzchni. Stężenie powierzchniowe może być też wyrażane jako liczba moli adsorbatu przypadająca na masę adsorbentu.

Jedną z najczęściej stosowanych do dziś teorii adsorpcji jednowarstwowej jest teoria Langmuira. Przy wyprowadzeniu izotermy Langmuira przyjęte zostały następujące założenia. Po pierwsze, powierzchnia międzyfazowa jest homogeniczna, tj. każdy jej fragment charakteryzuje się takimi samymi zdolnościami do adsorpcji. Gdyby było inaczej, początkowo zajmowane byłyby najkorzystniejsze energetycznie miejsca (centra aktywne), np. związane z określonymi orientacjami krystalograficznymi powierzchni adsorbenta. Oznaczałoby to, że entalpia procesu adsorpcji zależałaby od stopnia pokrycia

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

powierzchni przez adsorbat. Po drugie, zaadsorbowane molekuły nie oddziałują między sobą. Gdyby było inaczej, entalpia adsorpcji zależałaby od stopnia pokrycia powierzchni przez adsorbat – stawałaby się bardziej ujemna (oddziaływanie przyciągające), bądź bardziej dodatnia (oddziaływanie odpychające) [2].

Po pewnym, charakterystycznym dla danego układu czasie, ustala się równowaga, w której szybkość adsorpcji zrównuje się z szybkością desorpcji. Na granicy fazowej powstaje jednocząsteczkowa warstwa adsorpcyjna. Po zapełnieniu wszystkich miejsc aktywnych przez zaadsorbowane cząsteczki następuje nasycenie obszaru międzyfazowego i z dalszym wzrostem stężenia adsorbatu adsorpcja nie zwiększa się. Ciepło adsorpcji jest identyczne na całej powierzchni adsorbatu.

W poniższej tabeli podano charakterystykę modelu Langmuira [7].

Charakterystyka modelu Langmuira [7]

Tabela 1

Izoterma	Langmuira	
Założenia	Adsorpcja monowarstwowa na powierzchni jednorodnej	
Równanie	$Q = \frac{q_{\max} b \cdot c_k}{(1 + b \cdot c_k)}$	(3)
Liniowa postać	$\frac{1}{Q} = \frac{1}{q_{\max} b} \cdot \left(\frac{1}{c_k} + b \right)$	(4)
gdzie:	Q – ilość jonów metalu zaadsorbowanych na jednostkę masy jonitu [mg/g], c_k – końcowe stężenie jonów metalu w roztworze [mg/dm^3]; q_{max} i b – stałe Langmuira	

5. Przykłady zastosowań jonitów w technologii wody

Najbardziej powszechnym zastosowaniem jonitów jest zmiękczanie i demineralizacja wody na potrzeby przemysłu papierniczo-celulozowego, energetycznego, farmaceutycznego czy do produkcji elementów elektronicznych. W przypadku elektroniki, jonity stosuje się do otrzymywania ultra czystej wody o niskiej oporności właściwej. Woda ta, w procesie technologicznym, stosowana jest do mycia półprzewodników wykorzystywanych do budowy komputerów osobistych czy najnowszych urządzeń AGD [14].

Woda demineralizowana o niskiej przewodności (poniżej 10 μS) używana jest także w badaniach laboratoryjnych, gdzie obecność „obcych" jonów jest niepożądana, gdyż mogłaby niekorzystnie wpłynąć na wyniki badań.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wymiana jonowa jest również stosowana w energetyce, jako metoda zmiękczania wody. Wskutek niewłaściwego przygotowania wody do celów energetycznych następuje wytrącanie się osadów. Wodorowęglany wapnia i magnezu obecne w wodach, w wyniku termicznego rozkładu ulegają wytrąceniu i osadzają się w postaci kamienia kotłowego. Szczególnie narażone na to zjawisko są elementy grzewcze. Ich sprawność spada w wyniku osadzenia się warstwy osadu i przepływ energii zostaje ograniczony. Elementy grzewcze urządzeń AGD typu: czajniki, warniki używane w gastronomii czy ekspresy do kawy są narażone na powstawanie osadu w takim samym stopniu jak elementy grzewcze w instalacjach przemysłowych. Kamień kotłowy jest również istotnym problemem w przemyśle ciepłowniczym z powodu osadzania się w rurach i zmniejszania ich drożności. Jak wykazał zespół [31] istnieje możliwość uzdatniania wody do celów ciepłowniczych i kotłowniczych za pomocą wymiany jonowej. Autorzy w swojej pracy zaproponowali własny projekt instalacji, pozwalający na wielokrotne użycie roztworu NaCl do regeneracji wymieniaczy jonowych. Proces wymiany jonowej prowadzony był przy użyciu kationitów w formie sodowej [31].

Wymiana jonowa znajduje także zastosowanie w usuwaniu substancji humusowych odpowiedzialnych za barwę wody. Wspomagana procesami np. koagulacji, może być skuteczną metodą usuwania zabarwienia z wód. Badania zespołu [24] wykazały, że za pomocą wymiany jonowej można usuwać cząsteczki o ciężarach do 10 kDa. Metodą koagulacji można zaś usunąć cząsteczki o ciężarze powyżej 2 kDa. Na podstawie badań chromatograficznych stwierdzono, że w wodzie zawierającej substancje humusowe oraz koloidalne formy żelaza i manganu, znajdują się substancje o masie cząsteczkowej w zakresie od 0 do 100 kDa. Autorzy dowiedli, że metoda koagulacji w połączeniu z wymianą jonową dała efekt usunięcia zanieczyszczeń z badanej wody [24].

W badaniach przedstawionych w artykule [23] Autorzy na podstawie testów wykazali, że domieszki organiczne występujące w wodzie w postaci ujemnie zjonizowanych form mogą być skutecznie usuwane z wykorzystaniem technologii Magnetic Ion Exhange Dissolved Organic Carbon (MIEX® DOC). Test kinetyczny potwierdził, że substancje organiczne mogą być eliminowane ze skutecznością do 92%. Dawka jonitu wynosiła co najmniej 10 cm^3/dm^3, a czas kontaktu ok. 20 min. Proces wymiany jonowej wspomagany koagulacją spowodował spadek wartości parametrów m. in. takich jak: Rozpuszczony Węgiel Organiczny (RWO), barwa, utlenialność, mętność, poniżej wartości dopuszczalnej w wodach uzdatnionych. Połączenie procesów wymiany jonowej i koagulacji znacznie zmniejszyło dawkę koagulanta i w zależności od przepływu wyniosła ona od 27 g/m^3 przy 2000 BV (Bed Volume) do 12 g/m^3 przy 1000 BV. Początkowa dawka wynosiła 80 g/m^3 dla wody surowej [23].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Mniejsza dawka koagulanta oznacza obniżenie kosztów procesu koagulacji w skali przemysłowej. Jednocześnie obserwowano znaczną poprawę parametrów oczyszczanej wody. Należy zaznaczyć, iż w eksperymencie najpierw przeprowadzano wymianę jonową, a następnie proces koagulacji. Autorzy stwierdzili, że usuwanie RWO zachodziło w procesie wymiany jonowej, a redukcja tego parametru wynosiła ok. 89-97%. Zaletą procesu wymiany jonowej w tym przypadku była jej selektywność w usuwaniu ujemnie naładowanych jonów substancji organicznych powodujących zabarwienie wody. Koagulacja wg Autorów pracy [23], odpowiada w tym procesie za eliminację mętności wody.

Żywice MIEX® były badane także przez zespół [34] pod kątem usuwania rozpuszczonych substancji organicznych. Do badań użyto wody infiltracyjnej, pobieranej przez Zakład Wodociągu Praskiego spod dna rzeki Wisły. Głównym celem badań była analiza możliwości włączenia procesu MIEX® DOC do ciągu technologicznego Zakładu Uzdatniania Wody. W skład schematu technologicznego wchodziły następujące operacje: aeracja, filtracja pospieszna oraz dezynfekcja. Woda infiltracyjna charakteryzowała się niskim poziomem zanieczyszczeń związkami organicznymi. Proces MIEX® DOC postanowiono włączyć przed operacją filtracji, z uwagi na to, że wykazywała ona niewielką skuteczność co do poprawy jakości wody. Wskutek włączenia żywic jonowymiennych do ciągu technologicznego zakładu, zwiększono skuteczność usunięcia zanieczyszczeń organicznych o niskich stężeniach. W wyniku tych działań uzyskano obniżenie poziomu barwy w stosunku do wartości początkowej o 65%, utlenialności o 53,7 %, absorbancji UV o 63,6% oraz RWO o 45,3%. Zmniejszyło się także zapotrzebowanie na odczynniki potrzebne do efektywnej dezynfekcji wody, a mianowicie o 31% na chlor oraz o 52,3% na ditlenek chloru. Dodatkowo po przeprowadzeniu filtracji na filtrze ze złożem piaskowym, obniżył się także poziom parametrów badanej wody o 3-8%. Oznacza to, iż proces wymiany jonowej w tym przypadku korzystnie wpłynął także na skuteczność filtracji.

Na podstawie doświadczeń regeneracji żywicy MIEX® wyznaczono zależność, według której na każdy 1 m^3 uzdatnionej wody na wymieniaczu jonowym przypadało 0,143 m^3 roztworu poregeneracyjnego. Żywice te regenerowane były za pomocą roztworu NaCl i dlatego roztwór poregeneracyjny odznaczał się wysokim stężeniem chlorków (44,5 g Cl^-/dm^3) i związków organicznych (11,2 g C/dm^3) oraz brunatną barwą. Autorzy stwierdzili, iż proces wymiany jonowej umożliwia efektywne usunięcie związków organicznych z wody oraz, że proces ten może z powodzeniem zastąpić ozonowanie w układzie ozon – granulowany węgiel aktywny [34].

Jonity posiadające właściwości magnetyczne mogą być także używane do oczyszczania wód i ścieków z jonów metali ciężkich. Zadania takiego podjął się

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

zespół [19], który badał możliwość zastosowania wymieniaczy jonowych Lewatit® FO36 oraz Purolite ArsenX^{np} do usuwania jonów As(V) i Cr(VI) z wód i ze ścieków. Jonity te są modyfikowanymi polimerami o właściwościach magnetycznych, zawierającymi w swojej strukturze tlenek żelaza. Badania prowadzone były metodą dynamiczną na wytrząsarce. Do eksperymentu użyto 1 g jonitu oraz 100 cm^3 roztworu powstałego ze zmieszania soli Na_2HAsO_4 oraz $K_2Cr_2O_7$. Zarówno Lewatit® FO36, jak i Purolite ArsenX^{np} wykazały się wysoką skutecznością usuwania wcześniej wymienionych jonów. Pojemność sorpcyjna zależała w tym przypadku przede wszystkim od czasu kontaktu faz, stężenia początkowego oraz w niewielkim stopniu od pH roztworu. Wyznaczona pojemność sorpcyjna dla jonitu Lewatit® FO36 przy stężeniu wyjściowym każdego z jonów metali 3x10^{-3}M i przy pH 9,5 wyniosła ok. 35 mg/g dla jonów As(V) oraz ok. 25 mg/g dla jonów Cr(VI). Natomiast przy pH 4,5 wartości te były o około 1-2 mg na gram jonitu niższe. Jonit Purolite ArsenX^{np} wykazywał niższe wartości pojemności sorpcyjnej (25 mg/g) wobec jonów arsenu o takim samym stężeniu. Stan równowagi dla obu wymieniaczy ustalił się po 10 minutach kontaktu faz. Autorzy stwierdzili jednakową przydatność obu jonitów do usuwania jonów Cr(VI) z roztworów wodnych. Zaobserwowali jednak przewagę jonitu Lewatit® FO36 nad Purolitem ArsenX^{np} dla jonów As(V) .

Ten sam Zespół [18] badając przydatność jonitów chelatujących do usuwania jonów chromu i arsenu otrzymał wysoką pojemność sorpcyjną wymieniacza Lewatit® MK 51 sięgającą powyżej 40 mg na gram jonitu (stężenie początkowe 5x10^{-3} mol/dm^3) w stosunku do jonów arsenu(V) przy pH = 9,5. Dla jonów chromu(VI) pojemność wymienna była podobna jak w przypadku wcześniej wymienionych jonitów modyfikowanych tlenkami metali. W przypadku jonów As(V) równowaga faz ustalała się po nieco dłuższym czasie wynoszącym 20 minut. W przypadku jonów Cr(VI) stan równowagi osiągano już po 10 minutach. Odczyn roztworów, w których umieszczano jonit nie wpływał istotnie na przebieg procesu sorpcji. Autorzy stwierdzili wysoką przydatność jonitu Lewatit® MK 51 do usuwania jonów As(V) oraz Cr(VI) z wód oraz znaczny wpływ czasu kontaktu na efektywność procesu sorpcji [18].

Izraelski zespół E. Korngold, S. Belfer, C. Urtizberea [16] badał możliwość usuwania metali ciężkich, takich jak: miedź, nikiel, kobalt, mangan, kadm, oraz ołów z wody wodociągowej, zawierającej wysokie stężenia wapnia i magnezu. Badania prowadzone były w kolumnie o średnicy 18 mm wypełnionej do 100 cm^3 jonitem Lewatit TP-207 z grupami iminodiacetowymi. Jonit był uprzednio przygotowywany poprzez przeprowadzenie do formy magnezowej i wapniowej. Doświadczenie prowadzono z prędkością 40 objętości złoża na godzinę, a pH badanego roztworu wahało się od 7,3 do 7,6. Stężenia metali ciężkich w badanej wodzie mieściły się w przedziale od

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

0,78 ppm dla ołowiu do 3,55 ppm dla miedzi. Dla wszystkich metali, do badania zależności wydajności wymiany jonowej od stężenia wyjściowego użyto roztworów o stężeniach mieszczących się w przedziale 0,5 ppm do 14 ppm. Natomiast do badania zależności wydajności wymiany jonowej od szybkości przepływu użyto roztworów o stężeniach 0,8-1,2 ppm. Podczas doświadczeń Autorzy [16] mierzyli pH wypływającego eluatu oraz stężenie metali ciężkich. Oznaczenia wykonywano za pomocą metody ICP (Inductively Coupled Plasma). Badania wykazały wysoką skuteczność usuwania metali ciężkich na drodze wymiany jonowej dla wszystkich metali ciężkich z wyjątkiem miedzi. Autorzy tłumaczyli ten fakt obecnością miedzi w formie kompleksów octanu. Przy badaniu zależności wydajności wymiany jonowej od prędkości przepływu uzyskano 99% wydajność procesu. W przypadku wszystkich doświadczeń, zawartość ołowiu w eluacie nie przekroczyła 0,017 ppm. Stężenia pozostałych metali, nie licząc miedzi, także utrzymywały się na podobnym lub niższym poziomie. Dla miedzi najwyższe otrzymane stężenia w eluacie nie przekraczały 0,05 ppm. Jonit Lewatit TP-207 badany przez Zespół z Izraela [16] regenerowany był przy użyciu 3M roztworów HCl oraz HNO_3. Stężenie metali oznaczano metodą rentgenograficzną przed i po procesie regeneracji. Wyniki analizy wykazały, iż za pomocą wybranych kwasów można skutecznie usunąć większość metali ciężkich. Na podstawie badań, Autorzy udowodnili, że Lewatit TP-207 skutecznie usuwa jony metali ciężkich i obniża ich stężenie w eluacie do poziomu, jakiego wymaga norma dla wody pitnej. Powinien być jednak spełniony warunek, że na złoże jonitu w kierowanej wodzie stężenie metali ciężkich nie przekracza 6 ppm [16].

Zespół Kaleta, Papciak [11] badał przydatność anionitów Purolite A 520 E, Amberlite IRA 458 Cl oraz Imac HP 555 do usuwania azotanów z wód wgłębnych, wykonane badania potwierdziły wysoką przydatność badanych wymieniaczy. Stężenie azotanów w wodzie obniżono do wartości poniżej dopuszczalnych norm dla wody przeznaczonej do spożycia (50 mg/dm^3) [11, 27].

6. Przykłady zastosowań jonitów w technologii oczyszczania ścieków

Wymieniacze jonowe w technologii ścieków umożliwiają odzysk metali cennych, rzadkich lub składników toksycznych, które muszą być usunięte ze ścieków przed odprowadzeniem ich do odbiornika. Stosowane są także do oczyszczania wody z substancji organicznych, jak i mineralnych, a w szczególnych przypadkach także, do oczyszczania ścieków z przemysłu jądrowego [15]. W galwanotechnice, jonity używane są do usuwania metali ze zużytych kąpieli galwanicznych oraz z płuczek galwanicznych. Jonity w większości przypadków mogą być zregenerowane a roztwory po ich regeneracji, są na tyle zatężone, że można je skierować do odzysku pierwiastków w formie meta-

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

licznej lub użyć ponownie w procesach technologicznych. Taka praktyka umożliwia zamykanie obiegów technologicznych w zakładach przemysłowych [9].

Egipski zespół [1] badał zachowanie wymieniacza jonowego Purolite C100 wobec jonów Ce^{4+}, Fe^{3+}, Pb^{2+}. Jonit ten był stosowany do oczyszczania ścieków technologicznych powstających w procesie przygotowania powierzchni metali do cynkowania. Sorpcję wykonywano metodą statyczną poprzez umieszczenie porcji jonitu (1g) wraz z 40 cm^3 roztworu w szklanej kolbie na 24 godziny. Doświadczenia prowadzono przy temperaturze 298K (25° C) i przy pH własnym, jakie dają otrzymane roztwory o stężeniach od 2,65 mg/dm^3 do 265 mg/dm^3. Wydajność adsorpcji oraz współczynnik podziału wyznaczono na podstawie pomiarów stężenia jonów metali za pomocą spektrofotometrii absorpcji atomowej. Ponadto, otrzymane wyniki zinterpretowano za pomocą równań Freundlicha, Langmuira oraz Dubinin-Kaganer-Radushkevich (DKR) W zależności od stężenia początkowego badanych jonów uzyskano wydajność adsorpcji na poziomie od 60% do ok. 90%. Najwyższe uzyskane wartości wydajności sorpcji dla ceru, żelaza i ołowiu wyniosły odpowiednio 86,42%; 80,38% oraz 75,47%. Zróżnicowanie stopnia adsorpcji dla poszczególnych pierwiastków, Autorzy tłumaczyli różnicami ładunku ich form jonowych oraz wielkościami promieni jonowych. Najwyższy współczynnik rozdziału uzyskano dla ceru, a najniższy dla ołowiu (odpowiednio 254,55 oraz 123,07 dla stężenia 2,65 mg/dm^3), który malał wraz ze wzrostem stężenia początkowego roztworów. Na podstawie krzywej izotermy Langmuira Autorzy wyznaczyli pojemność sorpcyjną dla jonitu C100 mieszczącą się w przedziale od 13,95 dla ceru do 9,64 dla ołowiu. Na podstawie izotermy Freundlicha stwierdzono jedynie niewielki spadek pojemności sorpcyjnej dla niskich stężeń. Dla wszystkich wyznaczonych przez zespół [1] krzywych, współczynnik korelacji wyniósł powyżej 0,95. Na podstawie wyników badań tej pracy można stwierdzić przydatność jonitu C100 do usuwania jonów metali ciężkich zarówno z wód, jak i ze ścieków [1].

Metodę statyczną wykorzystały także w swoich badaniach Autorki pracy [10]. Zastosowały one jonit żelowy Amberlite IR 120 oraz mikroporowaty jonit Dowex Marathon MSC. Ich naważki w ilości 0,1 g w stanie powietrzno suchym używano do usuwania jonów cynku z kąpieli do cynkowania o zakresie stężeń 1-100 mval/dm^3. Siła jonowa przygotowanych roztworów utrzymywana była na poziomie 100 mval/dm^3 w roztworze. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, iż wymiana jonowa H^+/Zn^{2+} przebiegała niestechiometrycznie. Obecność w roztworze takich związków, jak: NH_4Cl, $Al_2(SO_4)_3$ oraz H_3BO_3 istotnie obniżyła współczynnik podziału jonów Zn^{2+}. Przykładowo wpływ obecności jonów amonowych, Autorki tłumaczyły tworzeniem się amoniakalnych związków kompleksowych, które ze względu na swoją wielkość, mogły utrudniać wnikanie jonów cynku w strukturę jonitu. Z kolei jony Al^{3+} ze względu na swój ładunek oraz mniejszy promień jonowy, były

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wymieniane przed jonami cynku, co także negatywnie wpływało na współczynnik podziału jonów Zn^{2+}. Podobną zależność uzyskano dla kwasu borowego, a także dla mieszaniny trzech wcześniej wymienionych związków, obecnych w roztworach przemysłowych z galwanizerni. W etapie końcowym dla jonitu Amberlite i sumarycznego stężenia kwasu borowego, chlorku amonu oraz siarczanu(VI) glinu wynoszącego 0,213 val/dm^3 uzyskano obniżenie współczynnika podziału jonów Zn^{2+} do wartości poniżej 1100. Dla roztworu nie zawierającego tych substancji wartość ta wynosiła powyżej 1250. W przypadku jonitu Dowex Marathon MSC, współczynnik podziału uległ obniżeniu od ok. 4000 do wartości około 1000 dla sumarycznego stężenia substancji rzędu 0,261 val/dm^3. Wraz ze wzrostem zawartości jonów wodorowych w roztworach od 0,5 val/dm^3 do 1 val/dm^3, dla jonitu Amberlite zaobserwowano pogorszenie skuteczności wymiany jonowej Zn^{2+}/H^+. Powyżej wartości ww. stężeń nie występowały zmiany w przebiegu procesu usuwania. Ze względu na powstawanie związków kompleksowych, blokujących pory wymieniaczy jonowych, jonit makroporowaty Dowex Marathon MSC okazał się najbardziej wydajny w procesie usuwania jonów cynku. Wymaga on jednak zastosowania do regeneracji bardziej stężonych odczynników rzędu 1 val/dm^3 [10].

Z kolei zespół [35] wykonał badania polegające na usuwaniu jonów kadmu i telluru z roztworów wodnych na wymieniaczu jonowym - oznaczonym symbolem „A". W pracy tej wykazano, iż istnieje możliwość skutecznego rozdziału jonów badanych pierwiastków. Doświadczenia wykonywano metodą dynamiczną na wytrząsarce. Do badań zastosowano roztwory z produkcji i recyklingu ogniw fotowoltaicznych. Podczas eksperymentu różnicowano stężenie H_2SO_4 (od 0,5 do 5M) oraz masę jonitu (2, 5 oraz 10 g). Największy procentowy stopień usuwania jonów Cd^{2+} oraz Te^{4+}, wynoszący odpowiednio 91% oraz 21%, uzyskano dla największej masy jonitu i jednocześnie dla najniższego stężenia kwasu siarkowego(VI) równego 0,5 mol/dm^3. Po zwiększeniu koncentracji kwasu siarkowego(VI) do 2 mol/dm^3 odnotowano całkowity brak wymiany jonowej wobec jonów telluru, niezależnie od ilości jonitu. Przy tym samym stężeniu H_2SO_4 zastosowany wymieniacz jonowy „A" w ilości 10 gramów był w stanie usunąć z roztworu do 40% kadmu. Oznacza to, że poprzez regulację pH istnieje możliwość zwiększenia selektywnego rozdzielenia jonów kadmu od jonów Te^{4+}. Autorzy wykazali także wpływ ilości użytego wymieniacza na stopień usuwania jonów, zaznaczając, iż zależność ta nie ma przebiegu liniowego. Dla otrzymanych wyników wykreślono izotermy Freundlicha. Stwierdzono, iż model ten dobrze opisuje sorpcję jonów kadmu na jonicie „A". Na podstawie badań kinetyki wyznaczono, że czas po którym ustala się równowaga sorpcji wynosi 120 minut [35].

Na uwagę zasługują również badania D. Kołdyńskiej [15], w których sprawdzano możliwość usuwania jonów miedzi za pomocą jonitów Chelix P, Dowex M-1495 oraz Diphonix. W doświadczeniach wykorzystano czynnik

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

kompleksujący Firmy Baypure. Była to sól sodowa kwasu N-(1,2-dikarboksyetyleno)-D,L-asparginowego oznaczona skrótem IDS (kwas iminodibursztynowy). Badania wykonano metodą statyczną na wytrząsarce przy stałej ilości jonitu wynoszącej 0,5 g. Dla wszystkich badanych jonitów, stan równowagi procesu sorpcji jonów Cu^{2+} oraz kompleksów Cu-IDS ustalił się po 30 minutach kontaktu z roztworem. Na podstawie równania Langmuira wyznaczono maksymalne pojemności sorpcyjne badanych jonitów. Ich wartości wyniosły odpowiednio 37,04 mg/g dla jonitu Chelit P; 40,81 mg/g dla jonitu Dowex M-4195 oraz 24,82 dla jonitu Diphonix. W przypadku wszystkich wymieniaczy, stwierdzono brak istotnego wpływu temperatury na badany proces. Wykazano również, że pH nie wpływa na efektywność wymiany jonowej dla jonitów Chelit P oraz Diphonix. W przypadku jonitu Dowex M-4195 najwyższą pojemność sorpcyjną odnotowano dla pH = 2,5, co jest zgodne z danymi Producenta. Autorka stwierdziła także przydatność wszystkich przebadanych wymieniaczy do usuwania jonów Cu^{2+} w obecności IDS jako czynnika kompleksującego. Najefektywniejszym jonitem w eliminacji skompleksowanych jonów Cu(II) okazał się jonit Dowex M-4195 [15].

Badania sorpcji jonów metali toksycznych z roztworów wodnych na jonitach były wykonane także przez autorów tej pracy. Określono w nich efektywność usuwania jonów ołowiu za pomocą kationitu Purolite C160 [4, 12].

W tym celu wykonano badania na roztworach wodnych o stężeniach jonów Pb^{2+} mieszczących się w przedziale od 6 do 110 mg/dm^3. W doświadczeniach wykorzystano naważki silnie kwaśnego kationitu Purolite C 160 w ilości 0,5 g, które umieszczano w kolbach stożkowych wraz z 100 cm^3 roztworu. Kolby te wytrząsano z prędkościami obrotowymi równymi 150 obr/min oraz 250 obr/min. Dla obu prędkości otrzymano zbliżone wyniki współczynnika wydzielenia ołowiu, co wskazywało na niewielki wpływ prędkości wytrząsania na proces wymiany jonowej. Stężenia końcowe roztworów w większości spełniały wytyczne zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (poniżej 0,5 mg Pb/dm^3) [28]. Dla niższej prędkości obrotowej końcowe stężenia ołowiu w roztworach były nieznacznie przekroczone dla C_0 = 93,8 mg Pb/dm^3 oraz C_0 = 109,4 mg Pb/dm^3 [4, 12].

Na podstawie analizy danych literaturowych można stwierdzić, iż w przemyśle najczęściej proces wymiany jonowej przeprowadzany jest metodą kolumnową. Przemawia za nią prostota, ciągłość procesu, wysoka wydajność oraz możliwość zastosowania wymiennych modułów.

Eksperymenty, przy użyciu kolumny prowadziły zespoły [20] oraz [35].

Zespół E. Maranona badał możliwość regeneracji kąpieli przygotowującej stal do cynkowania. Kąpiel ta zawierała 5-15% HCl oraz jony Fe^{2+} i Fe^{3+}. Wymiana jonowa w tym przypadku miała być metodą regeneracji tego roztworu. Sprowadzała się do usuwania z niego jonów żelaza tak, aby proces

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

polerowania elektrolitycznego mógł być ponownie wykonany. Eksperyment prowadzony był w kolumnie szklanej wypełnionej 100 cm^3 złoża, przez które przepływał roztwór o zróżnicowanych stężeniach jonów żelaza od 0,5 g/dm^3 do 5 g/dm^3. Użyto kationitów, anionitów oraz wymieniaczy kompleksujących, a badanie prowadzono aż do uzyskania punktu przebicia. Pomiarów koncentracji jonów żelaza dokonywano metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej. Stwierdzono, iż jony Fe^{2+} są obecne w roztworze nawet przy wysokich stężeniach kwasów. Natomiast jony Fe^{3+} występują przy stężeniu kwasu solnego powyżej 1 mol/dm^3 jako jony $FeCl_4^-$. Na podstawie badań, wykazano wzrost pojemności sorpcyjnej jonitów wraz ze wzrostem stężenia początkowego jonów żelaza w oczyszczanym roztworze. Było to szczególnie widoczne dla silnie kwaśnych kationitów, których pojemność sorpcyjna wzrosła dwukrotnie przy zwiększeniu jego stężenia z 3 mg/dm^3 do 5 mg/dm^3. Także regeneracja silnie kwaśnych kationitów prowadzona przy różnych stężeniach roztworu regeneracyjnego (HCl) dawała lepsze efekty. Autorzy w wyniku regeneracji odzyskali od 70 do 90 % zaabsorbowanego metalu. Ze względu na tak korzystne wyniki, nie wykonywano dalszych badań dla słabo kwaśnych kationitów. Natomiast kontynuowano je dla silnie kwaśnych kationitów oraz anionitów. Wymianę jonową, jak i regenerację prowadzono przeciwprądowo. Taki sposób dawał znacznie lepsze rezultaty niż przepływ współprądowy. Przeprowadzono sześć cykli wymiany jonowo-regeneracyjnej w celu zbadania spadku pojemności sorpcyjnej jonitów. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono nieznaczne różnice w skuteczności sorpcji oraz regeneracji kationitów pomiędzy poszczególnymi cyklami. Największy spadek (ok. 20%) pojemności sorpcyjnej osiągnięto dla wymieniacza Amberlite 200. Większą pojemność sorpcyjną kationitów wobec wyższych stężeń jonów żelaza, autorzy tłumaczyli spadkiem stężenia jonów wodorowych wraz ze wzrostem udziału jonów żelaza. Dla anionitów stwierdzono znacznie wyższe pojemności sorpcyjne sięgające do ok. 5 mg na dm^3 jonitu (przy maksymalnej wartości ok. 2,5 g na dm^3 jonitu dla Amberlite 200). W roztworach o niższej koncentracji kwasu solnego zaobserwowano znaczny wzrost pojemności sorpcyjnej dla jonitów Amberlite 252-C oraz Amberlite IR-120. Zjawisko to autorzy wyjaśniają tezą zakładającą zmniejszenie konkurencji pomiędzy jonami H^+ oraz Fe^{2+} w roztworach o wyższym stężeniu jonów żelaza lub o obniżonym stężeniu HCl [20].

Badania zespołu [35] wykonano dla jonów ceru i telluru również metodą kolumnową. W tym celu wykorzystano jonit „A", który wcześniej użyto do doświadczeń prowadzonych na wytrząsarce oraz jonit „B", który zastosowano tylko w tej metodzie. Dla przepływów w zakresie od 300-750 cm^3/h oraz stężeń jonów kadmu i telluru wynoszących ok. 1000 ppm i ok. 1150 ppm uzyskano ponad 99,9% stopień usunięcia jonów Cd^{2+} z roztworów. Jony telluru były usuwane mniej efektywnie i powodowały niemal natychmiastowe przebicie

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

złoża. Pomimo szybkiego uzyskania punktu przebicia oraz wysycenia jonitu wobec jonów telluru, sorpcja jonów kadmu zachodziła jeszcze przy dwu- lub trzykrotnej objętości, po której jony telluru nie były już sorbowane. Zaobserwowano także, iż stężenie kadmu na wypływie z kolumny do momentu przebicia wynosiło poniżej 10 ppm. Dodatkowo, użycie dwóch kolumn połączonych szeregowo w doświadczeniu, umożliwiło zwiększenie przepływu oraz spadek stężenia jonów kadmu w wypływie z kolumny do wartości poniżej 1,5 ppb. W przeciwieństwie do telluru, dla kadmu nie osiągnięto punktu przebicia. Autorzy stwierdzili, iż badane wymieniacze nadają się do separacji jonów Cd^{2+} od jonów Te^{4+} z kwaśnych roztworów. W celu dalszego odzysku telluru wymagana była recyrkulacja roztworu [35].

7. Podsumowanie

Przytoczone wyniki badań potwierdzają wysoką przydatność jonitów w procesach oczyszczania wód i ścieków. Wymiana jonowa w wielu przypadkach stanowi istotny etap ciągu technologicznego stacji uzdatniania wód i oczyszczania ścieków przemysłowych. Często użycie wymieniaczy jonowych jest na tyle skuteczne, iż pozwala na obniżenie poziomu zanieczyszczeń do wartości wymaganych przez polskie i unijne prawo. W wielu przypadkach wymiana jonowa wspomaga również inne metody oczyszczania wód i ścieków przemysłowych. Ze względu na toksyczność metali i to, że niektóre z nich są pierwiastkami rzadko występującymi w przyrodzie, najwięcej publikowanych prac dotyczy eliminacji tych substancji. Istotną zaletą metody wymiany jonowej są niskie opory przepływu i związana z tym znaczna szybkość procesu oraz niska energochłonność. Substancje zasorbowane na wymieniaczach jonowych w większości przypadków można efektywnie odzyskiwać w postaci zatężonych roztworów. Dzięki temu minimalizuje się ilość zanieczyszczonych wód, a skoncentrowane zanieczyszczenia w roztworach poregeneracyjnych można usuwać (lub odzyskiwać) metodami, które są mało skuteczne w odniesieniu do niskich stężeń.

Literatura

1. Atkins P. W.: Chemia fizyczna, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2007.
2. Abo-Farha S.A. i in.: Removal of some heavy metal cations by synthetic resin purolite C100. Journal of Hazardous Materials, vol. 169, 2009, s. 190-194.
3. Bodzek M., Konieczny K.: Usuwanie zanieczyszczeń nieorganicznych ze środowiska wodnego metodami membranowymi. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2011.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

4. Bożęcka A., Bożęcki P., Kasprzyk P., Sanak-Rydlewska S.: Usuwanie jonów ołowiu(II) z modelowych roztworów wodnych metodą wymiany jonowej. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 52/ 3, 152–154, 2013.
5. Franus M.: Zastosowanie glaukonitu do usuwania śladowych ilości metali ciężkich. Politechnika Lubelska, Lublin, 2010, (praca doktorska, nie publikowana).
6. Gala A., Hołda A., Kisielowska E., Młynarczykowska A., Sanak-Rydlewska S.: Technologia wody i ścieków. Ćwiczenia laboratoryjne. Część II. Kraków, Wydawnictwa AGH, 2011.
7. Gala A., Sanak-Rydlewska S.: A comparison of Pb^{2+} sorption from aqueous solutions on walnut shells and plum stones. Polish Journal of Environmental Studies, 2011, 20, 4, s. 977-883.
8. Granops M., Kaleta J.: Technologia wody. Laboratorium. Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2004.
9. Hubicki Z.: Badania nad odzyskiem miedzi ze ścieków amoniakalnych na jonitach różnego typu, Rudy Metale, t. 30,1985, 338-343.
10. Jóźwiak A., Rudnicka A.: Wpływ obecności związków występujących w kąpielach do cynkowania na równowagę reakcji wymiany jonowej H^+/Zn^{2+}. Przemysł Chemiczny, t. 85/8-9, 2006, s. 1020-1023.
11. Kaleta J., Papciak D.: Technologie uzdatniania wybranych wód wgłębnych z ponadnormatywną zawartością azotanów, Gaz Woda i Technika Sanitarna, t. 5, 2005, 23-26.
12. Kasprzyk P.: Zastosowanie wybranych wymieniaczy jonowych do usuwania jonów ołowiu z roztworów wodnych, Biblioteka Wydziału Górnictwa i Geoinzynierii, (praca nie publikowana).
13. Kocaoba S., Akcin G.: Removal of chromium (III) and cadmium (II) from aqueous solutions. Desalination, vol. 180, 2005, 151-156.
14. Kociołek-Balawejder E., Surowiec A.: Zastosowanie reaktywnych polimerów w przemyśle na przykładzie produktów firmy Rohm and Haas, Przemysł Chemiczny, t. 85(7), 2006 s. 471-477.
15. Kołdyńska D.: Żywice chelatujące w procesie usuwania jonów metali ciężkich w obecności czynnika kompleksującego z wód i ścieków. Przemysł Chemiczny, t. 88/2, 2009, s. 182-189.
16. Korngold E., Belfer. S, Urtizberea C.: Removal of heavy metals from tap water by a cation Exchange, Desalination, 104, 1996,197-201.
17. Kowal A. L., Świderska-Bróż M.: Oczyszczanie wody, PWN, Warszawa – Wrocław 2000, s. 309-336.
18. Kowalczyk M., Hubicki Z.: Badanie właściwości sorpcyjnych jonitu Lewatit MK 53 w procesie usuwania metali ciężkich z wód i ścieków. [W:] Hubicki Z., Nauka i Przemysł, 2012, Lublin.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

19. Kowalczyk M., Hubicki Z.: Usuwanie jonów As(V) i Cr(VI) na jonitach modyfikowanych tlenkami metali z wód i ścieków. [W:] Hubicki Z. Nauka i Przemysł, 2012, Lublin.
20. Maranon E. i in.: Preliminary study of iron removal from hydrochloric pickling liquor by ion exhange. Industrial and Engineering Chemistry Research, vol. 38, 1999, s. 2782-2786.
21. Materiały informacyjne firmy Purolite, www.radus.pl
22. Minczewski J., Marczenko Z.:, Chemia Analityczna, PWN, 1998, Warszawa, T.1, s. 97-123; T.2, s. 107-125.
23. Mołczan M., Biłyk A.: Oczyszczanie wody barwnej w procesach wymiany jonowej i koagulacji. Gaz Woda i Technika Sanitarna, t. 1, 2007, s. 18-21.
24. Mołczan M., Biłyk A., Adamski W.: Usuwanie substancji organicznych z wody w technologii MIEX DOC. Gaz Woda i Technika Sanitarna, t. 2, 2006, s. 14-18.
25. Narębska A.: Membrany i membranowe techniki rozdziału. Tempus. Projekt JEN-04720PL, Toruń, 1997.
26. Perchuć M, Podniesieńska A.: Doczyszczanie wody w hotelach, Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2, 2010, s. 7-14.
27. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. nr 72, poz. 466, 2010.
28. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, Dz. U. nr 137, poz. 984, 2006.
29. Sanak-Rydlewska S.: Metody permeacyjne oczyszczania ścieków, Kraków, Uczelniane wydawnictwa naukowo – dydaktyczne, 2005.
30. Singh A. V., Gupta S., Gupta S. C.: Synthesis of a guaran-sulphonic acid cation-exchanger and its application in metal ion removal from underground mine water of the RajpuraDariba Mines, Udaipur, India, Desalination, 1996, 104, 235-238.
31. Szkarowski A., MorozovA.V.: Udoskonalenie technologii uzdatniania wody do celów kotłowniczych i ciepłowniczych, Gaz Woda i Technika Sanitarna, t. 6, 2005, s. 12-13.
32. Tremillon B.: Jonity w procesach rozdzielczych, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 1970.
33. Wawrzkiewicz M., Hubicki Z.: Zastosowanie anionitów słabo i silnie zasadowych w procesie usuwania indygokarminu z roztworów wodnych, Przemysł Chemiczny, 87(6), 2008, 711-714.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

34. Wąsowski J., Bystrzyński W., Pacholec B., Szerszeń P.: Zastosowanie procesu MIEX DOC do usuwania rozpuszczonych substancji organicznych z wody infiltracyjnej. Gaz Woda i Technika Sanitarna, t. 5, 2005, s. 12-13.
35. Wang W., Fthenakis V.: Kinetics study on separation of cadmium from tellurium in acidic solution media using ion-exhange resins. Journal of Hazardous Materials, vol. 125, 2005, s. 80-88.
36. Winnicki T.: Polimery czynne w inżynierii ochrony środowiska, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1978.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Czy wiesz, że...

…w I kwartale 2013 r. Kopex miał 387,6 mln zł przychodów (spadek o 11,4% w porównaniu z analogicznym okresem ubiegłego roku) i 9,7 mln zł zysku netto (spadek o 39,4%). Kierownictwo firmy zapowiedziało wycofanie się od II półrocza z rynku obrotu energią (za mała rentowność). Tegoroczne wyniki mogą być zbliżone do ubiegłorocznych, ale spółka nie podaje prognoz. Za kilka tygodni mają być gotowe dokładniejsze szacunki kosztu budowy przez Kopex kopalni węgla kamiennego pod Oświęcimiem – obecnie mówi się o 1,6 mld zł. Firma zapowiedziała też zmniejszenie zadłużenia netto na koniec bieżącego roku do ok. 0,5 mld zł, z ponad 700 mln zł na koniec 2012 r.

Rzeczpospolita 2013 22 maja s.B5

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Usuwanie jonów ołowiu z roztworów wodnych za pomocą sorbentów naturalnych i żywic jonowymiennych

Agnieszka Bożęcka, Piotr Bożęcki, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

1. Wstęp

Do usuwania metali toksycznych z wód i ścieków wykorzystuje się wiele chemicznych, fizycznych i biologicznych metod oczyszczania. Istotną rolę w tym względzie odgrywają procesy oparte na wymianie jonowej.

Wśród wymieniaczy jonowych, największą grupę, o dużym zastosowaniu praktycznym stanowią obecnie jonity syntetyczne (żywice jonowymienne). Są to ciała stałe, zbudowane z wielkocząsteczkowego szkieletu i grup funkcyjnych (grup jonogennych) wymieniających jony wchodzące w ich skład na jony znajdujące się w roztworze [15]. Ich technologiczną użyteczność określa szereg czynników, spośród których najważniejsze to: selektywność, zdolność wymienna, wielkość ziaren, gęstość nasypowa, odporność chemiczna [28].

Zastosowanie jonitów do usuwania metali toksycznych z wód i ścieków, w tym ołowiu, jest przedmiotem wielu opracowań naukowych. Zagadaniem tym zajmowali się m.in. [1, 17,18, 25, 27]. Wyniki badań tych zespołów zestawiono w tabeli 1.

Wykorzystanie sorbentów naturalnych jako wymieniaczy jonowych w procesie oczyszczania wód i ścieków należy do nowych i alternatywnych rozwiązań, które łączą efektywność z ekonomią. Rolę sorbentów naturalnych mogą pełnić różnorodne materiały organiczne. Przede wszystkim są to odpady pochodzące z przemysłu spożywczego, drzewnego i pozostałości z przemysłu rolniczego. Ważną cechą procesu sorpcji na odpadach organicznych jest możliwość ich wielokrotnego wykorzystania i odzysk metali [7, 11]. Zdolności sorpcyjne wybranych materiałów organicznych w stosunku do jonów metali toksycznych zestawiono w tabeli 2.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Porównanie zdolności jonowymiennych syntetycznych jonitów [7]

Tabela 1

Jon metalu	Wymieniacz jonowy	Charakterystyka jonitu	Dawka [g/dm^3]	Początkowe stężenie metalu [mg/dm^3]	pH	Maksymalna pojemność sorpcyjna [mg/g]	Stopień oczyszczenia [%]	Literatura
Pb^{2+}	Purolite C100	Grupy funkcyjne – sulfonowe Forma jonowa – H^+	25,0	2,7 – 265,0	b.d.	9,6	75,5 (dla stężenia 2,7 mg/dm^3)	[1]
	Amberlite IR 120		5,0	5,0 – 100	5,0	9,8	98,6 (dla stężenia 20 mg/dm^3)	[18]
Cd^{2+}	Duolite ES 467	Grupy funkcyjne – aminofosfoniowe Forma jonowa – Na^+	10,0	70,0 – 350,0	4,9	13,8	b.d.	[27]
	Amberlite IR 120		2,0	20,0	5,5	b.d.	90,8	[17]
	Amberlite IR 120	Grupy funkcyjne – sulfonowe Forma jonowa – H^+	2,0	20,0	5,5	b.d.	81,1	
Cr^{3+}	IRN77	Grupy funkcyjne – sulfonowe	3,0	100,0	3,5	35,4	100,0	[25]
	SKN1					46,3	100,0	

b.d. – brak danych

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Zdolności sorpcyjne niemodyfikowanych sorbentów organicznych w stosunku do jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} [7]

Tabela 2

Jon metalu	Sorbent naturalny	Dawka [g/dm^3]	Początkowe stężenie metalu [mg /dm^3]	pH	Maksymalna pojemność sorpcyjna [mg/g]	Literatura
Pb^{2+}	Liście fikusa pagodowego (*Ficus religiosa*)	5,0	10,0 – 1000,0	4,0	37,5	[24]
	Szypułki winogron	6,7	31,0 – 393,0	5,5	49,9	[19]
	Odpady pozostałe po przycięciu drzew oliwnych	10,0	10,0 – 220,0	5,0	26,2	[4]
	Kawałki trawy (*Cynodon dactylon*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	29,1	[16]
	Fusy z herbaty (*Thea sinensis*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	35,9	
	Skórki bananów (*Musa sp.*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	72,8	
	Trociny drzewa tekowego (*Tectona grandis*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	40,7	
	Łupiny orzechów ziemnych (*Arachis hipogea*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	69,8	
	Liście drzewa mango (*Mangifera indica*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	31,5	
	Łuski ryżu (*Oryza sativa*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	31,1	
	Łodygi ryżu (*Oryza sativa*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	49,6	
	Włókna kokosowe (*Cocos nucifera*)	1,0	5,0 – 200,0	5,0	52,0	
Cd^{2+}	Łuski ledźwiana siewnego (*Lathyrus sativus*)	1,0	10,0 – 500,0	5,0	35,0	[22]
	Szypułki winogron	6,7	31,0 – 393,0	5,5	27,9	[19]
	Kora sosny (*Pinus nigra*)	12,0	0,1 – 150,0	7,0	5,7	[2]
	Łuszczyny gorczycy	10,0	1,0 – 5,0	6,0	42,9	[20]
	Fusy z kawy	9,0 g	10,0 – 700,0	7,0	15,7	[3]
	Odpady po wyciśnięciu soku z pomarańczy	4,0	15,0 – 500,0	6,0	48,3	[23]
	Łuski z fasoli mung (*Vigna radiata*)	5,0	10,0 – 500,0	5,0	36,0	[26]
	Kora jałowca (*Juniperus monosperma*)	4,0	0,0 – 200,0	4,2	9,2	[21]
	Kora z drzewa eukaliptusa	4,0	25,0 – 300,0	5,0	14,5	[14]
	Wytłoki z winogron	0,7	0,5 – 600,0	7,0	54,0	[8]

Open Access (CC BY-NC 3,0 PL)

2. Cel badań

Celem badań było określenie i porównanie właściwości sorpcyjnych łuszczyn słonecznika, łupin orzecha włoskiego i pestek śliwek oraz syntetycznej żywicy jonowymiennej C160 w stosunku do jonów Pb^{2+}. Podjęto również próbę identyfikacji składu chemicznego powierzchni użytych materiałów w celu wyjaśnienia mechanizmu badanych procesów.

3. Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań był jonit C 160 firmy Purolite oraz sorbenty naturalne, takie jak: łuszczyny słonecznika (*Helianthus L.*), łupiny orzecha włoskiego (*Juglans regia*) i pozbawione nasion pestki śliwek (*Prunus domestica L.*).

Zasadniczym etapem przygotowania jonitu do badań było poddanie go pęcznieniu w wodzie zdemineralizowanej w czasie 24 godzin. Zastosowana syntetyczna żywica jonowymienna pracowała w cyklu sodowym.

Doświadczenia sorpcji z wykorzystaniem odpadów organicznych wykonano dla frakcji poniżej 0,5 mm. W celu przygotowania materiałów do badań, kolejno poddawano je płukaniu, suszeniu, rozdrabnianiu i przesiewaniu. W końcowym etapie materiały podlegały procesowi oczyszczania, który polegał na traktowaniu ich roztworami kwasów nieorganicznych o stężeniu 10^{-3} mol/dm^3, płukaniu wodą zdemineralizowaną do jej pH (ok. 6,0) i suszeniu [7].

Do badań wykorzystano naważki sorbentów naturalnych i jonitu o masie równej 0,5 g. Zakres badanych stężeń początkowych ołowiu(II) wynosił od 6,25 mg/dm^3 do 109,38 mg/dm^3. Metal wprowadzano do roztworów w postaci soli − $Pb(NO_3)_2$ cz.d.a. Wszystkie eksperymenty wykonane były przy ustalonej wartości siły jonowej równej 0,02 mol/dm^3, którą korygowano za pomocą roztworu KNO_3 o stężeniu 0,04 mol/dm^3; pH roztworów było równe 4,0 (±0,1). Do korekty pH użyto 0,02 M HNO_3. Przyjęte warunki doświadczeń zostały ustalone we wcześniejszych badaniach, które opublikowano w pracach [6, 7, 9, 10, 12].

Procesy sorpcji wykonano metodą z użyciem mieszadła mechanicznego. W tym celu 100 cm^3 roztworów wraz sorbentem naturalnym lub jonitem umieszczano w zlewce, termostatowanej w temperaturze 298 ± 0,5 K. Zawartość zlewek mieszano w sposób ciągły przez 60 minut stosując szybkość mieszania 120 obrotów na minutę. Próbkę do analizy pobierano po godzinie, ponieważ w tym czasie układ osiągał równowagę [7]. Przed rozpoczęciem doświadczeń roztwór termostatowano przez 15 minut.

Stężenie końcowe jonów Pb^{2+} w roztworach po procesach sorpcji oznaczono metodą kulometrii przepływowej przy użyciu aparatury EcaFlow

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

150 GLP firmy POL-EKO. Przed pomiarem próbki sączono przez bibułę filtracyjną w celu pozbycia się cząstek stałych. Dla każdej badanej próbki wykonano trzy oznaczenia, a wartości podane w tabelach są średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

Współczynnik wydzielania jonów ołowiu z roztworów, X [%], obliczono ze wzoru (1):

$$X = \frac{c_o - c_{eq}}{c_o} \cdot 100\% \tag{1}$$

gdzie:

c_o i c_{eq} – wyjściowe i równowagowe stężenie jonów Pb^{2+} w roztworze [mg/dm^3].

Pojemność sorpcyjną, Q [mg/g], określano, jako ilość jonów Pb^{2+} zawartych w suchej masie jonitu/sorbentu w zależności od stężenia w roztworze wodnym, opisanej wzorem (2):

$$Q = \frac{V(c_o - c_{eq})}{m} \tag{2}$$

w którym:

V – objętość roztworu [dm^3],

c_o, c_{eq} – wyjściowe i równowagowe stężenie jonów Pb^{2+} w roztworze [mg/dm^3],

m – ilość suchej masy sorbentu/jonitu [g].

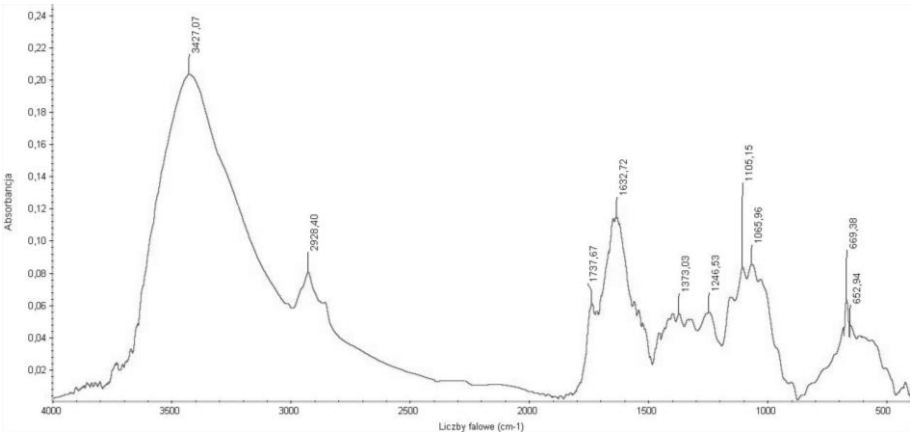
W celu identyfikacji grup funkcyjnych obecnych na powierzchni badanych sorbentów naturalnych i jonitu C 160 wykonano dla nich widma absorpcyjne w podczerwieni. Widma zarejestrowano na spektrometrze BIO–RAD FTIR–165. Zakres badanych częstości wyniósł od 4000 cm^{-1} do 400 cm^{-1} przy rozdzielczości 4 cm^{-1}. Preparaty do badań stanowiły pastylki przygotowane z mieszaniny 0,5 mg wysuszonego sorbentu/jonitu oraz 200 mg spektralnie czystego bromku potasu (KBr). Pastylki otrzymywano po sprasowaniu wyżej wymienionej mieszaniny w próżni, pod ciśnieniem 10 MPa. Widma zarejestrowano dla materiałów „surowych” [7].

3.1. Opracowanie wyników

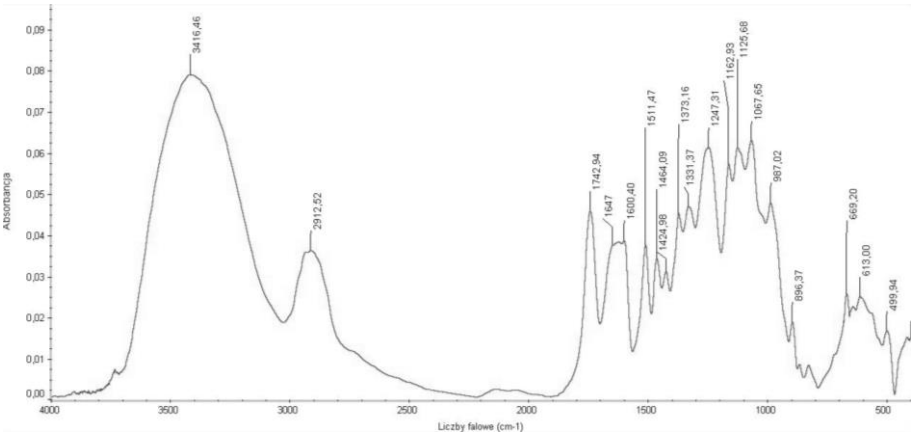
3.1.1. Określenie chemicznej struktury badanych materiałów

Zarejestrowane widma IR „surowych” próbek łuszczyn słonecznika, łupin orzecha włoskiego, pestek śliwek oraz jonitu C160 przedstawiono na rysunkach 1 - 4.

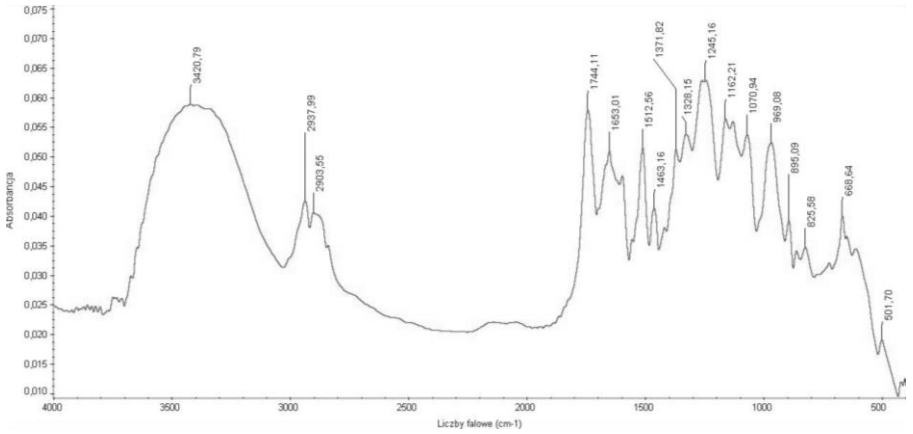
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.1. Widmo IR uzyskane dla próbki „surowych" łuszczyn słonecznika [źródło: opracowanie własne]

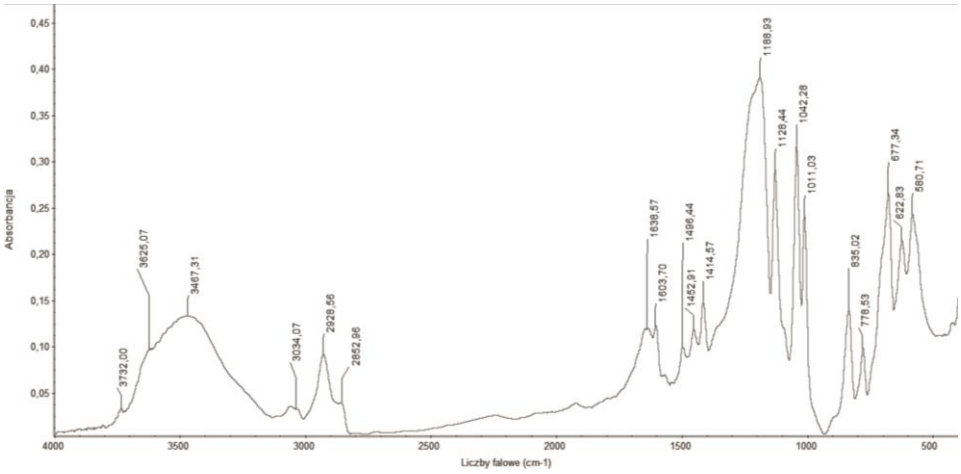


Rys.2. Widmo IR uzyskane dla próbki „surowych" łupin orzecha włoskiego [źródło: opracowanie własne]



Rys.3. Widmo IR uzyskane dla próbki „surowych" pestek śliwek [źródło: opracowanie własne]

Charakterystyczne pasma obserwowane na rysunkach 1-3 przy 3425 cm^{-1} (łuszczyny słonecznika) i 3419 cm^{-1} (łupiny orzecha włoskiego oraz pestki śliwek) prawdopodobnie są związane z obecnością na powierzchni tych sorbentów grup hydroksylowych. Grupy te mogą pochodzić od alkoholi, fenoli lub wewnątrz cząsteczkowych wiązań wodorowych węglowodanów, wchodzących w skład tych materiałów organicznych (przypuszczalnie celulozy, hemicelulozy lub ligniny). Z kolei pasma widoczne w zakresie od ok. 2930 cm^{-1} do 2840 cm^{-1}, prawdopodobnie wynikają z drgań rozciągających C-H grup alkilowych związków, które wchodzą w skład badanych materiałów. Kolejne pasma, szczególnie wyraźne w przypadku łupin orzecha włoskiego i pestek śliwek, występujące przy liczbie falowej równej ok. 1740 cm^{-1} można przypisać drganiom grup C=O związków karbonylowych (związków karboksylowych, estrów, ketonów, aldehydów itd.). Za obecnością połączeń estrowych, alkoholi i fenoli mogą przemawiać także piki obserwowane w zakresie częstości 1300 − 1000 cm^{-1}, które mogą pochodzić od drgań rozciągających grup C-O. Pasma w rejonie ok. 1650 cm^{-1} można przypisać drganiom rozciągającym C=O i drganiom zginającym N-H amidów. W tym zakresie częstości (ok. 1650 − 1580 cm^{-1}) występują również pasma zginające N-H amin. Absorpcja w zakresie liczby falowej od ok. 1600 − 1400 cm^{-1} przypuszczalnie świadczy o obecności połączeń aromatycznych. Pasma występujące między 900 a 675 cm^{-1} również mogą być pasmami aromatycznymi, będącymi wynikiem drgań zginających poza płaszczyznę wiązań C-H [6, 7].



Rys.4. Widmo IR uzyskane dla próbki jonitu C160 [źródło: opracowanie własne]

Na widmie IR otrzymanym dla jonitu C160 (rys. 4) najintensywniejsze pasma występują w zakresie liczb falowych od około 1300 cm^{-1} do 1050 cm^{-1}. Jest to obszar drgań charakterystyczny dla grup sulfonowych, co potwierdza ich obecność na powierzchni jonitu C160 [29].

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

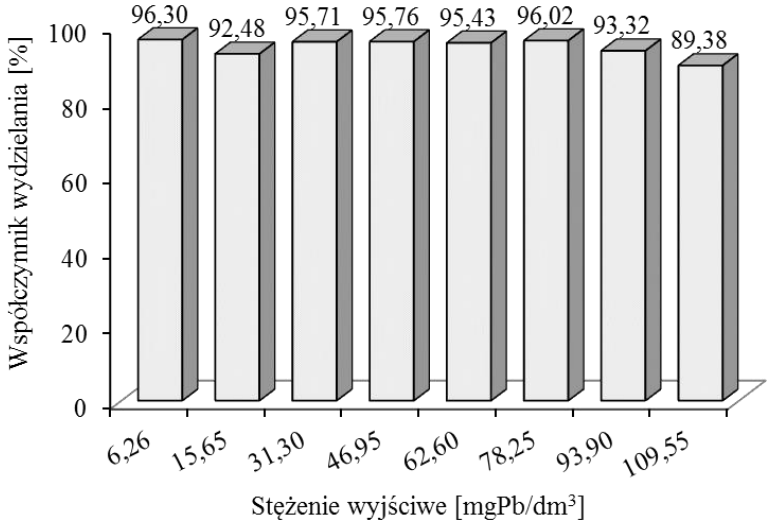
Drugie co do intensywności jest pasmo znajdujące się w zakresie liczb falowych od około 3700 cm^{-1} do 3200 cm^{-1}. Przypuszczalnie pochodzi ono od drgań grup O-H. Obecność tych grup można powiązać z występowaniem wody w strukturze badanego jonitu. Piki obserwowane odpowiednio przy 2850 cm^{-1}, 2928 cm^{-1}, 3030 cm^{-1} pochodzą od drgań rozciągających C-H grup alkilowych związków budujących szkielet jonitu.

Z analizy uzyskanych widm wynika zatem, że struktura chemiczna badanych sorbentów naturalnych jest złożona. W ich skład wchodzi wiele związków organicznych. Wśród powierzchniowych grup funkcyjnych dominują jednak grupy, takie jak: O-H, C=O, N-H. Zatem można przypuszczać, iż udział wymiany jonowej w procesie usuwania jonów Pb^{2+} na tych sorbentach jest znaczący.

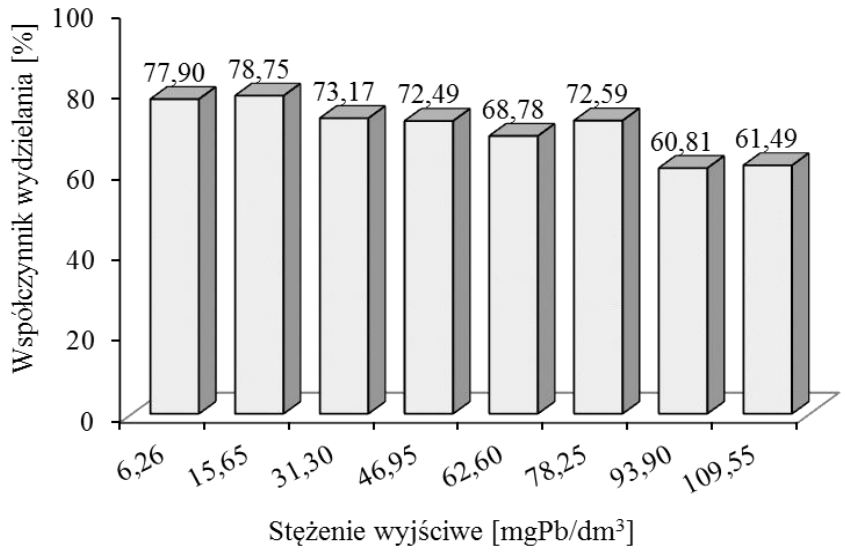
W przypadku syntetycznego jonitu C160 przeważają grupy sulfonowe. Z uwagi na obecność dwóch wiązań S=O, grupy te mają charakter silnie kwaśny, a badany jonit może wymieniać kationy.

3.1.2. Wpływ stężenia ołowiu na proces jego usuwania za pomocą sorbentów naturalnych i jonitu C160

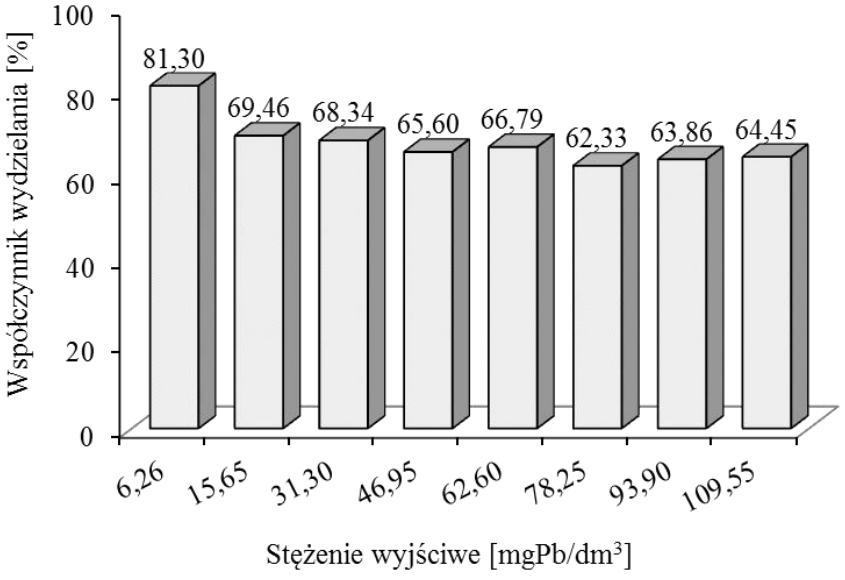
Obliczone wartości współczynnika wydzielania jonów Pb^{2+} za pomocą wybranych sorbentów naturalnych i jonitu C 160 w funkcji stężenia wyjściowego badanych roztworów przedstawiono graficznie na rysunkach 5 – 8. Wyniki zestawiono również w tabeli 3.



Rys.5. Wpływ stężenia wyjściowego roztworów na proces sorpcji jonów Pb^{2+} na łuszczynach słonecznika (masa sorbentu 0,5 g; uziarnienie < 0,5 mm; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; temp. (298±0,5) K; czas sorpcji 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/min) [źródło: opracowanie własne]

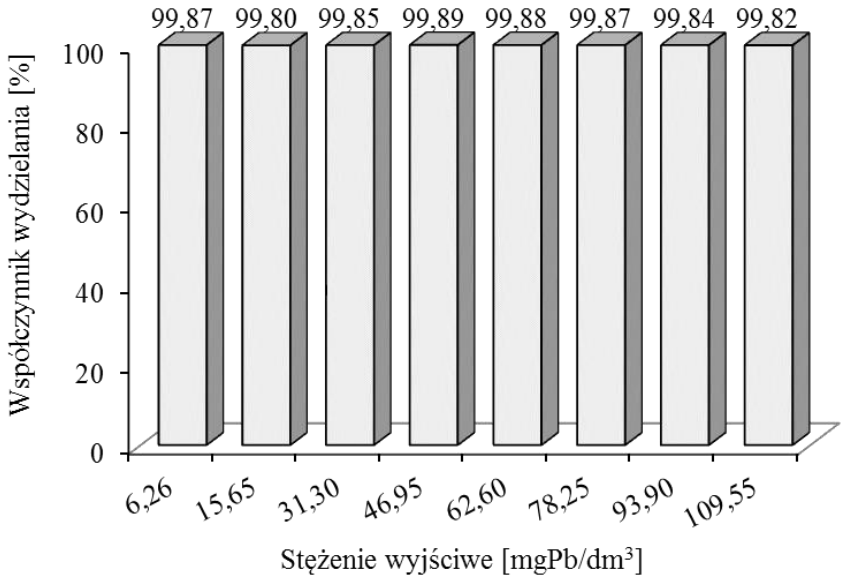


Rys.6. Wpływ stężenia wyjściowego roztworów na proces sorpcji jonów Pb^{2+} na łupinach orzecha włoskiego (masa sorbentu 0,5 g; uziarnienie < 0,5 mm; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; temp. (298±0,5) K; czas sorpcji 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/min) [źródło: opracowanie własne]



Rys.7. Wpływ stężenia wyjściowego roztworów na proces sorpcji jonów Pb^{2+} na pestkach śliwek (masa sorbentu 0,5 g; uziarnienie < 0,5 mm; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; temp. (298±0,5) K; czas sorpcji 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/min) [źródło: opracowanie własne]

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.8. Wpływ stężenia wyjściowego roztworów na proces sorpcji jonów Pb^{2+} na jonicie C 160 (masa jonitu 0,5 g; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; temp. (298±0,5) K; czas 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/min) [źródło: opracowanie własne]

Zależność współczynnika wydzielania w zależności od stężenia wyjściowego jonów Pb^{2+} w roztworze dla badanych sorbentów naturalnych i jonitu C 160 [źródło: opracowanie własne]

Tabela 3

Stężenie wyjściowe, c_o [mgPb/dm^3]	Współczynnik wydzielania [%]			
	Sorbenty naturalne			Jonit C 160
	Łuszczyny słonecznika	Łupiny orzecha włoskiego	Pestki śliwek	
6,25	96,30	77,9	81,3	99,87
15,65	92,48	78,75	69,46	99,80
31,30	95,71	73,17	68,34	99,85
46,95	95,76	72,49	65,6	99,89
62,60	95,43	68,78	66,79	99,88
78,25	96,02	72,59	62,33	99,87
93,90	93,32	60,81	63,86	99,84
109,55	89,38	61,49	64,45	99,82

masa sorbentu 0,5 g; uziarnienie poniżej 0,5 mm; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; temp. (298±0,5) K; czas sorpcji 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/min

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Uzyskane wyniki potwierdzają, że w badanym zakresie stężeń, jonit C160, łuszczyny słonecznika, łupiny orzecha włoskiego i pestki śliwek skutecznie usuwają jony Pb^{2+} z roztworów. Największe wartości współczynnika wydzielania jonów Pb^{2+} osiągnięto dla jonitu i łuszczyn słonecznika. Wyniosła ona odpowiednio 99,82 − 99,89% w przypadku zastosowanej żywicy jonowymiennej oraz 89,38 − 96,30% dla łuszczyn słonecznika. W przypadku pozostałych materiałów sorpcja jest niższa, ale również zadowalająca.

Praktycznie dla wszystkich badanych sorbentów naturalnych sorpcja okazała się najbardziej skuteczna, zwłaszcza w odniesieniu do niższych stężeń. Zaobserwowano, iż wzrost stężenia badanych jonów w roztworze wiązał się ze spadkiem wydajności sorpcji. Nieco mniejszy trend spadkowy widoczny na rysunku 5 wystąpił tylko w przypadku łuszczyn słonecznika. Dla jonitu C160, praktycznie przy wszystkich badanych stężeniach wydajność procesu jest stała.

Z porównania otrzymanych danych wynika, że łuszczyny słonecznika są materiałem konkurencyjnym dla badanej żywicy syntetycznej.

3.1.3. Interpretacja wyników sorpcji jonów Pb^{2+} w oparciu o model adsorpcji Langmuira

W kolejnym etapie badań, proces usuwania jonów Pb^{2+} za pomocą użytych sorbentów naturalnych i jonitu C160 zinterpretowano w oparciu o popularny model izotermy adsorpcji - Langmuira. Charakterystykę tego modelu podano w tabeli 4.

Wykreślone izotermy Langmuira przedstawiono na rysunku 9.

Współczynniki q_{max} i b równania Langmuira wyznaczono w oparciu o liniową postać tego równania (tabela 4). Wartości tych współczynników wraz z niepewnościami oraz wartości współczynników korelacji R zestawiono w tabeli 5.

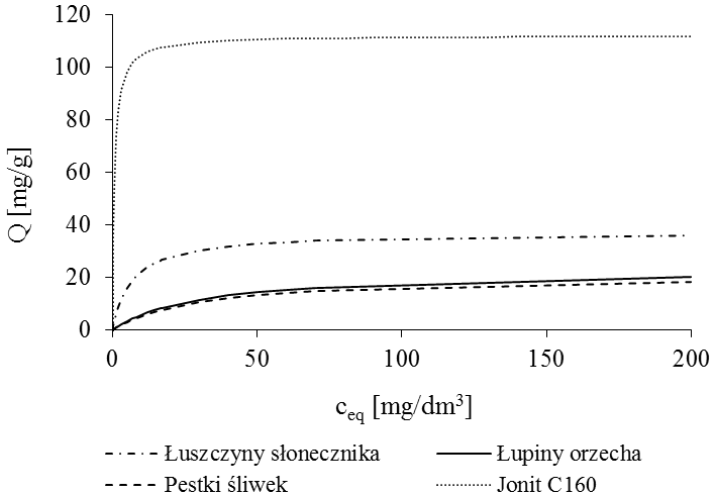
Zgodnie z rysunkiem 9, dla każdego badanego materiału, pojemność sorpcyjna wzrasta, aż do osiągnięcia wysycenia i stanu równowagi. Największą ilość ołowiu wydzieloną w momencie osiągnięcia stanu wysycenia, czyli największą wartością stałej q_{max}, otrzymano dla jonitu. Wyniosła ona 112,17 mg/g. Z kolei dla sorbentów naturalnych parametr ten przyjmuje wartości 36,93 mg/g dla łuszczyn słonecznika; 23,08 mg/g dla łupin orzecha włoskiego i 21,23 mg/g dla pestek śliwek (tabela 5). Największe powinowactwo do jonów Pb^{2+} (określane przez parametr b) również wykazuje jonit. W jego przypadku wartość współczynnika b wyniosła 1,437 dm^3/mg. Dla łuszczyn słonecznika, łupin orzecha włoskiego i pestek śliwek otrzymano wartości równe 0,1512 dm^3/mg; 0,03343 dm^3/mg oraz 0,03457 dm^3/mg (tabela 5).

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Charakterystyka modelu Langmuira [7]

Tabela 4

Izoterma Langmuira		
Założenia:	– Na powierzchni adsorbentu istnieje określona ilość centrów adsorpcji, z których każde zdolne jest do zaadsorbowania tylko jednej cząsteczki. – Stan energetyczny każdego zaadsorbowanego indywiduum jest jednakowy we wszystkich miejscach na powierzchni adsorbentu. – Zachodzi adsorpcja zlokalizowana, czyli cząsteczka nie może swobodnie przemieszczać się po powierzchni. Oddziaływania boczne między zaadsorbowanymi cząsteczkami nie mają znaczenia.	
Równanie:	$$Q = \frac{q_{\max} b \cdot c_{eq}}{(1 + b \cdot c_{eq})}$$	(3)
Liniowa postać gdzie:	$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{q_{\max} b} \cdot \left(\frac{1}{c_{eq}} + b \right)$$ Q – ilość jonów metalu zaadsorbowanych na jednostkę masy jonitu [mg/g]; c_k – końcowe stężenie jonów metalu w roztworze [mg/dm^3]; q_{max} [mg/g] i b [dm^3/mg] to stałe Langmuira	(4)



Rys.9. Izotermy Langmuira jonów Pb^{2+} na łuszczynach słonecznika, łupinach orzecha włoskiego, pestkach śliwek oraz jonicie C160 (masa sorbentu/jonitu 0,5 g; uziarnienie sorbentu < 0,5 mm; siła jonowa 0,02 mol/dm^3; pH 4,0±0,1; czas sorpcji 1 h; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [źródło: opracowanie własne]

Współczynniki izoterm Langmuira i ich niepewności otrzymane dla jonów Pb^{2+} na łuszczynach słonecznika, łupinach orzecha włoskiego i pestkach śliwek [źródło: opracowanie własne]

Tabela 5

Badany materiał	q_{max} [mg/g]	Δq_{max} [mg/g]	b [dm^3/mg]	Δb [dm^3/mg]	R
Łuszczyny słonecznika	36,93	0,76	0,1512	0,0002	0,9740
Łupiny orzecha	23,08	0,52	0,03343	0,00006	0,9837
Pestki śliwek	21,23	0,47	0,03457	0,00005	0,9796
Jonit C160	112,17	2,19	1,437	0,002	0,9878

Z analizy danych wynika zatem, że z pośród badanych materiałów organicznych najlepszym sorbentem jonów Pb^{2+} są łuszczyny słonecznika. Wprawdzie ich zdolności sorpcyjne okazały się niższe niż w przypadku żywicy C160, ale mimo tego uzyskane wyniki są zadawalające i potwierdzają ich przydatność do usuwania jonów metali toksycznych z roztworów wodnych. Ponadto sorbenty naturalne należą do tanich i ogólnodostępnych materiałów. Stanowią zatem dużą konkurencję dla metod konwencjonalnych, m.in. dla procesu wymiany jonowej na żywicach syntetycznych.

4. Podsumowanie

W rozdziale omówiono wyniki badań dotyczących usuwania jonów Pb2+ z roztworów wodnych za pomocą wybranych sorbentów naturalnych i syntetycznego kationitu C160. Uzyskane wyniki pokazały, że wszystkie badane materiały są skutecznymi sorbentami jonów ołowiu w zakresie stężeń od około 6 do około 110 mg/dm^3. Spośród sorbentów naturalnych najwyższą pojemnością sorpcyjną charakteryzowały się łuszczyny słonecznika.

Analizy chemiczne struktury powierzchni badanych materiałów pokazały, że w przypadku sorbentów organicznych głównymi grupami funkcyjnymi odpowiedzialnymi za proces sorpcji są grupy, taki jak: O-H, C=O, N-H .

W przypadku żywicy jonowymiennej głównymi grupami funkcyjnymi biorącymi udział procesie usuwania jonów Pb^{2+} są grupy funkcyjne pochodzące od związków sulfonowych.

Należy podkreślić, iż sorbenty naturalne należą do tanich i ogólno-dostępnych materiałów (np. odpady z produkcji). Stanowią zatem dużą konkurencję dla metod konwencjonalnych, m.in. takich jak strącanie chemiczne i inne.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Literatura

1. Abo-Farha S. A., Abdel-Aal A.Y., Ashour I.A., Garamon S.E.: Removal of some heavy metal cations by synthetic resin purolite C100. Journal of Hazardous Materials, 169, 190 – 194, 2009.
2. Argun M. E., Dursun S., Karatas M.: Removal of Cd(II), Pb(II), Cu(II) and Ni(II) from water using modified pine bark. Desalination, 249, 519 – 527, 2009.
3. Azouaou N., Sadaoui Z., Djaafri A., Mokaddem H.: Adsorption of cadmium from aqueous solution onto untreated coffee grounds: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. Journal of Hazardous Materials, 184, 126 – 134, 2010.
4. Blázquez G., Martín-Lara M. A., Tenorio G., Calero M.: Batch biosorption of lead(II) from aqueous solutions by olive tree pruning waste: Equilibrium, kinetics and thermodynamic study. Chemical Engineering Journal, 168, 170 – 177, 2011.
5. Bożęcka A., Bożęcki P., Kasprzyk P., Sanak-Rydlewska S.: Usuwanie jonów ołowiu(II) z modelowych roztworów wodnych metodą wymiany jonowej. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 52/ 3, 152–154, 2013.
6. Bożęcka A., Sanak-Rydlewska S.: Sorption of Pb^{2+} ions from aqueous solutions on organic wastes (Part I). Archives of Mining Sciences, 58/4, 1241–1250, 2013.
7. Bożęcka A.: Usuwanie jonów metali toksycznych z roztworów wodnych za pomocą odpadów organicznych, Praca doktorska AGH, Kraków 2013.
8. Farinella N.V., Matos G.D., Arruda M.A.Z.: Grape bagasse as a potential biosorbent of metals in effluent treatments. Bioresource Technology, 98, 1940 – 1946, 2007.
9. Gala (Bożęcka) A., Sanak-Rydlewska S.: A comparison of Pb^{2+} sorption from aqueous solutions on walnut shells and plum stones. Polish Journal of Environmental Studies, 20, 4, 877–883, 2011.
10. Gala (Bożęcka) A., Sanak-Rydlewska S.: Removal of Pb^{2+} ions from aqueous solutions on plum stones crushed to particle size below 0,5 mm. Archives of Mining Sciences, 56, 1, 71 – 80, 2011.
11. Gala (Bożęcka) A., Sanak-Rydlewska S.: Sorpcja jonów metali toksycznych z roztworów wodnych – przegląd literatury. Górnictwo i Geoinżynieria, 34, 4/1, 49 – 59, 2010.
12. Gala (Bożęcka) A., Sanak-Rydlewska S.: Sorpcja jonów Pb^{2+} z roztworów wodnych na łupinach orzecha włoskiego. Przemysł Chemiczny, 89, 9, 1225–1229, 2010.
13. Gala (Bożęcka) A., Sanak-Rydlewska S.: Wykorzystanie łupin orzecha włoskiego do usuwania jonów Cd^{2+} z roztworów wodnych. Przemysł Chemiczny, 91, 4, 531–536, 2012.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

14. Ghodbane I., Nouri L., Hamdaoui O., Chiha M.: Kinetic and equilibrium study for the sorption of cadmium(II) ions from aqueous phase by eucalyptus bark. Journal of Hazardous Materials, 152, 148 – 158, 2008.
15. Granops M., Kaleta J.: Technologia wody. Laboratorium. Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2004.
16. Gupta S., Kumar D., Gaur J. P.: Kinetic and isotherm modeling of lead(II) sorption onto some waste plant materials. Chemical Engineering Journal, 148, 226 – 233, 2009.
17. Kocaoba S., Akcin G.: Removal of chromium(III) and cadmium(II) from aqueous solutions. Desalination, 180, 151 – 156, 2005.
18. Kocaoba S.: Comparison of Amberlite IR 120 and dolomite's performances for removal of heavy metals. Journal of Hazardous Materials, 147, 488 – 496, 2007.
19. María M., Núria M., Soraya H., Núria F., Isabel V., Jordi P.: Removal of lead(II) and cadmium(II) from aqueous solutions using grape stalk waste. Journal of Hazardous Materials, 133, 203 – 211, 2006.
20. Meena A.K., Kadirvelu K., Mishraa G. K., Rajagopal C., Nagar P. N.: Adsorption of Pb(II) and Cd(II) metal ions from aqueous solutions by mustard husk. Journal of Hazardous Materials, 150, 619 – 625, 2008.
21. Min S.H., Han J.S., Shin E.W., Park J.K.: Improvement of cadmium ion removal by base treatment of juniper fiber. Water Research, 38, 1289 – 1295, 2004.
22. Panda G.C., Das S.K., Chatterjee S., Maity P.B., Bandopadhyay T.S., Guha A.K.: Adsorption of cadmium on husk of *lathyrus sativus*: physic-chemical study. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 50, 49 – 54, 2006.
23. Pérez-Marín A.B., Meseguer Zapata V., Ortuño J.F., Aguilar M., Sáez J., Lloréns M.: Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. Journal of Hazardous Materials, 139, 122 – 131, 2007.
24. Qaiser S., Saleemi A.R., Umar M.: Biosorption of lead from aqueous solution by Ficus religiosa leaves: Batch and column study. Journal of Hazardous Materials, 166, 998 – 1005, 2009.
25. Rengaraj S., Yeon K.H., Moon S.H.: Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins. Journal of Hazardous Materials, B87, 273 – 287, 2001.
26. Saeed A., Iqbal M., Höll W.H.: Kinetics, equilibrium and mechanism of Cd^{2+} removal from aqueous solution by mungbean husk. Journal of Hazardous Materials 2009, 168, 1467 − 1475.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

27. Srinivasa Rao K., Roy Chaudhury G., Mishra B.K.: Kinetics and equilibrium studies for the removal of cadmium ions from aqueous solutions using Duolite ES 467 resin. International Journal of Mineral Processing, 97, 68 – 73, 2010.
28. Winnicki T.: Polimery czynne w inżynierii ochrony środowiska. Warszawa, Wydawnictwo Arkady 1978.
29. www.radus.pl – Materiały informacyjne firmy Purolite.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Analiza porównawcza skuteczności odwadniania i rozdziału materiału na sitach OSO z wkładami stalowymi i poliuretanowymi

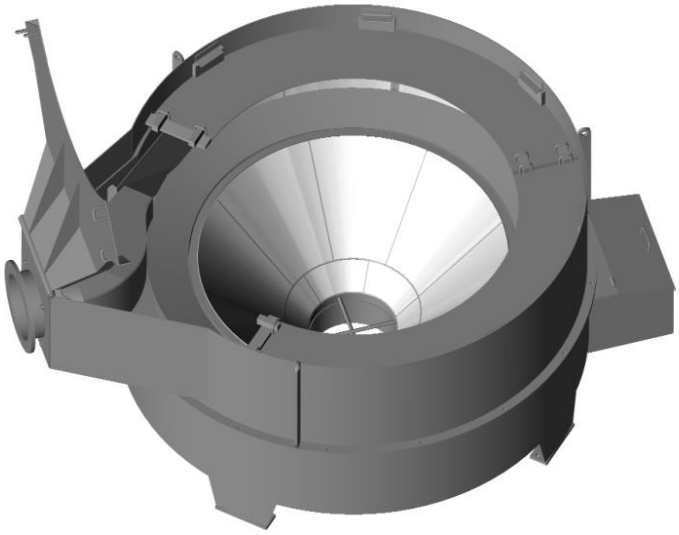
Piotr Pasiowiec, Klaudia Bańczyk, Jerzy Wajs, Sebastian Gawlista - Progress ECO sp. z o.o. S.K.A, **Barbara Tora** – Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Pierwsze konstrukcje odwadniającego sita odśrodkowego OSO

Odśrodkowe Sito Odwadniające jest oryginalną polską konstrukcją stworzoną i opatentowaną w 1962 roku przez Wacława Jachnę (patent nr 46606). Sito służy do rozdzielania zawiesin ciał sypkich. W 1992 roku został zgłoszony przez tego samego autora kolejny patent dotyczący OSO (nr PL 166868 B1) - Kosz sitowy [1, 2, 3, 4].

Odśrodkowe sita odwadniające zaliczane są do grupy statycznych urządzeń przeróbczych do odwadniania, odmulania i klasyfikacji drobnych frakcji, miałów węglowych oraz piasków. Nadawa wprowadzona przez dysze nadawczą kierowana jest do króćca wylotowego u dołu sita stożkowego (rys. 1). Odwodnienie nadawy następuje poprzez wykorzystanie siły odśrodkowej i grawitacji. Dzięki temu sito pracuje bez zużywania energii elektrycznej, nie wymaga obsługi i pracuje cicho. Typoszereg sit obejmuje wielkości 1200, 1600, 2000, 2400, 2800 i 3200 (średnica sita stożkowego).

OSO znalazły szerokie zastosowanie w zakładach przeróbki mechanicznej węgla i są rozpowszechnionymi urządzeniami.



Rys.1. Odśrodkowe sito odwadniające

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Odśrodkowe sita odwadniające współpracują w układach technologicznych z wirówkami odwadniającymi różnych typów. Stosowane wielkości szczelin w OSO wahają się w granicach od 0,5 mm do 3 mm i zależą, między innymi, od założeń technologicznych, rodzaju węgla, wielkości nadawy, rodzaju zastosowanej wirówki odwadniającej. Najczęściej stosowane szczeliny do odwadniania węgli koksujących wynosi 0,75 mm.

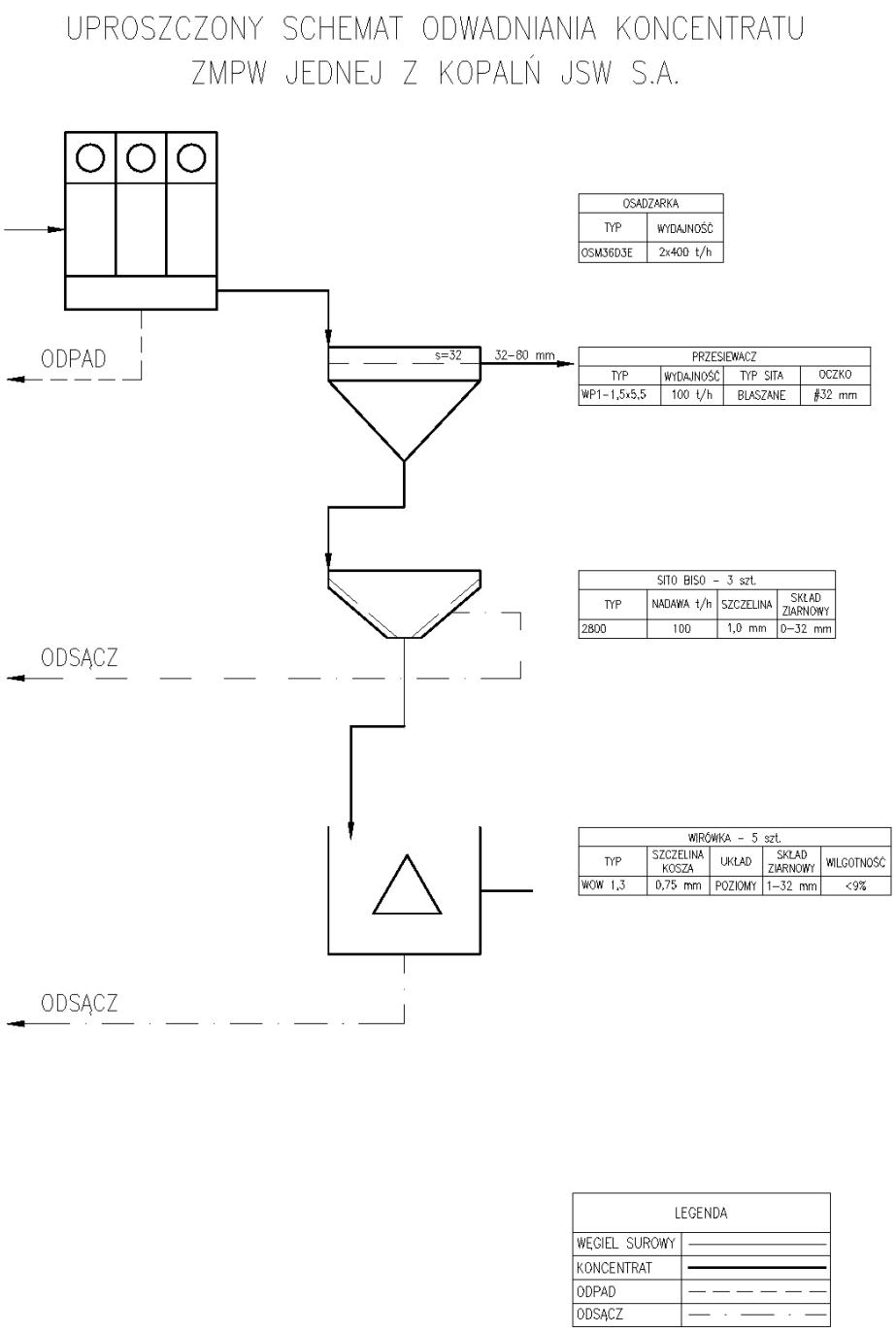
2. Miejsce sita OSO w układzie technologicznym wzbogacania węgla

Sita OSO znajdują zastosowanie w następujących procesach technologicznych:

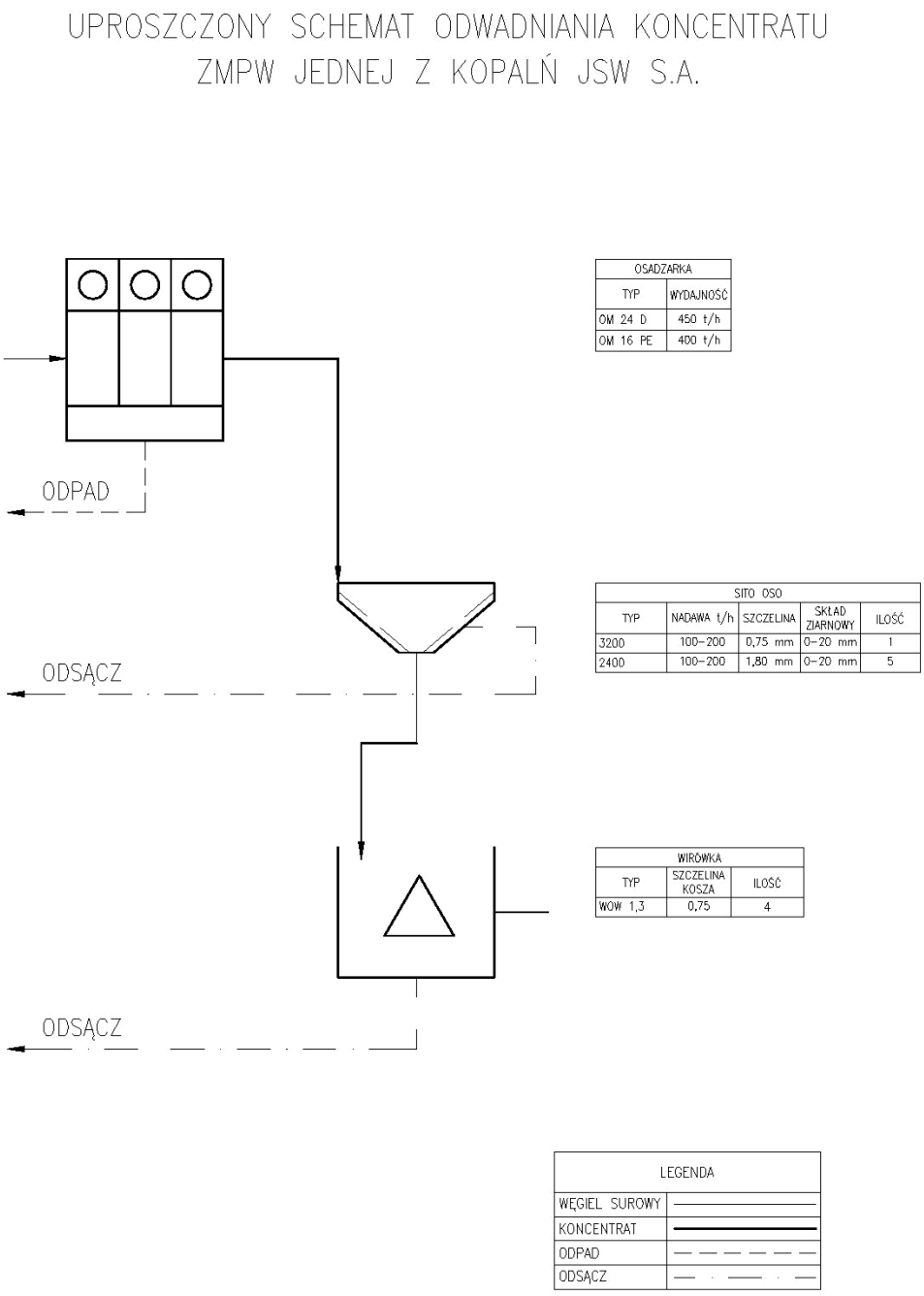
- do wstępnego odwadniania miału węglowego po wzbogaceniu w osadzarce,
- do odmulania miału przed wzbogaceniem w osadzarkach i innych urządzeniach,
- do wydzielania z zamulonej wody obiegowej mułu zagęszczonego przed procesem flotacji i filtracji,
- do segregacji mułu węglowego w celu wydzielenia pirytów.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wybrane schematy odwadniania koncentratu węglowego w przykładowych zakładach przeróbczych kopalń Jastrzębskiej Spółki Weglowej S.A. z zastosowaniem OSO oraz wirówek odwadniających.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.2. Schemat odwadniania koncentratu po osadzarce w jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. Źródło [6]



Rys.3. Schemat odwadniania koncentratu po osadzarce w jednej z kopalń Jastrzębskiej Spółki Weglowej S.A. Źródło [6]

3. Zasada działania sita OSO

Mieszanina cieczy i części stałych wypływa z dyszy nadawczej do koryta prowadniczego z liniową prędkością początkową:

$$V = a\sqrt{2gh}$$

gdzie:

V – prędkość wlotowa [m/s],

a – współczynnik strat prędkości mieszczący się w granicach 0,5 – 1,0,

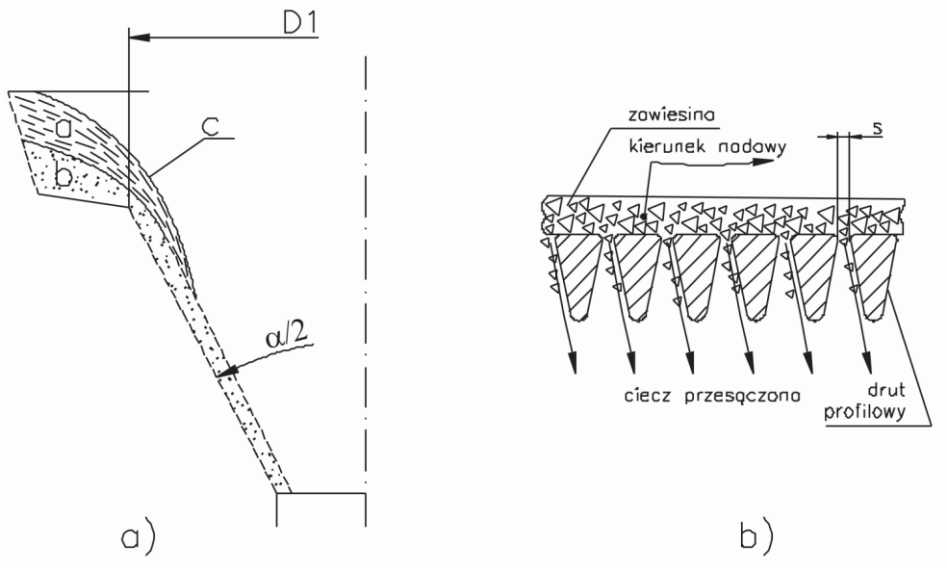
g – przyspieszenie ziemskie 9,81 [m/s^2],

H – wysokość słupa zawiesiny [m].

Ruch linearny zmienia się w obudowie prowadniczej w ruch mający charakter zbliżony do wiru swobodnego. W wyniku wirowego ruchu zawiesiny, części stałe cięższe od cieczy poruszają się w pobliżu ściany obudowy kierującej i górnej powierzchni stożka sitowego, tworząc na nim tzw. warstwę zewnętrzną. Ciecz zawierająca najdrobniejsze ziarna wiruje natomiast w postaci warstwy wewnętrznej, ograniczonej po wewnętrznej stronie stożka, powierzchnią menisku wypukłego. Utrzymanie się zawiesiny w postaci poziomego ruchu wirowego jest wynikiem równowagi składowych: siły grawitacji, siły odśrodkowej i sił tarcia. Uwzględniając przy tym podstawowe zależności znane z mechaniki należy mieć na uwadze, że im większą średnicę i im mniejszy kąt wierzchołkowy ma stożek sitowy, tym większa potrzebna jest prędkość wirowania zawiesiny, a więc tym większe powinno być ciśnienie zasilania.

Charakterystycznym zjawiskiem w sicie OSO jest to, że zawiesina spływa z obudowy kierującej na stożkową powierzchnię sitową ruchem spiralnym schodzącym, przy czym stromość spirali warstwy zewnętrznej, zawierającej głównie części stałe jest znacznie większa, od stromości spirali warstwy wewnętrznej zawierającej głównie ciecz. Jest to wynikiem różnych prędkości, zarówno kątowych, jak i obwodowych, poszczególnych warstw zawiesiny, wirujących na obudowie prowadniczej i na stożku sitowym. Im większe siły tarcia występują przy ruchu zawiesiny po powierzchni sitowej, tym większe są różnice prędkości warstwy wewnętrznej i zewnętrznej. Podkreślić więc trzeba, że wartość prędkości warstwy zawiesiny bezpośrednio przylegającej do powierzchni sitowej ma zasadnicze znaczenie dla pracy sit OSO. Im mniejsze prędkości ma zawiesina na powierzchni sitowej, tzn. im większe są opory jej ruchu po powierzchni sitowej, tym efekty pracy sita są gorsze i mniejsza jest jego wydajność jednostkowa.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys.4. a) Warstwy wirującej zawiesiny przedstawione w podłużnym przekroju sita; b) Obraz ruchu zawiesiny w przekroju poprzecznym sita: *a - warstwa wewnętrzna, b - warstwa zewnętrzna, c - powierzchnia menisku wypukłego, D_1 - średnica stożka sitowego, α - kąt wierzchołkowy stożka sitowego*

Zjawiska związane z prędkością ruchu zawiesiny po powierzchni sitowej szczególnie wyraźnie występują w sitach o szczelinach mniejszych od 0,75 mm, kiedy to grubość warstw cieczy odprowadzanych przez poszczególne szczeliny jest mała.

W sposób ogólny można rozpatrywać zjawiska występujące w sitach o małych szczelinach tak mianowicie, że jeżeli szybkość ruchu warstwy zewnętrznej przylegającej bezpośrednio do powierzchni sita jest mała - a w krańcowym przypadku równa zeru, wówczas zamiast zjawiska strugania warstwy, występuje zjawisko przesączania się cieczy przez szczeliny pod wpływem ciśnienia wywołanego ruchem warstwy wewnętrznej. Ciecz odpływająca warstwą o grubości równej szerokości szczeliny, unosi ze sobą drobne ziarna równe szerokości szczeliny lub nieco od niej większe. Ziarna te zatrzymują się w szczelinach, dając w efekcie zmniejszenie ich prześwitu, a w konsekwencji zmniejszenie wydajności sita. Z tego też względu proces odwadniania (odmulania lub klasyfikacji) w sitach o szczelinach poniżej 0,75 mm wymaga doprowadzenia materiału o zwiększonej prędkości, przy czym zawiesina powinna mieć mniejszą ilość części stałych (mniejsze zagęszczenie).

W wypadkach występowania dużych prędkości materiału krążącego po sicie, grubość struganych warstw, a tym samym wielkość unoszonych wraz z nimi ziaren mieści się w granicach 0,5 do 0,25 wielkości szczeliny. Ziarna

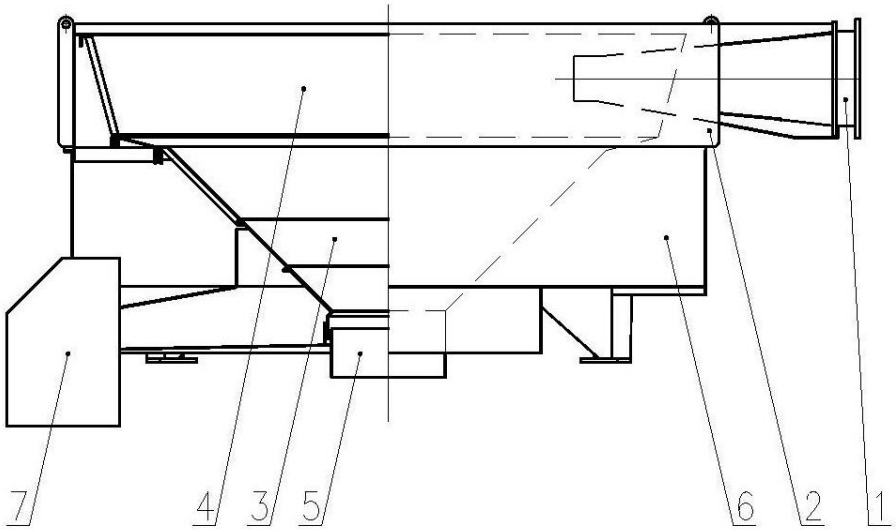
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

produktu odwodnionego nie zatrzymują się wówczas w szczelinach i nie zmniejszają prześwitu szczelin oraz wydajności sita.

W celu zwiększenia prędkości ruchu zawiesiny na powierzchni sit o małych szczelinach, celowe jest zmniejszenie grubości wirującej warstwy. W związku z tym sita OSO z wąskimi szczelinami, przeznaczone do odmulania lub klasyfikacji, mają obudowy kierujące o mniejszej "głębokości". Spłycenie obudowy kierującej nie wpływa ujemnie na stabilność pracy sita, jeżeli nadawa jest do niego doprowadzona z większymi prędkościami, to jest pod wyższym ciśnieniem.

4. Opis konstrukcji sita OSO

Sito OSO, którego przekrój pionowy przedstawiono na rysunku 5 składa się z dyszy nadawczej (1), kolistej obudowy kierującej (2) i stożkowego sita szczelinowego (3), ze szczelinami przebiegającymi w przybliżeniu radialnie wzdłuż ścian sita. W celu zwiększenia czynnej powierzchni roboczej urządzenia montuje się w obudowie kierującej wkładkę sitową (kierownicę) (4) ze szczelinami pionowymi.



Rys.5. Konstrukcja sita OSO [opracowanie własne]

Mieszanina ciała stałego z cieczą doprowadzona jest do urządzenia podciśnieniem hydrostatycznym (rys. 5). Dalej przez dyszę nadawczą wpływa ona stycznie do obudowy kierującej, zawierającej kierownicę, w której prze-pływ linearny zmienia się na krążący. Krążąca mieszanina spływa do stożka, w którym - głównie na skutek siły odśrodkowej - następuje rozdział cieczy od ciał stałych. Jest to połączone ze zjawiskiem odmulania i klasyfikacji ziarnowej,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

najdrobniejsze bowiem ziarna opuszczają razem z cieczą przez szczeliny sita. Odwodnione części stałe ześlizgują się do wylotu części stałych (5) w dolnej części sita, przesącz natomiast wyrzucany przez szczeliny zbiera się w wannie zbiorczej (6) i opuszcza urządzenie przez osobny wylot przesącza (7).

Szczeliny stożków sitowych w pobliżu ich górnej podstawy wykonuje się w przybliżeniu równoległe do tworzącej, w pobliżu dolnej podstawy szczeliny są prostopadłe do tworzącej. W ten sposób w konstrukcji sita uwzględniono spiralny charakter ruchu warstwy zewnętrznej. Uwzględniono także charakter zużycia elementów sita, w jego eksploatacji. Szczeliny prostopadłe do tworzącej stożka w jego dolnej części wykonuje się o około 50% szersze od szczelin w części górnej, co uzasadnione jest dążeniem do uzyskania tej samej wielkości ziarna podziałowego na całej powierzchni stożka, przy uwzględnieniu szybkości przepływu materiału oraz ukształtowania powierzchni stożka (promień gięcia).

Konstrukcja sita w maksymalnym stopniu uwzględnia wymagania stawiane nowoczesnym urządzeniom, jest bowiem prosta w wykonaniu, łatwa w transporcie i montażu, nie sprawia trudności w obsłudze i naprawach.

5. Charakterystyka techniczna

Sita OSO są produkowane w następujących odmianach i wykonaniach:

Odmiana A - jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Znalazła szerokie zastosowanie do wstępnego odwadniania miału węglowego po jego zabezpieczeniu w osadzarkach. Jest dostosowana do niskich ciśnień wlotowych. Wymaga równomiernego dopływu nadawy. Różni się od wykonania B brakiem wkładki sitowej w obudowie kierującej. Wykonywana w wersji podpartej p lub zawieszonej z.

Odmiana B - jest bardziej skomplikowanym kosztowniejszym urządzeniem. Odmiana ta różni się od poprzedniej tym, że ma dodatkowo wmontowaną roboczą powierzchnię sitową (kierownicę) w pionowej ścianie obudowy kierującej. Zaletą odmiany B jest możliwość uzyskania większych wydajności, przy zachowaniu zasadniczych wymiarów urządzenia, a także możliwość regulowania wydajności przez częściowe przysłanianie lub odsłanianie wkładki sitowej w obudowie kierującej. Wykonywana w wersji podpartej p lub zawieszonej z.

Odmiana C - różni się od odmiany B zmniejszoną głębokością obudowy kierującej, mimo pozostawienia wkładki sitowej w pionowej ścianie obudowy kierującej. Odmiana ta jest stosowana w układach klasyfikacji granulometrycznej mułów. Wymagane są przy niej wyższe ciśnienia dopływu nadawy. Wykonywana w wersji podpartej p lub zawieszonej z.

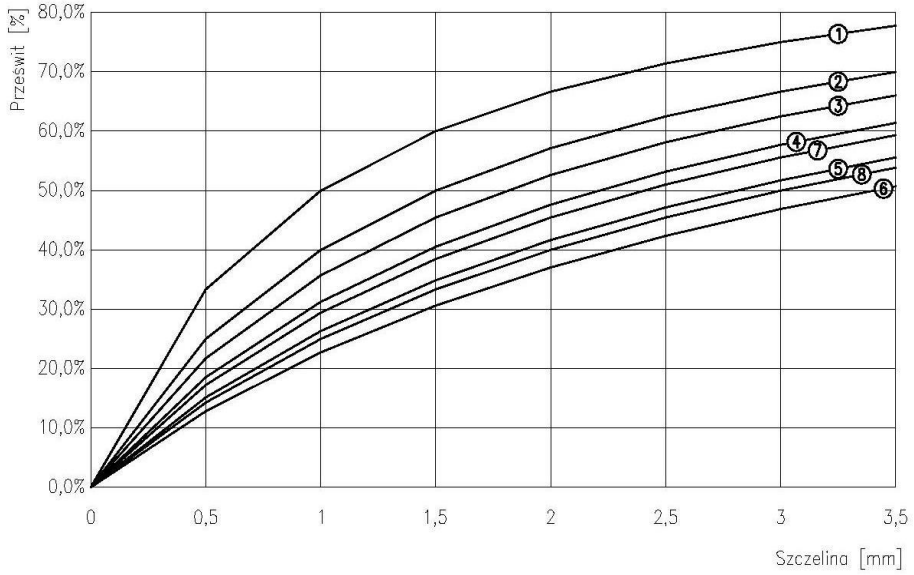
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Najważniejszym parametrem sita jest współczynnik powierzchni otwartej. Powierzchnia czynna F_0(%) jest procentowym stosunkiem powierzchni szczelin do całkowitej powierzchni sita. Oblicza się ją ze wzoru:

$$F_0 = s/(s+a)\times 100 \ (\%)$$

a – szerokość profilu,

s – szerokość szczeliny.



Rys.6. Wielkość prześwitu w zależności od szerokości szczeliny

Wielkość prześwitu w zależności od szerokości szczeliny

Tabela 1

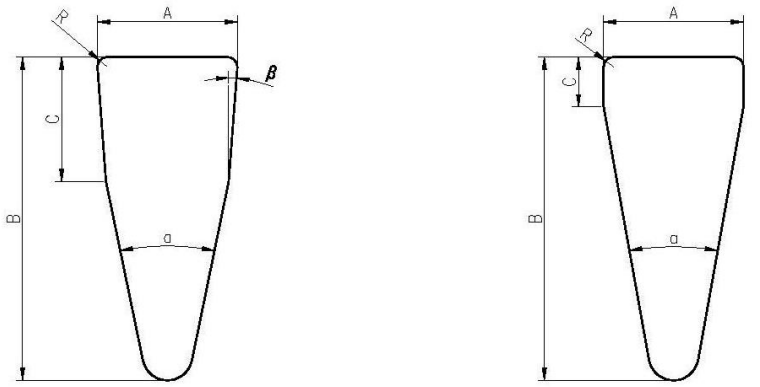
Lp.	Profil \ s	0,5 [mm]	1 [mm]	1,5 [mm]	2 [mm]	2,5 [mm]	3 [mm]	3,5 [mm]
1	12 Sb	33,33 %	50,00 %	60,00 %	66,67 %	71,43 %	75,00 %	77,78 %
2	18 Sb	25,00 %	40,00 %	50,00 %	57,14 %	62,50 %	66,67 %	70,00 %
3	22Sb	21,74 %	35,71 %	45,45 %	52,63 %	58,14 %	62,50 %	66,04 %
4	28 Sb	18,52 %	31,25 %	40,54 %	47,62 %	53,19 %	57,69 %	61,40 %
5	34 Sb	15,15 %	26,32 %	34,88 %	41,67 %	47,17 %	51,72 %	55,56 %
6	42 Sb	12,82 %	22,73 %	30,61 %	37,04 %	42,37 %	46,88 %	50,72 %
7	34 Sbb	18,52 %	31,25 %	40,54 %	47,62 %	53,19 %	57,69 %	61,40 %
8	42 Sbb	15,15 %	26,32 %	34,88 %	41,67 %	47,17 %	51,72 %	55,56 %
9	2,4 x 5,0	17,24 %	29,41 %	38,46 %	45,45 %	51,02 %	55,56 %	59,32 %
10	3,0 x 6,5	14,29 %	25,00 %	33,33 %	40,00 %	45,45 %	50,00 %	53,85 %

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Rozmiary drutów profilowych

Tabela 2

TYP Sb				
Profil	***A* [mm]**	***B* [mm]**	***R* [mm]**	***α* [°]**
12 Sb	1,0 ± 0,01	2,0 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0
18 Sb	1,5 ± 0,01	2,5 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0
22 Sb	1,8 ± 0,02	3,7 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0
28 Sb	2,2 ± 0,02	4,5 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0
34 Sb	2,8 ± 0,02	5,0 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0
42 Sb	3,4 ± 0,02	6,5 ± 0,10	0,3 max	23 ± 1,0

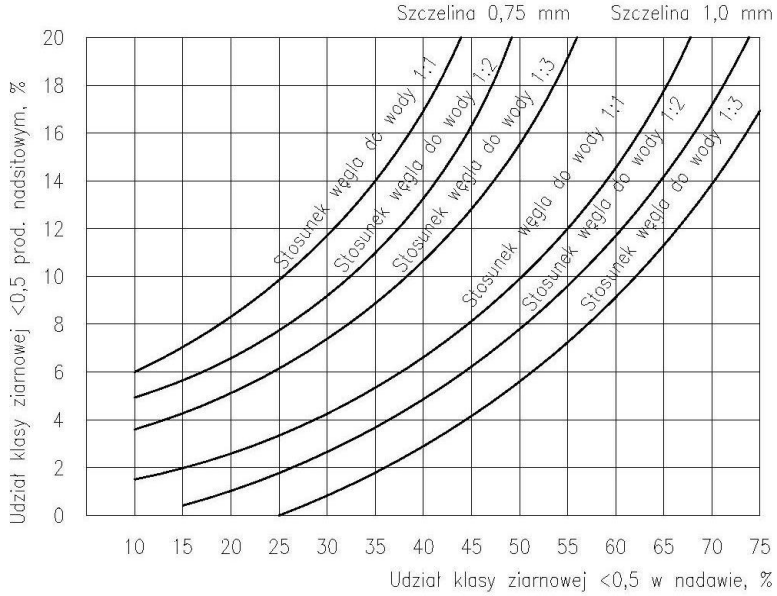


Typ SBB i druty profilowe

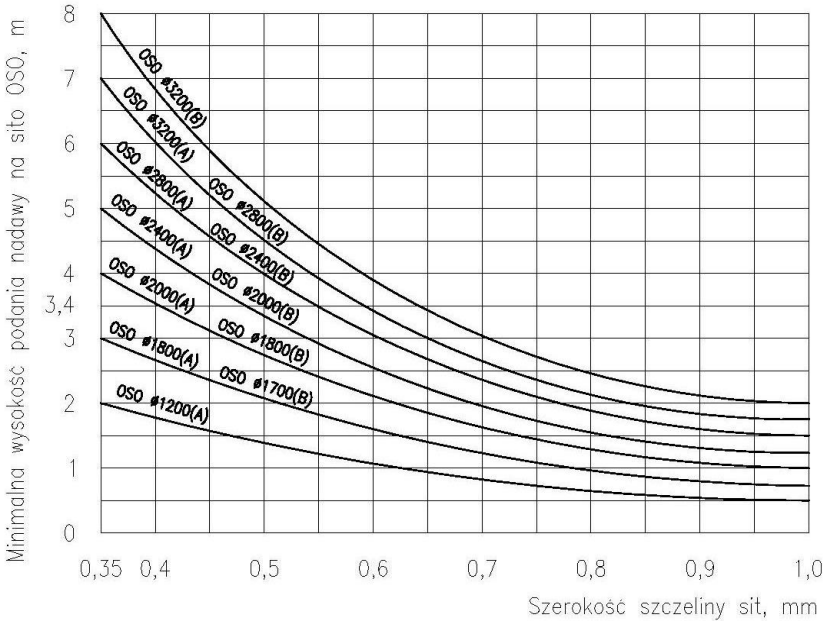
Tabela 3

Profil	***A* [mm]**	***B* [mm]**	***C* [mm]**	***R* [mm]**	***α* [°]**	***β* [°]**
34 Sbb	2,2 ± 0,02	5,0 ± 0,10	2,5 ± 0,10	0,2 max	23 ± 1,0	4
42 Sbb	2,8 ± 0,02	6,5 ± 0,10	3,0 ± 0,10	0,2 max	23 ± 1,0	4
2,4 x 5,0	2,4 ± 0,02	5,0 ± 0,10	0,8 ± 0,10	0,2 max	23 ± 1,0	0
3,0 x 6,5	3,0 ± 0,02	6,5 ± 0,10	1,0 ± 0,10	0,2 max	23 ± 1,0	0

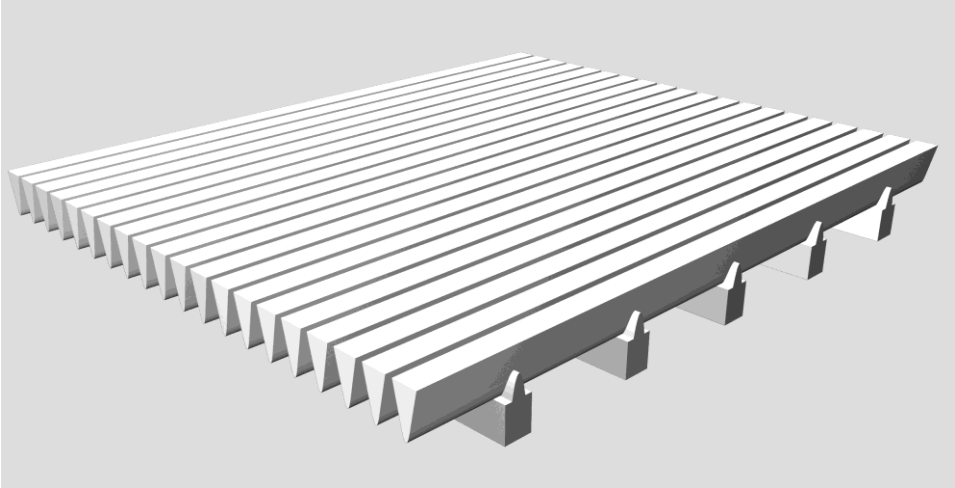
Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)



Rys 7. Efektywność odmulania sita OSO



Rys.8. Wysokość podania nadawy



Rys.9. Sito szczelinowe zgrzewane

Sita szczelinowe zgrzewane produkowane są metodą zgrzewania elektro-oporowego. Polega to na zgrzewaniu profilowanych drutów roboczych do układu nośnych prętów. W wyniku tego powstają mocne sita zdolne do przenoszenia dużych obciążeń.

Sita szczelinowe zgrzewane charakteryzują się:

- zdolnością do przenoszenia dużych obciążeń,
- dużym współczynnikiem powierzchni otwartej,
- niską podatnością na zaślepienie,
- idealnie równą i gładką powierzchnią,
- dużą precyzją wykonania,
- zwiększoną skutecznością i dokładnością separacji i odwodnienia.

6. Sito OSO z wkładem poliuretanowym

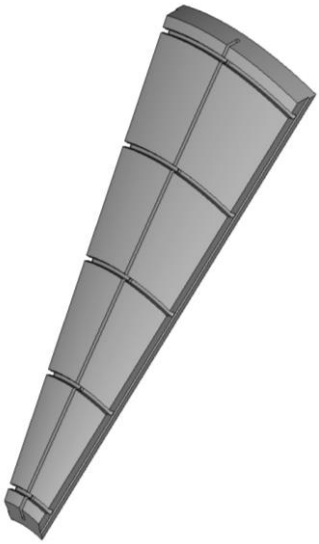
Sita poliuretanowe, podobnie jak i gumowe, stanowią alternatywę dla sit metalowych. Charakteryzują się wysoką niezawodnością, długą żywotnością oraz brakiem korozji. Zwiększona efektywność, poprawa warunków pracy poprzez obniżenie hałasu, jak również wyjątkowo dobre zachowanie poliuretanu w pracy "na mokro", zaowocowało zastosowaniem tego materiału w sitach OSO w miejsce sit szczelinowych stalowych. Wkłady poliuretanowe zostały zastosowane jako wykładziny koszy sitowych oraz jako segmenty kierownic (w odmianach B i C).

Jednym z założeń projektowych przy tworzeniu wkładów poliuretanowych OSO, było zachowanie pełnej zamienności z typowymi koszami i kierownicami stalowymi z sit szczelinowych. Właściwość ta pozwala na szybką zamianę

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

kosza i kierownicy, optymalizację parametrów technologicznych i kosztów. Inną zaletą wkładów poliuretanowych jest ich modułowa budowa pozwalająca na wymianę lub zamianę miejsca pracy zużytych segmentów kosza, bez konieczności wymiany stelaża.

Rys.10. Segmentowa budowa kosza z wkładami poliuretanowymi



Rys.11. Segment poliuretanowy

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Przy swoich niekwestionowanych zaletach tj. pełna zamienność z koszami i kierownicami stalowymi, modułowość, ograniczenie kosztów eksploatacji sit OSO, wkłady poliuretanowe mają prześwit o ok. 50% niższy w porównaniu z koszami z sit szczelinowych, co wpływa na skuteczność odwadniania zawiesin.

Porównanie prześwitu dla sita stalowego (profil 34 Sb) i wkładu poliuretanowego o identycznej szczelinie

Tabela 4

Materiał sita	**0,5 [mm]**	**1 [mm]**	**1,5 [mm]**	**2 [mm]**	**2,5 [mm]**	**3 [mm]**	**3,5 [mm]**
34 Sb	15,15 %	26,32 %	34,88 %	41,67 %	47,17 %	51,72 %	55,56 %
Wkład poliuretanowy	7,21 %	12,53 %	16,60 %	19,87 %	22,45 %	24,62 %	24,45 %

Cechy charakterystyczne

- możliwość wymiany pojedynczych modułów,
- duża odporność na wycieranie, większa trwałość w porównaniu z wkładami z sit szczelinowych zgrzewanych,
- zdecydowanie mniejszy prześwit (ok. 50%) w porównaniu z wkładami z sit szczelinowych zgrzewanych,
- z charakterystyki konstrukcji sita poliuretanowego wynika mniejsza skuteczność odwadniania w porównaniu z wkładami z sit szczelinowych zgrzewanych,
- brak możliwości doraźnej naprawy w przypadku uszkodzenia mechanicznego wkładu,
- zalecane w aplikacjach, gdzie wielkość urządzenia jest przewymiarowana.

Rys.12. Odśrodkowe sito odwadniające z wkładami wykonanymi z poliuretanu

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Cechy charakterystyczne

- zdecydowanie większy prześwit (ok. 50%) w porównaniu z wkładami z sit poliuretanowych,
- charakterystyka konstrukcji profili wkładów zwiększa skuteczność odwadniania,
- możliwość szybkiej doraźnej naprawy poprzez zaspawanie uszkodzenia,
- niska podatność na zaślepianie,
- zalecane w aplikacjach, gdzie niezbędne jest dokładne i ostre odwadnianie.

Rys.13. Odśrodkowe sito odwadniające z wkładami wykonanymi z sit szczelinowych zgrzewanych

7. Podsumowanie

Wkłady poliuretanowe do sit OSO były użytkowane w następujących zakładach przeróbczych: KWK Budryk, KWK Jankowice, KWK Ziemowit, LW Bogdanka.

Opinie użytkowników są podobne:

- z uwagi na dużo mniejszy prześwit wkłady poliuretanowe cechuje niższa skuteczność odwadniania (w skrajnych przypadkach następowało zalewanie kolejnych urządzeń w układzie technologicznym),
- proces skutecznego odwadniania na sitach poliuretanowych wymaga wprowadzenia sita w wibracje, czego na statycznych sitach odwadniających nie można osiągnąć. W związku z powyższym z powodu braku wibracji ziarna nadawy wciskając się w szczeliny powodują ich rozkalibrowanie, a w konsekwencji doprowadzają do zaślepiania szczelin.
- wkłady poliuretanowe sprawdzają się jedynie w przypadkach przewymiarowania lub zdublowania urządzeń w układach technologicznych (Zakład Przeróbczy KWK Ziemowit – OSO 2000 i OSO1600, pracujące jednocześnie mogą być wyposażone w sita poliuretanowe; w przypadku wyłączenia OSO 1600, sito OSO 2000 musi posiadać wkład z sita

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

szczelinowego zgrzewanego, w przeciwnym przypadku następne urządzenia układu zostają zalane).

Stąd oczywisty wniosek, że stosowanie sit OSO z wkładami poliuretanowymi jest działaniem niewłaściwym, wysoce ryzykownym i ekonomicznie nieuzasadnionym. Można postawić tezę, że wkłady sitowe z poliuretanu w OSO są zaprzeczeniem idei wykorzystania efektu cięcia strugi nadawy, co decydowało o ich skuteczności i wysokiej wydajności.

Podsumowując, dalszego rozwoju i udoskonalania wkładów sitowych do OSO nie należy szukać w stosowaniu poliuretanów, lecz w udoskonalaniu sprawdzonych i skutecznych rozwiązań na bazie sit szczelinowych zgrzewanych.

W związku z powyższym, w celu wydłużenia żywotności wkładów zgrzewanych, prowadzone są prace nad doborem optymalnych materiałów na profile robocze, które przy zwiększonej odporności na ścieranie są jednocześnie zgrzewalne. Innym sposobem na uzyskanie wysokiej odporności na ścieranie powierzchni roboczych sita, a w konsekwencji wyższej trwałości jest stosowanie na powierzchni roboczej profili sit zgrzewanych powłok ochronnych (twardy chrom, węglik wolframu, węgloazotowanie) oraz utwardzania powierzchni roboczej sita (procesy obróbki cieplnej i plastycznej). Mając na uwadze najważniejsze parametry skutecznej pracy sita OSO, takie jak prześwit oraz ostrość krawędzi profili, prowadzone są prace nad nowymi kształtami profili roboczych, pozwalającymi na osiągnięcie optymalnych parametrów odwadniania zawiesin wodno – mułowych. Połączenie optymalnych materiałów z odpowiednio wąskimi i wysokimi profilami roboczymi skutkuje zwiększeniem prześwitu, wydłużeniem żywotności sita oraz zachowaniem stałej wartości szczeliny w długim okresie czasu. Wszystkie wymienione działania rozwojowe prowadzone są przez firmę Progress Eco.

Literatura

1. Jachna W.: Sito do rozdzielania zawiesin ciał sypkich. Patent nr PL 46606
2. Jachna W.: Kosz sitowy . Patent nr PL 166868 B1.
3. Jachna W.: Проблема классификации мелочи на углеобогательных фабриках и возможность использования для этой цели грохотов ОСО. VIII Международный Конгресс по Обогощению Польезных Ископаемых Ленинград (Санкт-Петербург) 1968 г.
4. Jonczak P., Pasiowiec P., Śmiejek: Technologiczne i ekonomiczne racje istnienia nowych rozwiązań w obszarze stosowania sit produkcji Progress Eco S.A.; Nowoczesne systemy przeróbcze surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska; KOMEKO 2004 Ustroń.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

5. Polska Norma PN-G-64040-2000: maszyny i urządzenia do przeróbki mechanicznej węgla. Odśrodkowe sita odwadniające.
6. Pasiowiec P., Analysis of work and opitimisation of centrifugal dewatering sieve, Doctoral dissertation, VSB TU, Ostrava 2008.
7. Pasiowiec P., Niemirowski J., Tora B.: The possibilities of using the centrifugal dewatering sieve In the system of classification, 20th world Mining Congress 2005, Teheran, Iran 2005.
8. Tora B., Pasiowec P.: Model matematyczny klasyfikacji na sicie OSO; Úprava nerostných surovin a odpadú; VSB – TU Ostrava 2006.
9. Tora B., Pasiowiec P., Śmiejek Z.: The possibilities of using the centrifugal dewatering sieve in the system of classification, 7th Conference on Environment and Mineral Processing, VSB – TU Ostrava 2003.
10. Inżynieria Mineralna – Zeszyt nr 2 (13), 2004.
11. Czasopismo Techniczne, nr 144-149, rok 130/131, Kraków, 2010-2011.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

INDEKS AUTORÓW

Baic I.
Bańczyk K.
Biegańska J.
Biel K.
Blaschke W.
Bożęcka A.
Bożęcki P.
Brzozowski M.
Budzyń S.
Cholewa M.
Feliks J.
Gawliński A.
Gawlista S.
Gruszka G.
Jakubina G.
Jarosiński A.
Jedziniak M.
Jendrysik J.
Kaczmarczyk H.
Kasprzyk P.
Kazimierowicz J.
Kowol D.
Król J.
Kwaśny K.
Lenartowicz M.
Lutyński M.
Łagódka M.
Ławińska K.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Matusiak P.
Modrzewski R.
Myszkowski P.
Okarmus P.
Pala A.
Pasiowiec P.
Piątkowska E.
Piechaczek B.
Pyc A.
Rakwic B.
Sanak-Rydlewska S.
Sidor J.
Sobko W.
Stankiewicz K.
Stanuch I.
Stelmach S.
Szafarczyk J.
Śmiejek Z.
Tomas A.
Tora B.
Wajs J.
Witkowska-Kita B.
Wasielewski R.
Wodziński P.
Woźnica A.
Zuba M.
Ziomber S.

STRESZCZENIA

Surowce strategiczne – studium pozyskiwania w Polsce

Katarzyna Biel, Wiesław Blaschke, Beata Witkowska-Kita

Surowce, tj.: ren, tellur, żelazo, aluminium, boksyt, magnezyt, molibden, mangan, wanad, cynk, nikiel, chrom uznane są za krytyczne dla gospodarki Unii Europejskiej. Mają one ważne znaczenie ekonomiczne i charakteryzują się wysokim ryzykiem niedoboru lub braku podaży. Sytuacja ta jest wynikiem ograniczonej ilości źródeł ich pozyskiwania. Niniejszy rozdział prezentuje podsumowanie pracy przeglądowej IMBiGS dotyczącej surowców krytycznych. Praca ta zawierała m.in. informacje o: kopalinach/surowcach krytycznych i ich właściwościach fizykochemicznych oraz ich występowaniu i wydobyciu w Polsce, stosowanych technologiach wzbogacania rud i przetwórstwie koncentratów w celu pozyskania surowców krytycznych a także gospodarce surowcami krytycznymi w Polsce oraz o obszarach ich zastosowania.

Biogaz – alternatywne źródło energii

Joanna Kazimierowicz

Wzrost potrzeb energetycznych oraz wzrost emisji gazów cieplarnianych wymuszają stosowanie technologii pozwalających na wykorzystanie odpadów organicznych i nieorganicznych, jak również celowych upraw roślin energetycznych do produkcji energii. Gazem powstającym podczas rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych jest biogaz. Jego podstawowym składnikiem jest metan, którego zawartość zależy w głównej mierze od rodzaju biodegradowalnej materii. Do podstawowych źródeł powstawania biogazu zaliczyć można: składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, biogazownie: rolnicze, energetyczne oraz utylizacyjne.

Strategic minerals – studies on their recovery in Poland

Katarzyna Biel, Wiesław Blaschke, Beata Witkowska-Kita

Raw materials, such as: rhenium, tellurium, copper, aluminium, bauxite, magnesite, manganese, vanadium, zinc, nickel, chromium, antimony, beryllium, cobalt, fluorspar, gallium, germanium, graphite, indium, metal magnesium, niobium, platinum metals, rare earth elements, tantalum and tungsten are considered strategic to the economy of the European Union. They have economic importance and have a high risk of deficiency or lack of supply. Such situation is the result of a limited number of sources of acquisition. This paper is a summary of the review work performed by IMBiGS for strategic raw materials. This work contains information on: fuels/ raw materials and their physico-chemical properties, occurrence and production in Poland, enrichment of ores and processing concentrates, strategic raw materials management in Poland and the fields of application of these materials.

Biogas - an alternative energy source

Joanna Kazimierowicz

The increase in energy demand and greenhouse gas emissions growth necessitate the use of technologies for the use of organic and inorganic waste, as well as targeted energy crops for energy production. Gas produced during the decomposition of organic matter under anaerobic conditions is biogas. Its main component is methane, the content of which depends largely on the type of biodegradable matter. The primary source of the biogas are: landfills, sewage treatment plants, biogas plants: Agriculture, Energy and Waste.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Biogaz z odpadów – zagrożenia i ich usuwanie

Jolanta Biegańska, Ireneusz Stanuch

Głównym problemem cywilizacyjnym XXI wieku jest gwałtowny wzrost odpadów przyczyniających się do degradacji środowiska naturalnego. Już w XX wieku daje się zauważyć wzrost ilości odpadów komunalnych pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego. Zmieszane odpady komunalne są głównie składowane. Składowiska te są więc źródłem gazu. Biogaz jest mieszanką różnych gazów pochodzących z drobnoustrojowej beztlenowej fermentacji organicznego podłoża. Aby używać biogazu jako paliwa trzeba prowadzić jego oczyszczanie i wzbogacanie. Znane są metody fizyczne, chemiczne i metody biologiczne usuwania zanieczyszczeń z biogazu.

Warianty technologiczne wykorzystania paliw z odpadów w energetyce

Ryszard Wasielewski, Sławomir Stelmach

Scharakteryzowano możliwości zastosowania różnych wariantów technologicznych dla odzysku energii z paliw wytwarzanych z odpadów. Instalacje współspalające paliwa z odpadów podlegają wymaganiom formalno-prawnym i technicznym dla procesu termicznego przekształcania odpadów. Przedstawiono warunki procesowe dla współspalania paliw z odpadów w kotłach pyłowych, rusztowych i fluidalnych. Opisano również proces współspalania tych paliw w kotłach wykorzystujących przedpalenisko lub reaktor zgazowania. Ukazano również zagrożenia technologiczne związane ze współspalaniem paliw z odpadów związane głównie z występowaniem niekorzystnych zjawisk korozyjno-erozyjnych.

Biogas from waste – hazards and their elimination

Jolanta Biegańska, Ireneusz Stanuch

Increase of waste which degrade the environment is the main problem of civilization in twenty-first century. In the twentieth century it was observed, that amount of waste from agriculture and the food industry was growing. Mixed municipal wastes are mainly directed on the landfills. Landfills such waste are therefore place the formation of gas. Biogas is a mixture of various gases coming from microbial anaerobic fermentation of organic substrate. In order to use the biogas as a fuel, it is necessary to conduct clearing him and making rich. There are physical, chemical and biological methods scavenging of biogas.

Technological variants of using the fuels from wastes in the power industry

Ryszard Wasielewski, Sławomir Stelmach

Possibilities of using different technological variants for recovery of energy from fuels made from wastes are characterized. Installations co-incinerating the fuels from wastes are subjected to the formal-and-legal and technical requirements for thermal process of wastes conversion. Conditions of co-incineration of fuels from wastes in pulverized-fuel boilers, stoker fired boilers and fluidized boilers are presented. Co-incineration of these fuels in boilers using Dutch ovens or gasification reactor is also described. Technological hazards resulting from co-incineration of fuels from wastes, mainly associated with unfavourable corrosion-and-erosion phenomena, are also presented.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Aspekty środowiskowe i prawne dotyczące odpadów powstających podczas procesu hydraulicznego szczelinowania złóż łupków gazonośnych

Marcin Lutyński

W rozdziale przedstawiono ogólny rys sytuacji zasobowej gazu łupkowego w Polsce. Opisano podstawowe mechanizmy akumulacji gazu w złożach łupkowych oraz sposób udostępniania złóż gazu łupkowego za pomocą otworów kierunkowych i techniki szczelinowania hydraulicznego. Przedstawiono etapy procesu szczelinowania oraz typowy skład wód typu „slickwater" do procesu szczelinowania hydraulicznego. Opisano obieg wody w procesie hydraulicznego szczelinowania wraz z potencjalnymi zagrożeniami, jakie mogą wystąpić na poszczególnych etapach procesu. Poddano analizie skład wód zwrotnych (zużytych) z procesu szczelinowania oraz potencjalne sposoby utylizacji i oczyszczania tych wód wraz z analizą stanu prawnego dotyczącego powstających odpadów.

Legal and environmental concerns related to waste disposal from hydraulic fracturing of shale reservoirs

Marcin Lutyński

The chapter presents current outlook on the shale gas resources in Poland. Stages of hydraulic fracturing process and typical chemical composition of slickwater is given and stages of hydraulic fracturing are described in detail. The chemical composition of flowback water is described. Legal aspects of flowback water management and disposal methods are analyzed.

Badania możliwości usuwania kamienia z urobku węgla koksowego na powietrznych stołach koncentracyjnych

Ireneusz Baic, Wiesław Blaschke, Wojciech Sobko, Józef Szafarczyk, Paweł Okarmus

W ramach projektu pt. „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki" prowadzono prace dotyczące wzbogacania węgla dla potrzeb koksownictwa. Badana była możliwość wykorzystania powietrznych stołów koncentracyjnych do prowadzenia procesu odkamieniania (deshalingu) urobku przed skierowaniem go do procesów mokrego wzbogacania. W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki usuwania skały płonnej z trzech klas ziarnowych (50-25, 25-6, 25-0 mm) urobku węgla koksowego. Podano parametry jakościo-

Research into the possibility of removing the stone from the excavated coke coal on the air concentration tables

Ireneusz Baic, Wiesław Blaschke, Wojciech Sobko, Józef Szafarczyk, Paweł Okarmus

The project "Intelligent coke plant meeting the requirements of the best available techniques" involved the work of coal enrichment for the coke industry. The study focused on the possibility of using the air concentration tables for the deshaling process prior to the wet enrichment process. This chapter presents the results of removing the gangue of the three size fractions (50-25, 25-6, 25-0 mm) of the coke coal. The quality parameters feed and derived separated products (waste, intermediate concentrate) are given. The possibility of using

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

we nadawy oraz wydzielonych produktów rozdziału (odpady, produkt pośredni, koncentrat). Wykazano możliwość zastosowania procesu suchej separacji odpadów (skały płonnej) w układzie technologicznym zakładu przeróbki mechanicznej kopalni węgla koksowego.

dry separation process of waste (gangue) in the technological system processing plant of the coke coal mine has been shown.

Skuteczność suchego odkamieniania węgla koksowego metodą separacji na powietrznych stołach koncentracyjnych

Wiesław Blaschke, Paweł Okarmus, Stanisław Ziomber

Nowoczesne powietrzne stoły koncentracyjne pozwalają na usuwanie skały płonnej z urobku węgla. Proces rozdziału następuje w przedziale 2,0-2,2 g/cm³ gęstości ziaren nadawy. Usuwana jest większa część ziaren kamienia przy czym do odpadów nie trafiają ziarna węglowe. Teoretyczne rozproszenie prawdopodobne procesu jest równe *Ep* = 2,0. W rozdziale porównano ilości frakcji odpadowych w nadawie do ilości rzeczywiście usuniętych ziarn kamienia w procesie suchego odkamieniania badanych klas ziarnowych urobku. Określono, na tej podstawie, skuteczność deshalingu (odkamieniania) urobku węgla koksowego. Praca została wykonana w ramach etapu „Badania nowych technik wzbogacania węgla" projektu badawczego „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki".

The effectiveness of excavated coal deshaling with a dry separation method on the air concentration tables

Wiesław Blaschke, Paweł Okarmus, Stanisław Ziomber

Modern air concentration tables allow the removal of gangue from coal spoil. The separation process occurs in the 2,0-2,2 g /cm ³ density of feed grains The greater part of the grain stone is removed but waste do not get carbon grains. Theoretical scattering process is likely to be equal to *Ep* = 2,0. The chapter compares the amount of waste fractions in the feed to the quantities of stone grains actually removed in deshaling process with a dry separation method of studied classes of grain output. On this basis, the effectiveness of deshaling (decalcification) of the coke coal spoil was determined. The work was performed within the stage "Research on new techniques of coal enrichment" of the research project "Intelligent coke plant meeting the requirements of the best available technology.

Badania właściwości odpadów z procesu flotacyjnego wzbogacania węgla kamiennego w świetle wymagań formalno – prawnych

Bożena Rakwic

Około 6,5% ilości wytwarzanych przez górnictwo węgla kamiennego odpadów stanowią odpady flotacyjne, które ze względu na rozdrobnienie i wysoką zawartość węgla są w znikomym stopniu

Testing the properties of wastes from flotation of hard coal in the light of formal-and-legal requirements

Bożena Rakwic

Flotation wastes, which are rarely used in engineering and reclamation work due to their fragmentation and high content of coal, represent about 6,5% of all wastes produced in the hard coal mining

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wykorzystywane w pracach inżynieryjnych i rekultywacyjnych. Stąd istotne jest rozwijanie innych kierunków ich gospodarczego wykorzystania. W rozdziale zaprezentowano wyniki pracy badawczej zmierzającej do oceny przydatności odpadów flotacyjnych, jako materiałów do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów zawałowych w świetle wyspecyfikowanych wymagań formalno-prawnych. Wyniki badań pozwoliły na ocenę właściwości odpadów pod kątem określenia wpływu na stan środowiska naturalnego.

industry. Thus, it is important to develop new directions of economic use of the wastes. Results of studies aiming at assessment of usefulness of flotation wastes as materials for solidified backfilling and for gob sealing in the light of specified formal-and-legal requirements are presented. Tests results enabled to assess the properties of wastes as regards their impact on the environment.

Zagospodarowanie fosfogipsu na cele nieprzemysłowe

Jolanta Biegańska, Ewelina Piątkowska, Aleksandra Pala

Racjonalne gospodarowanie surowcami mineralnymi w procesach przeróbki i przetwarzania rud fosforowych jest istotnym pojęciem z punktu widzenia ochrony środowiska. Rosnące zapotrzebowanie na minerały fosforonośne powoduje nieustanne powstawanie ogromnych ilości fosfogipsu - produktu ubocznego, będącego nieodłącznym elementem produkcji ekstrakcyjnego kwasu fosforowego, dotychczas bardzo problematycznego w zagospodarowaniu. Nowe technologie przeróbki surowców mineralnych, modernizacja zakładów przeróbczych, czy też działania związane z minimalizacją odpadów dają możliwości wydobycia czystszego surowca, jak i poprawienia jakości generowanych produktów ubocznych, tworząc tym samym nowe perspektywy ich przyrodniczego wykorzystania. Niniejszy rozdział ma na celu ocenę wybranych parametrów materiału rekultywacyjnego zawierającego fosfogipsy.

Utilization of phosphogypsum for non-industrial purposes

Jolanta Biegańska, Ewelina Piątkowska, Aleksandra Pala

Rational management of mineral resources while processing of phosphate ore is an important notion from the point of view of environmental protection. The growing demand for minerals containing phosphorus causes constant formation of massive amounts of phosphogypsum - a by-product, which is an integral part of the production of phosphoric acid and is very problematic in terms of its management. New technologies applied to mineral resources, modernization of processing plants and actions related to the minimization of waste offer some possibilities to extract cleaner raw material and improve the quality of the generated products, creating at the same time new prospects for their use in nature. The chapter is aimed at assessing selected parameters of reclaimed material which contains phosphogypsum.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Wybrane zagadnienia odzyskiwania miedzi z materiałów wtórnych, w tym ze zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego ZSEE

Andrzej Jarosiński, Marcin Cholewa

Zgodnie z dyrektywą WEEE /2002/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego w krajach UE podjęto działania zmierzające do zapobiegania powstawaniu tego typu odpadów oraz ich recyklingu lub odzysku. Działania te zalicza się do najważniejszych priorytetów krajów UE w zakresie racjonalnej gospodarki odpadami i ochrony środowiska. W rozdziale zaprezentowano uwarunkowania technologiczne w zakresie pozyskiwania miedzi ze złomu i surowców nieenergetycznych. Podano opis procesu hydrometalurgicznego odzyskiwania miedzi z wtórnych materiałów, w tym z ZSEE. Omówiono koncepcje otrzymywania miedzi z ługów potrawiennych. Wypowiedziano się na temat wytwarzania zarówno miedzi metalicznej, jak i przykładowo chelatów z powyższych materiałów wtórnych.

Selected topics recovery of copper from recycled materials, including waste electrical and electronic equipment WEEE

Andrzej Jarosiński, Marcin Cholewa

According to WEEE/2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical equipment in the EU countries, actions were taken to prevent the formation of this type of waste and its recycling or recovery. These activities are among the most important priorities of EU countries in the field of rational waste management and environmental protection. The chapter presents the technological conditions on obtaining copper from scrap and non-energy raw materials. Description is given of a hydrometallurgical process to recover copper from secondary materials, including WEEE. Discusses the concepts of obtaining copper from pickling liquors. Spoken out about the production of both copper and metallic chelates, for example.

Rozwój konstrukcji kruszarek udarowych – odśrodkowych

Jan Sidor

W ostatnich latach nastąpił wzrost zainteresowania kruszarkami udarowymi, zwłaszcza kruszarkami z wirnikiem pionowym, zwanych również kruszarkami odśrodkowymi. Kruszarki te znalazły zastosowanie w procesach rozdrabniania udarowego, w zakresie kruszenia średniego, drobnego i bardzo drobnego uziarnionych surowców mineralnych oraz materiałów wytworzonych (klinkieru, żużli hutniczych). Stosowane są również w procesach uszlachetniania kruszyw jako kubizatory,

Development of impact-and centrifugal crushers

Jan Sidor

In recent years there has been increased interest in impact crushers, especially in crushers with vertical rotor, which are also called centrifugal crushers. These crushers are used in medium, fine and very fine impact crushing of raw minerals and already formed materials (clinker, metallurgical slag). They are also used as cubizers, and in special manufacture as mills, in upgrading processes of minerals. The project covers the impact crushing theory and classification of impact

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

w specjalnych wykonaniach jako młyny. Praca zawiera elementy teorii rozdrabniania udarowego, klasyfikację kruszarek udarowych odśrodkowych. Jako główne kryteria klasyfikacji przyjęto budowę strefy kruszenia oraz sposób pracy kruszarki. Podano także opisy budowy, działania kruszarek i charakterystyki techniczne najbardziej rozpowszechnionych kruszarek. Zwrócono uwagę na możliwości technologiczne tych kruszarek w procesach bardzo drobnego kruszenia.

centrifugal crushers. Structure of crushing zone and type of crusher operation are assumed to be the main classification criteria. Design, operation and technical characteristics of most common crushers are also described. The attention is paid to technological possibilities of these crushers in very fine crushing.

Rozdrabniacze i mieszalniki konstrukcji KOMAG

Arkadiusz Tomas, Piotr Matusiak, Daniel Kowol

Przedstawiono rozwiązania mieszalników i rozdrabniaczy stosowanych do przygotowywania m.in. mieszanek paliwowo-energetycznych z miału i mułu węglowego oraz mieszanin podsadzkowych przygotowywanych z materiałów w postaci suchej, plastycznej i zawiesin. Zaprezentowano koncepcję nowego urządzenia, przeznaczonego do rozdrabniania produktów filtracji, tzw. placków filtracyjnych. Rozdrabniacz RPF250 spełnia wymagania zakładów przeróbczych w zakresie przygotowywania finalnego produktu z mieszaniny drobnoziarnistych produktów filtracji z grubszymi sortymentami. Przedstawiono nową metodę wyznaczenia parametrów pracy rozdrabniacza.

Mixers and grinders of KOMAG design

Arkadiusz Tomas, Piotr Matusiak, Daniel Kowol

Designs of mixers and grinders used for preparation of e.g. fuel mixtures made of fine coal and coal sludge, as well as back-filling mixtures made of dry materials, plastic materials and suspensions, are described. Concept of new equipment for breaking up the filtration products, so-called filtration cakes, is presented. RPF250 grinder meets demand of processing plants as regards preparation of the final product i.e. mixture of fine-grained filtration products and coarse coal. New method for determination of operational parameters of the grinder is presented.

Możliwości stosowania cyklonów z cieczą ciężką w polskim górnictwie węglowym

Daniel Kowol, Piotr Matusiak, Paweł Okarmus, Grzegorz Jakubina

Spełnienie rosnących wymagań rynku oraz zapewnienie opłacalności produkcji węgla kamiennego wymagają kompleksowych działań w zakresie przeróbki węgla poprzez odpowiedni dobór urządzeń oraz ich stały rozwój celem intensyfikacji procesów wzbogacania.

Possibilities of using dense-medium cyclones in the Polish mining industry

Daniel Kowol, Piotr Matusiak, Paweł Okarmus, Grzegorz Jakubina

Meeting the increasing market requirements and ensuring profitability of hard coal production require complex activities in the field of coal processing such as proper selection of devices and their continuous development to intensify beneficiation processes. Pulsatory jig is

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

W polskich zakładach przeróbczych jednym z podstawowych urządzeń do wzbogacania węglowych nadaw miałowych jest osadzarka pulsacyjna. W wielu zagranicznych układach technologicznych wykorzystywane są do tego celu cyklony z cieczą ciężką zawiesinową. W rozdziale opisano zasadę działania cyklonów z cieczą ciężką oraz podano przykłady układów technologicznych z wykorzystaniem tych urządzeń. Porównano je z osadzarkami pulsacyjnymi i określono możliwości zastosowania cyklonów z cieczą ciężką do wzbogacania węgla w polskich zakładach przeróbczych.

one of basic devices for beneficiation of fine coal feeds in Polish processing plants. Suspension dense medium cyclones are used for that purpose in many foreign technological systems. Principle of operation of dense-medium cyclones is described and examples of technological systems using these devices are given. The cyclones are compared with pulsatory jigs and possibilities of using dense medium cyclones for coal beneficiation in Polish processing plants are specified.

Przesiewacze wibracyjne projektowane i konstruowane do procesów pomocniczych w instalacjach przeróbki surowców mineralnych

Andrzej Woźnica

Zastosowanie przesiewaczy w pomocniczych węzłach międzyoperacyjnych przeróbki surowców mineralnych to jedno z ważniejszych zadań stawianych zapleczu projektowo – konstrukcyjnemu wszystkich producentów maszyn i urządzeń oferujących produkty do różnych procesów wzbogacania kopalin użytecznych. Omówiono przesiewacze specjalne naszej konstrukcji i produkcji zastosowane przy wzbogacaniu rudy miedzi oraz węgla kamiennego. Przywołane zastosowania przemysłowe, uzyskane parametry technologiczne dowodzą i potwierdzają zasadność tego typu opracowań i produkcji.

Vibration sieves designed and constructed for auxiliary processes in installations for processing the minerals

Andrzej Woźnica

The application of screens in auxiliary interoperational mineral processing hubs is one of the important tasks for the design and construction teams of all the manufacturers of machines and equipment offering products for various beneficiation processes of useful materials. The chapter describes special screens of our construction and make, applied for copper ore and hard coal beneficiation. The quoted industrial applications, achieved technological effects prove and confirm the suitability of this type of products.

Problemy techniczno-technologiczne klasyfikacji przy użyciu przesiewaczy wibracyjnych o łamanej linii pokładu sitowego

Zygmunt Śmiejek

Klasyfikacja ziarnowa w suchych procesach przeróbczych podlega nieustannemu procesowi doskonalenia i modernizacji. Aktualne dokonania Kopex Machinery S.A. w tym zakresie przedstawiono w

Technical-and-technological problems of classification when using vibrating screens with sieves of broken line deck

Zygmunt Śmiejek

Grain classification in dry mineral processing undergoes continuous perfection and modernization. The current achievements of Kopex Machinery SA in this field are presented

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

odniesieniu do rozwoju tej technologii przesiewania w Polsce, począwszy od roku 1980. Racje istnienia przesiewaczy o wielokrotnie łamanej linii pokładu sitowego potwierdzają zasadność ich stosowania, o czym świadczą przemysłowe aplikacje tych maszyn pracujących z wydajnościami do 1200 Mg/h. W znaczących osiągnięciach polskich zespołów badawczych, projektowych i konstrukcyjnych w procesie wdrażania, do stosowania, będących przedmiotem niniejszego rozdziału przesiewaczy, ma także udział Kopex Machinery S.A.

in relation to the development of this classification technology in Poland since 1980. The advancement of screens with multi-polygonal line of screen deck confirm the suitability of their use, what is proved by industrial application of such machines with capacity up to 1200 Mg/h. Kopex Machinery S.A. has also its share in the outstanding achievements of Polish research, design and construction teams in the process of implementation of the screens being the subject of this paper.

Przesiewacz dwuczęstościowy – podsumowanie programu badań

Technical-and-technological problems of classification when using vibrating screens with sieves of broken line deck

Katarzyna Ławińska, Remigiusz Modrzewski, Piotr Wodziński

Katarzyna Ławińska, Remigiusz Modrzewski, Piotr Wodziński

Niniejszy rozdział przedstawia wyniki badań prowadzonych na przesiewaczu dwuczęstościowym w skali półtechnicznej, czyli maszynie przesiewającej o niejednakowej częstości obrotowej dwóch wibratorów napędowych. Badania te miały na celu określenie założeń konstrukcyjnych przesiewacza dwuczęstościowego w skali przemysłowej, który jest maszyną mechanicznie i dynamicznie podobną, przeznaczoną do przeróbki - przesiewania materiałów uziarnionych, szczególnie trudnych do rozdzielania.

This chapter presents the results of research conducted on a double-frequency screen in a pilot plant that is the screening machine which varies the rotational frequency of the two drive vibrators. This study aimed to determine the constructional foundations of a double-frequency screen on an industrial scale - a machine structurally and dynamically similar which is intended for processing of grained material especially difficult to separate.

Projektowanie automatycznych systemów poboru próbek węgla dla EDF Rybnik z wykorzystaniem modelowania 3D

Designing of automatic system for coal sampling for EDF Rybnik with use of 3D modelling

Michał Zuba, Arkadiusz Tomas, Krzysztof Kwaśny, Piotr Matusiak

Michał Zuba, Arkadiusz Tomas, Krzysztof Kwaśny, Piotr Matusiak

Przedstawiono charakterystykę systemów próbobrania oraz zaprezentowano wyniki projektowania automatycznych systemów próbobrania, z wykorzystaniem programów do modelowania trójwymiarowego dla elektrowni węglowej EDF Rybnik.

Characteristics of the sampling systems are given and the designs of automatic sampling systems for EDF Rybnik Power Plant are presented with use of 3D modelling programmes. The models of systems for four transportation belts in

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Opracowano modele systemów dla czterech taśm wchodzących w skład układu nawęglania bloków energetycznych.

Zwiększenie wydajności stacji odwadniania odpadów flotacyjnych poprzez zastosowanie nowoczesnej prasy filtracyjnej

Bartosz Piechaczek, Marek Lenartowicz, Grzegorz Gruszka, Andrzej Pyc, Henryk Kaczmarczyk

Opisano zastosowanie nowoczesnych pras filtracyjnych do odwadniania odpadów flotacyjnych w kopalniach węgla kamiennego. Dzięki wymianie istniejących urządzeń na nowoczesne możliwe jest znaczne zwiększenie wydajności węzła odwadniania odpadów przy zachowaniu tych samych lub lepszych parametrów technologicznych. Przedstawiono doświadczenia z użytkowania prasy filtracyjnej typu GHT zabudowanej w ZPMW KWK „Krupiński".

Wdrożenie nowego typu wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej w KWK „Sośnica – Makoszowy", Ruch „Sośnica"

Piotr Myszkowski, Joachim Król

W listopadzie 2013 r., w KWK "Sośnica - Makoszowy" Ruch „Sośnica" uruchomiono nowy typ wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej wyprodukowanej przez ANDRITZ, oznaczony AS11-3. W porównaniu do dotychczas produkowanych wirówek, nowy model AS11-3 charakteryzuje się wzrostem wydajności przy niezmienionej wilgoci produktu, znaczną redukcją ogólnej wagi maszyny, wydłużeniem okresów międzyremontowych, można ją transportować w dużo łatwiejszy sposób. Między innymi zastosowano nowy system smarowania olejowego łożysk przenośnika ślimakowego, uzyskano wydłużenie okresu wymiany oleju, zmniejszono straty ciał stałych w odcieku z części sedymentacyjnej. W rozdziale zaprezentowano wyniki eksploatacyjne

the coal supply system of power unit were developed.

Increase of dewatering efficiency of flotation wastes by use of state-of-the-art filtration press

Bartosz Piechaczek, Marek Lenartowicz, Grzegorz Gruszka, Andrzej Pyc, Henryk Kaczmarczyk

The chapter illustrates using modern filter presses for the dewatering of flotation tailings in the coal mining sector. Replacing the existing machines with modern designs enables the increase of the capacity of the flotation tailings dewatering plant while guaranteeing the same or improved performance parameters. The experience of using a GHT filter press installed at the CHPP at "Krupiński" Colliery is presented.

Implementation of new type sediment-filter centrifuge in "Sośnica-Makoszowy" Colliery

Piotr Myszkowski, Joachim Król

In November 2013, "Sośnica-Makoszowy" Colliery launched a new type of centrifuge sediment-filter manufactured by ANDRITZ, designated AS11-3. Compared to previously manufactured centrifuges, the new model AS11-3 is characterized by an increase in productivity with unchanged moisture product, a significant reduction in the overall weight of the machine, lengthening periods between, it can be transported in a much easier way. Among other things, the new system uses oil lubrication of the screw conveyor bearings, obtained extending the oil changes, reduced loss of solids in the effluent from the sedimentation section. The chapter presents the results of operating centrifuges AS11-3 and their

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

wirówki AS11-3 z KWK „Sośnica” oraz ich porównanie do standardowych konstrukcji dostępnych obecnie na rynku. Po przeprowadzeniu wstępnych analiz próbek pobranych podczas eksploatacji wirówki, stwierdzono, że wilgoć produktu odwodnionego nie zmieniła się w porównaniu z dotychczas eksploatowanymi wirówkami typu SB6400 lub SVS1100x33, wirówka pracowała przy znacznie większej wydajności, wynoszącej 86 t/h, jednak obciążenie momentem obrotowym wyniosło jedynie 50%. Prawdopodobnie, wirówka będzie mogła być eksploatowana przy jeszcze większym obciążeniu, jednakże sprawdzenie tej tezy wymaga wykonania dalszych badań. Z całą pewnością wirówka typu AS11-3 jest urządzeniem umożliwiającym pracę przy dużo większych wydajnościach i mniejszym zużyciu energii elektrycznej, niż wirówki do tej pory eksploatowane, co, w wypadku zakładów przeróbki mechanicznej węgla, jest czynnikiem pożądanym i oczekiwanym.

comparison to the standard design available on the market today. After the initial analysis of samples taken during the operation of the centrifuge, it was found that moisture dewatered product has not changed in comparison with the previously exploited type centrifuges SB6400 or SVS1100x33, but the centrifuge was operated at a much higher performance of 86 t/h, and the torque load was only 50%. Probably, the centrifuge would be able to be operated at an even greater load, but check this thesis requires further testing. Certainly centrifuge type AS11-3 is a device that allows operation at much higher yields using less electricity, which , in the case of coal processing plants, are factors desired and expected.

Zastosowanie bezinwazyjnych przepływomierzy sonarowych SONARtrack® w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin

Piotr Myszkowski, Mateusz Brzozowski

Omówiono zastosowanie nowatorskich, bezinwazyjnych przepływomierzy SONARtrack® w zakładach przeróbki mechanicznej kopalin. Pomiar przepływu cieczy/mieszaniny odbywa się przy wykorzystaniu generowanych wewnątrz rurociągu zjawisk dźwiękowych (wykorzystywana jest przy tym technologia sonarowa). Jest to urządzenie monitorujące zmiany prędkości fali akustycznej, generowanej wewnątrz rurociągu, przez przepływające medium. Jako detektory zastosowano pasywne czujniki piezoelektryczne w formie matrycy (elastyczna mata), dlatego montaż jest bardzo prosty i polega jedynie na owinięciu rury z zewnątrz. Wszystko odbywa się podczas

Use of non-invasive SONARtrack® flow meters in the mechanical coal processing plants

Piotr Myszkowski, Mateusz Brzozowski

The paper compares the measurement results of SONARtrack® systems, commonly used in the industrial electromagnetic flow meters. Comparison of test results indicates that SONARtrack® systems measure the flow rate in a manner clearly reflecting the conditions in the pipe, irrespective to changes in density of the medium, and the repeatability of measurements is greater than in the other types of flow meters. SONARtrack® clamp-on system allows on-line real-time measurement of the volumetric flow and amount of entrained air/gas present in any liquid.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

eksploatacji, bez wstawiania jakichkolwiek elementów w rurociąg w ciągu maksymalnie 2 godzin. Materiał rurociągu jest praktycznie dowolny, a wewnątrz rurociągu mogą tworzyć się osady. Mierzona ciecz lub mieszanina jest także dowolna. Pomiary są bardzo dokładne i powtarzalne, ewentualna obecność powietrza jest wykrywana, a jego wpływ na pomiar jest kompensowany. Przepływomierze te można zastosować także jako detektory wykrywające wycieki oraz na instalacjach z cieczą ciężką. Zastosowanie urządzeń CiDRA generuje wzrost wydajności, wzrost dostępności instalacji, wzrost jakości produkcji, zmniejszenie kosztów obsługi, zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych.

Próby techniczne i stanowiskowe grudkownika mułów węglowych

Jacek Feliks

W trakcie procesów wzbogacania węgla w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego powstają muły węglowe. Są to najdrobniejsze klasy o uziarnieniu poniżej 1 mm, w których klasy poniżej 0,035 mm stanowią nawet do 60 % składu ziarnowego mułów. W zależności od parametrów jakościowych muły te mogą być kierowane bezpośrednio do mieszanek energetycznych lub są deponowane w osadnikach ziemnych poszczególnych kopalń. W rozdziale przedstawiono wyniki prób technicznych i stanowiskowych nowego typu urządzenia służącego do granulowania mułów węglowych, zaprojektowanego w KMGPiT, a wykonanego w Kompanii Węglowej.

Technical and stand tests of coal fines pelletizer machine

Jacek Feliks

During the process of coal processing in the coal mines some coal mules are produced. These are the smallest class of grain size below 1 mm, in which the grade of less than 0,035 mm account for up to 60% of the total output. Depending on the quality parameters these mules can be used in the power mixtures or are deposited in the magazines of individual mines. The paper presents the results of technical and bench tests of new type of device for granulating coal mules, designed in KMGPiT and made in Coal Company.

Możliwości zastosowania małogabarytowego urządzenia odpylającego w zakładach przeróbki mechanicznej węgla

Marek Jedziniak

Zaprezentowano wyniki prac badawczo-rozwojowych, realizowanych przez ITG KOMAG w ramach projektu celowego nr ROW-III-233/2012, dofinansowanego przez Federację Stowarzyszeń Naukowo-

Possibilities of using the small-size dust collector in coal mechanical processing plants

Marek Jedziniak

Results of R&D work carried out by KOMAG within the targeted project No. ROW-III-233/2012, co-financed by the Polish Federation of Engineering Associations NOT, ordered by Wiromag,

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Technicznych NOT, którego zleceniodawcą była firma Wiromag Sp. z o.o. w odniesieniu do możliwości zastosowania opracowanego urządzenia w zakładach przeróbki mechanicznej węgla. Omówiono źródła propagacji aerozoli w ciągach technologicznych zakładów przeróbczych oraz sposoby ich zwalczania za pomocą opracowanego małogabarytowego urządzenia odpylającego. Omówiono jego budowę, zasadę działania urządzenia oraz zalety zaproponowanego rozwiązania.

are presented considering the possibilities of using the developed device in coal mechanical processing plants. Sources of aerosols propagation in technological lines in the processing plants and the methods of their elimination with use of developed small-size dust collector are discussed. Design, principle of operation and advantages of suggested solution are presented.

Metody automatycznego sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach węglowych

Methods for automatic control of water pulsatory movement in coal jigs

Sebastian Jendrysik, Daniel Kowol, Michał Łagódka, Krzysztof Stankiewicz

Sebastian Jendrysik, Daniel Kowol, Michał Łagódka, Krzysztof Stankiewicz

Podstawowym czynnikiem decydującym o skuteczności procesu wzbogacania w osadzarkach jest charakterystyka ruchu pulsacyjnego wody. W rozdziale omówiono metody sterowania ruchem pulsacyjnym wody w osadzarkach węglowych. Przedstawiono rozwiązania sprzętowe stosowane do pomiaru i regulacji parametrów pulsacji wody. Na przykładzie systemu sterowania osadzarką typu KOMAG, omówiono algorytm sterowania ruchem pulsacyjnym wody.

A characteristic of water pulsatory movement is the basic factor deciding about the effectiveness of beneficiation in jigs. Methods for control of water pulsatory movement in coal jigs are discussed. Hardware solutions used for measurement and control of water pulsation parameters are presented. Algorithm for control of water pulsatory movement is discussed on example of the system for control of KOMAG jig.

Badania laboratoryjne wpływu parametrów przepływu powietrza na zmiany poziomu wody i ciśnienia w komorze pulsacyjnej osadzarki

Laboratory tests of impact of airflow parameters on changes in water level and pressure in the chamber of pulsatory jig

Piotr Matusiak, Michał Łagódka, Daniel Kowol

Piotr Matusiak, Michał Łagódka, Daniel Kowol

W osadzarkach zasilanych sprężonych powietrzem, parametry ruchu pulsacyjnego wody w przestrzeni roboczej, takie jak: skok i częstotliwość, są zależne od charakterystyki działania układu sterowania regulującego przepływ powietrza przez komory powietrzno-wodne. Podczas badań laboratoryjnych, zrealizowanych

In jigs supplied by compressed air, the parameters of water pulsatory movement in operational chamber, such as amplitude and frequency, depend on characteristics of operation of the system responsible for control of airflow through air-and-water chambers. Impact of airflow parameters on water pulsation

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

przy stosowaniu różnych charakterystyk działania zaworów regulujących parametry przepływu powietrza, określano ich wpływ na skok pulsacji wody oraz zakres zmian ciśnienia powietrza w komorach powietrzno-wodnych i zbiorniku wyrównawczym osadzarki. Badania wykazały skuteczność wyznaczania średniego poziomu wody w komorze powietrzno-wodnej przy użyciu sondy pojemnościowej oraz możliwość wykorzystania pomiaru ciśnienia powietrza, w części pneumatycznej osadzarki, do stabilizacji ruchu pulsacyjnego wody i kontroli prawidłowości działania mechanizmów rozrządu powietrza.

amplitude and on range of changes of air pressure in air-and-water chambers and in jig surge tank was determined during laboratory tests with use of different characteristics of operation of valves controlling these parameters. The tests proved the effectiveness of determination of average level of water in air-and-water chamber with use of volume probe, as well as the possibility of use of measurement of air pressure, in pneumatic part of the jig, for stabilization of water pulsatory movement and control of correctness of operation of mechanisms for air distribution.

Możliwości zastosowania procesu flotacji pianowej do wzbogacania „sedymentu" z wirówek sedymentacyjno-sitowych

Daniel Kowol, Michał Łagódka, Piotr Matusiak, Andrzej Gawliński

Efektem ubocznym procesu odwadniania flotokoncentratu, poprzez zastosowanie wirówek sedymentacyjno-sitowych, jest powstawanie bardzo drobnych frakcji ziarnowych z części bezsitowej, tzw. „sedymentów", stwarzających w zakładach przeróbczych problem technologiczny i ekonomiczny. W niniejszym rozdziale zamieszczono wyniki badań nad możliwością powtórnego zastosowania procesu flotacji pianowej do wzbogacenia „sedymentu" i w efekcie dodatkowego odzysku ziaren węglowych.

Possibilities of using froth flotation for beneficiation of "sediment" from sediment-and-sieve centrifuges

Daniel Kowol, Michał Łagódka, Piotr Matusiak, Andrzej Gawliński

Production of very fine grain fractions from screen-less part, so-called "sediments", which cause technological and economic problem in processing plants, is a side effect of dewatering of flotation concentrate with use of sediment-and-sieve centrifuges. Results of testing the possibility of reusing the froth flotation for beneficiation of "sediment", what means additional recovery of coal grains, are given.

Kolektory do flotacji węgla kamiennego na bazie olejów popirolitycznych

Stanisław Budzyń, BarbaraTora

Przedstawiono wyniki badania nad możliwością wykorzystania olejów po pirolizie odpadów biomasowych oraz odpadów gumowych jako zbieracza do flotacji węgla kamiennego. Otrzymano wyniki flotacji węgla porównywalne ze standardowo stosowanymi zbieraczami

Collector on the basis of post-pyrolisis oils for hard coal flotation

Stanisław Budzyń, BarbaraTora

The chapter presents the results of studies on the use of oils on the pyrolysis of biomass and waste rubber as collector for flotation of hard coal. The results of flotation of coal are compare to the flotation with standard applied collector Montanol. The use of oils as the flotation

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

Montanol. Wykorzystanie olejów popirolitycznych do flotacji jest jednym ze sposobów odzysku materiałowego odpadów węglonośnych (organicznych, gumy).

Charakterystyka i możliwości zastosowania jonitów w technologii wody i ścieków

Agnieszka Bożęcka, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska

Rozdział zawiera przegląd literatury na temat zastosowania jonitów w technologii wód oraz ścieków. Przedstawione badania, dotyczyły głównie procesów wymiany jonowej wykonywanych za pomocą wytrząsarki (metoda dynamiczna) oraz metodą kolumnową. Omówiono rodzaje oraz budowę jonitów a także przedstawiono mechanizm wymiany jonowej. Zaprezentowano sposób interpretacji wyników sorpcji z wykorzystaniem modelu adsorpcji monowarstwowej. Zamieszczono także wyniki badań własnych, które dotyczyły usuwania jonów ołowiu z roztworów wodnych, za pomocą silnie kwaśnego kationitu Purolite C160.

Usuwanie jonów ołowiu z roztworów wodnych za pomocą sorbentów naturalnych i żywic jonowymiennych

Agnieszka Bożęcka, Piotr Bożęcki, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska

Przedstawiono wyniki badań dotyczących usuwania jonów Pb2+ z roztworów wodnych za pomocą wybranych sorbentów naturalnych, takich jak: łuszczyny słonecznika, łupiny orzecha włoskiego i pestki śliwek oraz syntetycznej żywicy jonowymiennej C 160 firmy Purolite. Najwyższe wartości współczynnika wydzielania jonów Pb2+ osiągnięto dla jonitu i łuszczyn słonecznika. Ich maksymalna wartość wyniosła 99,89% w przypadku zastosowanej żywicy jonowymiennej

agent is one of the possible ways of waste material recovery.

Characteristic and possibility of using ionites in water and sewage processing

Agnieszka Bożęcka, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska

The chapter presents a literature review covering use of ion exchange resins in water and wastewater treatment technology. The study was focused on ion exchange processes performed by the shaker (dynamic method) and by column. Essence of ion exchange mechanism and types and structure of ion exchange resins was presented as well. Based on monolayer adsorption model, way of interpretation of the experiment results was explained. Authors presented also results of their own experiments concerns removal of lead ions from aqueous solutions using strongly acidic cation exchanger Purolite C160.

Removing of lead ions from water solutions by using natural sorbents and ion exchange resigns

Agnieszka Bożęcka, Piotr Bożęcki, Piotr Kasprzyk, Stanisława Sanak-Rydlewska

The chapter presents the results of research on the removal of Pb2+ ions from aqueous solutions with selected natural sorbents such as sunflower hulls, walnut shells and plum stones as well as synthetic resin Purolite C 160. The highest values of the coefficient of Pb2+ ion excretion was achieved for the ion exchange resin and sunflower hulls. Their maximum value was 99,89% for the applied resin and 96,30% for used organic sorbent. The results were

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)

oraz 96,30% dla łuszczyn słonecznika. Wyniki badań zinterpretowano w oparciu o model Langmuira. Określono także chemiczną strukturę powierzchni badanych sorbentów, wykorzystując metodę spektrometrii w podczerwieni (FTIR). Na podstawie widm IR dokonano identyfikacji powierzchniowych grup funkcyjnych użytych materiałów i określono ich wpływ na mechanizm sorpcji jonów Pb2+.

Analiza porównawcza skuteczności odwadniania i rozdziału materiału na sitach OSO z wkładami stalowymi i poliuretanowymi

Piotr Pasiowiec, Klaudia Bańczyk, Jerzy Wajs, Sebastian Gawlista, Barbara Tora

Odwadniające sito odśrodkowe (OSO) jest oryginalną polską konstrukcją zaliczaną do statycznych urządzeń odwadniających. W układach technologicznych wzbogacania węgla służy do: wstępnego odwadniania miału węglowego po wzbogaceniu w osadzarce, odmulania miału przed wzbogaceniem w osadzarkach i innych urządzeniach, wydzielania z zamulonej wody obiegowej mułu zagęszczonego przed procesem flotacji i filtracji, segregacji mułu węglowego w celu wydzielenia pirytów. Odśrodkowe sito odwadniające OSO pomimo swej prostej konstrukcji charakteryzuje się wysokimi wskaźnikami pracy i w pełni spełnia wymagania procesów odwadniania w przemyśle wydobywczym, chemicznym, spożywczym i ochrony środowiska itd. W rozdziale przedstawiono porównanie efektywności odwadniania oraz rozdziału zawiesin za pomocą sit OSO z wkładami zgrzewanymi stalowymi i poliuretanowymi.

interpreted on the basis of the Langmuir model. Determination of the chemical structure of the surface of tested sorbents was also done with using the method of infrared spectrometry (FTIR). Functional groups presents on the surface of the tested materials were identified based on archived IR spectra. Also their effect on the process of sorption of Pb2+ ions have been found.

Comparative analysis of efficiency of dewatering and separation of material on OSO sieves with steel and polyurethane inserts

Piotr Pasiowiec, Klaudia Bańczyk, Jerzy Wajs, Sebastian Gawlista, Barbara Tora

Centrifugal Dewatering Sieve (OSO) is the original Polish construction that belongs to the static dewatering devices. In the technological systems of coal processing is used as first stage of dewatering of fine coal after enrichment in a jig, to separate the fine before enrichment in jigs or cleaning water fines before the process of flotation and filtration, segregation of coal sludge to separate pyrites. Centrifugal Dewatering Sieve (OSO) in spite of its simple structure is characterized by high rates of work and fully meets the requirements of dewatering processes in mining, chemical, food and environmental protection, etc. The chapter presents a comparison of the efficiency of dewatering and separation of suspensions by means of sieves OSO with inserts welded steel and polyurethane.

Open Access (CC BY-NC 3.0 PL)