Komeko 2012

KOMAG

Instytut Techniki Górniczej

INNOWACYJNE I PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA TECHNIKI I TECHNOLOGIE PRZERÓBKI SUROWCÓW MINERALNYCH

BEZPIECZEŃSTWO - JAKOŚĆ - EFEKTYWNOŚĆ

Gliwice 2012

ISBN 978-83-60708-59-0

Open Access (CC BY-NC 3.0. PL)

Komeko 2012 **Instytut Techniki Górniczej**

Praca zbiorowa

Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych

Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność

Monografia

Gliwice 2012

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. Pol. Śl.
Prof. dr hab. inż. Stanisław Cierpisz
Prof. dr hab. inż. Peter Fečko
Prof. dr hab. inż. Adam Klich
Prof. dr hab.inż. Zdzisław Kłeczek
Prof. dr hab. inż. Aleksander Lutyński
Prof. dr hab. inż. Stanisława Sanak-Rydlewska
Dr hab. inż. Barbara Tora, prof. nadzw. AGH
Prof. dr hab. inż. Piotr Wodziński

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 978-83-60708-59-0

Nakład: 100 egz.

Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG

Spis treści

str.

1. GOSPODARKA ODPADAMI – METODY I TECHNOLOGIE

1.1. Aktualne uwarunkowania dla budowy podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych 7

1.2. Problematyka odpadów wydobywczych w aspekcie przepisów prawnych 12

1.3. Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego - podsumowanie wyników projektu 21

1.4. Problematyka zakresu badań odpadów wydobywczych 35

1.5. Odpady wydobywcze z kopalń węgla kamiennego – wyzwania i oczekiwania 51

1.6. Określanie ilości metali ciężkich wymywanych z odpadów górnictwa węgla kamiennego w warunkach obiektu drogowego przy zastosowaniu modelowania hydrochemicznego 62

1.7. Koncepcja budowy w Polsce centralnego składowiska odpadów niebezpiecznych, w tym odpadów promieniotwórczych 77

1.8. Ocena przydatności popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego do produkcji tworzyw geopolimerowych 89

1.9. Dostępne i przyjazne środowisku metody przeróbki wtórnych materiałów cynkonośnych 98

2. NOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE MASZYN PRZERÓBCZYCH

2.1. Możliwości poprawy parametrów jakościowych i ilościowych produktów w węźle wzbogacania osadzarkowego 111

2.2. Badania rozkładu gęstościowego wzbogacanego materiału w strefie rozdziału/odbioru osadzarki pulsacyjnej 121

2.3. Układ sterowania węzłem osadzarkowym 134

2.4. Gęstościomierz radiometryczny do monitoringu i sterowania procesu wzbogacania węgla w osadzarce 144

2.5. Zastosowanie modułowych sit gumowych typu EPP w osadzarkach pulsacyjnych miałowych 157

2.6. Rozwój konstrukcji przesiewaczy do klasyfikacji wstępnej węgla kamiennego oraz innych surowców ze szczególnym uwzględnieniem przesiewaczy o falującej powierzchni roboczej sita typu „flip-flow” 164

2.7. Hydrocyklony klasyfikujące 175

2.8. Wpływ kształtu wirnika i ilości powietrza na przebieg flotacji w laboratoryjnej maszynce flotacyjnej 189

2.9. Odwadnianie sedymentu węglowego z użyciem pras filtracyjnych na przykładzie prasy GHT 1500 zabudowanej w ZPMW KWK „Jas-Mos” 199

3. OBIEGI WODNO-MUŁOWE – TECHNOLOGIE I AUTOMATYZACJA PROCESÓW

3.1. Identyfikacja depozytów mułów węglowych – własności chemiczne, „baza danych (DMW)" 224
3.2. Możliwości wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych 237
3.3. Właściwości fizykochemiczne mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych 251
3.4. Granulacja mułów węglowych pochodzących z pras komorowych w systemie produkcji ciągłej 266
3.5. Doświadczenia z użytkowania „instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie <25µm" w KWK „Jas-Mos" 284
3.6. Automatyzacja systemu sterowania Gospodarki Wodno-Mułowej w ZG Sobieski 294

4. MIESZANKI ENERGETYCZNE – WYTWARZANIE I WYKORZYSTANIE PALIW ALTERNATYWNYCH

4.1. Zastosowanie drzewa C&RT w klasyfikacji biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych 304
4.2. Wykorzystanie energii z osadów ściekowych w procesie współspalania z węglem kamiennym 317
4.3. Efektywność odzysku metanu z wysypiska komunalnego na przykładzie wysypiska Barycz 326

5. OCHRONA ŚRODOWISKA – MONITOROWANIE CZYNNIKÓW, ZAPOBIEGANIE ZAGROŻENIOM

5.1. Stosowanie systemów elektronicznych w procesach wydobywczych – przegląd nowoczesnych metod 337
5.2. Problemy projektowania systemów aktywnej redukcji hałasu 348
5.3. Zintegrowany system monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych zwiększający bezpieczeństwo eksploatacyjne – wyniki analiz 359
5.4. Zakłady wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach – sytuacja radiacyjna 371
5.5. Zastosowanie chalcedonitu do usuwania jonów żelaza z roztworów wodnych 383
5.6. Porównanie regeneracji łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego po procesie sorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z modelowych roztworów wodnych w układach jedno- i dwuskładnikowych 396

Indeks autorów 410
Streszczenia w języku polskim i angielskim 411

Wprowadzenie

Przedstawiamy Państwu monografię poświęconą innowacyjnym i przyjaznym dla środowiska technikom i technologiom przeróbki surowców mineralnych. Przedstawiona w pięciu rozdziałach problematyka monografii obejmuje metody i technologie stosowane w gospodarce odpadami, nowe rozwiązania maszyn przeróbczych, technologie i automatyzację obiegów wodno-mułowych, wytwarzanie i wykorzystanie paliw alternatywnych oraz metody monitorowania i zapobiegania zagrożeniom w środowisku. Wszystkie te zagadnienia rozpatrywane są w aspekcie bezpieczeństwa, jakości i efektywności rozwiązań.

Nowe ustawy i przepisy, takie jak Prawo geologiczne i górnicze obowiązujące od 1 stycznia 2012 r. oraz projekt ustawy o odnawialnych źródłach energii, wymuszają inwestowanie w najnowsze technologie, gwarantujące coraz bardziej efektywne wykorzystanie istniejących zasobów, często z wykorzystaniem tzw. odpadów wydobywczych. Według danych Polskiego Związku Producentów Kruszyw wynika, że udział kruszyw pozyskiwanych z takich odpadów, w szczególności węgla kamiennego, wynosi obecnie ok. 5% ogólnej masy 200 mln ton kruszyw produkowanych rocznie w Polsce. Doskonalone technologie odzysku są na tyle rozwojowe, że ilość pozyskanych kruszyw może się zwiększyć do 2020 r. dwukrotnie.

Pozyskiwanie kruszyw z odpadów kopalnianych jest dodatkowo, w coraz większym stopniu, wspomagane przez Unię Europejską, gdyż pozwala oszczędniej gospodarować naturalnymi zasobami surowców mineralnych.

Powyższe uwarunkowania wskazują na potrzebę ciągłego opracowywania innowacyjnych metod i technologii przeróbki surowców mineralnych. Zaprezentowane w monografii rozwiązania, będące wynikiem prowadzonych prac naukowych, badawczych, rozwojowych, technicznych i organizacyjnych w wielu ośrodkach naukowych i przemysłowych, świadczą o aktywności środowiska przeróbki surowców mineralnych. Coraz większą uwagę zwraca się na energochłonność procesów pozyskiwania surowców oraz jakość końcową produktów, jak również trwałość maszyn i urządzeń. Bezdyskusyjne są aspekty bezpieczeństwa pracy. W coraz większym stopniu uwzględniane są wymagania ochrony środowiska.

Dziękując wszystkim współautorom monografii, wydawcom wyrażamy nadzieję, że wdrożenie prezentowanych rozwiązań przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa pracy, poprawy jakości i efektywności procesów produkcji surowców mineralnych.

prof.dr hab.inż. Adam Klich
dr inż. Antoni Kozieł
Redaktorzy naukowi monografii

Gliwice, marzec 2012 r.

ROZDZIAŁ 1

GOSPODARKA ODPADAMI – METODY I TECHNOLOGIE

Aktualne uwarunkowania dla budowy podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych

Zdzisław Kłeczek – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Uwagi wstępne

Głównym kryterium jakie musi spełniać podziemne składowisko odpadów niebezpiecznych to gwarancja długotrwałej izolacji miejsca składowania od biosfery. Podstawowym dokumentem precyzującym wymagania jakie stawiane są wobec tych obiektów jest ustawa z dnia 9 czerwca 2011 roku Prawo geologiczne i górnicze, konkretnie Rozdział 4 Ustawy: „Podziemne składowanie odpadów" [2]. W oparciu o ust. 7 art. 125 wspomnianej Ustawy Minister Środowiska w dniu 28 grudnia 2011 r. wydał Rozporządzenie w sprawie podziemnych składowisk odpadów, które weszło w życie 15 stycznia 2012 r. [3]. Tak więc, od tej daty rozpoczęto w Polsce wdrażanie postanowień odpowiednich dyrektyw Rady UE w sprawie kryteriów i procedur dopuszczania odpadów na składowiska podziemne.

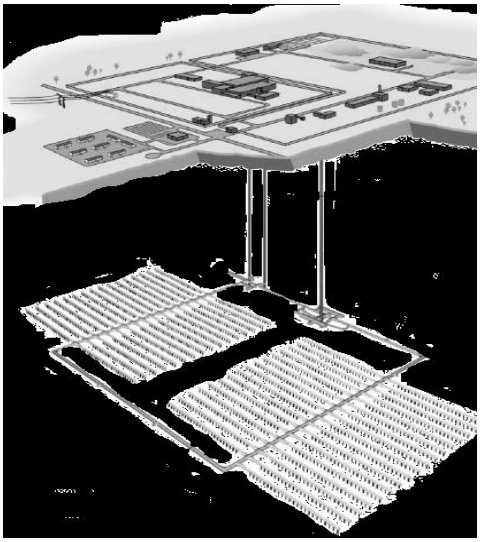
Na podstawie danych z ostatnich 10 lat, w skali jednego roku w Polsce powstaje ok. 1 600 tysięcy Mg odpadów niebezpiecznych, co stanowi ok. 3,5% ogólnej masy odpadów przemysłowych. Ponadto do 2022 roku ma być uruchomiona w Polsce pierwsza elektrownia jądrowa. Wobec pilnej potrzeby zlikwidowania eksploatowanej od 1961 r. Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie, powstaje konieczność dodatkowego unieszkodliwienia w skali jednego roku kilkudziesięciu Mg promieniotwórczych odpadów wysoko aktywnych oraz ok. 10 tysięcy Mg odpadów promieniotwórczych o niskiej toksyczności. Biorąc pod uwagę powyższe fakty priorytetowym zadaniem z zakresu budownictwa górniczego staje się decyzja o lokalizacji i budowie w Polsce podziemnego składowiska odpadów, spełniającego wymogi Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów (Dz.U. Nr 298, poz. 1771) [3].

2. Aktualne kryteria budowy podziemnego składowiska

Budowa podziemnego składowiska odpadów (rys. 1) jest złożonym przedsięwzięciem, wymagającym zaangażowania szerokiego grona ekspertów różnych specjalności, m.in. :

- geologii inżynierskiej,
- mechaniki górotworu,
- budownictwa podziemnego,
- inżynierii środowiska,

głównie dla przeprowadzenia analiz geomechanicznych górotworu naruszonego działalnością górniczą i poznania procesów reologicznych zachodzących w otoczeniu wielkogabarytowych komór oraz oceny stateczności podziemnych obiektów składowiska.



Rys.1. Schemat struktury przestrzennej podziemnego składowiska odpadów

Najbardziej istotnym i najważniejszym elementem procesu projektowo-inwestycyjnego jest decyzja dotycząca lokalizacji składowiska w takiej formacji geologicznej, która musi stanowić naturalną barierę dla potencjalnej migracji substancji niebezpiecznych poza granice przestrzeni objętej przewidywanymi, szkodliwymi wpływami składowanych odpadów.

Wybór miejsca lokalizacji składowiska musi być oparty na znajomości budowy geologicznej, hydrogeologicznej i tektonicznej wytypowanych struktur skalnych. Struktury te muszą spełniać odpowiednie warunki, m.in.:

- muszą stanowić odpowiednio dużą formację geologiczną,
- muszą być zlokalizowane w znacznej odległości od stref geologicznych nieciągłości,
- muszą się cechować absolutną szczelnością i bezwzględną izolacją od warstw wodonośnych,
- skały tworzące wytypowaną strukturę geologiczną muszą być odpowiednio wytrzymałe dla zapewnienia długotrwałej stateczności komór składowiska,
- wytypowana struktura geologiczna winna być zlokalizowana w rejonie asejsmicznym.

Ten ostatni warunek został bardzo mocno zaakcentowany w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [3], w którym zawarto stwierdzenie (§ 2.1.), że podziemnego składowiska odpadów nie lokalizuje się na obszarach ze zwięk-

szoną aktywnością sejsmiczną naturalną lub wzbudzoną działalnością człowieka. Oznacza to praktycznie zakaz lokalizacji podziemnych składowisk w obszarach górniczych kopalń, w których występują rejony zaliczone do zagrożonych tąpaniami.

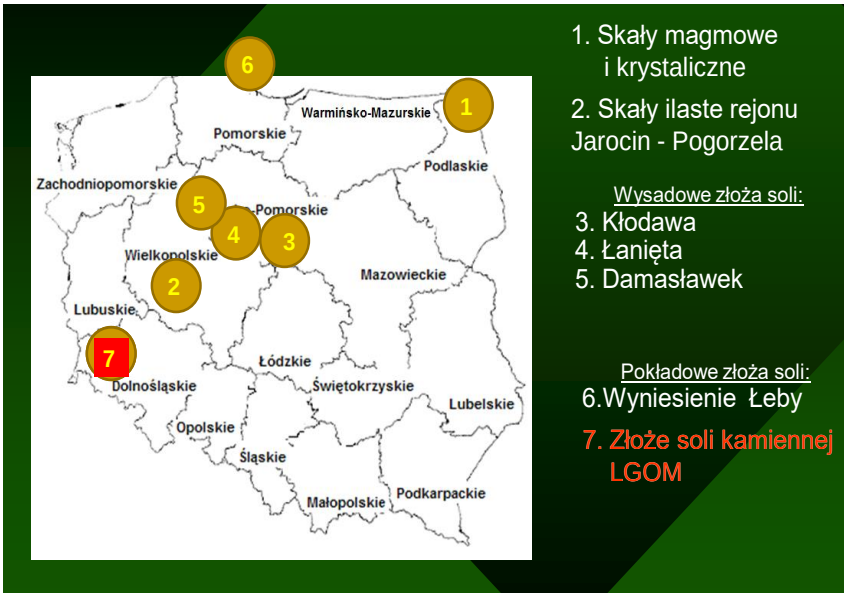
Również bardzo istotnym warunkiem dotyczącym wyboru miejsca lokalizacji podziemnego składowiska odpadów jest warunek, w którym wyklucza się obszary w których występują [3]:

– zjawiska krasowe lub syfozyjne,
– erozje wgłębne lub denudacje wskazujące na odsłonięcie składowiska na powierzchni ziemi przed upływem 10 000 lat,
– rejony o szczególnej wartości kulturowej, rekreacyjnej lub zdrowotnej.

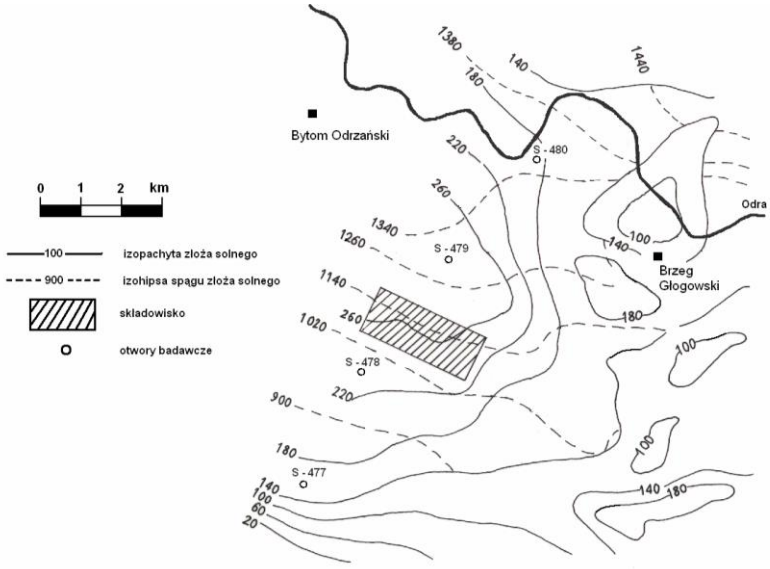
Biorąc pod uwagę tylko powyższe uwarunkowania oraz szczegółowe ograniczenia dotyczące lokalizacji, budowy, monitorowania oraz likwidacji składowiska, wszystkie dotychczasowe propozycje dotyczące budowy w Polsce podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych [1], m.in. w obszarach:

– krystalicznej formacji magmowej rejonu Suwałk,
– formacji ilastej rejonu Jarocin-Pogorzela,
– wysadowych złóż soli kamiennej Kłodawa, Łanięta, Damasławek,
– pokładowych złóż soli na wyniesieniu Łeby,

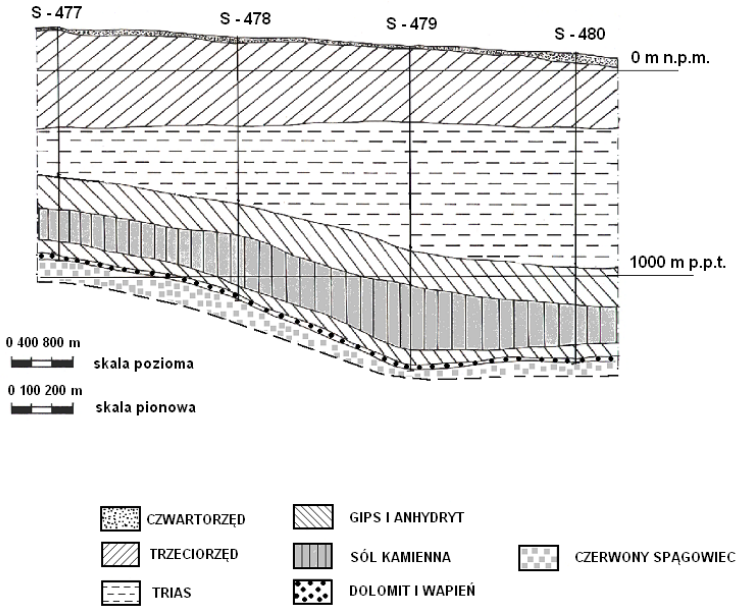
należałoby zakwestionować.



Rys.2. Dotychczasowe propozycje [1] lokalizacji podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych w Polsce



Rys.3. Propozycja lokalizacji centralnego składowiska odpadów niebezpiecznych typu *multi* w pokładowym złożu soli LGOM



Rys.4. Przekrój geologiczny w miejscu proponowanej lokalizacji podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych

Propozycją najbardziej realną wydaje się być koncepcja budowy w Polsce podziemnego, centralnego składowiska odpadów niebezpiecznych typu *multi*, zlokalizowanego w pokładowym złożu soli LGOM, w rejonie miejscowości Bytom Odrzański – Brzeg Głogowski. W rejonie tym miąższość pokładu soli

waha się od 220 do 260 m, głębokość zalegania spągu złoża wynosi od 1030 do 1200 m poniżej powierzchni terenu, średnia wytrzymałość doraźna soli na ściskanie *Rc = 34,83* MPa, zaś najmniejsza odległość od rejonu czynnej aktualnie kopalni rud miedzi wynosi 11,7 km.

Najważniejszym argumentem przemawiającym za tą lokalizacją jest zdolność górotworu budującego pokładowe złoże soli LGOM do ciągłych, reologicznych deformacji. Zaciśnięte w górotworze solnym pojemniki z odpadami pozostaną w izolacji od biosfery w nieograniczonym czasie, gwarantując pełne bezpieczeństwo, zaś z uwagi na wartość rynkową soli kamiennej również ekonomiczną opłacalność tego przedsięwzięcia.

Literatura

1. Kłeczek Z., Zeljaś D.: Ekologiczne i bezpieczne składowisko odpadów niebezpiecznych w strukturze solnej LGOM, Przegląd Górniczy 6/2010
2. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 roku Prawo geologiczne i górnicze, Dz.U. 2011 Nr 163 poz.981
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów, Dz.U. 2011 Nr 298 poz.1771

Problematyka odpadów wydobywczych w aspekcie przepisów prawnych

Iwona Kuczyńska - Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wstęp

Górnictwo jest najbardziej odpadotwórczym przemysłem, ale bez pozyskiwania surowców mineralnych nie mogłaby funkcjonować jakakolwiek produkcja, bowiem na surowcach mineralnych opiera się wytwarzanie większości przedmiotów, które dzisiejszemu człowiekowi są niezbędne do funkcjonowania i życia. Brak górnictwa, a więc i brak surowców mineralnych (podobnie jak i nadmierna ich eksploatacja) zmusza do importu tych surowców z innych krajów lub zastąpienia ich – o ile jest to możliwe – wykorzystaniem odpadów. Stąd też rozwijają się technologie przetwórstwa odpadów i odpady postrzegane są dzisiaj nie jako kłopotliwe materiały i przedmioty, ale jako surowce przyszłości. Systematycznie zmienia się pogląd na odpady, które stanowiły zanieczyszczenie środowiska i jest on aktualnie ukierunkowany na rozwój przetwórstwa odpadów, jako nowej gałęzi gospodarki. Dlatego też koniecznym stało się wprowadzenie licznych unormowań prawnych w tym zakresie. I tak w odniesieniu do odpadów w ogóle obowiązuje kilkanaście ustaw, a dla odpadów powstających w górnictwie opracowano nawet odrębną ustawę.

W Unii Europejskiej powstawanie odpadów i gospodarowanie nimi jest jednym z ważniejszych zagadnień w ochronie środowiska. W minionym wieku Komisja Europejska przeprowadziła badania na temat gospodarki odpadami w krajach członkowskich. Pomimo, że sektor gospodarowania odpadami i recyklingu rozwinął się w ostatnim czasie bardzo dynamicznie wciąż posiada w sobie ogromny potencjał rozwoju. Pełne wdrożenie ustawodawstwa unijnego o odpadach przyniosłoby oszczędności rzędu 72 mld euro rocznie [6]. Jak wynika z przeprowadzonych przez KE badań, rynek gospodarowania odpadami i recyklingu to jeden z najdynamiczniejszych sektorów gospodarki. Niestety potencjał gospodarki odpadami w krajach członkowskich wciąż nie został wykorzystany w pełni.

Poprawna gospodarka odpadami pozwoliłaby nie tylko na oszczędności rzędu 72 mld euro, ale stworzyłaby również dodatkowe miejsca pracy. W 2008 r. w sektorze gospodarki odpadami zatrudnionych było 2 mln osób, jak wskazują wyniki badania liczba ta mogłaby wzrosnąć nawet o 400 tys. nowych miejsc pracy. Niestety wiele państw członkowskich nie dostrzega znaczenia rynku gospodarowania odpadami i recyklingu. Składowanie jest tam dominującą metodą gospodarowania odpadami. Gospodarka UE zużywa 16 Mg surowców na osobę na rok, z czego 6 Mg stanowią odpady, z których połowa trafia na składowiska [6].

Powyższe uwagi dotyczą wszystkich odpadów, a w Polsce ilościowo najwięcej odpadów kierowanych na składowiska powstaje w górnictwie.

2. Problemy w gospodarce odpadami wydobywczymi

Obecnie dobiega końca okres (30. 04. 2012), w którym wytwórcy odpadów wydobywczych muszą uzyskać zatwierdzenie „Programu gospodarowania odpadami wydobywczymi". Każdy „Program" – oprócz charakterystyki prowadzonej działalności, w której powstają odpady wydobywcze – w pierwszym rzędzie musi zawierać opis działań mających na celu zapobieganie powstawaniu odpadów wydobywczych i ich negatywnemu oddziaływaniu na środowisko. Zapobieganie powstawaniu odpadów nastręcza kopalniom wielu problemów, gdyż wiąże się to z wprowadzeniem zmian zarówno w procesie eksploatacji, jak i w procesie przeróbki i wzbogacania surowców. Dotąd kopalnie zabiegały głównie o wykorzystywanie powstających odpadów, a teraz muszą skoncentrować się na zapobieganiu powstawania odpadów.

W zakresie procesów eksploatacji zapobieganie powstawaniu odpadów ukierunkowane musi być na takie urabianie skał, aby pozyskiwany urobek kierowany do zakładu przeróbki, miał jak najlepsze parametry jakościowe i jak najlepsze uziarnienie. Zatem istotne jest tu ciągłe monitorowanie nadawy kierowanej do zakładu przeróbczego. Natomiast rolą zakładu przeróbki jest prowadzenie kompleksowej przeróbki nadawy i wydzielenie z niej nie tylko głównego składnika (jak dawniej), ale wszystkich możliwych do wykorzystania minerałów. A więc jest to nowe podejście do procesów przeróbki, w których tradycyjnie powstawał koncentrat i odpady na ogół kierowane były na składowisko, a dopiero z odpadów podejmowane były działania mające na celu – przez procesy przeróbki odpadów – przygotowanie ich do wykorzystania. Obecnie – dla zmniejszenia powstawania odpadów – w wielu zakładach przeróbki rozpoczął się czas wprowadzania modernizacji procesów technologicznych, ukierunkowane na otrzymywanie z nadawy wielu produktów lub poprzez „głębokie" wzbogacanie otrzymywanie tylko takich odpadów, które już nie znajdują zastosowania bez kosztownego przetworzenia. Przykładem zapobiegania powstawania odpadów w procesie przeróbki może być przeróbka urobku węgla kamiennego. Dzięki modernizacji ciągów technologicznych, oprócz koncentratów węgla, tj. sortymentów handlowych węgla, można otrzymać drugi produkt, tj. kruszywo budowlane. Oczywiście musi ono charakteryzować się własnościami normowymi. Z już przeprowadzonych takich modernizacji w niektórych zakładach przeróbki widać, że czasem jest to zainstalowanie dodatkowych przesiewaczy albo wprowadzenie dodatkowego płukania nadawy lub materiału w ciągu technologicznym, czy też dodatkowego rozdrabniania, a czasem tylko zainstalowanie taśmociągów odprowadzających z urządzeń określone selektywne klasy ziarnowe surowca.

Korzyści z otrzymywania produktu w ciągu technologicznym, to nie tylko minimalizacja odpadów i ochrona środowiska, ale przede wszystkim oszczędność energii, możliwość przekazywania takiego produktu każdemu odbiorcy, nie tylko temu, który posiada zezwolenie na odzysk odpadów i często przy tym uzyskanie wyższej ceny sprzedaży produktu.

3. Odpad a produkt

Substancje określane jako „odpady" podlegają ścisłym uregulowaniom prawnym, których celem jest ochrona zdrowia ludzkiego i środowiska. Organy administracyjne odpowiedzialne za wydawanie zezwoleń, a także sami producenci, często stają przed problemem w rozróżnieniu, co jest, a co nie jest odpadem. Definicja odpadów określona w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE (dyrektywa ramowa w sprawie odpadów) z dnia 19 listopada 2008 r. brzmi następująco: „odpady oznaczają każdą substancję lub przedmiot, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć, lub do których pozbycia został zobowiązany" [2].

Ze względu na różnorodność sposobów wytwarzania i użytkowania produktów oraz powstawania substancji ubocznych trudno o jednoznaczne rozróżnienie produktów celowych od odpadów. W przepisach prawa brakuje więc jednoznaczności w interpretacji.

Komisja Parlamentu Europejskiego i Rady wydała komunikat wyjaśniający, stanowiący zestaw wskazówek dla właściwych organów dokonujących indywidualnych ocen dotyczących klasyfikacji danego materiału jako odpadu [4].

Materiały wytwarzane w procesach produkcji przemysłowej mogą być określane mianem produktów (półproduktów), jeśli były celem danego procesu produkcyjnego i zwykle stanowią one produkty końcowe. W przeciwnym wypadku materiały można uznać za pozostałości procesu produkcyjnego.

Pierwszym pytaniem, które należy zadać, chcąc określić, czy dany materiał jest odpadem jest kwestia, czy producent podjął celową decyzję o produkcji tego materiału. W przypadku wskazanym powyżej, a dotyczącym kopalin węglowych wytwarzających jako drugi produkt kruszywo, jest to produkcja celowa.

Jednakże, nawet jeśli dany materiał zostanie uznany za pozostałość procesu produkcyjnego, to niekoniecznie musi on być jednocześnie odpadem. Może on mieć cechy decydujące o przydatności do dalszego wykorzystania. W przypadku, gdy materiał faktycznie nie nadaje się do wykorzystania, nie spełnia kryteriów technicznych koniecznych do jego wykorzystania, nie istnieje zapotrzebowanie na ten materiał, można uznawać go za odpad [1].

Wychodząc naprzeciw tym zagadnieniom w przygotowanej nowelizacji ustawy o odpadach (jako transpozycja dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów) planowane jest wprowadzenie określenia „produktu ubocznego" oraz „pozostałości procesu produkcyjnego", które mają ułatwić szersze wykorzystanie surowców, tj. przed uzyskaniem przez nie statusu odpadu.

3.1. Planowane nowe określenia [5]

Produkt – to wszelkie materiały celowo powstałe w procesie produkcyjnym. W wielu przypadkach możliwe jest określenie jednego (lub więcej) produktu „pierwotnego", którym jest podstawowy wytwarzany materiał.

Produkty uboczne zaś oznaczają substancje lub przedmioty powstające w wyniku procesu produkcyjnego, którego podstawowym celem nie jest ich produkowanie, jeżeli spełniają następujące warunki:

- dalsze wykorzystanie ich jest pewne,
- mogą być wykorzystane bezpośrednio bez jakiegokolwiek dalszego przetwarzania, innego niż normalna praktyka przemysłowa,
- powstają jako integralna część procesu produkcyjnego,
- dalsze ich wykorzystanie jest zgodne z prawem, to znaczy spełniają wszelkie istotne wymagania dla określonego zastosowania w zakresie produktu, ochrony środowiska i zdrowia ludzkiego, i nie doprowadzi do ogólnych niekorzystnych oddziaływań na środowisko lub zdrowie ludzkie.

Produkty uboczne – to pozostałości poprodukcyjne, nadające się do bezpośredniego wykorzystania bez uprzedniego przetwarzania lub stanowiące surowiec do produkcji innych wyrobów.

Pozostałość procesu produkcyjnego – to materiał, który nie powstał celowo w procesie produkcyjnym, ale który może stanowić odpad lub nie.

Pozostałości poprodukcyjne, zaliczane do odpadów, muszą być podzielone na:

- odpady nadające się do recyklingu lub odzysku, po poddaniu odpowiednim procesom przerobu,
- odpady nie mające żadnego praktycznego zastosowania i nie nadające się do poddania procesom odzysku ani recyklingu.

Dokonanie takiego podziału wymaga bardzo wnikliwej oceny i rozeznania możliwości zastosowania różnych procesów przetwarzania odpadów dla ich odzysku. Ma to na celu możliwie największe ograniczenie ilości odpadów, trafiających na składowiska.

4. Odzysk odpadów wydobywczych

Drugim, ważnym elementem Programu Gospodarki Odpadami Wydobywczymi jest opis działań mających na celu odzysk odpadów wydobywczych, jeżeli jest on technologicznie i ekonomicznie uzasadniony oraz zgodny z przepisami o ochronie środowiska.

Zgodnie z art. 3 ust. 3 pkt. 9 i 14 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. z 2010 r. Nr 185, poz. 1243):

- **odzysk** – to „wszelkie działania, nie stwarzające zagrożenia dla życia, zdrowia ludzi lub dla środowiska, polegające na wykorzystaniu odpadów w całości lub w części, lub prowadzące do odzyskania z odpadów substancji, materiałów lub energii i ich wykorzystania, określone w zał. 5 do ustawy";
- **recykling** – to „taki odzysk, który polega na powtórnym przetwarzaniu substancji lub materiałów zawartych w odpadach w procesie produkcyjnym w celu uzyskania substancji lub materiału o przeznaczeniu pierwotnym lub innym przeznaczeniu, w tym recykling organiczny, z wyjątkiem odzysku energii".

Zgodnie z art. 6 dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy (Dz. Urz. UE L 312), niektóre określone rodzaje odpadów przestają być odpadami (tracą status odpadu), gdy zostały poddane procesowi odzysku, w tym recyklingu i spełniają ścisłe kryteria, opracowane zgodnie z następującymi warunkami:

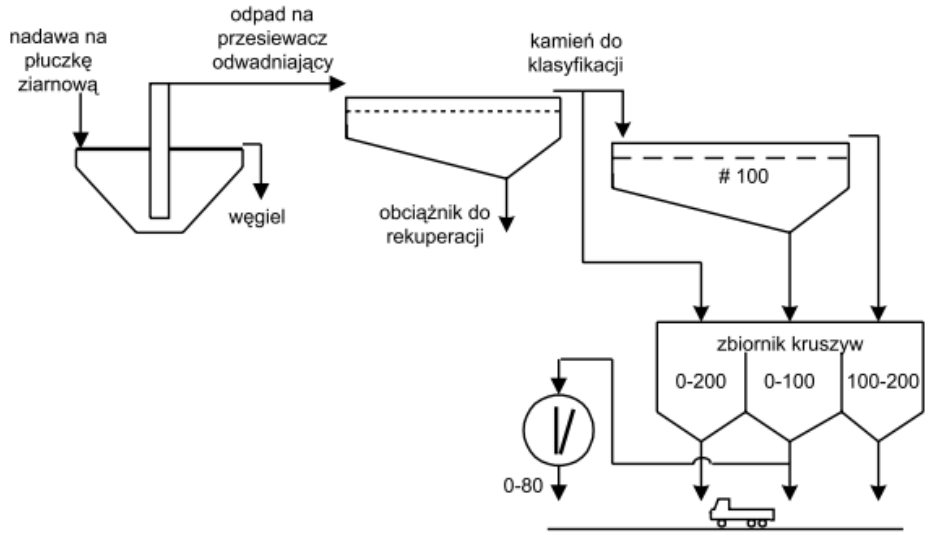
a) dana substancja lub przedmiot jest powszechnie stosowana do konkretnych celów,
b) istnieje rynek takich substancji lub przedmiotów bądź popyt na nie,
c) dana substancja lub przedmiot spełniają wymagania techniczne dla konkretnych celów oraz wymagania obowiązujących przepisów i norm, mających zastosowanie do produktów,
d) zastosowanie substancji lub przedmiotu nie prowadzi do ogólnych niekorzystnych skutków dla środowiska lub zdrowia ludzkiego.

W kopalniach węgla kamiennego odzysk odpadów wydobywczych na ogół prowadzony jest w kilku kierunkach, ale najczęściej odpady wykorzystywane są do niwelacji bądź rekultywacji terenów zdegradowanych i do wszelkiego rodzaju robót inżynieryjnych, zwykle na własnych terenach. Coraz częściej jednak kopalnie węglowe szukają możliwości przekształcania odpadów w kruszywo. Mogą to osiągnąć albo przez budowę odrębnych, własnych instalacji, bądź poprzez zawrócenie odpadów na część ciągu technologicznego wzbogacania urobku lub przez przekazanie odpadów odrębnym firmom posiadającym urządzenia do produkcji kruszyw. Na Śląsku działają już takie firmy, jak np. HALDEX S.A., czy ZOWER Sp. z o.o. Korzystniejszą jednak formą jest włas-

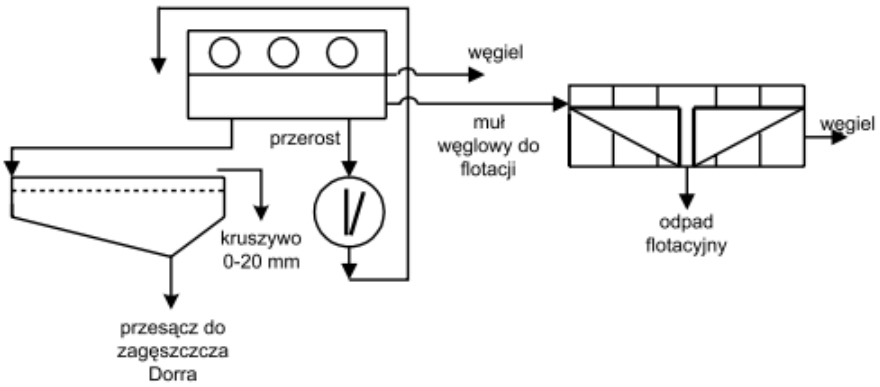
ny odzysk odpadów, tym bardziej, że w związku z dużym zapotrzebowaniem na kruszywa normowe, tj. do budowy dróg i infrastruktury drogowej, kopalnia może mieć z tego tytułu pewne korzyści. Z tego względu kilka kopalń węglowych (np. KWK Bielszowice, KWK Sobieski, KWK Halemba), wprowadzając dodatkowe urządzenia lub wykorzystując istniejące, poprzez odzysk podjęło już produkcję kruszyw stanowiących produkt handlowy.

4.1. Przykłady produkcji kruszyw

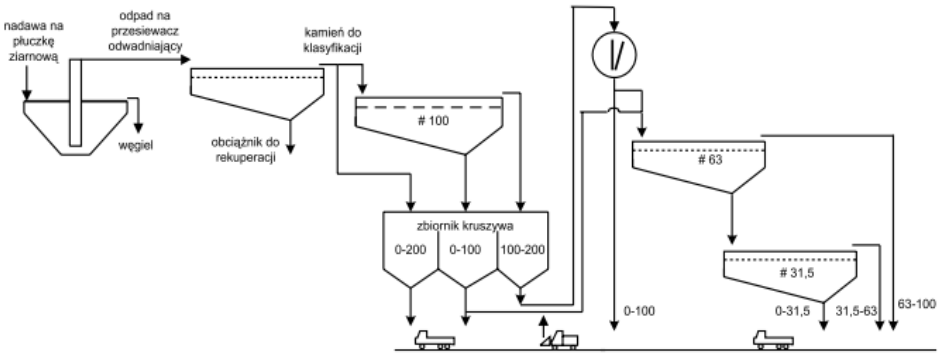
Przykładowe rozwiązania układów technologicznych do produkcji kruszyw z odpadów przedstawiają schematy na rysunkach 1–5 [3].



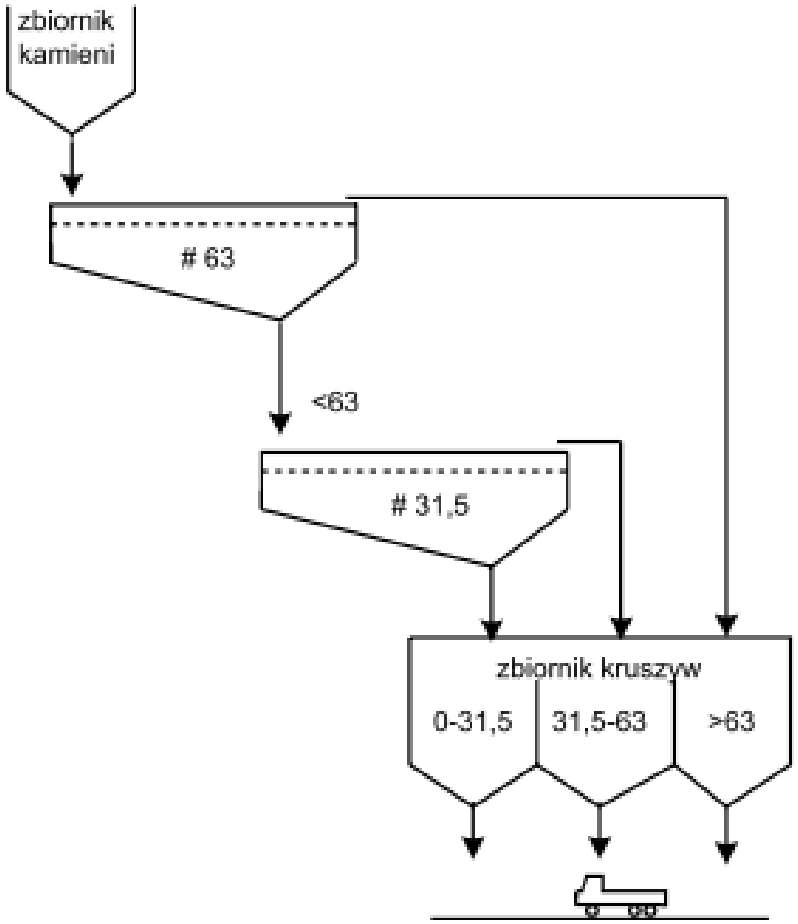
Rys.1. Uproszczony schemat odzysku grubych kruszyw w instalacji z płuczką ziarnową [3]



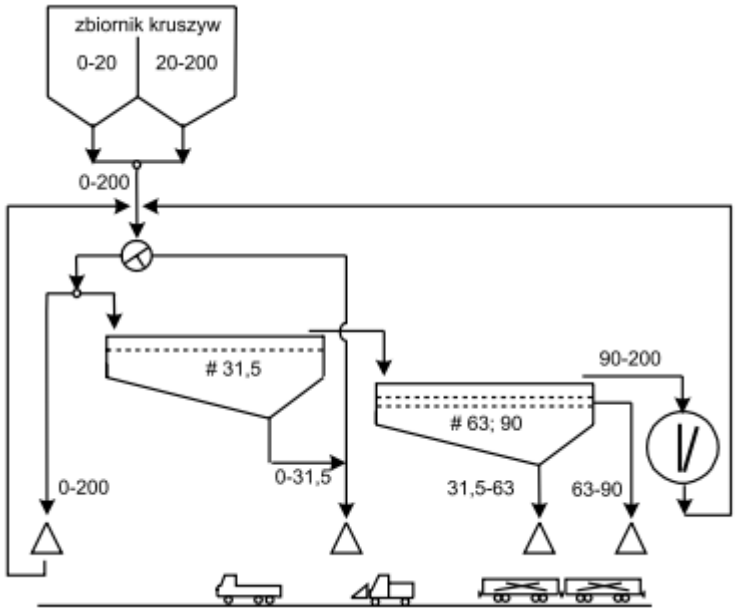
Rys.2. Uproszczony schemat odzysku drobnych kruszyw w instalacji z płuczką miałową i maszyną flotacyjną [3]



Rys.3. Koncepcja rozbudowy instalacji produkcji kruszyw
z odpadów grubych po płuczce ziarnowej [3]



Rys.4. Uproszczony schemat technologiczny koncepcji produkcji kruszyw
w pełnym zakresie uziarnienia [3]



Rys.5. Uproszczony schemat technologiczny koncepcji produkcji kruszyw w pełnym zakresie uziarnienia [3]

5. Podsumowanie

Zmiany w gospodarowaniu odpadami powstającymi w kopalniach są procesem ciągłym, lecz wejście w życie *Ustawy o odpadach wydobywczych* i wprowadzone do niej zmiany uintensywniają prace nad racjonalizacją tej gospodarki. Zapobieganie powstawaniu odpadów stanowi pierwszoplanowe działanie mobilizujące kopalnie, jako wytwórców odpadów, do wprowadzania zmian w dotychczasowych układach (ciągach) technologicznych poprzez ukierunkowanie ich na kompleksową przeróbkę urobku, której efektem jest więcej niż jeden produkt, a więc dążącą do technologii bezodpadowej. W razie niemożliwości takich działań kopalnie dążą do odzysku własnych odpadów poprzez niewielkie inwestycje, umożliwiające otrzymywanie z odpadów produktów. Zarówno jedne (zapobieganie), jak i drugie (odzysk) działania wytwórców odpadów są nie tylko wypełnieniem przepisów prawnych, ale przede wszystkim działaniami dającymi ewidentne korzyści, tj.:

- efektywne rozwiązanie gospodarki odpadami,
- zapobieganie powstawaniu składowisk,
- przychody ze sprzedaży produktów,
- ochronę złóż pierwotnych (wydobycie kruszyw),
- możliwość zatrudnienia pracowników z zamykanych kopalń.

Literatura

1. Borowski G.: Produkty odpadowe jako surowce wtórne. Inżynieria Ekologiczna nr 21, 2009.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie odpadów. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2008/98/WE, Bruksela 2008.
3. Gawenda T., Olejnik T.: Produkcja kruszyw mineralnych z odpadów powęglowych w Kompanii Węglowej S.A. na przykładzie wybranych kopalń. Gospodarka surowcami mineralnymi. Tom 24, Zeszyt 2/1, 2008.
4. Komunikat Komisji Rady i Parlamentu Europejskiego. Komisja Wspólnot Europejskich, kom 59, Bruksela 2007.
5. Wytyczne w zakresie wykorzystania produktów ubocznych oraz zalecanego postępowania z odpadami w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Instytut Technologiczno-Przyrodniczy. Talenty, Warszawa, listopad 2010.
6. www.ekologia.pl

Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego - podsumowanie wyników projektu

Ireneusz Baic – Instytut Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Oddział Zamiejscowy w Katowicach, **Aleksnder Lutyński** – Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Z danych statystycznych (GUS 2010 – stan na koniec 2009 r.) wynika, że ilość odpadów wytwarzanych przez sektor gospodarczy w Polsce wynosi blisko 111,1 mln Mg. W tej masie odpady pochodzące z górnictwa węgla kamiennego stanowią ok. 29,7 mln Mg, czyli ponad 26%. Dodatkowo szacuje się, że blisko 583,8 mln Mg tego rodzaju odpadów jest już zdeponowane w środowisku.

Około 93% odpadów powstających podczas eksploatacji i przeróbki kopalin jest wykorzystywane gospodarczo. Z tej ilości zaledwie 30% jest wykorzystywane przemysłowo, a prawie 70% wykorzystuje się do niwelacji terenów, robót inżynierskich, czy tzw. „budowli ziemnych".

Istniejąca sytuacja dotycząca odpadów z górnictwa węgla kamiennego legła u podstaw zgłoszenia projektu „Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego". Koordynatorem projektu, którego realizację przewidziano na lata 2009 – 2011, był Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie. Partnerami projektu byli Akademia Górniczo-Hutnicza i Politechnika Śląska.

W ramach wykonywanego projektu przeprowadzono szereg badań mających na celu identyfikację wiodących technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego o znaczeniu strategicznym, których rozwój w następnych 20 latach będzie priorytetowy dla gospodarki, a także opracowano scenariusze rozwoju tych technologii z określeniem czynników mających istotny wpływ na ten rozwój.

2. Sposób realizacji projektu

Kierunki gospodarczego wykorzystania odpadów z górnictwa węgla kamiennego są ściśle powiązane ze stosowanymi rozwiązaniami technologicznymi. Z tego też względu zidentyfikowane w ramach projektu technologie podzielono na następujące grupy odzwierciedlające potencjalne kierunki gospodarczego wykorzystania:

- Grupa I – Budownictwo hydrotechniczne, ziemne, rekultywacja terenów,
- Grupa II – Roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego,

- Grupa III – Podsadzanie wyrobisk eksploatacyjnych,
- Grupa IV – Kruszywa, ceramika,
- Grupa V – Odzysk substancji węglowej.

Łącznie zidentyfikowano i opisano 39 technologii. Dla zidentyfikowanych technologii opracowano kryteria oceny innowacyjności uwzględniające zarówno aspekty natury technologicznej i ekonomicznej pozwalające na uzyskanie wymiernych efektów finansowych, jak i aspekty natury społeczno-środowiskowej, które trudno w sposób mierzalny zdefiniować. W oparciu o przyjęte kryteria do dalszych rozważań wytypowano 24 technologie. Dla wytypowanych technologii przeprowadzono również analizę SWOT na poziomie instytucjonalnym i technologicznym.

Analiza SWOT na poziomie instytucjonalnym wykazała:

- niski poziom innowacyjności stosowanych rozwiązań (produktów, technologii, materiałów),
- brak wiedzy o możliwościach wykorzystania różnych instrumentów finansowych,
- barierę kapitałową przy wprowadzaniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych w eksploatacji i przeróbce kopalin.

Natomiast analiza SWOT na poziomie technologicznym wykazała:

- znaczne zasoby odpadów powstających i zdeponowanych w okresach wcześniejszych,
- niekorzystne zmiany prawne dotyczące przetwarzania odpadów i wykorzystywania pozyskanego z nich produktu,
- zmiany w sposobach wydobywania węgla, minimalizujące udział technologii z wykorzystaniem odpadów,
- konieczność budowy dodatkowej infrastruktury,
- konieczność wykonywania specjalistycznych badań jakościowych odpadów,
- brak systemu motywującego wdrażanie innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów,
- skomplikowane procedury finansowania nowych inwestycji.

Niezwykle istotnym badaniem wykonanym w projekcie było określanie czynników mających istotny wpływ na rozwój zidentyfikowanych technologii. W badaniu tym wykorzystano metodę Analizy Strukturalnej Wpływów. Analiza ta, zwana również techniką wzajemnych oddziaływań, pozwala ocenić przeciętne prawdopodobieństwo zajścia, a także termin każdego z przewidywanych zdarzeń, z uwzględnieniem ich kolejności.

Przeprowadzona analiza wpływów pozwoliła zaklasyfikować przyjęte czynniki do następujących grup: Czynniki Kluczowe, Czynniki Decydujące,

Cele i Rezultaty, Czynniki Regulujące i Pomocnicze oraz Czynniki Autonomiczne. W czterech grupach technologii: Grupa I, II, III i V jako czynniki kluczowe zidentyfikowano:

- niskie koszty produkcji (przetwarzania odpadu do wykorzystania),
- koszt wdrożenia i eksploatacji instalacji.

Natomiast w Grupie IV zidentyfikowano tylko jeden czynnik kluczowy - Niskie koszty produkcji (przetwarzania odpadu do wykorzystania).

Różnice wystąpiły w identyfikowanych innych grupach czynników.

W ramach projektu przeprowadzono także, przy udziale ekspertów zewnętrznych, ocenę innowacyjności zidentyfikowanych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego z zastosowaniem metody Delphi [8], mając na uwadze hierarchizację postępowania z odpadami wynikającą z zapisów zawartych w ustawie o odpadach wydobywczych, tzn. zapobieganie, minimalizację, gospodarcze wykorzystanie i unieszkodliwianie. Jako priorytetowy cel strategiczny eksperci wskazali „Pełne wykorzystanie odpadów wytwarzanych obecnie i w okresach wcześniejszych przez górnictwo węgla kamiennego" podkreślając, że możliwość jego realizacji uzależniona jest od stworzenia odpowiednich mechanizmów prawnych i fiskalnych, preferujących wykorzystanie surowców odpadowych.

Oceniając hierarchię ważności kryteriów mających wpływ na innowacyjność technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego, eksperci uznali, że niezależnie od kierunków gospodarczego wykorzystania przedmiotowych odpadów, najistotniejszą rolę odgrywają kryterium ekonomiczne i kryterium techniczno-technologiczne. Dla kryterium ekonomicznego za czynniki najbardziej istotne uznano koszty wdrożenia i eksploatacji instalacji do przetwarzania odpadów wydobywczych, natomiast dla kryterium techniczno-technologicznego – dostępność odpadów o wymaganych właściwościach jakościowych.

Według ekspertów szanse rozwoju technologicznego w poszczególnych kierunkach gospodarczego wykorzystania odpadów z górnictwa węgla kamiennego wynikają głównie z dostępności przedmiotowych odpadów i konieczności minimalizacji skutków eksploatacji na powierzchni obszaru górniczego, zaś zagrożenia wynikają z konieczności budowy dodatkowej infrastruktury i braku środków finansowych.

Eksperci stwierdzili również, że występuje pilna konieczność podjęcia prac naukowo-badawczych nad opracowaniem nowych innowacyjnych technologii wykorzystania odpadów z górnictwa węgla kamiennego oraz opracowanie wytycznych technicznych dla prac rekultywacyjnych z wykorzystaniem tych odpadów.

W ramach projektu przeprowadzono również ocenę innowacyjności technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego, rozumianej jako zdolność technologii do adaptowania i wykorzystywania najnowszych rozwiązań technicznych, technologicznych i organizacyjnych. W tym celu wykorzystano metodę AHP (Analytic Hierarchy Process).

Innowacyjność wybranych technologii oceniano w pięciu grupach, mając za podstawę 5 kryteriów głównych oraz 25 szczegółowych.

Technologie uznane przez ekspertów za najbardziej innowacyjne w poszczególnych grupach to:

- Grupa I – Zagospodarowanie odpadów przeróbczych do rekultywacji technicznej terenów zdegradowanych;
- Grupa II – Zagospodarowanie skały płonnej do likwidacji pustek po eksploatacji resztek pokładów;
- Grupa III – Zagospodarowanie odpadów flotacyjnych w podsadzce samo zestalającej, równorzędnie z technologią – Zagospodarowanie skały płonnej jako materiału w technologii zawiesinowej;
- Grupa IV – Produkcja kruszyw z odpadów pozyskiwanych z hałdy oraz instalacji przeróbki;
- Grupa V – Pozyskiwanie węgla z odpadów drobnoziarnistych i poflotacyjnych zdeponowanych w stawach osadowych.

3. Scenariusze rozwoju innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego [7]

Jednym z najistotniejszych etapów projektu była budowa scenariuszy rozwoju technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego. Przedstawiono je w trzech wariantach: optymistycznym, umiarkowanym i pesymistycznym. Podstawą trzech różnych wariantów scenariuszy rozwoju technologii zagospodarowania odpadów było przyjęcie różnych czynników wpływających na ten rozwój.

Scenariusze zbudowano, uwzględniając następujące czynniki wewnętrzne i zewnętrzne:

- rozwój gospodarczy Polski mierzony wzrostem PKB (założono, że rozwój gospodarczy jest związany m.in. z popytem na kruszywa i energię),
- strategię energetyczną Unii Europejskiej,
- uwarunkowania prawne dotyczące środowiska (ustawa o odpadach, ustawa o odpadach wydobywczych, pakiet klimatyczny),
- uwarunkowania ekonomiczne dotyczące gospodarki odpadami wydobywczymi (instrumenty finansowe wspomagające gospodarkę odpadami wydobywczymi, budżet unijny, a w nim środki przeznaczone dla Polski na ob-

szary wspólnego działania oraz wyrównywania różnic między krajami starej i nowej unii - fundusz spójności),

- popyt na produkty odpadowe,
- szeroko rozumianą akceptację społeczną dla poczynań związanych z zagospodarowaniem odpadów z górnictwa węgla kamiennego, przede wszystkim jako przychylność samorządów terytorialnych do wdrażania technologii zagospodarowania tych odpadów.

Wskaźniki ekonomiczno-gospodarcze przyjęto dla horyzontu czasowego wynoszącego 20 lat, którego dotyczy analiza realizowanego foresightu.

W niniejszym opracowaniu wykorzystano niepublikowane opracowania ekspertów kluczowych [1, 2, 3, 4, 5, 6] powołanych do prac foresight-u.

a) Scenariusz optymistyczny

W scenariuszu optymistycznym założono:

- dobrą koniunkturę tzn. rozwój społeczno-gospodarczy i tym samym wzrost PKB na wysokim poziomie w granicach 7 – 8 %. W związku z powyższym nastąpi znaczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną i cieplną w granicach 14 - 16% rocznie oraz wzrost zapotrzebowania na kruszywa w granicach 10 - 12% rocznie [3], a strategia energetyczna Unii Europejskiej pozwoli pozostać energetyce opartej na węglu przynajmniej na dotychczasowym poziomie,
- w kolejnych okresach budżetowych 2014 - 2020 dopływ środków unijnych średnio 60 mld zł; 2020 - 2027 – średnio rocznie 50 mld zł; 2028 - 2030 – średnio rocznie 20 mld zł [3],
- niewielki wzrost ilości energii pozyskiwanej z alternatywnych źródeł energii (OZE, gaz łupkowy, energia atomowa),
- znaczny wzrost wolumenu wydzielanych odpadów z produkcji węgla kamiennego ze względu na:
  - wzrost zapotrzebowania na energię i tym samym wzrost zapotrzebowania na węgiel kamienny na poziomie zdolności produkcyjnych funkcjonujących kopalń tj. do ok. 116 mln Mg [5],
  - produkcję węgla o wyższych parametrach jakościowych - 25,0 MJ/kg zamiast dotychczasowo 21,8MJ/kg - z uwagi na zmieniające się technologie spalania wymagające głębszego wzbogacania węgla,
  - wzrost eksportu węgla o wyższych parametrach jakościowych,
  - eksploatację węgla prowadzoną w filarach ochronnych i resztkach pokładów,
  - prywatyzację sektora wydobywczego węgla kamiennego,
  - wyższy niż obecnie odzysk węgla z odpadów drobnoziarnistych.

- całkowite zagospodarowanie odpadów wydobywczych z bieżącej produkcji wymuszone warunkami prawnymi i ekonomicznymi,
- całkowite zagospodarowanie odpadów wydobywczych zdeponowanych w środowisku w okresach wcześniejszych wymuszone warunkami prawnymi i ekonomicznymi,
- likwidację barier biurokratycznych i fiskalnych utrudniających działalność gospodarczą,
- znaczny wzrost zapotrzebowania na odpady z górnictwa węgla kamiennego z uwagi na:
  - prawny obowiązek przywrócenia funkcji pierwotnej terenom, pod którymi prowadzona była i jest eksploatacja,
  - rozwój infrastruktury na terenach poddanych rewitalizacji,
  - szerokie wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w różnych gałęziach budownictwa ziemnego,
  - szerokie wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w pracach hydrotechnicznych, mających na celu zwalczanie zagrożeń przeciwpowodziowych,
  - wzrost zapotrzebowania na wypełnianie odpadami z górnictwa węgla kamiennego pustek powstałych po wybieraniu węgla w filarach ochronnych i resztkach pokładów, w celu ochrony powierzchni,
  - szeroko pojętą profilaktykę przeciwpożarową (izolacja zrobów).
- wysoki poziom akceptacji społecznej z uwagi na korzyści wynikające z dbałości o środowisko, tworzenie nowych miejsc pracy w podmiotach gospodarczych przetwarzających i wykorzystujących odpady, korzyści fiskalne samorządów lokalnych.

Mając za podstawę przyjęte powyżej założenia, a w szczególności wydatny wzrost ilości wydzielanych odpadów oraz uwarunkowania prawne i ekonomiczne, stwierdzić należy, że wszystkie technologie wyszczególnione w pięciu grupach charakteryzujących kierunki ich gospodarczego wykorzystania, znajdą uznanie i będą się rozwijały. Najintensywniej, przez upowszechnienie, przejawiające się powoływaniem do życia nowych podmiotów gospodarczych wykorzystujących rozwiązania technologiczne i techniczne, rozwijały się będą technologie uznane w realizowanym foresigh-cie jako najbardziej innowacyjne.

Niezwykle sprzyjające czynniki wewnętrzne, jak i zewnętrzne sprawią, że pojawią się innowacyjne technologie, które szeroko wykorzystywały będą najdrobniejsze klasy odpadów przeróbczych powstających w wyniku głębokiego wzbogacania węgla kamiennego. Zintensyfikowanie działań nad opracowaniem innowacyjnych technologii możliwe będzie dzięki finansowemu stymulowaniu badań i wdrożeń przez różne zainteresowane strony – podmioty gospodarcze: produkujących odpady, przetwarzających odpady oraz stosujących wyroby z

odpadów przetworzonych. Związane to będzie z popytem na wyroby powstające w wyniku przetwarzania odpadów.

Największy postęp prognozowany jest w grupie IV – Kruszywa, ceramika.

Kierunki prac naukowo-badawczych gwarantujących rozwój technologii w scenariuszu optymistycznym [10]:

- opracowanie innowacyjnych technologii wykorzystania najdrobniejszych klas odpadów powstających w wyniku głębokiego wzbogacania węgla kamiennego,
- opracowanie technologii pozyskiwania metali strategicznych (krytycznych) z odpadów z górnictwa węgla kamiennego,
- opracowanie nowych technologii produkcji kruszywa dla budownictwa ziemnego z pozyskiwanych odpadów z górnictwa węgla kamiennego,
- opracowanie innowacyjnych technologii produkcji paliw alternatywnych na bazie odpadów z górnictwa węgla kamiennego zdeponowanych w środowisku,
- opracowanie technologii wydzielania kamienia z urobku surowego metodami suchymi w podziemiach lub na powierzchni kopalni,
- opracowanie technologii minimalizacji ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych u źródła poprzez m.in. prowadzenie eksploatacji z zastosowaniem odpowiedniego sprzętu technicznego, ograniczenie zakresu robót kamiennych i udostępniających, minimalizacje zanieczyszczenia poza pokładowego,
- opracowanie metod badań pozwalających na szybką i wiarygodną ocenę przydatności odpadów z górnictwa węgla kamiennego do wielokierunkowych zastosowań oraz metodyk oceny oddziaływania tych odpadów na środowisko,
- doskonalenie systemów monitoringu oddziaływania odpadów z górnictwa węgla kamiennego na środowisko,
- opracowanie kompleksowej bazy danych o zdeponowanych w okresach wcześniejszych odpadach z górnictwa węgla kamiennego,
- opracowanie kompleksowej bazy danych opartej na badaniach geologicznych o przewidywanych w okresach przyszłych ilościach i właściwościach odpadów z górnictwa węgla kamiennego.

b) Scenariusz umiarkowany

W scenariuszu umiarkowanym założono:

- rozwój społeczno-gospodarczy i tym samym wzrost PKB na przeciętnym poziomie w granicach średnio 3-4%, tj. 180-220% PKB w 2030 r. w stosunku do 2011 r. [3], co skutkowało będzie wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną i cieplną w granicach 6-7% rocznie oraz wzrostem zapotrzebowania na kruszywa w granicach 4-6% roczne.

- strategia energetyczna Unii Europejskiej wymuszała będzie ograniczenia w energetyce opartej na węglu,
- wzrost ilości energii pozyskiwanej z alternatywnych źródeł energii (OZE, gaz łupkowy, energia atomowa),
- niewielki dopływ środków unijnych w granicach 20-30 mld. zł rocznie w kolejnych okresach budżetowych,
- utrzymanie obecnego poziomu ilości wydzielanych odpadów z produkcji węgla kamiennego ze względu na:
  - niewielki wzrost zapotrzebowania na energię, a także niewielki wzrost zapotrzebowania na węgiel kamienny na poziomie ok. 70-80 mln Mg [2, 5],
  - produkcję węgla o podobnych parametrach jakościowych jak obecnie (21,8 MJ/kg),
  - utrzymanie eksportu węgla na tym samym poziomie,
  - eksploatację węgla jak obecnie,
  - odzysk węgla z odpadów drobnoziarnistych na obecnym poziomie,
- zagospodarowanie odpadów wydobywczych z bieżącej produkcji wymuszone warunkami prawnymi,
- częściowe zagospodarowanie odpadów wydobywczych zdeponowanych w środowisku w okresach wcześniejszych,
- niewielki postęp w usunięciu barier biurokratycznych i fiskalnych, utrudniających działalność gospodarczą,
- utrzymanie obecnego poziomu zapotrzebowania na odpady z górnictwa węgla kamiennego z uwagi na:
  - prawny obowiązek przywrócenia funkcji pierwotnej terenom, pod którymi prowadzona była i jest eksploatacja,
  - zachowanie obecnego poziomu inwestowania w infrastrukturę na terenach poddanych rewitalizacji,
  - wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w różnych gałęziach budownictwa ziemnego na obecnym poziomie,
  - wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego na obecnym poziomie w pracach hydrotechnicznych, mających na celu zwalczanie zagrożeń przeciwpowodziowych,
  - niewielkie zapotrzebowanie na wypełnianie odpadami z górnictwa węgla kamiennego pustek powstałych po wybieraniu węgla w filarach ochronnych i resztkach pokładów, w celu ochrony powierzchni,
  - prowadzenie profilaktyki przeciwpożarowej (izolacja zrobów) na obecnym poziomie,
- obecny poziom akceptacji społecznej odnoszony do poczynań związanych z zagospodarowaniem odpadów z górnictwa węgla kamiennego.

Mając za podstawę przyjęte powyżej założenia, a w szczególności niewielki wzrost ilości wydzielanych odpadów, ograniczenia finansowe, uwarunkowania prawne i niewielki postęp w usunięciu barier biurokratycznych i fiskalnych utrudniających działalność gospodarczą, stwierdzić należy, że nie wszystkie technologie wyszczególnione w pięciu grupach charakteryzujących kierunki ich gospodarczego wykorzystania, znajdą uznanie i będą powszechnie stosowane.

Technologiami mającymi największe szanse w upowszechnieniu będą te, które w poszczególnych grupach zastosowań mają najwyższy poziom innowacyjności, mają niski poziom kosztów przetwarzania odpadów i są pożądane społecznie (względy bezpieczeństwa, likwidacja zagrożeń). Do technologii tych zaliczyć należy:

- **GRUPA I** - *Budownictwo hydrotechniczne, ziemne, rekultywacja terenów*:
  - zagospodarowanie skały płonnej w budownictwie hydrotechnicznym,
  - zagospodarowanie odpadów przeróbczych do rekultywacji technicznej terenów zdegradowanych,
  - zagospodarowanie odpadów przeróbczych w robotach inżynierskich na powierzchni.
- **GRUPA II** - *Roboty likwidacyjne w kopalniach węgla kamiennego:*
  - zagospodarowanie skały płonnej do likwidacji pustek po eksploatacji resztek pokładów.
- **GRUPA III** - *Podsadzanie wyrobisk eksploatacyjnych:*
  - zagospodarowanie skały płonnej jako materiału w technologii zawiesinowej.
- **GRUPA IV** - *Kruszywa, ceramika:*
  - produkcja kruszyw z odpadów pozyskiwanych z hałdy oraz instalacji przeróbki,
  - produkcja kruszyw sztucznych z mułów węglowych powstających w procesie flotacji,
  - technologia wytwarzania lekkiego kruszywa spiekanego LSA z surowców odpadowych, w tym z odpadów flotacyjnych (mułów) z przeróbki węgla kamiennego.
- **GRUPA V** - *Odzysk substancji węglowej*:
  - pozyskiwanie węgla z odpadów drobnoziarnistych i poflotacyjnych zdeponowanych w stawach osadowych.

Mało korzystne czynniki wewnętrzne, jak i zewnętrzne sprawią, że rzadkością będzie pojawienie się innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Najistotniejszym czynnikiem będzie niski poziom środków na sfinansowanie działań innowacyjnych, w tym i na

prace naukowo-badawcze. Zainteresowanie podmiotów gospodarczych produkujących odpady, przetwarzających odpady i stosujących wyroby z odpadów przetworzonych przejawiało się będzie wszędzie tam, gdzie pojawią się możliwości szybkiego uzyskania korzyści materialnych. Szczególna uwaga tych podmiotów skierowana będzie na doraźny popyt na wyroby powstające w wyniku przetwarzania odpadów.

Kierunki prac naukowo-badawczych gwarantujących rozwój technologii w scenariuszu umiarkowanym:

- opracowanie technologii pozyskiwania metali strategicznych (krytycznych) z odpadów z górnictwa kamiennego,
- opracowanie nowych technologii produkcji kruszywa dla budownictwa ziemnego z pozyskiwanych odpadów z górnictwa węgla kamiennego,
- opracowanie innowacyjnych technologii produkcji paliw alternatywnych na bazie odpadów z górnictwa węgla kamiennego zdeponowanych w środowisku,
- opracowanie technologii wydzielania kamienia z urobku surowego metodami suchymi w podziemiach lub na powierzchni kopalni,
- opracowanie metod badań pozwalających na szybką i wnikliwą ocenę przydatności odpadów z górnictwa węgla kamiennego do wielokierunkowych zastosowań oraz ocenę oddziaływania tych odpadów na środowisko,
- opracowanie kompleksowej bazy danych o zdeponowanych w okresach wcześniejszych odpadach z górnictwa węgla kamiennego.

c) Scenariusz pesymistyczny

W scenariuszu pesymistycznym zakłada się:

- dalsze pogłębianie się kryzysu ekonomicznego na świecie, czego konsekwencją będzie sytuacja polskiej gospodarki,
- ograniczony rozwój społeczno-gospodarczy i tym samym wzrost PKB na poziomie 1-2%; w związku z czym nastąpi nieznaczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną i cieplną w granicach 2 do 4 % oraz niewielki wzrost zapotrzebowania na kruszywa. Strategia energetyczna Unii Europejskiej nie pozwoli pozostać energetyce opartej na węglu na dotychczasowym poziomie,
- nieznaczny dopływ lub wręcz brak dopływu środków unijnych w kolejnych okresach budżetowych,
- znaczny wzrost ilości energii pozyskiwanej z alternatywnych źródeł energii (OZE, gaz łupkowy, energia atomowa),
- spadek wydobycia węgla kamiennego,
- spadek ilości wydzielanych odpadów z produkcji węgla kamiennego ze względu na:

  - zmniejszone zapotrzebowanie na energię i tym samym zmniejszenie zapotrzebowania na węgiel kamienny,
  - spadek eksportu węgla.
- zagospodarowanie odpadów wydobywczych tylko z bieżącej produkcji,
- pozostawienie barier biurokratycznych i fiskalnych, utrudniających działalność gospodarczą,
- zmniejszenie zapotrzebowania na odpady z górnictwa węgla kamiennego z uwagi na:
  - zmniejszenie powierzchni terenów, pod którymi prowadzona jest eksploatacja,
  - ograniczenie funduszy na rozwój infrastruktury na terenach rewitalizowanych,
  - niewielkie wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w różnych gałęziach budownictwa ziemnego ze względu na brak środków finanasowych,
  - niewielkie wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego w pracach hydrotechnicznych, mających na celu zwalczanie zagrożeń przeciwpowodziowych ze względu na ograniczenie środków finansowych,
  - ograniczone potrzeby wypełniania odpadami z górnictwa węgla kamiennego pustek powstałych po wybieraniu węgla w filarach ochronnych i resztkach pokładów, w celu ochrony powierzchni ze względu na ograniczenie wydobycia węgla,
  - mniejsze potrzeby profilaktyki przeciwpożarowej ze względu na ograniczenie wydobycia węgla,
- niski poziom lub wręcz brak akceptacji społecznej do stosowania produktów wytwarzanych z odpadów z górnictwa węgla kamiennego, niewielkie korzyści fiskalne samorządów lokalnych z tytułu działalności w zakresie wykorzystywania odpadów z górnictwa węgla kamiennego.

Mając za podstawę przyjęte powyżej założenia, a w szczególności:

- wydatny spadek ilości wydzielanych odpadów z górnictwa węgla kamiennego,
- brak środków finansowych stymulujących działania związane z zagospodarowaniem odpadów z górnictwa węgla kamiennego,

stwierdzić należy, że uznanie i zastosowanie w gospodarce znajdą tylko technologie charakteryzujące się niskimi kosztami wdrożenia i eksploatacji, a więc na ogół niskim poziomem przetworzenia odpadów oraz takie, których wyroby są stosowane do likwidacji pojawiających się zagrożeń. Można założyć, że zapotrzebowanie na poszczególne rodzaje wyrobów z przetworzenia odpadów z górnictwa węgla kamiennego będzie pojawiało się okazjonalnie. Takimi technologiami wydają się być:

- zagospodarowanie odpadów przeróbczych do rekultywacji technicznej terenów zdegradowanych (**GRUPA I)**,
- zagospodarowanie odpadów w budownictwie hydrotechnicznym (GRUPA I),
- zagospodarowanie skały płonnej do likwidacji pustek po eksploatacji resztek pokładów (GRUPA II)
- zagospodarowanie skały płonnej jako materiału w technologii zawiesinowej (GRUPA III),
- produkcja kruszyw z odpadów pozyskiwanych z hałdy oraz instalacji przeróbki (**GRUPA IV)**
- pozyskiwanie węgla z odpadów drobnoziarnistych i poflotacyjnych zdeponowanych w stawach osadowych (**GRUPA V)**.

Technologie te znajdą uznanie i mają szansę na doskonalenie i dalszy rozwój.

Kierunki prac naukowo-badawczych gwarantujących rozwój technologii w scenariuszu pesymistycznym:

- opracowanie nowych technologii produkcji kruszywa dla budownictwa ziemnego z pozyskiwanych odpadów z górnictwa węgla kamiennego,
- opracowanie innowacyjnych technologii produkcji paliw alternatywnych na bazie odpadów z górnictwa węgla kamiennego zdeponowanych w środowisku,
- opracowanie metod badań pozwalających na szybką i wiarygodną ocenę przydatności odpadów z górnictwa węgla kamiennego do wielokierunkowych zastosowań oraz metodyk oceny oddziaływania tych odpadów na środowisko,
- opracowanie systemów monitoringu oddziaływania odpadów z górnictwa węgla kamiennego na środowisko.

4. Podsumowanie

Głównym celem projektu była identyfikacja wiodących technologii zagospodarowania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego o znaczeniu strategicznym, których rozwój w następnych 20 latach będzie priorytetowy dla Polski, oraz opracowanie scenariuszy ich rozwoju. W oparciu o kryteria oceny innowacyjności uwzględniające zarówno aspekty natury technologicznej i ekonomicznej, pozwalające na uzyskanie wymiernych efektów finansowych, jak i aspekty natury społeczno-środowiskowej, wytypowano 24 technologie, uznając je za innowacyjne. Następnie w oparciu o specjalistyczne metody badawcze tj. metodę Delphi i AHP oraz analizę SWOT dokonano hierarchizacji zidentyfikowanych technologii. Przeprowadzono również krzyżową analizę wpływu wybranych czynników na rozwój innowacyjnych techno-

logii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Badania te jednoznacznie potwierdziły tezę o nadrzędności czynników ekonomicznych, prawnych (środowiskowych) i technologicznych. Określono również kierunki prac naukowo-badawczych.

Prace w projekcie objęły również prognozowanie scenariuszy rozwoju innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego z uwzględnieniem czynników wewnętrznych i zewnętrznych, tj. planowany rozwój gospodarczy Polski, Strategia Energetyczna Unii Europejskiej, Strategia Innowacyjności i Efektywności Gospodarki, uwarunkowania prawne i ekonomiczne, popyt na produkty odpadowe oraz akceptacja społeczna dla wdrożenia technologii zagospodarowywania odpadów z górnictwa węgla kamiennego.

Reasumując, stwierdzono, że aktualnego stanu rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego nie można uznać za zadowalający. Jest to spowodowane wieloma czynnikami, do których zaliczyć należy:

- niedostatek technicznie, ekologicznie i ekonomicznie sprawdzonych technologii przeróbki kopalin i odzysku surowców odpadowych,
- brak wystarczających mechanizmów ekonomicznych sprzyjających odzyskowi surowców odpadowych,
- barierę kapitałową przy wprowadzaniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych w eksploatacji i przeróbce kopalin.

Za główne czynniki mające dominujący wpływ na gospodarcze wykorzystanie odpadów z górnictwa węgla kamiennego i związanych z nimi technologii uznano:

- sytuację ekonomiczną na świecie, w Unii Europejskiej i w Polsce oraz związany z tym wzrost lub spadek zapotrzebowania na energię elektryczną i cieplną,
- ewolucję prawa środowiskowego w zakresie odpadów, w tym odpadów wydobywczych, w kierunku bardziej restrykcyjnych zapisów,
- stanowisko Polski, odnośnie zapisów zawartych w tzw. pakiecie klimatycznym wymuszającym redukcję emisji CO_2 – akceptacja zapisów to konieczność modernizacji polskiej energetyki, a tym samym wzrost zapotrzebowania na tzw. ultra czyste paliwa,
- wzrost lub spadek znaczenia alternatywnych źródeł energii (OZE, gaz łupkowy, energia atomowa),
- planowaną prywatyzację sektora górnictwa węgla kamiennego,
- wzrost lub spadek zapotrzebowania rynkowego na produkty wytworzone na bazie odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego, w tym głównie w drogownictwie, pracach ziemnych i hydrotechnicznych oraz w drogownictwie,

– poziom akceptacji społecznej dla poczynań związanych z zagospodarowaniem odpadów z górnictwa węgla kamiennego.

Literatura

1. Adamczyk Z.: Prognozowane scenariusze rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Gliwice 2011 r.
2. Gaj B.: Opracowanie prognozowanych scenariuszy rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Katowice 2011 r.
3. Kabziński A,: Prognozowane scenariusze rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Kraków 2011 r.
4. Mazurkiewicz M.: Prognozowane scenariusze rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Kraków 2011 r.
5. Szafarczyk J.: Opracowanie prognozowanych scenariuszy rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Katowice 2011 r.
6. Szpyrka J.: Prognozowane scenariusze rozwoju technologii zagospodarowania odpadów z węgla kamiennego. Opracowanie eksperta kluczowego – nie publikowane. Gliwice 2011 r.
7. Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod redakcją S. Góralczyka. Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Warszawa 2011 r.
8. Ankieta badania metodą Delphi w foresighcie „Priorytetowe i innowacyjne technologie zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego”. Opracowanie nie publikowane.

Problematyka zakresu badań odpadów wydobywczych

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic - Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego Oddział Zamiejscowy w Katowicach – „Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego”

1. Wstęp

Podstawowym aktem prawnym dotyczącym gospodarki odpadami wydobywczymi jest ustawa z dn. 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz. U. Nr 138 poz. 865 z późn. zm.). Zgodnie z art. 8 ust. 1 wyżej wymienionej ustawy, posiadacz odpadów wydobywczych jest obowiązany do przedłożenia właściwemu organowi programu gospodarowania odpadami wydobywczymi przed rozpoczęciem działalności związanej z wytwarzaniem lub gospodarowaniem odpadami wydobywczymi. Natomiast posiadacz odpadów wydobywczych, który prowadził działalność w dniu poprzedzającym dzień wejścia w życie ustawy jest obowiązany dostosować swoją działalność do przepisów ustawy (w tym opracować PGOW) do dnia 1 maja 2012 r. (art. 53).

Skuteczne opracowanie programu gospodarowania odpadami wydobywczymi wymaga m.in. kwalifikacji wytwarzanych i zdeponowanych w środowisku odpadów wydobywczych.

Z tego też względu w niniejszym rozdziale przedstawiono zalecany przez ustawodawcę oraz proponowany przez autorów zakres badań chemicznych odpadów wydobywczych niezbędnych do ich zakwalifikowania do odpadów obojętnych. Ponadto przedstawiono wykaz badań fizykomechanicznych w zależności od kierunku gospodarczego wykorzystania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego.

2. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048) [1] określa następujące szczegółowe kryteria zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych, uwzględniając ich właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne:

1) odpady wydobywcze nie powinny ulegać znacznemu rozpadowi mechanicznemu lub rozpuszczeniu lub innej znaczącej zmianie powodującej negatywny wpływ na środowisko lub zdrowie i życie ludzi;
2) maksymalna zawartość siarki siarczkowej w odpadach wydobywczych nie powinna przekraczać:
   a) 0,1% albo

b) 1%, jeżeli wskaźnik potencjału neutralizacji, rozumiany jako stosunek potencjału neutralizacji do potencjału kwasowości, jest większy niż 3;

3) odpady wydobywcze powinny być niepalne oraz nie stwarzać zagrożenia samozapłonem;

4) zawartość w odpadach wydobywczych, w tym w drobnych cząstkach (poniżej 0,002 mm) odpadów, substancji potencjalnie niebezpiecznych dla środowiska lub zdrowia i życia ludzi, w szczególności związków następujących pierwiastków: arsenu (As), kadmu (Cd), kobaltu (Co), chromu (Cr), miedzi (Cu), rtęci (Hg), molibdenu (Mo), niklu (Ni), ołowiu (Pb), wanadu (V) oraz cynku (Zn), powinna być tak niska, że stanowi nieznaczące zagrożenie dla środowiska lub zdrowia i życia ludzi;

5) odpady wydobywcze w znacznym stopniu pozbawione powinny być substancji stosowanych w procesie wydobycia lub przeróbki, które stanowią zagrożenie dla środowiska lub zdrowia i życia ludzi.

2. Kryteria, o których mowa powyżej, nie są spełnione, jeżeli odpady wydobywcze nie spełniają kryteriów dopuszczenia odpadów obojętnych do składowania na składowisku odpadów obojętnych, o których mowa w przepisach dotyczących kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu.

3. Zawartości substancji, potencjalnie niebezpiecznych dla środowiska lub zdrowia i życia ludzi nie są wystarczająco niskie, jeżeli przekraczają standardy jakości gleby lub ziemi, określone dla grupy B, o których mowa w przepisach dotyczących standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, chyba że zawartość tych substancji wynika z ich naturalnej zawartości w środowisku.

4. Zawartość wanadu (V) nie jest wystarczająco niska, jeżeli przekracza wartość 500 mg/kg suchej masy odpadów wydobywczych.

5. Jeżeli zarówno w perspektywie krótkoterminowej, jak i długoterminowej, są spełnione łącznie wszystkie kryteria, o których mowa powyżej, odpady wydobywcze zalicza się do odpadów obojętnych.

6. Badania właściwości odpadów wydobywczych pod kątem spełnienia wyżej wymienionych kryteriów, powinny być przeprowadzane przez laboratoria, o których mowa w art. 147a ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150, z późn. zm.).

7. Jeżeli udokumentowane wyniki wcześniej przeprowadzonych badań, przez laboratoria, o których mowa powyżej, potwierdzają spełnienie wyżej wymienionych kryteriów odpady wydobywcze zalicza się do odpadów obojętnych bez przeprowadzania ponownych badań.

Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. (2b) w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojęt-

nych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048) wprowadza pięć kryteriów oceny, w których czwarte kryterium zgodnie z § 1 ust. 1 pkt 4 dotyczy porównania zawartości substancji potencjalnie niebezpiecznych zawartych w odpadzie ze standardami jakości gleby grupy B.

Wydaje się, że kryterium to nie jest właściwe, z powodów zarówno merytorycznych, jak i metodycznych. Potencjalna szkodliwość poszczególnych rodzajów substancji chemicznych i ich mieszanin jest związana głównie z właściwościami związków chemicznych, takich jak: stabilność, rozpuszczalność, reaktywność, a dopiero w drugiej kolejności z ich ilością całkowitą. Gleba w porównaniu z materiałem skalnym zawiera znacznie więcej substancji organicznych, których mobilność i reaktywność w środowisku jest wielokrotnie większa niż substancji nieorganicznych, dlatego wymagania dotyczące gleby zostały określone na znacznie restrykcyjnym poziomie, który zdaniem autorów nie powinien być stosowany dla materiałów skalnych.

Powszechnie stosowanym kryterium oceny szkodliwości odpadów, a także substancji chemicznych i mieszanin jest określenie poziomu stężenia poszczególnych jonów (m. in. jonów metali ciężkich) w ekstraktach wodnych oraz odciekach i porównanie otrzymanych wyników z kryteriami określającymi dopuszczalną emisję do środowiska, w szczególności do gleby, wód oraz do kanalizacji. Analiza ekstraktu wodnego jest bowiem badaniem, które bardzo dobrze charakteryzuje mobilność substancji w środowisku. Tego typu badania pozwalają na określenie reaktywności lub stabilności tych odpadów w środowisku.

Należy w tym miejscu nadmienić, że obecnie w krajach Unii Europejskiej są prowadzone prace legislacyjne dotyczące wprowadzenia nowych metod i kryteriów oddziaływania na środowisko odpadów, m. in. w powołanym do tego celu Komitecie Technicznym CEN/TC 352 „ Construction products: Assessment of release of dangerous substances”.

Metody te opierają się na badaniu mobilności substancji potencjalnie niebezpiecznych, analizując ekstrakty wodne, gdzie jako czynnik wymywający nie stosuje się wody destylowanej, ale wodne roztwory o zwiększonej kwasowości (w zamierzeniu symulujących oddziaływanie „kwaśnych deszczów”).

W związku z powyższym w niniejszym rozdziale przedstawiono proponowany przez autorów zakres badań chemicznych dla próbek odpadów wydobywczych pozyskiwanych z bieżącej produkcji oraz z obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych lub innych obiektów (osadników, budowli krajobrazowych i in.) pod kątem ich kwalifikacji do odpadów obojętnych.

3. Proponowany zakres badań chemicznych dla próbek wydobywczych pod kątem ich kwalifikacji do odpadów obojętnych

Proponowany zakres badań chemicznych dla próbek odpadów wydobywczych pozyskiwanych z bieżącej produkcji oraz z obiektów unieszkodliwiania

odpadów wydobywczych lub innych obiektów (osadników, budowli krajobrazowych i in.) przedstawiono w tabeli 1.

Proponowany zakres badań chemicznych odpadów wydobywczych pod kątem ich kwalifikacji do odpadów obojętnych

Tabela 1

Lp.	Rodzaj analizy	Akt prawny określający wartości dopuszczalne/graniczne stężeń
1.	– **analiza bezpośrednia**	rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359) [2], rozpo rządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048), dotyczy zawartości wanadu i siarki siarczkowej [3]. „Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczenie gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji (PIOŚ, 1995 r. dotyczy dopuszczalnego poziomu m. in siarczków w gruntach przemysłowych (obszar B) [4].
2.	– **analiza ekstraktu wodnego**	rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego-załącznik 1 (Dz. U. z 2009 r. Nr 27 poz. 169), [5].
3.	– **tzw. „test zgodności”**	rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553). § 2 powyższego rozporządzenia określa procedurę dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, obejmująca m. in. sporządzenie podstawowej charakterystyki odpadów oraz wykonanie tzw. „testu zgodności”), [6]
4.	– **radioaktywność**	rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. Z 2007 r. Nr 4, poz. 29) [7]. To rozporządzenie stosowane jest dla materiałów odpadowych wykorzystywanych w budownictwie. Materiały budowlane kwalifikowane są na podstawie wskaźników aktywności, o których mówi § 2, ust. 1 i ust. 2 niniejszego rozporządzenia oraz na podstawie wartości granicznych określonych w § 3 i § 4.

3.1. Analiza bezpośrednia próbek odpadów wydobywczych

Wykaz zalecanych oznaczeń w ramach analizy bezpośredniej odpadu wydobywczego wraz z dopuszczalnymi stężeniami w glebie i ziemi (obszar B) wg Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359 [2]

Tabela 2

Lp.	Wyszczególnienie	jednostka	wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi – obszar B (Dz. U. Nr 165, poz. 1359)				
			głębokość [m ppt]				
			0-0,3	0,3-15,0		>15	
				wodoprzepuszczalność gruntów [m/s]			
				do	poniżej	do	poniżej
				$1*10^{-7}$		$1*10^{-7}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
metale							
1.	arsen	mg/kg s.m.	20	20	25	25	55
2.	bar	mg/kg s.m.	200	250	320	300	650
3.	chrom	mg/kg s.m.	150	150	190	150	380
4.	cyna	mg/kg s.m.	20	30	50	40	300
5.	cynk	mg/kg s.m.	300	350	300	300	720
6.	kadm	mg/kg s.m.	4	5	6	4	10
7.	kobalt	mg/kg s.m.	20	30	60	50	120
8.	miedź	mg/kg s.m.	150	100	100	100	200
9.	molibden	mg/kg s.m.	10	10	40	30	210
10.	nikiel	mg/kg s.m.	100	50	100	70	210
11.	ołów	mg/kg s.m.	100	100	200	100	200
12.	rtęć	mg/kg s.m.	2	3	5	4	10
13.	wanad*	mg/kg s.m.	500	bd	bd	bd	bd
14.	żelazo**	mg/kg s.m.	nn	nn	nn	nn	nn
parametry dodatkowe							
1.	ogólny węgiel organiczny	% s. m.	-	-	-	-	-
2.	BTEX	mg/kg s.m.	0,1	1	75	10	150
3.	PCB (suma)	mg/kg s.m.	0,02	0,1	1	0,5	5
4.	olej mineralny	mg/kg s.m.	50	200	1000	1000	3000
5.	WWA (suma)	mg/kg s.m.	1	20	40	20	200
6.	cyjanki wolne	mg/kg s.m.	1	5	6	5	12
7.	cyjanki związane	mg/kg s.m.	5	5	6	5	12
8.	siarczki***	mg/kg s.m.	8	bd	bd	bd	bd
9.	wilgotność	%	-	-	-	-	-

**zgodnie rozporządzeniem Ministra Środowiska 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. 2011 r. Nr 175, poz. 1048) - dotyczy zawartości wanadu*

***nienormowalne*

****dopuszczalny poziom siarczków w gruntach przemysłowych, określony w oparciu o „Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczenie grun-*

tów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji" (PIOŚ w 1995 r.) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. 2011 r. Nr 175, poz. 1048) dot. maksymalnej zawartości siarki siarczkowej w odpadach wydobywczych i wynosi: 0,1%.

Wyniki analizy bezpośredniej dla próbek odpadów wydobywczych porównuje się do wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi (obszar B) [2], a w przypadku zawartości wanadu do kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych [3], zgodnie z poniżej wymienionymi obowiązującymi aktami prawnymi:

- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359) [2],
- rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048), dotyczy zawartości wanadu [3].

Natomiast w oparciu o „Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczenia gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji (PIOŚ, 1995 r.) został określony dopuszczalny poziom siarczków w gruntach przemysłowych (obszar B) [4].

W tabeli 2 przedstawiono wykaz zalecanych oznaczeń w ramach analizy bezpośredniej odpadu wydobywczego wraz z dopuszczalnymi stężeniami w glebie i ziemi (obszar B) wg Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359 [2].

3.2. Analiza ekstraktu wodnego próbek odpadów wydobywczych

Wyniki analizy ekstraktu wodnego dla próbek odpadów wydobywczych porównuje się do najwyższych dopuszczalnych zanieczyszczeń w środowisku wodnym zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego-załącznik 1 (Dz. U. z 2009 r. Nr 27 poz. 169) [5].

W tabeli 3 przedstawiono wykaz zalecanych oznaczeń w ramach analizy ekstraktu wodnego odpadu wydobywczego wraz z najwyższą dopuszczalną wartością według Dz. U. Nr 27, poz. 169 [5].

Wykaz zalecanych oznaczeń w ramach analizy ekstraktu wodnego odpadu wydobywczego wraz z najwyższą dopuszczalną wartością według Dz. U. Nr 27, poz. 169 [5]

Tabela 3

Lp.	Wyszczególnienie	jednostka	Najwyższa dopuszczalna wartość (Dz. U. Nr 27, poz. 169, załącznik 1)
parametry podstawowe			
1.	odczyn	pH	6,5-9
2.	przewodność	µS/cm	-
3.	$ChZT_{Cr}$	mg/l	125
4.	BZT_5	mg/l	25
5.	ogólny węgiel organiczny	mg/l	30
6.	indeks fenolowy	mg/l	0,1
7.	azot amonowy	mg/l	10
8.	azot azotanowy	mg/l	30
9.	azot azotynowy	mg/l	1
10.	cyjanki wolne	mg/l	0,1
11.	chlorki	mg/l	1000
12.	siarczany (VI)	mg/l	500
13.	siarkowodór i siarczki	mg/l	0,2
14.	chrom (VI)	mg/l	0,1
metale			
15.	arsen	mg/l	0,1
16.	bar	mg/l	2
17.	chrom ogólny	mg/l	0,5
18.	cyna	mg/l	2
19.	cynk	mg/l	2
20.	kadm	mg/l	0,4
21.	kobalt	mg/l	1
22.	miedź	mg/l	0,5
23.	molibden	mg/l	1
24.	nikiel	mg/l	0,5
25.	ołów	mg/l	0,5
26.	rtęć	mg/l	0,06
27.	wanad	mg/l	-

3.3. „Test zgodności" dla próbek odpadów wydobywczych w celu zaliczenia odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych [6]

Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [6] w § 2 określa procedurę dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, obejmująca m. in. sporządzenie podstawowej charakterystyki odpadów oraz wykonanie tzw. „testu zgodności").

Wykaz analiz zawartości metali w przypadku przeprowadzania „testu zgodności" (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) – wg załącznika nr 3 pt.: „Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów obojętnych" [6]

Tabela 4

Lp.	Wyszczególnienie	Dopuszczalne graniczne wartości wymywania (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [mg/kg s.m.]
1.	antymon	0,06
2.	arsen	0,5
3.	bar	20
4.	chrom ogólny	0,5
5.	cynk	4
6.	kadm	0,04
7.	miedź	2
8.	molibden	0,5
9.	nikiel	0,4
10.	ołów	0,5
11.	rtęć	0,01
12.	selen	0,1

Wykaz analiz zawartości anionów i dodatkowych parametrów organicznych w przypadku przeprowadzania „testu zgodności" (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [6] – wg załącznika nr 3 pt.: „Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów obojętnych"

Tabela 5

Lp.	Wyszczególnienie	Wartość graniczna (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [mg/kg]
aniony		
1.	chlorki	800
2.	fluorki	10
3.	siarczany(VI)	1000
dodatkowe parametry organiczne		
4.	wskaźnik fenolowy	1
5.	rozpuszczalny węgiel organiczny (DOC)	500
6.	stałe związki rozpuszczone (TDS)	4000
7.	ogólny węgiel organiczny	30000
8.	benzen, toluen, etylobenzen, i ksyleny (BTEX)	6
9.	polichlorowane bifenyle, 7 kongenerów (PCB)	1
10.	olej mineralny (od C_{10} do C_{40})	500
11.	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)	1

W przypadku dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów obojętnych określono tzw. dopuszczalne graniczne wartości wymywania (test podstawowy) oraz parametry dodatkowe (załącznik nr 3 do powyższego rozporządzenia).

Zgodnie z § 2 i § 7, ust. 2., pkt 1 i 2 powyższego rozporządzenia zaleca się przeprowadzanie „testu zgodności" „co najmniej raz na 12 miesięcy lub częściej, jeżeli wynika to z podstawowej charakterystyki" oraz „w przypadku zmian w procesie produkcji, w szczególności dotyczących zmiany użytych surowców i materiałów" w zakresie określonym w załączniku nr 3.

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wykaz analiz w przypadku przeprowadzania „testu zgodności" (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [6] – według załącznika nr 3, pt. „Kryteria dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów obojętnych".

3.4. Analiza spektrometryczna [7]

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. z 2007 r. Nr 4, poz. 29) [7] jest stosowane dla materiałów odpadowych wykorzystywanych w budownictwie. Materiały budowlane kwalifikowane są na podstawie wskaźników aktywności, o których mówi § 2, ust. 1 i ust. 2 niniejszego rozporządzenia:

„§ 2. ust. 1. Zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie ustala się za pomocą:

1) wskaźnika aktywności f_1, który określa zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych, oraz
2) wskaźnika aktywności f_2, który określa zawartość radu Ra-226.

Wskaźniki aktywności, o których mowa w ust. 1, są zdefiniowane wzorami:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000\ \text{Bq/kg}} + \frac{S_{Ra}}{300\ \text{Bq/kg}} + \frac{S_{Th}}{200\ \text{Bq/kg}}$$

$f_2 = S_{Ra}$

gdzie:

S_K, S_{Ra}, S_{Th} – oznaczają odpowiednio stężenia promieniotwórcze izotopów potasu K-40, Ra-226 i Th-228 wyrażone w bekerelach na kilogram (Bq/kg).

Następnie rozporządzenie podaje:

„§ 3. Wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 nie mogą przekraczać o więcej niż 20% wartości:

1) $f_1 = 1$ i $f_2 = 200$ Bq/kg w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego;
2) $f_1 = 2$ i $f_2 = 400$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub przeznaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz do niwelacji takich terenów;
3) $f_1 = 3{,}5$ i $f_2 = 1.000$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych niewymienionych w pkt 2 oraz do niwelacji terenów niewymienionych w pkt 2;
4) $f_1 = 7$ i $f_2 = 2.000$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w pkt 3, oraz w budowlach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych

oraz

„§ 4. Przy stosowaniu odpadów przemysłowych do niwelacji terenów, o których mowa w § 3 pkt 2 i 3, oraz do budowy dróg, obiektów sportowych i rekreacyjnych zapewnia się, przy zachowaniu wymaganych wartości wskaźników f_1 i f_2, obniżenie mocy dawki pochłoniętej na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu, drogi lub obiektu do wartości nieprzekraczającej 0,3 mikrogreja na godzinę (μGy/h), w szczególności przez położenie dodatkowej warstwy innego materiału.”

3.5. Wykaz badań fizykomechanicznych w zależności od kierunku gospodarczego wykorzystania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego

Analiza możliwości kierunków gospodarczego wykorzystania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego (produktów odpadowych) wymaga uwzględnienia następujących obszarów zastosowań:

1. budowa nasypów hydrotechnicznych,
2. budowa nasypów komunikacyjnych,
3. budownictwo drogowe,

4. produkcja materiałów ceramicznych,
5. produkcja betonu.

Każdy z wymienionych kierunków potencjalnego zastosowania wyżej wymienionych produktów odpadowych wymaga wykonania określonych badań fizykomechanicznych. Badania te w sposób jednoznaczny pozwalają na akceptację lub eliminację danego kierunku gospodarczego wykorzystania [8].

3.5.1. Budowa nasypów hydrotechnicznych [8]

Produkt odpadowy do robót hydrotechnicznych powinien w pierwszym rzędzie spełniać wymogi określone w normie PN-EN 13383-1 w zakresie:

- wymogów geometrycznych – uziarnienie grube, uziarnienie lekkie, uziarnienie ciężkie,
- kształtu ziaren,
- zawartości powierzchni przekruszonych i łamanych,
- gęstości ziaren,
- odporności na zniszczenie,
- odporności na ścieranie.

3.5.2. Budowa nasypów komunikacyjnych [8]

Wymagania dotyczące właściwości materiałów (produktów odpadowych) stosowanych w budowie nasypów komunikacyjnych określa norma PN-S-02205. Wykaz niezbędnych do przeprowadzenia badań oraz wymaganych wartości dopuszczalnych dla materiałów do zastosowania w budowie nasypów komunikacyjnych przedstawiono w tabeli 6.

Wykaz parametrów badanych dla materiałów stosownych w budowie nasypów komunikacyjnych

Tabela 6

Lp.	Parametr	Wartości dopuszczalne
1	Wskaźnik różnoziarnistości	> 5
2	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	> 1,6 [g/cm^3]
3	Wskaźnik piaskowy	>35
4	Wskaźnik nośności CBR	> 10 %
5	Zawartość części organicznych	< 2 %
6	Pęcznienie liniowe	< 2%

3.5.3. Budownictwo drogowe [8]

Wymagania dotyczące właściwości materiałów (produktów odpadowych) stosowanych w budowie drogowym określa norma PN-S-06102 oraz wymagania zawarte w wymaganiach technicznych WT-1. Wymagania zawarte w dokumencie WT-1 opierają się na wynikach badań surowców skalnych wykonanych według norm PN-EN. Głównym kryterium oceny przydatności produktu odpadowego do budownictwa drogowego jest jego mrozoodporność (badanie według normy PN-EN 1362-2), która zgodnie z wymaganiami WT-1 nie powinna być większa niż 4. Natomiast przy zastosowaniu technologii stabilizacji spoiwami hydraulicznymi produkt odpadowy może być zastosowany w warstwie podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszonego (wszystkie kategorie ruchu KR-1 do KR-6) oraz do warstwy podbudowy zasadniczej (wszystkie kategorie ruchu KR-1 do KR-6) przy spełnieniu warunków dotyczących:

1. wskaźnika nośności po zagęszczaniu i 25 cyklach zamrażania i odmrażania,
2. wskaźnika piaskowego po cyklach badawczych i 25 cyklach zamrażania i odmrażania,
3. kapilarności biernej,
4. współczynnika wodoprzepuszczalności,
5. ścieralności w bębnie Los Angeles.

Szczegółowe wytyczne na temat zestawu niezbędnych badań dla mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym (cementem, żużlem i popiołem lotnym) do dróg krajowych znajdują się m. in. w opracowaniu W. Blaschke i in., pt. „Opracowanie metody prognozowania parametrów jakościowych odpadów powstających w wyniku grawitacyjnego wzbogacanie energetycznego węgla kamiennego, praca statutowa Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, oddz. Katowice, wrzesień, 2011 r. [8].

3.5.4. Produkcja materiałów ceramicznych [8]

Wdrażanie nowego wyrobu związane jest z koniecznością przeprowadzenia przed wprowadzeniem do obrotu wstępnych badań mających stwierdzić, że osiągane właściwości użytkowe wyrobu są zgodne z wymogami według obowiązujących norm i wartościami deklarowanymi przez producenta. Jeżeli przez producenta są wprowadzane zmiany dotyczące pochodzenia lub rodzaju surowca (np. zastosowanie produktu odpadowego) oraz proporcji składników, które mogłyby zmienić właściwości gotowego wyrobu, wówczas powinny zostać przeprowadzone badania zgodnie z normą PN-EN 771-1 oraz metodami podanymi w tabeli 7.

Wykaz parametrów niezbędnych do oznaczenia dla materiałów wykorzystanych do produkcji elementów ceramicznych

Tabela 7

Lp.	Parametr	Element HD	Element LD
1	Wymiary	Deklarowana wartość	Deklarowana wartość
2	Kształt i budowa	Deklarowana wartość	Deklarowana wartość
3	Wytrzymałość na ściskanie	Deklarowana wartość	Deklarowana wartość
4	Stabilność wymiarów	Deklarowana wartość rozszerzalności pod wpływem wilgoci	Deklarowana wartość rozszerzalności pod wpływem wilgoci
5	Wytrzymałość spoiny	Deklarowana wartość ustalona lub wartość wg badań początkowej wytrzymałości na ścinanie	Deklarowana wartość ustalona lub wartość wg badań początkowej wytrzymałości na ścinanie
6	Zawartość aktywnych soli rozpuszczalnych	Deklarowana wartość na podstawie kategorii technicznej SO,S1,S2	Deklarowana wartość na podstawie kategorii technicznej SO,S1,S2
7	Reakcja na ogień	Deklarowane klasy reakcji na ogień od A1 do F	Deklarowane klasy reakcji na ogień od A1 do F
8	Absorpcja wody	Deklarowana wartość	Nie eksponować na zewnątrz
9	Przepuszczalność pary wodnej	Deklarowana wartość (tabelaryczny współczynnik dyfuzji pary wodnej	Deklarowana wartość (tabelaryczny współczynnik dyfuzji pary wodnej
10	Izolacyjność od dźwięków bezpośrednich	Deklarowana wartość gęstości brutto i kategoria odchyłek gęstości	Deklarowana wartość gęstości brutto i kategoria odchyłek gęstości
11	Opór cieplny	Deklarowana wartość oporu cieplnego lub ekwiwalentny współczynnik przewodzenia ciepła	Nie eksponować na zewnątrz lub wartość deklarowana
12	Trwałość (odporność na zamrażanie i odmrażanie	Deklarowane przewidywane warunki stosowania i wartości odporności na zamrożenie-odmrażanie	Deklarowane przewidywane warunki stosowania i wartości odporności na zamrożenie-odmrażanie
13	Substancje niebezpieczne	Dokonać badań jeśli jest to podyktowane wymogami ustawodawstwa europejskiego, przepisami krajowymi i regulacjami	Dokonać badań jeśli jest to podyktowane wymogami ustawodawstwa europejskiego, przepisami krajowymi i regulacjami

3.5.5. Produkcja betonu [8]

Proces badawczy produktu odpadowego stosowanego do produkcji betonu należy przeprowadzić zgodnie z normą PN- EN 12620. Materiał odpadowy pod względem uziarnienia musi spełniać następujące wymogi określone w tabeli 8.

Wymogi dotyczące uziarnienia produktu odpadowego stosowanego do betonu

Tabela 8

Produkt odpadowy	Wymiar	Procent przechodzącej masy					Kategoria G
		2D	1,4D	D*	d**	d/2	
Grube	D/d≤ 2	100	98-100	85-99	0-200	0-5	$G_{C85/20}$
	D≤11,2		98-100	80-99	0-20	0-5	G_{C8020}
	D/d> 2 D> 11,2	100	98-100	90-99	0-15	0-5	G_C90/15
Drobne	D≤ 4 I d=0	100	95-100	85-99	-	-	G_C90/15
Naturalne 0/8	D=8 i d=0	100	98-100	90-99	-	-	G_{NG}90
O ciągłym uziarnieniu	D≤ 45 i d=0	100	98-100	90-99	-	-	G_A90
		100	98-100	85-99	-	-	G_A85

**D-górny wymiar sita*
***d-dolny wymiar sita*

Dla produktów odpadowych grubych, gdzie D> 11,2 i D/d > 2 lub D≤ 11,2 i D/d > 4 należy stosować dodatkowe wymagania, określające procent zawartości przechodzącej przez sito pośrednie. Całość uziarnienia powinna mieścić się w ogólnych granicach określonych w tabeli 9.

Ogólne granice i tolerancje uziarnienia produktu odpadowego grubego na sitach pośrednich

Tabela 9

D/d	Sito pośrednie	Ogólne granice	Tolerancja dotycząca typowego uziarnienia deklarowanego przez producenta	Kategoria
< 4	D/14	25-70	+/- 15	G_T15
≥ 4	D/2	25-70	+/-15	G_T17,5

4. Wnioski

Proponowany zakres badań dla odpadów wydobywczych pod kątem ich kwalifikacji do odpadów obojętnych powinien obejmować:

1. *badania podstawowe*, w tym: skład petrograficzny, skład mineralny, skład chemiczny (analiza tlenkowa), analizę spektrometryczną,
2. *analizę bezpośrednią* zgodnie z:

a) rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359) [2],
b) rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048) [3], dotyczy zawartości wanadu i siarki siarczkowej,
c) „Wskazówkami metodycznymi do oceny stopnia zanieczyszczenie gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji (PIOŚ, 1995 r. dotyczy dopuszczalnego poziomu m. in. siarczków w gruntach przemysłowych (obszar B) [4].

3. analizę ekstraktu wodnego zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego-załącznik 1 (Dz. U. z 2009 r. Nr 27 poz. 169) [5],
4. tzw. „test zgodności" zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553) [6]. § 2 powyższego rozporządzenia określa procedurę dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, obejmująca m. in. sporządzenie podstawowej charakterystyki odpadów oraz wykonanie tzw. „testu zgodności"),
5. radioaktywność na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. z 2007 r. Nr 4, poz. 29) [7]. To rozporządzenie stosowane jest dla materiałów odpadowych wykorzystywanych w budownictwie. Materiały budowlane kwalifikowane są na podstawie wskaźników aktywności, o których mówi § 2, ust. 1 i ust. 2 niniejszego rozporządzenia oraz na podstawie wartości granicznych określonych w § 3 i § 4,

Natomiast analiza możliwości kierunków gospodarczego wykorzystania odpadów wydobywczych z górnictwa węgla kamiennego (produktów odpadowych) wymaga uwzględnienia następujących obszarów zastosowań:

- budowa nasypów hydrotechnicznych,
- budowa nasypów komunikacyjnych,
- budownictwo drogowe,
- produkcja materiałów ceramicznych,

– produkcja betonu.

Każdy z wymienionych kierunków potencjalnego zastosowania wyżej wymienionych produktów odpadowych wymaga wykonania określonych badań fizykomechanicznych. Badania te w sposób jednoznaczny pozwalają na akceptację lub eliminację danego kierunku gospodarczego wykorzystania.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2011 r. w sprawie kryteriów zaliczania odpadów wydobywczych do odpadów obojętnych (Dz. U. Nr 175, poz. 1048),
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359),
3. „Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczenie gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesach rekultywacji, PIOŚ, 1995r.,
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego-załącznik 1 (Dz. U. z 2009 r. Nr 27 poz. 169),
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. z 2005 r. Nr 186, poz. 1553),
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. z 2007 r. Nr 4, poz. 29),
7. Blaschke W. i in.,: „Opracowanie metody prognozowania parametrów jakościowych odpadów powstających w wyniku grawitacyjnego wzbogacanie energetycznego węgla kamiennego, praca statutowa Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie, oddz. Katowice, wrzesień, 2011 r.

Odpady wydobywcze z kopalń węgla kamiennego – wyzwania i oczekiwania

Barbara Lech, Tadeusz Koperski - Haldex S.A. Katowice

1. Wprowadzenie

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/21/WE z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie gospodarowania odpadami pochodzącymi z przemysłu wydobywczego oraz ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz. U. nr 138, poz. 865 z późniejszymi zmianami) nakłada na wytwórcę oraz posiadacza odpadów szereg obowiązków, w szczególności klasyfikując je według ważności procesów: zapobiegania powstawania, odzysku, recyklingu oraz ich składowania.

W kręgu rozważań niniejszego rozdziału są procesy dotyczące zapobieganiu powstawania odpadów wydobywczych lub ograniczenie ich powstawania do minimum, zmniejszając również ich negatywny wpływ na środowisko (w tym dotyczące zagrożenia życia i zdrowia ludzi) przy zastosowaniu najlepszych dostępnych technik oraz w przypadku posiadacza odpadów – ograniczenie negatywnego ich oddziaływania na środowisko oraz zagrożenia życia i zdrowia ludzi przy zastosowaniu najlepszych dostępnych technik [3].

Obowiązkiem wytwórcy omawianych odpadów jest poddanie ich w pierwszej kolejności procesowi odzysku. Jeżeli z przyczyn technologicznych czy też ekonomicznych wytwórca nie może przeprowadzić procesu odzysku, to powinien je przekazać do najbliższych miejsc gdzie mogą być poddane procesowi unieszkodliwiania, w tym również do obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych [7].

Ze względu na rodzaje bogactw naturalnych jakimi województwo śląskie dysponuje, stało się ono obszarem skupiającym przede wszystkim przemysł ciężki. W ciągu ostatnich kilkunastu lat zauważono widoczne zmiany w profilu branży. Ilość produkowanych i gromadzonych odpadów stopniowo zmniejszała się, co jest spowodowane:

a) zmniejszeniem produkcji w ogóle,
b) zastosowaniem nowych czy też innowacyjnych technologii produkcji,
c) zastosowaniem w gospodarce odpadów jako produktów (np. popioły lotne będące odpadem mają zastosowanie między innymi w produkcji betonów, stanowią również spoiwo w produkcji różnego rodzaju „mieszanek kruszyw" wykorzystywanych w robotach inżynieryjnych do budowy nasypów komunikacyjnych).

2. Odpady przemysłowe na terenie województwa śląskiego

Pomimo rozwoju technologii na terenie województwa śląskiego istnieje nadal wiele starych zwałowisk, hałd, które powstawały wraz z rozwojem przemysłu. Funkcjonują również czynne składowiska odpadów poprodukcyjnych, gdzie z branży górniczej i hutniczej dostarczane są odpady z bieżącej produkcji. W tabeli 1 zestawiono ilość odpadów przemysłowych wytworzonych w województwie śląskim w latach 2005 - 2010.

Zestawienie ilości odpadów przemysłowych wytworzonych w latach 2005 - 2010 w województwie śląskim

Tabela 1

Ilość odpadów przemysłowych (w tys. Mg):	**Wyszczególnienie w latach**					
	2005 r.	**2006 r.**	**2007 r.**	**2008 r.**	**2009 r.**	**2010 r.**
Wytworzonych ogółem (w tys. Mg)	46845	41678	41408	35301	32258	35508
poddanych odzyskowi (w tys. Mg)	40689	37107	37993	31999	30090	33292
unieszkodliwionych w tym przez składowanie (w tys. Mg)	5840	2484	1689	2150	1855	1695
magazynowanych czasowo (w tys. Mg)	315	2087	1726	1152	313	520
Odpady dotychczas nagromadzone na składowiskach (w tys. Mg)	795761	667394	653946	650312	643584	621213

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS [1]

W roku 2010 zaobserwowano wzrost ilości wytworzonych odpadów przemysłowych o 10,1% w porównaniu z rokiem ubiegłym.

Corocznie obserwuje się, iż największy udział procentowy w ogólnej ilości wytwarzanych odpadów przemysłowych w województwie śląskim należy do działalności związanej z górnictwem i wydobyciem. Udział ten kształtował się w latach ubiegłych na poziomie około 75% w skali roku. Szacuje się, że około 10% odpadów wydobywczych corocznie jest lokowane na składowiskach. W 2010 r. według danych WIOŚ w Katowicach w nagromadzonej ilości 621

mln Mg odpadów ok. 70% stanowią odpady górnicze, a 10% energetyczne. Natomiast w tej grupie wytwarzania odpadów w 2010 r. - 67,4% jest efektem procesów płukania i oczyszczania kopalin, a 4,5% wszystkich odpadów wytworzonych pochodzi z flotacyjnego wzbogacania węgla [8].

Według danych Urzędu Wojewódzkiego w Katowicach – w byłym województwie katowickim w ciągu ostatnich 100 lat nagromadzono około 1,5 mld Mg różnych odpadów przemysłowych, gdzie ponad 80% stanowią odpady wydobywcze. Szacuje się, że w Polsce zajmują one ponad 200 zwałowisk o łącznej powierzchni ponad 4000 ha, z czego większość jest na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego [5].

2.1. Odpady wydobywcze na terenie województwa śląskiego

Nie do końca wiadomo ile odpadów wydobywczych jest zdeponowanych na starych, nie w pełni zinwentaryzowanych, nie zrekultywowanych hałdach. Według danych WIOŚ w Katowicach za 2010 rok na terenie województwa śląskiego znajduje się około 130 miejsc lokowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego (hałdy, zwałowiska, stawy osadowe). Orientacyjne miejsca położenia wspomnianych obiektów przedstawia rysunek 1.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa Inspekcja Ochrony Środowiska została zobowiązana do przeprowadzenia spisu zamkniętych i opuszczonych obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych na terenie województwa śląskiego, mogących wywierać negatywny wpływ na środowisko [8]. Pozostawienie takich obiektów bez prowadzenia monitoringu czynników atmosferycznych oraz podejmowania działań naprawczych, uniemożliwia ograniczenie ich negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze, którym głównie jest: pylenie, emisja gazów do powietrza, infiltracja soli i metali ciężkich do wód, samozapłonu i palenie się. Przykładem takiej hałdy, która stanowi bombę ekologiczną to chociażby: paląca się hałda w Chorzowie Starym, która jest w trakcie gaszenia i rekultywacji.

Obecnie jako obiekty unieszkodliwiania odpadów wydobywczych zgodnie z ustawą o odpadach wydobywczych funkcjonują:

- obiekt „Panewniki” na granicy Katowic, Mikołowa i Rudy Śląskiej,
- obiekt Centralne Składowisko Odpadów Górniczych w Knurowie,
- obiekt „Borynia Jar” – zbiornik 6a [8]

Polityka zrównoważonego rozwoju przyjęta przez Polskę nakłada obowiązek ochrony środowiska naturalnego na każdym poziomie prowadzonej działalności przez człowieka. Odnosząc powyższe do wytwarzanych i wcześniej zdeponowanych odpadów wydobywczych należy dążyć do: ograniczenia powstawania tych odpadów (już na etapie eksploatacji złoża).

Rys.1. Zwałowiska odpadów górniczych na terenie województwa śląskiego (źródło: [8])

Proces przygotowania odpadów wydobywczych, jako surowca do dalszego wykorzystania, powinien się już rozpoczynać „na dole" tj. na etapie robót przygotowawczych.

Wstępna obróbka odpadów wydobywczych może przyczynić się do poprawy jakości surowca, a dalej uzyskiwanych z niego produktów. Takie działania przewiduje się w dwudziestu kopalniach węgla kamiennego, gdzie

do roku 2020 zostaną zainstalowane na dole węzły odkamieniania. Niewykluczone, że pozwoli to prowadzić proces selekcji odpadów na: piaskowiec, mułowiec i inne [6].

Kiedy wymaga się aby koncentraty węglowe były jak najczystsze to zapewnienie ograniczenia powstawania odpadów w procesie przeróbki staje się bardzo trudne do zrealizowania, gdyż procesy wzbogacania przyczyniają się do powstawania większej ilości odpadów;

- prowadzenia procesów odzysku:
  a) zarówno w oparciu o odpady wytwarzane w czasie bieżącej produkcji kopalń węgla kamiennego,
  b) na istniejących zwałowiskach, hałdach, składowiskach poprzez rozbiórkę i odzysk kruszywa.

W efekcie taka działalność może przyczynić się do zmniejszenia ilości terenów zajmowanych pod budowę nowych składowisk (jako obiektów unieszkodliwiania odpadów), czy też pozwoli zrekultywować zdegradowane obszary nie tylko w kierunku leśnym lub jako budowle krajobrazowe, ale przywrócić je do stanu pierwotnego z określeniem przeznaczenia w planie zagospodarowania przestrzennego, jako tereny pod budownictwo: mieszkaniowe, przemysłowe, usługowe czy też chociażby jako tereny pod uprawy przemysłowe.

Prognoza zapotrzebowania mas ziemnych i innych materiałów do budowy dróg publicznych w latach 2012 – 2020 [mln Mg]

Tabela 2

Rok	Autostrady	Drogi ex	Obwodnice	Drogi samorz.	Razem
2012	17	10	4	4	**35**
2013	12	12	4	4	32
2014	10	12	4	5	31
2015	8	13	4	5	30
2016	5	10	2	10	27
2017	5	8	2	10	25
2018	-	8	2	10	20
2019	-	8	2	10	20
2020	-	8	2	10	20
Razem 2012-20	**57**	**89**	**26**	**68**	**240**

Źródło: [2]

Część starych hałd (szczególnie z „łupkiem czerwonym"), jako złoża antropogeniczne znalazły zastosowanie w robotach inżynieryjnych – głównie branża drogownictwo. Przyczyniła się do tego budowa infrastruktury technicz-

nej (sieci dróg oraz autostrad). Jednakże należy zwrócić uwagę, iż obecnie w kraju, w tym na terenie województwa śląskiego ilość robót w branży drogowej będzie się sukcesywnie zmniejszać. Powyższe wnioski można wysunąć w oparciu o dane: „Prognoza zapotrzebowania mas ziemnych…" stanowiące tabelę nr 2 oraz „Prognoza produkcji kruszyw…"stanowiące tabelę nr 3.

Prognoza produkcji kruszyw w latach 2010 – 2020

Tabela 3

Lata:	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	**SUMA 2012-2020**
(1) Kruszywa naturalne łamane	***60***	55	50	50	55	55	55	50	50	480
(2) Kruszywa naturalne żwirowe	***140***	140	140	145	145	150	150	150	150	1310
Kruszywa naturalne (1+2)	***200***	195	190	195	200	205	205	200	200	1790
(3) Kruszywa sztuczne	***6***	6	5	5	5	5	4	4	4	44
(4) Kruszywa z recyklingu	***10***	15	15	15	20	20	25	25	25	170
Kruszywa wtórne	***16***	21	20	20	25	25	29	29	29	214
Kruszywa (1-4)	***216***	216	210	215	225	230	234	229	229	2004
Mg / mieszkańca (gdy 38 mln)	***5,7***	5,7	5,5	5,6	5,9	6,1	6,2	6,0	6,0	5,8
Zapotrzebowanie dla drogownictwa [mln Mg] (z koleją)	***45***	38	38	31	25	25	20	20	20	230
Zapotrzebowanie dla drogownictwa [%] z koleją	***20,8***	17,6	18,1	14,4	11,1	10,9	8,5	8,7	8,7	11,7

Źródło [2]

3. Odpady wydobywcze - kierunki odzysku

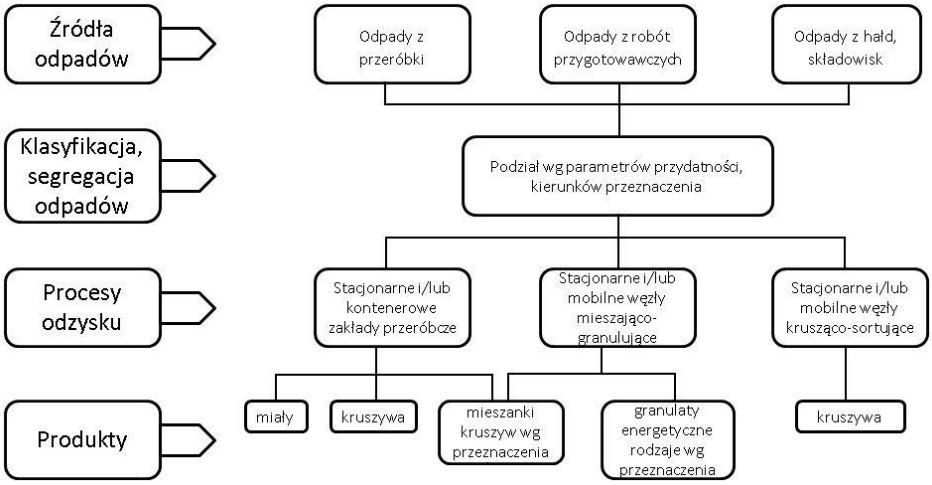
Firma Haldex S.A. prowadzi działalność związaną z unieszkodliwianiem odpadów, zarówno z bieżącej produkcji kopalń węgla kamiennego oraz z hałd. Działalność dotyczy przede wszystkim odpadów wydobywczych pod niżej wymienionymi kodami:

a) 01 01 02 Odpady z wydobywania kopalin innych niż rudy metali,

b) 01 04 12 Odpady powstające przy płukaniu i oczyszczaniu kopalin inne niż wymienione w 01 04 07 i 01 04 11,
c) 01 04 81 Odpady z flotacyjnego wzbogacania węgla inne niż wymienione w 01 04 80

Działalność firmy prowadzona jest w:

a) stacjonarnych zakładach przeróbczych:
   – „Haldex – Michał" – zdolność produkcyjna: 875 000 Mg/rok,
   – „Haldex – Szombierki" – zdolność produkcyjna: 875 000 Mg/rok,
   – „Haldex –Brzezinka" – zdolność produkcyjna: 875 000 Mg/rok,
   – „Haldex – Makoszowy" – zdolność produkcyjna: 210 000 Mg/rok,
b) kontenerowych zakładach przeróbczych:
   – „Haldex- Panewniki" – zdolność produkcyjna: 1 200 000 Mg/rok,
   – „CTL Haldex" – zdolność produkcyjna: 1 000 000 Mg/rok,
c) mobilnych węzłach kruszącо-sortujących np. semi-mobilna instalacja „Haldex – Rydułtowy" zdolność produkcyjna: 1 225 000 Mg/rok,
d) mobilnych węzłach granulująco-mieszających (omówiono w dalszej części rozdziału).



Rys.2. Schemat - Procesy technologiczne w kierunku uzyskania produktów (Źródło: opracowanie własne)

Mobilne węzły - zarówno kruszącо-sortujące jak i granulująco-mieszające, w ramach pełnienia przez Haldex S.A. roli operatora w zakresie zagospodarowania odpadów wydobywczych Kompanii Węglowej S.A., mogą być rozmieszczane według bieżących potrzeb kopalń węgla kamiennego na ich terenach. Obecnie Haldex S.A. posiada osiem decyzji na prowadzenie odzysku odpadów wydobywczych w węzłach kruszącо-sortujących.

Dla zobrazowania procesów przekształcenia odpadów wydobywczych w możliwe produkty, przedstawiono je w formie schematu na rysunku 2.

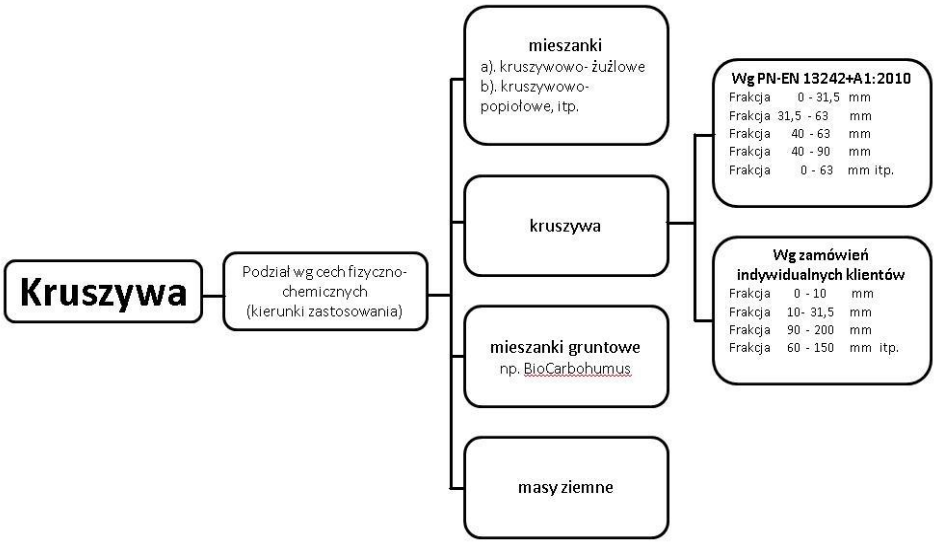
3.1. Charakterystyka odzysku z odpadów o kodach 01 01 02 oraz 01 04 12

W uproszczeniu odpady wydobywcze można podzielić na trzy grupy:

1. odpady o dużej zawartości węgla organicznego,
2. odpady o niskiej zawartości węgla i właściwym składzie petrograficznym z punktu widzenia produkcji kruszyw,
3. odpady o niskiej zawartości węgla i słabym składzie petrograficznym (większy udział mułowców, łupków, syderytów itp.) [4].

Odpady wydobywcze o dużej zawartości węgla organicznego poddawane są procesom odzysku w stacjonarnych lub kontenerowych zakładach przeróbczych. W wyniku tych procesów otrzymujemy kruszywa o różnej granulacji oraz miały. Uzyskane kruszywa podlegają ocenie według parametrów jakościowych (fizykochemicznych) jakie uzyskały. Należy pamiętać, że zmienność odpadów wydobywczych występuje nie tylko pomiędzy kopalniami, ale także w pokładach tej samej kopalni. Na każdym etapie ich produkcji wymagana jest systematyczna kontrola na podstawie badań laboratoryjnych i związane z tym działania.

Rysunek 3 przedstawia schemat wyrobów, jakie mogą być produkowane w oparciu o kruszywa z odpadów wydobywczych.



Rys.3. Klasyfikacja kruszyw według parametrów jakościowych
(Źródło: opracowanie własne)

Następnie w zależności od przeznaczenia – zastosowania, produkty podlegają dalszym procesom technologicznym. Jako przykład można podać parametry: granulacja 0-31,5 mm oraz brak mrozoodporności. Drugi parametr ogranicza zastosowanie produktu tylko do rekultywacji technicznej. Jeżeli natomiast produkt ten zostanie poddany dalszym procesom technologicznym np. poprzez dodanie odpowiednio skomponowanego spoiwa można uzyskać „mieszankę kruszyw" z zastosowaniem do podbudowy.

Innym przykładem wykorzystania kruszywa z odpadów wydobywczych ze spoiwami jest produkt pod nazwą handlową BioCarbohumus, który docelowo przeznaczony jest do rekultywacji biologicznej gruntów. Produkt ten powinien znaleźć zastosowanie, biorąc pod uwagę niedobór humusu. Według GUS w 2010 r. na terenie województwa śląskiego 4372 ha to grunty wymagające rekultywacji (w tym zdewastowane oraz zdegradowane). W ciągu roku zrekultywowano 89 ha oraz zagospodarowano 39 ha [1]. Obecnie dobiegają końca badania nad jego przydatnością oraz możliwymi efektami ekologicznymi. Jego właściwości pozwalają nie tylko na rekultywację zdegradowanych terenów, lecz na uprawę roślin na skalę przemysłową.

W tabeli 4 przedstawiono zróżnicowanie parametrów kruszyw ze względu na miejsce pochodzenia odpadów wydobywczych do ich produkcji.

Kruszywa oraz mieszanki kruszyw stosuje się w wielu branżach do: robót inżynieryjnych, w drogownictwie, budownictwie kubaturowym, hydrotechnicznym, w przemyśle cementowym, w przemyśle wydobywczym oraz do rekultywacji technicznej i biologicznej gruntów.

3.2. Charakterystyka odzysku z odpadów o kodzie 01 01 81

Ich powstawanie związane jest nieodzownie z procesami wzbogacania węgla. Źródłem jest każda kopalnia, gdzie odbywa się przeróbka – jako odpad stanowią zagrożenie dla środowiska naturalnego – przede wszystkim istnieje ryzyko zanieczyszczenia wód gruntowych. Biorąc pod uwagę odpowiednią kaloryczność materiału, do wykorzystania jako produkt energetyczny, należy opracować odpowiednią technologię osuszania (wysoka wilgotność utrudnia zastosowanie).

W ten sposób opracowano granulowanie mułów węglowych, które przy zastosowaniu ekologicznych urządzeń nie stanowią obciążenia dla otaczającego środowiska. Istotne jest dla działań ekologicznych, że wymienione odpady mogą być i są granulowane w miejscu ich składowania dzięki mobilności tych urządzeń. Uzyskany produkt posiada niską wilgotność, obniżoną zawartość siarki, jest jednorodny oraz może być bez trudu transportowany.

Haldex S.A. jest jedynym posiadaczem licencji na korzystanie z technologii wytwarzania granulatu na bazie mułów węglowych opartej na patencie nr 207431 z dnia 01.06.2004 r.

Pierwsza instalacja tego rodzaju została uruchomiona w 2003 r. w ramach zakładu „Haldex – Makoszowy" w Zabrzu. Zdolność produkcyjna zakładu wynosi 210 000 Mg/rok. Kolejne granulatory uruchomiono:

- w Zakładzie Górniczym „Piekary" – zdolność produkcyjna: 210 000 Mg/rok,
- na terenie KWK „Brzeszcze-Silesia" – zdolność produkcyjna: 130 000 Mg/rok,
- na terenie KWK „Knurów - Szczygłowice" – zdolność produkcyjna: 210 000 Mg/rok,
- oraz w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, działanie 4.6 na terenie zakładu „Haldex –Panewniki" – zdolność produkcyjna: 130 000 Mg/rok.

4. Podsumowanie

Produkcja wyrobów na bazie procesów odzysku prowadzonych na odpadach wydobywczych stanowi racjonalne wykorzystanie dostępnych, lokalnych kopalin. Działania takie wpisują się w program zrównoważonego rozwoju, gdzie z jednej strony przyczyniają się do zmniejszenia ilości wytwarzanych i składowanych odpadów, z drugiej strony prowadzą do oszczędności nieodnawialnych naturalnych zasobów surowców. Niewątpliwie wpływają na poprawę i kształtowanie środowiska przyrodniczego. Wstępna segregacja odpadów wydobywczych już u źródła powstania może znacząco wpłynąć na poprawę jakości surowca oraz uzyskiwanych z niego produktów. Połączenie działań sfery naukowej z prowadzoną działalnością gospodarczą Haldex S.A., ukierunkowaną na odzysk w instalacjach, zaowocuje w niedalekiej przyszłości kolejnymi nowymi oraz innowacyjnymi technologiami i produktami, które pojawią się na rynku.

Literatura

1. Główny Urząd Statystyczny w Katowicach. Statystyka krajowa. Tematy. Środowisko. Energia. http://www.stat.gov.pl/gus/srodowisko_energia_PLK_HTML.htm/
2. Kabziński A.: Prognoza potrzeb i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012 – 2020 (+2). http://wwww.kruszpol.pl/
3. Kłopotek B.: Uwarunkowania prawne w gospodarce odpadami wydobywczymi. Praca zbiorowa pod redakcją St. Góralczyka: Gospodarka surowcami odpadowymi z węgla kamiennego. Warszawa 2011, s. 39.

4. Lech B., Koperski T.: Produkcja kruszyw z odpadów powęglowych. Materiały VII Konferencji „Kruszywa mineralne. Surowce-rynek-technologie-jakość", Szklarska Poręba, 18-20.04.2007. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2007. nr 119, s. 115-122.
5. Strzyszcz Z., Harabin Z.: Rekultywacja i biologiczne zagospodarowanie odpadów górnictwa węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem centralnych zwałowisk. Prace i Studia nr 61. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk. Zabrze 2004.
6. Tumidajski T., Gawenda T., Niedoba T., Saramak D.: Kierunki zmian technologii przeróbki węgla kamiennego w Polsce. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Tom 24. Zeszyt 1/2. Kraków 2008.
7. Ustawa z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz. U. Nr 138, poz. 865)
8. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach. Raport o stanie środowiska w 2010 roku. Gospodarka odpadami. Rozdział IV. http://www.katowice.pios.gov.pl/

Parametry kruszyw z odpadów wydobywczych według normy PN-EN 13 242+A1:2010 „Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym"

Tabela 4

			„Haldex-Michał" Frakcja 31,5-63 mm		**„Haldex-Rydułtowy" Frakcja 31,5-63 mm**		**„Haldex-Panewniki" Frakcja 31,5-90 mm**	
Lp	**Badana cecha**	**Numer normy**	**Wynik**	**Kategoria wg PN-EN**	**Wynik**	**Kategoria wg PN-EN**	**Wynik**	**Kategoria wg PN-EN**
1.	Wymiar kruszywa d/D	PN-EN 933-1:2000+A1:2006	31,5/63	Gc 80 – 20	31,5/63	Gc 80 – 20	31,5/90	Gc 80 – 20
2.	Uziarnienie	PN-EN 933-1:2000+A1:2006		-		-		-
3.	Zawartość pyłów, %	PN-EN 933-1:2000+A1:2006	0,0	f_2	0,0	f_2	1,3	f_2
4.	Zawartość ziaren o pow. przekruszonej i łamanej,%	PN-EN 933-5:2000+A1:2005	100	$C_{90/3}$	100	$C_{90/3}$	100	$C_{90/3}$
5.	Wskaźnik płaskości, %	PN-EN 933-3:1999+A1:2004	24,9	Fl_{35}	32	Fl_{35}	5	Fl_{20}
6.	Wskaźnik kształtu, %	PN-EN 933-4:2008	48	Sl_{40}	38	Sl_{40}	nie dotyczy	-
7.	Nasiąkliwość, %	PN-EN 1097-6:2002+A1:2006	5,0	-	2,3	-	1,3	-
8.	Gęstość ziaren, Mg/m^3	PN-EN 1097-6:2002+A1:2006	2,52	-	2,60	-	2,45	-
9.	Zawartość siarki całkowitej, %	PN-EN 1744-1:2010	0,5	S_1	0,10	S_1	0,09	S_1
10.	Siarczany rozpuszczalne w kwasie, %	PN-EN 1744-1:2010	0,3	$AS_{0,8}$	<0,05	$AS_{0,2}$	<0,05	$AS_{0,2}$
11.	Mrozoodporność, %	PN-EN 1367-1:2007	47,4	$F_{Deklarowana}$	17	$F_{Deklarowana}$	2,1	F_4

Źródło: Opracowanie własne na podstawie analiz laboratoryjnych wykonanych przez Laboratorium Inżynierii Lądowej „Labotest" Sp. z o.o. w Katowicach na zlecenie „Haldex" S.A.

Określanie ilości metali ciężkich wymywanych z odpadów górnictwa węgla kamiennego w warunkach obiektu drogowego przy zastosowaniu modelowania hydrochemicznego

Bożena Rakwic - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Parametry geotechniczne oraz blisko 50-letnie doświadczenia z zastosowań odpadów górnictwa węgla kamiennego w budownictwie inżynieryjnym, hydrotechnicznym i drogowym, potwierdzają możliwość wykorzystania dużych ilości tych odpadów w materiałochłonnych robotach ziemnych [4, 6, 17, 21]. Zarazem ustawa o odpadach, będąca w ostatniej fazie procesu legislacyjnego, przewiduje radykalną zmianę statusu tego rodzaju odpadów, kwalifikując je jako kopalinę towarzyszącą przy wydobywaniu węgla kamiennego [12].

Ograniczenie dla rozwoju tego kierunku wykorzystania odpadów górnictwa węgla kamiennego, stanowi brak odpowiednich wytycznych, pozwalających na przeprowadzenie oceny ich przydatności z uwzględnieniem specyficznych właściwości odpadów i ich zmian, w powiązaniu z warunkami geotechnicznymi, budowlanymi, eksploatacyjnymi i środowiskowymi obiektu.

Ocena właściwości chemicznych odpadów z górnictwa węgla kamiennego, w tym wymywalności metali ciężkich, określanej za pomocą testów wymywania przez wodę destylowaną, przeprowadzona w świetle obowiązujących kryteriów dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach czy warunków odprowadzania ścieków do wód lub ziemi, nie wskazuje zagrożeń środowiska gruntowo-wodnego [5, 8]. Natomiast prezentowane w literaturze wyniki badań wpływu obiektów budowlanych wykonanych z odpadów górnictwa węgla kamiennego na wody podziemne i powierzchniowe wykazują negatywne oddziaływanie na środowisko wodne, ze względu na infiltrację siarczanów i chlorków oraz żelaza i manganu do wód podziemnych [19]. Stężenia tych zanieczyszczeń oraz przewodność elektrolityczna właściwa wód podziemnych poniżej obwałowań osiągają wartości odpowiadające wodom złej jakości (V klasa czystości). Odnotowano również przekroczenia wartości dopuszczalnej dla wody do picia przez ilość niklu (Ni) wymywanego z redeponowanych odpadów, pochodzących ze składowiska KWK „Anna” w Bukownie [20].

Ponadnormatywna wymywalność wyżej wymienionych substancji może być spowodowana przez zachodzące, w obiekcie wykorzystania odpadów, procesy wietrzenia prowadzące do wyługowania do środowiska gruntowo-wodnego zanieczyszczeń zawartych w odpadach górniczych, przez infiltrujące wody, o obniżonym odczynie [22].

Stąd istnieje potrzeba stworzenia narzędzia do oceny zagrożeń związanych z migracją metali ciężkich z odpadów górniczych, łączącego laboratoryjne testy wymywania i modelowanie hydrochemiczne, pozwalającego na symulację przebiegu procesu wymywania w warunkach obiektu wykorzystania odpadów.

Możliwość wykorzystania modelowania hydrochemicznego jako narzędzia do oceny oddziaływania odpadów górniczych na środowisko gruntowo-wodne w długim okresie czasu, uzupełniającego laboratoryjne testy wymywania, potwierdzają wyniki badań prowadzonych w jednostkach naukowych [18], w tym w Instytucie KOMAG [3, 14, 15, 16].

W prezentowanym rozdziale przedstawiono wyniki badań modelowych, przeprowadzonych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG, gdzie przy użyciu programu PHREEQC, podjęto próbę wyznaczenia ilości metali ciężkich wymywanych z odpadów górniczych, wchodzących w skład mieszanek odpadowo-gruntowych, przy uwzględnieniu wybranych reakcji i zjawisk zachodzących w obiekcie wykorzystania odpadów.

2. Metodyka badań

Badania modelowe miały na celu określenie ilości wymywanych metali ciężkich z odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego, stosowanych w budownictwie drogowym, na przykładzie niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn).

Badania przeprowadzono dla odpadów pochodzących z procesu przeróbki i wzbogacania węgla w jednej z kopalń węgla kamiennego oraz odprowadzanych do rekultywacji zwałowiska.

Wybrane parametry fizykochemiczne wód opadowych w rejonie zwałowiska [23]

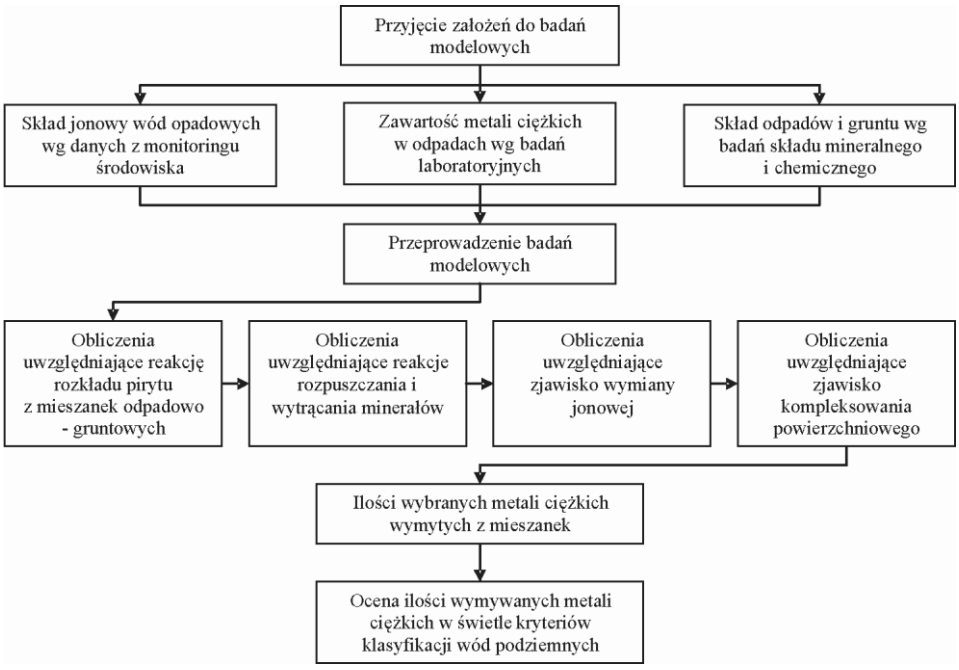
Tabela 1

Parametr	Jednostka	Zakres wartości min - max
chlorki	mg Cl^{-}/dm^3	0,59-4,00
siarczany	mg SO_4^{-2}/dm^3	2,50-4,40
azotyny + azotany	mg N/dm^3	0,33-0,94
azot amonowy	mg N/dm^3	0,35-1,40
sód	mg Na/dm^3	0,20-1,70
potas	mg K/dm^3	0,18-1,30
wapń	mg Ca/dm^3	0,72-3,40
magnez	mg Mg/dm^3	0,09-0,33
mangan	mg Mn/dm^3	0,0060-0,0160
fosfor ogólny	mg P/dm^3	0,020-0,060
pH		3,73-7,14 średnia 4,81
temperatura powietrza	°C	9,7

Jako ciecz wymywającą w badaniach przyjęto wody opadowe o składzie przedstawionym w tabeli 1, a ustalonym na podstawie danych z monitoringu środowiska w rejonie zwałowiska, z którego pobrano odpady [23].

Analizując dane zestawione w tabeli 1 stwierdzono, że pH wód opadowych w rejonie zwałowiska wynosiło średnio 4,81, tj. mniej o 0,79 pH od naturalnego stopnia zakwaszenia. Odnotowana obniżona wartość pH wód opadowych jest spowodowana zawartością mocnych kwasów nieorganicznych, powstałych w wyniku rozpuszczania kwasotwórczych tlenków siarki (IV) i (VI) oraz azotu (III) i (V) występujących w powietrzu atmosferycznym.

Badania modelowe przeprowadzono przy użyciu programu PHREEQC v.2.17 [13], przeznaczonego do symulacji reakcji chemicznych i procesu transportu zanieczyszczeń w wodzie zanieczyszczonej. Zastosowany program oparty jest na modelu asocjacji jonowej w roztworach wodnych i wykorzystuje reguły termodynamiki chemicznej i kinetyki reakcji chemicznych do symulacji zachodzących w układzie skała – woda – gazy reakcji mieszania wód, rozpuszczania i wytrącania, wymiany jonowej, kompleksowania powierzchniowego oraz utleniania i redukcji. Wymienione reakcje mogą być symulowane z osiągnięciem równowagi lub z uwzględnieniem kinetyki ich przebiegu, jak również w ramach modelowania wprost i modelowania odwrotnego.



Rys.1. Algorytm metody badawczej

Dane termodynamiczne opisujące przebieg reakcji zaczerpnięto z baz danych „minteqv4.dat" dostarczanej wraz z programem PHREEQC [13]. Oblicze-

nia modelowe oparto na prawie działania mas (prawie równowagi chemicznej Guldberga i Waagego) i równaniu siły jonowej wg prawa Debye-Huckle'a.

Zakres badań modelowych obejmował wyznaczenie ilości wymywanych niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) z mieszanek odpadowo-gruntowych, przy uwzględnieniu zachodzących w obiekcie wykorzystania odpadów reakcji rozpuszczania i wytrącania oraz zjawisk wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego.

Algorytm metody badań przedstawiono na rysunku 1.

3. Przebieg badań

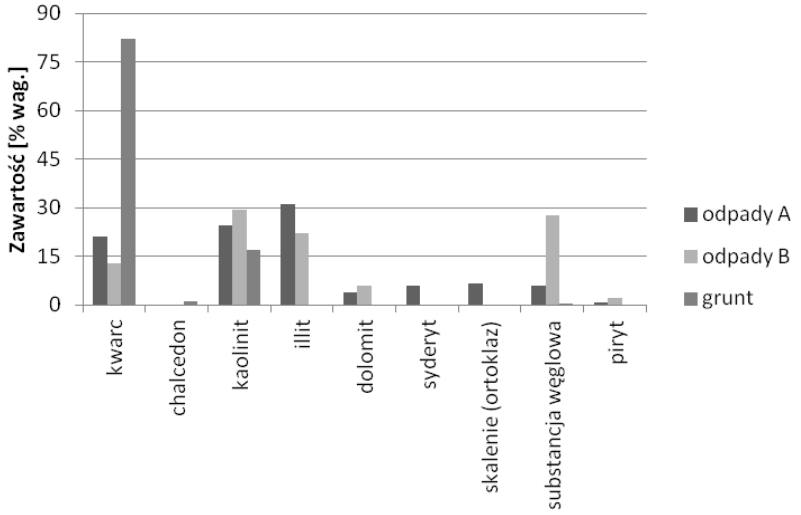
3.1. Charakterystyka obiektu badań

Obiekt badań stanowiły dwie mieszanki odpadowo-gruntowe (A i B) składające się w 40% wagowych z odpadów z górnictwa węgla kamiennego i w pozostałej części z niesortowanej pospółki piaskowo-żwirowej, stosowanej w budownictwie drogowym. W skład mieszanki A wchodziły odpady A, pochodzące z procesu przeróbki i wzbogacania węgla, a mieszanki B – odpady B, odprowadzane do rekultywacji zwałowiska. Wytypowana pospółka piaskowo-żwirowa stanowiła stały składnik gruntowy obydwu mieszanek odpadowo-gruntowych.

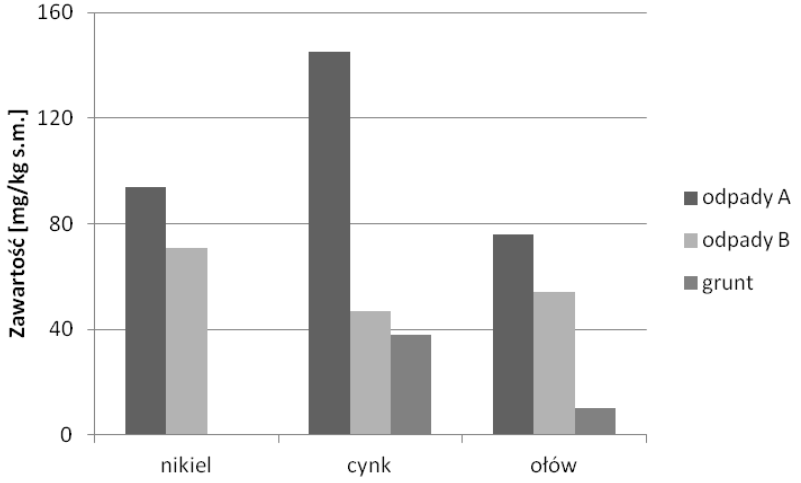
Zawartość minerałów i metali ciężkich w składnikach mieszanek określono na podstawie wyników badań składu mineralnego i chemicznego [1]. W próbce gruntu stwierdzono dominujący udział kwarcu (ponad 80% wag.) i minerałów ilastych (około 16% wag.) oraz niewielki udział chalcedonu (poniżej 1% wag.) i substancji węglowej (poniżej 0,2% wag.). Skład mineralny próbek odpadów górniczych był bardziej urozmaicony. Stwierdzono występowanie tu kwarcu, kaolinitu, illitu, dolomitu, pirytu i węgla w obydwu próbkach odpadów oraz dodatkowo skaleni i syderytu w próbce odpadów A.

W próbce gruntu nie stwierdzono występowania niklu. Stwierdzono występowanie niewielkiej zawartości innych metali ciężkich, jak ołów i cynk. Zawartość wymienionych metali ciężkich w próbkach badanych odpadów wykazywała podobieństwo do danych literaturowych dla odpadów pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego [17]. Dla celów obliczeń założono, że analizowane metale ciężkie występują w odpadach A i B w formie słabo rozpuszczalnych w wodzie wodorotlenków.

Wyniki badania składu mineralnego odpadów górniczych i gruntu przedstawiono na rysunku 2, a oznaczenia zawartości wybranych metali ciężkich na rysunku 3.



Rys.2. Skład mineralny odpadów górniczych i gruntu [1]



Rys.3. Zawartość wybranych metali ciężkich w odpadach górniczych i gruncie [1]

Dla próbek odpadów A i B oraz gruntu przeprowadzono badania następujących wybranych parametrów fizykochemicznych [16]:

- gęstość właściwą oznaczono jako gęstość właściwą szkieletu gruntowego ρ_s według normy PN-B-04481:1988,
- suchą masę *DR* i wilgotność *MC* oznaczono metodą wagową według normy PN-ISO 11465:1999,
- pojemność sorpcyjną *MBC* i całkowitą powierzchnię właściwą oznaczono metodą według normy PN-B-04481:1988 z użyciem błękitu metylenowego.

Wyniki badań parametrów fizykochemicznych podano w tabeli 2.

Wybrane parametry fizykochemiczne odpadów A i B oraz gruntu [16]

Tabela 2

Rodzaj próbki	Gęstość właściwa ρ_s [g/cm^3]	Sucha masa *DR* [% wag.]	Wilgotność *MC* [% wag.]	Pojemność sorpcyjna *MBC* [g/100 g]	Całkowita powierzchnia właściwa [m^2/g]
odpady A	2,28	98,7	1,32	2,69	56
odpady B	1,91	96,5	3,62	4,11	86
grunt	2,43	97,1	3,00	0,82	17

Analizując dane przedstawione w tabeli 2 stwierdzono:

- najwyższą wartość gęstości właściwej dla gruntu, a najniższą wartość dla odpadów B pochodzących ze zwałowiska,
- najwyższą wartość suchej masy *DR* dla odpadów A pochodzących z procesu przeróbki i wzbogacania węgla, a najniższą wartość dla odpadów B – ze zwałowiska,
- najwyższą wartość wilgotności *MC* dla odpadów B pochodzących ze zwałowiska, a najniższą wartość dla odpadów A – z procesu przeróbki i wzbogacania węgla,
- najwyższe wartości pojemności sorpcyjnej *MBC* i całkowitej powierzchni właściwej dla odpadów B pochodzących ze zwałowiska, a najniższe wartości dla gruntu.

Całkowita powierzchnia właściwa badanych odpadów, wynosi od 56 m^2/g do 86 m^2/g i odpowiada zakresowi wartości charakterystycznych dla minerałów ilastych, wchodzących w ich skład.

3.2. Przebieg badań modelowych

W ramach badań modelowych wyznaczono pH oraz zawartości: niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) w odciekach uzyskanych z wymywania mieszanek odpadowo-gruntowych.

Obliczenia obejmowały symulacje:

- reakcji rozkładu pirytu z mieszanek A i B pod wpływem wód opadowych, znajdujących się w stanie równowagowym z tlenem O_2 i dwutlenkiem węgla CO_2 występującymi w powietrzu, z uwzględnieniem kinetyki jej przebiegu przez 50 lat,
- reakcji rozpuszczania i wytrącania minerałów pod wpływem działania odcieku z procesu rozkładu pirytu na mieszanki A i B,
- zjawisk wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego dla odcieków uzyskanych z ww. procesu rozpuszczania i wytrącania minerałów oraz jednowymiarowego, dyspersyjnego transportu w warstwie obiektu drogowego wykonanej z mieszanek A i B.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia [10, 13]:

- ilość dwutlenku węgla CO_2 rozpuszczonego w wodach opadowych wynoszącą 0,67 mg/dm^3, w temperaturze 9,7 °C, tj. odpowiadająca ilości będącej w równowadze z dwutlenkiem węgla CO_2, występującym w powietrzu atmosferycznym,
- ilość tlenu O_2 rozpuszczonego w wodach opadowych wynoszącą 11,3 mg/dm^3, w temperaturze 9,7 °C, tj. odpowiadającą 100% nasyceniu wody tlenem pod ciśnieniem 1013 hPa,
- początkową ilość pirytu wynoszącą 2,00E-04 mol/dm^3,
- parametry kompleksu sorpcyjnego wyznaczone na podstawie danych z tabeli 2 oraz literaturowych [11]: liczba moli wynosząca: 0,0014 dla mieszanki A i 0,0013 dla mieszanki B, powierzchnia właściwa wynosząca: 33 m^2/g dla mieszanki A oraz 44 m^2/g dla mieszanki B oraz masa wynosząca: 2500 g dla mieszanki A i 2350 g dla mieszanki B, stężenie wynoszące 0,23 mol/dm^3 dla mieszanki A i 0,30 mol/dm^3 dla mieszanki B,
- krotność wymiany cieczy w przestrzeni porowej wynoszącą 2,5,
- stała dyspersji wynoszącą 0,006 m dla mieszanki A i 0,004 m dla mieszanki B.

Obliczenia transportu przeprowadzono dla warstwy obiektu drogowego o miąższości 2 m odwzorowanej za pomocą jednowymiarowej przestrzeni dyskretnej, podzielonej na dziesięć bloków obliczeniowych. Do obliczeń przyjęto, że:

- roztwór wejściowy stanowią wody opadowe,
- w chwili początkowej kompleks sorpcyjny mieszanki znajduje się w stanie równowagi z odciekiem z reakcji rozkładu pirytu oraz rozpuszczania i wytrącania minerałów,
- zmiana składu chemicznego roztworu w przestrzeni porowej mieszanki prowadzi do przekształcenia składu kompleksu sorpcyjnego,

Reakcję rozkładu pirytu opisano w badaniach zależnością uwzględniającą stałą szybkości reakcji *k* przyjętą, zgodnie z zaleceniami programu PHREEQC [13].

W obliczeniach uwzględniono występowanie zjawiska ewapotranspiracji wód opadowych, polegającego na odparowaniu 30% ich objętości [7].

Wyznaczono stosunek cieczy do fazy stałej L/S, wynoszący 0,13 dm^3/kg, na podstawie założenia, że porowatość odpadów z górnictwa węgla kamiennego może sięgać do 30%, a roztwór porowy może zajmować do 30% objętości bryły obiektu drogowego, podobnie jak w zwałowisku odpadów [9, 17].

Stężenie kompleksu jonowymiennego X^- wyznaczono na podstawie danych z tabeli 2 oraz porowatości n wynoszącej 0,3 z zależności według Małeckiego i Gawriuczenkowa [2, 10]:

$$X^- = \frac{MBC * 2{,}676}{\left(\frac{100}{\rho_s}\right) * \left(\frac{n}{1-n}\right)} \tag{1}$$

gdzie:

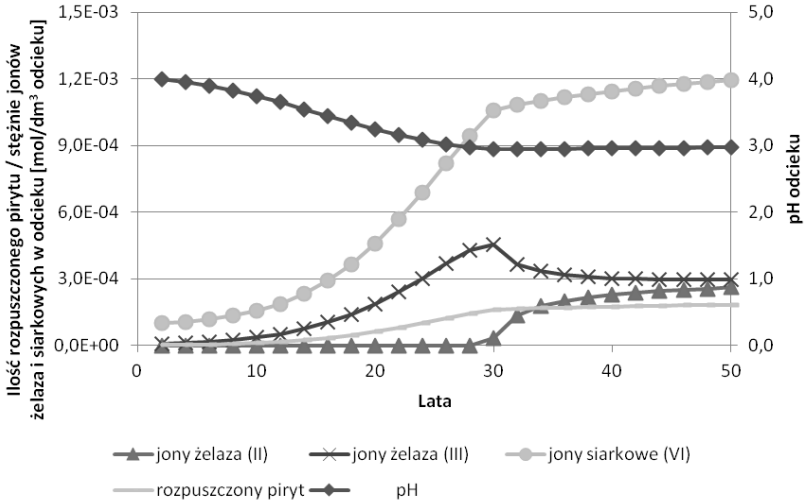
MBC – pojemność sorpcyjna, g/100 g

ρ_s – gęstość właściwa, g/cm^3

n – porowatość

4. Wyniki badań

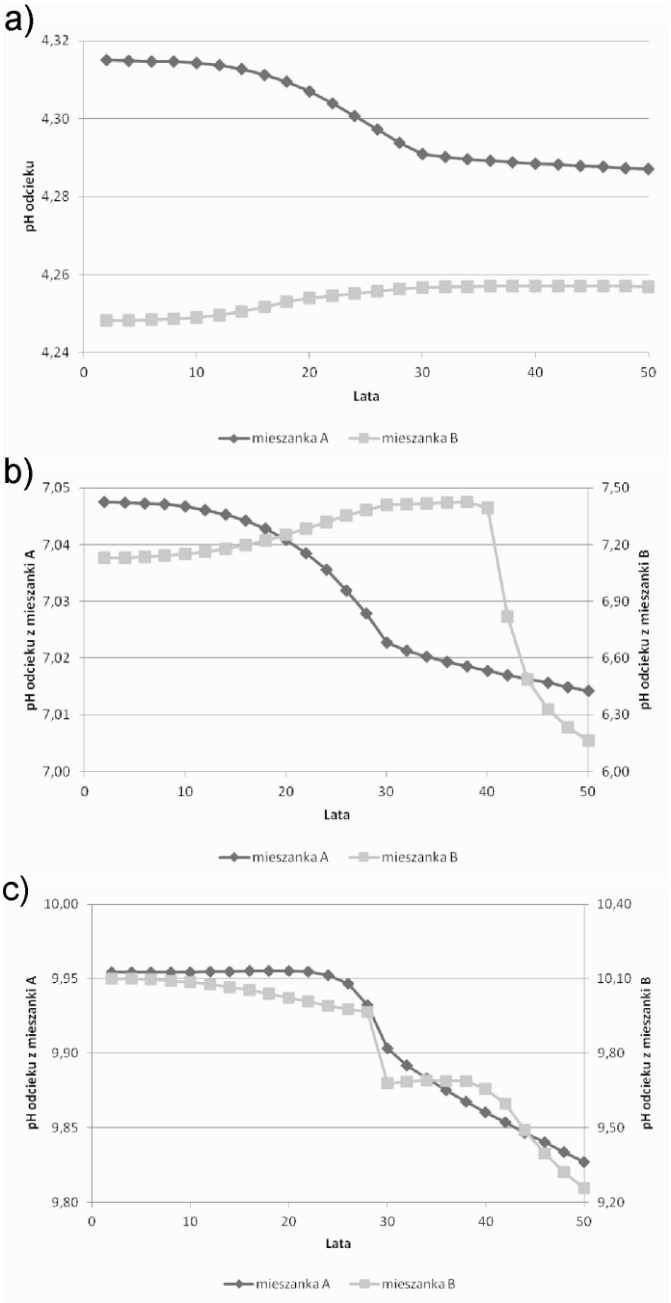
Wyniki obliczeń modelowych, przeprowadzonych z uwzględnieniem reakcji rozkładu pirytu, rozpuszczania i wytrącania minerałów oraz zjawisk wymiany jonowej, kompleksowania powierzchniowego i transportu, zaprezentowano na rysunkach 4, 5 i 6.



Rys.4. Ilości rozpuszczonego pirytu z mieszanek A i B oraz stężenia jonów żelaza (II) i (III) oraz siarkowych (VI) w odcieku

Analizując wyniki obliczeń przedstawione na rysunku 4 stwierdzono, że:

- pH odcieku maleje do wartości 2,9 którą osiąga po 30 latach rozkładu pirytu, a następnie nieznacznie wzrasta,
- dynamika wzrostu ilości rozpuszczonego pirytu oraz stężenia jonów siarkowych (VI) w odcieku jest większa w przedziale spadku pH odcieku do wartości 2,9 niż w przedziale nieznacznego wzrostu,



Rys.5. Wartość pH odcieków z mieszanek odpadowo-gruntowych w warstwie obiektu drogowego *a) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz transportu, b) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz wymiany jonowej i transportu, c) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz wymiany jonowej, kompleksowania powierzchniowego i transportu*

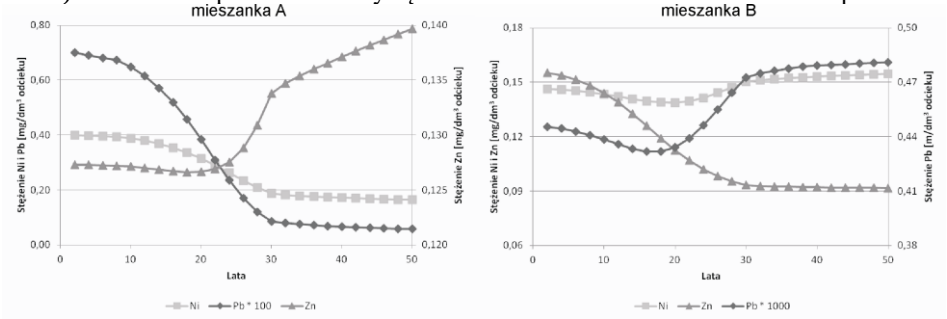
– stężenie jonów żelaza (III) pochodzących z rozkładu pirytu rośnie do wartości 4,55E-04 mol/dm^3, którą osiąga przy pH odcieku wynoszącym 2,9 a następnie maleje do wartości 2,94E-04 mol/dm^3,
– stężenie jonów żelaza (II) pochodzących z rozkładu pirytu utrzymuje się na poziomie poniżej wartości 1E-10 mol/dm^3, którą osiąga przy pH odcieku wynoszącym 2,9, a następnie rośnie do wartości 2,61E-04 mol/dm^3.

Analizując wyniki obliczeń przedstawione na rysunku 5 stwierdzono, że w przyjętym do obliczeń okresie czasu, wynoszącym 50 lat:

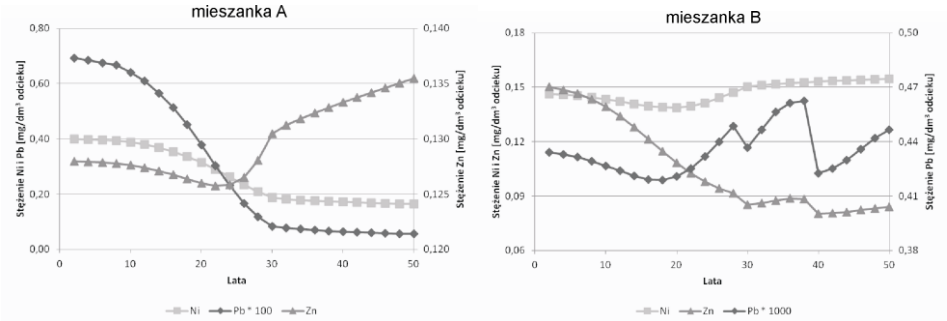
– wartość pH odcieków z rozpuszczania i wytrącania minerałów oraz transportu maleje do wartości 4,29 dla mieszanki A i rośnie do wartości 4,26 dla mieszanki B,
– po uwzględnieniu zjawiska wymiany jonowej pH odcieku z mieszanki A maleje do wartości 7,01, a z mieszanki B rośnie do wartości 7,42 przez 19 kroków obliczeniowych obejmujących 38 lat i następnie maleje do wartości 6,16,
– po uwzględnieniu zjawiska kompleksowania powierzchniowego pH odcieku z mieszanki A maleje do wartości 9,83, a z mieszanki B do wartości 9,26.

Interpretując wyniki obliczeń wartości pH stwierdzono, że uwzględnione zjawiska wymiany jonowej oraz kompleksowania powierzchniowego wpływają na wzrost wartości pH odcieków z mieszanek odpadowo-gruntowych.

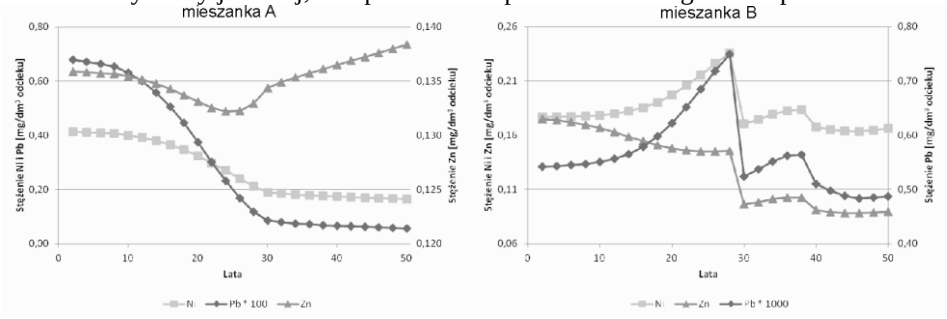
a) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz transportu



b) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz wymiany jonowej i transportu



c) odcieki z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanek oraz wymiany jonowej, kompleksowania powierzchniowego i transportu



Rys.6. Stężenia metali ciężkich w odciekach z mieszanek odpadowo-gruntowych w warstwie obiektu drogowego

Analizując wyniki przedstawione na rysunku 6 można stwierdzić, że w przyjętym do obliczeń okresie czasu wynoszącym 50 lat:

- stężenia niklu (Ni) i ołowiu (Pb) w odcieku z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanki A oraz cynku (Zn) w odcieku z mieszanki B maleją, a dynamika tej zmiany jest większa przez 15 kroków obliczeniowych obejmujących 30 lat niż w pozostałych krokach,
- stężenia cynku (Zn) w odcieku z rozpuszczania i wytrącania minerałów z mieszanki A oraz niklu (Ni) i ołowiu (Pb) w odcieku z mieszanki B nieznacznie maleją i następnie rosną,
- po uwzględnieniu zjawisk wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego zmiany stężeń niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) w odcieku z mieszanki A są identyczne, jak podczas transportu bez wymiany jonowej,
- po uwzględnieniu zjawiska wymiany jonowej stężenie niklu (Ni) w odcieku z mieszanki B nieznacznie maleje i następnie rośnie, stężenie ołowiu (Pb) wykazuje wahania z nieznacznym wzrostem, zaś stężenie cynku (Zn) maleje,
- po uwzględnieniu zjawiska kompleksowania powierzchniowego stężenia niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) w odcieku z mieszanki B wykazują wahania z nieznacznym spadkiem.

Interpretując wyniki obliczeń stężeń metali ciężkich w odciekach z mieszanek odpadowo-gruntowych stwierdzono:

- wzrost stężenia niklu (Ni) w odciekach z mieszanek A i B po reakcji kompleksowania powierzchniowego, brak wpływu reakcji wymiany jonowej na zmianę stężenia tego pierwiastka,
- spadek stężenia ołowiu (Pb) po reakcjach wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego w odcieku z mieszanki A oraz spadek po reakcji wymiany jonowej i wzrost po reakcji kompleksowania powierzchniowego w odcieku z mieszanki B,

– spadek stężenia cynku (Zn) po reakcji wymiany jonowej i wzrost po reakcji kompleksowania powierzchniowego w odciekach z mieszanek A i B.

5. Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań modelowych potwierdziły wpływ reakcji rozpuszczania i wytrącania minerałów oraz zjawisk wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego, zachodzących w obiekcie wykorzystania odpadów górnictwa węgla kamiennego, na ilość wymywanych metali ciężkich.

Wyniki przeprowadzonych symulacji wykazały, że w wyniku rozkładu pirytu zawartego w mieszankach A i B następuje wzrost stężeń jonów siarkowych (VI) oraz żelaza (II) i (III) w odciekach powstających z wymywania.

W wyniku reakcji odcieku z procesu rozkładu pirytu z minerałami z mieszanek A i B następuje rozpuszczanie związków metali. Wraz z upływem czasu proces ten biegnie coraz wolniej prowadząc do spadku stężenia niklu (Ni) i ołowiu (Pb), niewielkiego wzrostu stężenia cynku (Zn) w odcieku z mieszanki A oraz spadku stężenia cynku (Zn) i niewielkich wahań stężeń niklu (Ni) i ołowiu (Pb) w odcieku z mieszanki B. W procesie transportu zanieczyszczeń w warstwie obiektu drogowego odnotowane trendy zmian stężeń nie ulegają zmianie.

Uwzględnienie wymiany jonowej, obok rozkładu pirytu, rozpuszczania i wytrącania minerałów w procesie wymywania mieszanek A i B, spowodowało niewielki spadek stężenia cynku (Zn) i ołowiu (Pb) w odciekach z mieszanek A i B, nie wpłynęło zaś na zmianę stężenia niklu (Ni) w odcieku.

Zjawisko kompleksowania powierzchniowego wpływa na zwiększenie stężenia metali ciężkich w odciekach z wymywania mieszanek A i B.

Stężenia niklu (Ni) i ołowiu (Pb) są wyższe w odcieku z mieszanki A niż z mieszanki B, zaś stężenia cynku (Zn) utrzymuje się na zbliżonym średnim poziomie, lecz wykazuje większe zmiany wraz z upływem czasu w odcieku z mieszanki B niż z mieszanki A.

Oceniając stężenia badanych metali ciężkich w odciekach z wymywania mieszanek A i B w warstwie obiektu drogowego przez wody opadowe w świetle kryteriów klasyfikacji wód podziemnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. stwierdzono, że stężenia metali ciężkich utrzymują się na poziomach odpowiadających następującym klasom jakości wód podziemnych:

– V „wody złej jakości” dla niklu (Ni),
– II „wody dobrej jakości” dla cynku (Zn),

a w przypadku ołowiu (Pb) mieszczą się w granicach tła hydrochemicznego.

6. Stwierdzenia i wnioski

Wyniki obliczeń modelowych przeprowadzonych dla hipotetycznego obiektu drogowego potwierdziły wpływ reakcji rozpuszczania i wytrącania oraz zjawisk wymiany jonowej i kompleksowania powierzchniowego na ilość wymywanych z mieszanek odpadowo-gruntowych metali ciężkich, takich jak cynk (Zn), ołów (Pb) i nikiel (Ni), przez wody opadowe.

Wraz z upływem czasu, szybkość reakcji rozpuszczania i wytrącania minerałów przebiega coraz wolniej, co skutkuje spadkiem stężeń badanych metali ciężkich. Niewielki spadek stężeń cynku (Zn) i ołowiu (Pb) w odciekach odnotowano również po uwzględnieniu zjawiska wymiany jonowej w symulacji procesu wymywania, natomiast wzrost po uwzględnieniu zjawiska kompleksowania powierzchniowego, związanego z obecnością kompleksu sorpcyjnego w mieszankach odpadowo-gruntowych.

Oceniając jakość odcieków z wymywania mieszanek odpadowo-gruntowych w warstwie hipotetycznego obiektu drogowego w świetle kryteriów klasyfikacji wód podziemnych, stwierdzono możliwość wystąpienia zagrożeń związanych z obecnością niklu (Ni) na poziomie odpowiadającym V klasie jakości wód podziemnych.

Przeprowadzone rozważania wykazały przydatność programu komputerowego PHREEQC jako narzędzia do oceny zagrożeń związanych z wymywaniem metali ciężkich z odpadów górniczych.

Literatura

1. Adamczyk Z., Nowak J., Hepa E.: Określenie zawartości substancji nieorganicznej i węgla pierwiastkowego oraz analiza mineralogiczna trzech próbek odpadów przeróbczych z interpretacją wyników badań, Gliwice, 2010.
2. Gawriuczenkow I.: Iły poznańskie jako izolacyjne bariery geologiczne składowisk odpadów komunalnych, Przegląd Geologiczny, vol. 53, nr 8, 2005.
3. Grynkiewicz-Bylina B., Rakwic B.: Wpływ wybranych parametrów środowiskowych na wielkość migracji metali ciężkich z odpadów górniczych. KOMEKO 2008, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbcze surowców mineralnych, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008.
4. Kałużna B.: Zastosowanie odpadów górniczych w budownictwie drogowym, Drogownictwo nr 1/1986, 1986.
5. Koperski T., Lech B.: Produkcja kruszyw z odpadów powęglowych, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje, nr 119, 2007.

6. Kozioł W.: Kruszywa ze zwałowisk odpadów powęglowych kopalń węgla kamiennego, Górnictwo Odkrywkowe XLIII, 6, 2001.
7. Labus K., Skoczyńska S.: Wpływ reaktywnego dolomitu na odczyn wód odciekowych składowiska Smolnica, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 267, 2005.
8. Lech B.: Kruszywa z węgla, Surowce i Maszyny Budowlane nr 3, 2006.
9. Łączny J.M., Iwaszenko S., Słowikowski D., Huzarski M.: Symulacja zjawisk zachodzących w barierach reaktywnych ograniczających wpływ odpadów pogórniczych na środowisko, Górnictwo i Geoinzynieria R.31, z. 3/1, 2007.
10. Małecki J.J., Nawalany M., Witczak S., Gruszczyński T.: Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Poradnik metodyczny, Uniwersytet Warszawski Wydział Geologii, Warszawa 2006.
11. Martinez R.E., Sharma P., Kappler A.: Surface binding site analysis of Ca^{2+} - homoionized clay - humid acid complexes, Journal of Colloid and Interface Science 352, 526-534, 2010.
12. Ministerstwo Środowiska: Projekt ustawy o odpadach z dnia 5.01.2012 r., www.mos.gov.pl
13. Parkhurst D.L., Appelo C.A.J.: User's guide to PHREEQC (version 2) – A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculation, Denver, Colorado 1999.
14. Rakwic B.: Modelowanie hydrochemiczne procesu wymywania metali ciężkich z odpadów górniczych. Materiały Konferencji Naukowo – Technicznej KOMEKO 2011, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – Jakość – Efektywność, Rytro, 2011.
15. Rakwic B.: Określanie ilości wymywanych metali ciężkich z odpadów górniczych za pomocą programu do modelowania hydrochemicznego PHREEQC. KOMEKO 2009, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbcze surowców mineralnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2009.
16. Rakwic B.: Praca przedłożona Radzie Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska dla uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych. Rozprawa doktorska. Modelowanie hydrochemiczne jako element oceny przydatności odpadów z górnictwa podziemnego w budownictwie drogowym, Kraków, 2011 (praca nie publikowana).
17. Skarżyńska K. M. Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Krakowie, 1997.
18. Stefaniak S., Twardowska I.: Geochemically unstable minerals in carboniferous rocks in the light of prognosing the envirmonmental impact of coal

mining wastes, Polskie Towarzystwo Mineralogiczne – Prace Specjalne, Zeszyt 22, 2003.

19. Stefaniak S., Twardowska I.: Zmiany jakości wód podziemnych i powierzchniowych w wyniku kontaktu wód infiltracyjnych i zlewowych z obwałowaniem nasypu hydrotechnicznego wykonanego z odpadów górnictwa węglowego, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 436/2 483-488, 2009.
20. Stefaniak S., Twardowska I: Zmiany w profilu pionowym antropogenicznej strefy aeracji w wyniku reeksloatacji i redeponowania odpadów górnictwa węglowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo z. 267, 2005.
21. Sybilski D., Kraszewski D., Duszyński A., Wileński P., Pachowski J., Mirski K.: Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych, Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, Warszawa, 2004.
22. Twardowska I., Szczepańska J., Witczak S.: Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, 1988.
23. Wojewoda Śląski, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach: Stan środowiska w województwie śląskim w 2008 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice, 2009.

Koncepcja budowy w Polsce centralnego składowiska odpadów niebezpiecznych, w tym odpadów promieniotwórczych

Dagmara Zeljaś – OBR GS CHEM CHEMKOP Sp. z o.o.

1. Wstęp

Po wielu latach eksploatacji powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych w Różanie zachodzi sytuacja, w której wolna przestrzeń składowiska będzie bliska wypełnienia. W ponad 50 letniej eksploatacji składowiska zdeponowano w nim ok. 3300 m^3 odpadów promieniotwórczych. Zakłada się, że w 2020 roku nastąpi ostateczne zaniechanie dalszego przyjmowania odpadów do składowiska i zostaną podjęte kroki w celu jego ostatecznej likwidacji. W wypowiedzi dla portalu internetowego www.wnp.pl z dnia 30. 01. 2012 r. pełnomocnik Rządu do Spraw Polskiej Energetyki Jądrowej, podsekretarz stanu w Ministerstwie Gospodarki Hanna Trojanowska stwierdza, że: *„…znalezienie nowej lokalizacji dla składowiska odpadów promieniotwórczych nisko i średnio aktywnych jest jednym z najpilniejszych i zarazem najtrudniejszych zadań związanych z wdrożeniem Programu polskiej energetyki jądrowej."*

W myśl zaleceń i dyrektyw UE, jedynym bezpiecznym i prawnie dopuszczonym sposobem postępowania z odpadami niebezpiecznymi, w tym z odpadami promieniotwórczymi, jest ich unieszkodliwianie poprzez podziemne składowanie w głębokich strukturach geologicznych. Podziemne składowanie odpadów promieniotwórczych gwarantuje długotrwałą izolację tych odpadów od biosfery. Odpady odpowiednio opakowane mogą przebywać w warunkach struktury podziemnego składowiska przez setki lat nienaruszone. Deponując odpady pod powierzchnią ziemi, tereny powierzchniowe nie tracą swoich walorów. Ponadto istotnie zmniejsza się ryzyko zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego i wód powierzchniowych. Odpady niebezpieczne znajdujące się podziemnym składowisku mogą przebywać tam do czasu, aż nauka i technika znajdzie w przyszłości ich zastosowanie, lub pozostaną w składowisku na zawsze.

2. Przydatność struktur skalnych dla lokalizowania w nich podziemnego składowiska odpadów

Światowe trendy w budowie głębokich składowisk w strukturach skalnych wskazują na lokowanie odpadów promieniotwórczych w obrębie złóż soli, w skałach ilastych lub też w skałach krystalicznych. Wskazanie na ten rodzaj skał podyktowany jest tworzeniem przez nie naturalnych barier dla odpadów. Na temat własności wymienionych skał istnieje rozległa wiedza. Znajomość własności „materiału konstrukcyjnego" przyszłego składowiska buduje się

w oparciu o wyniki doświadczalnych prac laboratoryjnych oraz „in situ", a także poprzez doświadczenia z wieloletniej eksploatacji tych złóż.

Na podstawie analiz trzech rodzajów złóż w tabeli 1 dokonano porównania ich właściwości istotnych dla funkcjonowania w tych formacjach geologicznych składowiska odpadów promieniotwórczych [1].

Na podstawie zaprezentowanych danych w tabeli 1 można zauważyć, że najwięcej sprzyjających własności niezbędnych dla budowy głębokiego składowiska odpadów niebezpiecznych posiadają utwory solne, które w warunkach naturalnych są praktycznie nieprzepuszczalne, charakteryzują się wysoką przewodnością cieplną i zdolnością do odkształceń lepkoplasytycznych. Wszystkie wymienione cechy sprzyjają zaciskaniu wyrobisk w długim horyzoncie czasowym. Zjawisko ciągłego płynięcia skały solnej jest spotęgowane wpływem podwyższonej temperatury na skutek generowanego ciepła z pojemników zawierających odpady wysokoaktywne. Dzięki reologicznemu zachowaniu górotworu solnego następuje całkowita izolacja odpadów od biosfery.

Własności skał jako potencjalnego materiału konstrukcyjnego, dla budowy podziemnego składowiska odpadów [1]

Tabela 1

Własność	Utwory solne	Utwory ilaste	Utwory krystaliczne
przewodność cieplna	wysoka (s)	niska (n)	średnia (p)
przepuszczalność	właściwie nieprzepuszczalne (s)	bardzo niska i niska (s)	bardzo niska (p)
wytrzymałość	średnia (p)	niska i średnia (p)	wysoka (s)
odkształcenia	lepkoplastyczne (s)	plastyczno kruche (n)	kruche (n)
stateczność obiektów	nie wymaga dodatkowych wzmocnień (s)	wymaga sztucznego wzmocnienia (n)	duża zmienność, w spękanym górotworze wymagane wzmocnienia (p)
stan naprężenia w warunkach in situ	izotropowy (litostatyczny) (s)	anizotropowy (n)	anizotropowy (n)
rozpuszczalność	wysoka (n)	bardzo niska (s)	bardzo niska (s)
własności sorpcyjne	bardzo niskie (n)	bardzo wysokie (s)	od średniej do wysokiej (p)
odporność na wysokie temperatury	duża (s)	słaba (n)	duża (s)

** (s) - własności sprzyjające, (n)- własności niesprzyjające, (p)- własności przeciętne*

Utwory ilaste w naturze są bardzo zróżnicowane, a ich własności odkształceniowe może cechować zarówno plastyczność, kruchość, bądź sprężysto-plastyczność. Utwory te są słabo odporne na wysoką temperaturę. Pozytywnymi natomiast właściwościami jest ich słaba rozpuszczalność i bardzo dobre własności sorpcyjne. Hipotetycznie skały ilaste mogłyby być miejscem lokalizacji składowiska, jednak bezpieczeństwo składowanych odpadów wymagałaby zastosowania dodatkowych wzmocnień komór składowiskowych dla zagwarantowania stateczności konstrukcji. Wybór formacji ilastych na miejsce lokalizacji składowiska nie posiada uzasadnienia ekonomicznego, a budowa składowiska w górotworze ilastym byłaby niezwykle kosztowna, zaś procesy geochemiczne i geotechniczne, zachodzące w obrębie samego złoża pod wpływem zmiany warunków naturalnych nie są jeszcze wystarczająco rozpoznane.

Skały krystaliczne (granit i skały metamorficzne) wyróżniają się wysoką wytrzymałością, która pozytywnie wpływa na stateczność podziemnych elementów składowiska. Charakteryzuje się ponadto niską wrażliwością na ciepło pochodzące z otoczenia. Przepuszczalność tych utworów zależy głównie od spękania masywu i może być miejscami znaczna. Trudno wtedy jest zagwarantować właściwą izolację odpadów od biosfery.

3. Badania własności soli pod kątem podziemnego deponowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych

Przyjmując jako kryterium, wariant podziemnego składowania odpadów promieniotwórczych można zaprojektować składowisko, które spełni wszystkie warunki bezpiecznego i statecznego składowiska, które stanie się depozytem z wydzielonymi odrębnymi polami składowania dla różnych grup odpadów, również tych o najwyższej toksyczności.

Przy składowaniu odpadów generujących energię cieplną geomechanika zmaga się ze zjawiskiem zintensyfikowanych procesów reologicznych w górotworze i zmianami stanu naprężenia górotworu w obrębie wyrobisk z odpadami.

Dla lepszego rozpoznania procesów zachodzących w górotworze wykonuje się prace badawcze w laboratoriach, a próby laboratoryjne uwzględniają podwyższone temperatury dla określenia zmienności własności deformacyjno–naprężeniowych skał w funkcji temperatury.

Zmiany fizyczne własności minerałów zachodzą dla różnych skał przy różnym progu temperaturowym. Własności skał ilastych ulegają zmianie już w temperaturze ~+100°C, gdy w skale solnej różnic w budowie krystalograficznej można dopatrzyć się dopiero po przekroczeniu progu +200°C.

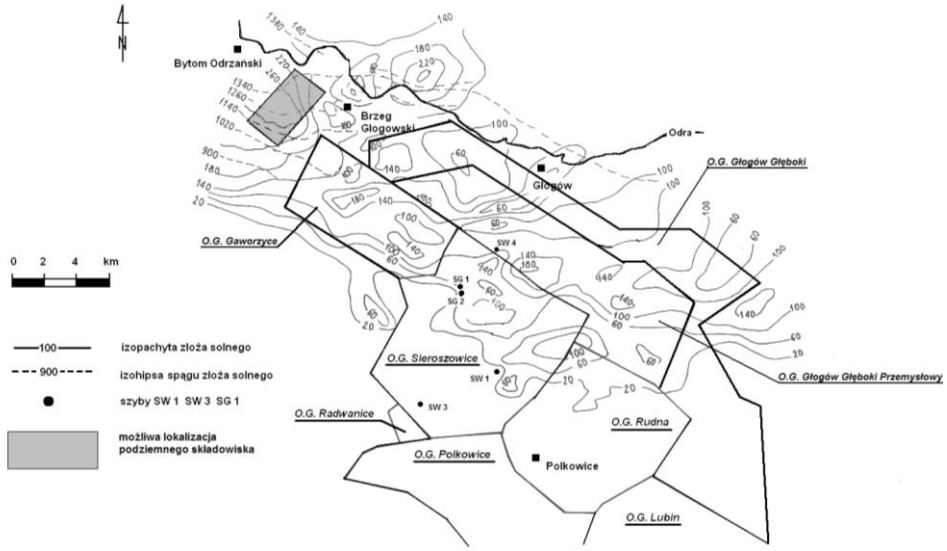
W ośrodkach badawczych w świecie od wielu lat prowadzone są eksperymenty dla poznania zachowania się górotworu w podwyższonych tempera-

turach. Najbardziej zaawansowane prace badawcze „in situ" były wykonywane w złożach soli: w kopalni ASSE w Niemczech i WIPP w Stanach Zjednoczonych, gdzie przeprowadzano symulację termiczną składowania odpadów wysokoaktywnych w wyrobiskach korytarzowych i izolowanej komorze składowiska. Rezultaty obu doświadczeń, mimo zastosowania różnych rozwiązań technicznych były zbliżone [9]. W oparciu o przeprowadzone eksperymenty ustalono, że istotnym parametrem w projektowaniu składowiska będzie czynnik temperaturowy. Temperatura górotworu solnego w składowiskach odpadów emitujących ciepło nie może przekroczyć wartości +200°C. Pozostałe zjawiska zachodzące w otoczeniu wyrobisk będą zdeterminowane stopniem nagrzania górotworu. Zaciskanie się wyrobisk w czasie, gwarantuje w długim horyzoncie czasowym izolację odpadów od środowiska naturalnego. Wzrost koncentracji naprężeń w obrębie wyrobisk obserwowano w czasie bezpośrednim po ich wykonaniu; w miarę upływu czasu następował spadek wartości naprężeń związany ze zjawiskiem płynięcia soli względnie relaksacji naprężeń. W warunkach podwyższonej temperatury dochodziło do ponownego wzrostu naprężeń, który po kilku tygodniach ulegał stabilizacji [8].

Odpady promieniotwórcze znajdujące się w specjalnych pojemnikach podlegają rygorom, dotyczącym wydzielanego ciepła na powierzchni pojemników. Dopuszczalna temperatura na obudowie pojemnika z wypalonym paliwem jądrowym to +85°C, natomiast na powierzchni pojemnika zawierającego odpady promieniotwórcze wynosi ona +60 ÷ +70°C. Przytoczone warunki temperaturowe nie powodują zmian we właściwościach fizycznych górotworu solnego i w związku z tym nie będą naruszały dynamiki wód podziemnych w pobliżu składowiska. Wypalone paliwo jądrowe po odpowiednio 10 letnim okresie leżakowania w mokrych przechowalniach przyreaktorowych i 40 letnim studzeniu w powierzchniowych magazynach z gazowym chłodzeniem konwekcyjnym nie powinny spowodować wzrostu temperatury otaczających skał w głębokim składowisku i przekroczenia temperatury +100°C.

4. Geomechaniczna charakterystyka złoża solnego LGOM w rejonie planowanego miejsca lokalizacji składowiska

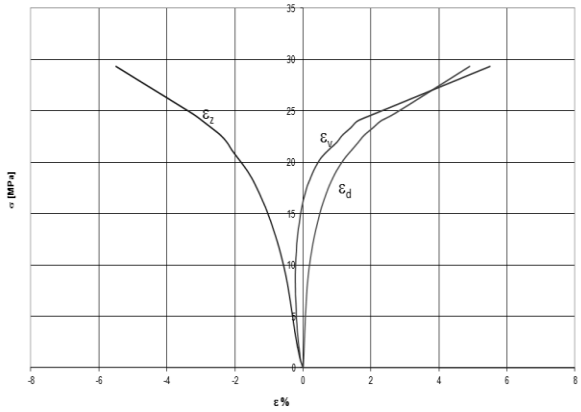
Od kilkunastu już lat Zdzisław Kłeczek [2] wraz z zespołem współpracowników propaguje potrzebę budowy w Polsce podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych, w tym również odpadów promieniotwórczych, powstających w instytutach badawczych, medycynie, przemyśle, a w przyszłości w energetyce jądrowej. W opublikowanych materiałach [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] wielokrotnie wykazano też, że szczególnie interesującym miejscem lokalizacji takiego składowiska jest cechsztyńskie, pokładowe złoże soli kamiennej LGOM (rys. 1).



Rys.1. Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów w złożu soli kamiennej LGOM na tle istniejących obszarów górniczych O.G. [8]

Ponieważ wszelkie prace projektowe i wykonawcze z zakresu budownictwa podziemnego wymagają określenia własności wytrzymałościowych „materiału konstrukcyjnego", skała solna pochodząca ze złoża soli w LGOM, z miejsca planowanej lokalizacji przyszłego składowiska [4, 7, 10, 11, 12] została poddana szerokiemu wachlarzowi badań geomechanicznych. Poniżej przedstawiono rezultaty tych badań.

Średnia wytrzymałość soli na ściskanie wynosiła R_c = *29,38* MPa. Uśrednione charakterystyki $\sigma = f(\varepsilon_z, \varepsilon_d, \varepsilon_v)$ z prób jednoosiowego ściskania przedstawiono na rysunku 2.

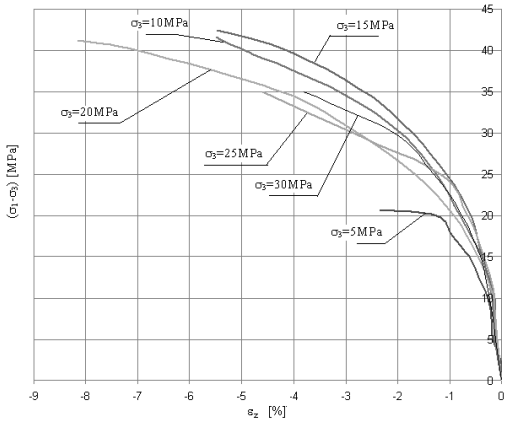


Rys.2. Uśredniona charakterystyka $\sigma = f(\varepsilon_z, \varepsilon_d, \varepsilon_v)$ próbek soli pobranych z północno-zachodniego rejonu LGOM

Przeddylatancyjne przedziały wartości naprężeń, w których zachodziła proporcjonalność pomiędzy przyrostami odkształceń poprzecznych i podłużnych a przyrostami naprężenia ściskającego były krótkie i nie przekraczały rzędu kilku MPa. Wyznaczone dla tych przedziałów wartości współczynników sprężystości podłużnej E i poprzecznej ν wynosiły średnio $E = 1,74$ GPa i $\nu = 0,34$.

W badaniach doraźnych próby rozciągania metodą brazylijską średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie wyniosiła $R_r = 1,08$ MPa. Badania ścinania technologicznego dały średni rezultat wytrzymałości materiału na ścinanie $R_t = 5,26$ MPa, a badania w próbach prostego zginania wykazały, że wytrzymałość na zginanie wynosi $R_g = 0,95$ MPa.

Próbki soli poddawano także testom trójosiowego ściskania przy sześciu poziomach naprężenia okólnego. Uzyskane charakterystyki $(\sigma_1-\sigma_3) = f(\varepsilon_z, \varepsilon_d, \varepsilon_v)$ wykazały, że badana sól charakteryzuje się wysoką odkształcalnością o zachowaniu silnie nieliniowym.



Rys.3. Charakterystyki „naprężenie różnicowe-odkształcenie podłużne" badanej soli kamiennej w warunkach trójosiowego ściskania, przy ciśnieniach okólnych od 5 do 30 MPa.

Charakterystyka zależności $(\sigma_1-\sigma_3) = f(\varepsilon_z)$ (rys. 3) oraz makroskopowe opisy próbek po badaniach pozwalają na wyróżnienie dwóch przedziałów zachowania się badanej soli w warunkach trójosiowego ściskania. Przeddylatancyjne przedziały naprężeń sięgają średnio 40% naprężenia różnicowego. W przedziałach tych zachodzi proporcjonalność pomiędzy przyrostami odkształceń poprzecznych i podłużnych, a przyrostami naprężenia różnicowego. Wyznaczone dla tych przedziałów wartości współczynników odkształcalności wynoszą średnio $E = 5$ GPa oraz $\nu = 0,33$. Największe naprężenie główne na progu dylatacji bezwzględnej (σ_1) rośnie linowo wraz ze wzrostem ciśnienia okólnego. Sieczny współczynnik odkształcalności podłużnej E_{sD} i sieczny współczynnik odkształcalności poprzecznej ν_{sD} odpowiadające progowi dylatancji osiągały wartości $E_{sD} = 3,7$ GPa i $\nu_{sD} = 0,32$. Odpowiadające domenie dylatancji właściwej war-

tości kąta dylatancji w warunkach trójosiowego stanu naprężenia mieszczą się w przedziale ok. 5° ÷ 26°.

W wyniku przeprowadzonych badań trójosiowego ściskania stwierdzono, że przy ciśnieniach okólnych równych, odpowiednio, 5, 25 i 30 MPa próbki charakteryzowały się stosunkowo niewysoką wytrzymałością graniczną i doznały kruchego zniszczenia przy niewielkich odkształceniach podłużnych. Oznaczona doświadczalnie dla tych próbek zależność:

$$q=f(p)$$

gdzie:

$$q=(\sigma_1-\sigma_3):2$$

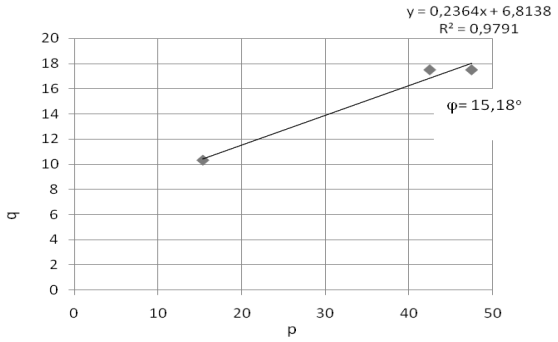
$$p=(\sigma_1+\sigma_3):2$$

okazała się w przybliżeniu liniową. Posiłkując się warunkiem wytrzymałościowym Coulomba – Mohra:

$$(\tau = c + tg\varphi\ \sigma_n)$$

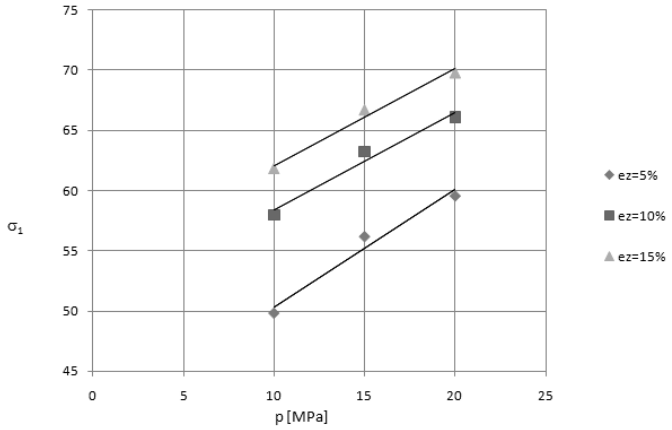
wyznaczono wartości stałych materiałowych (rys. 4):

- kąta tarcia wewnętrznego, równego ok. 15°,
- spójności (kohezji) równej 6.32 MPa.



Rys.4. Wyniki badań nad wytrzymałością trójosiową dla soli kamiennej o charakterystyce ośrodka kruchego

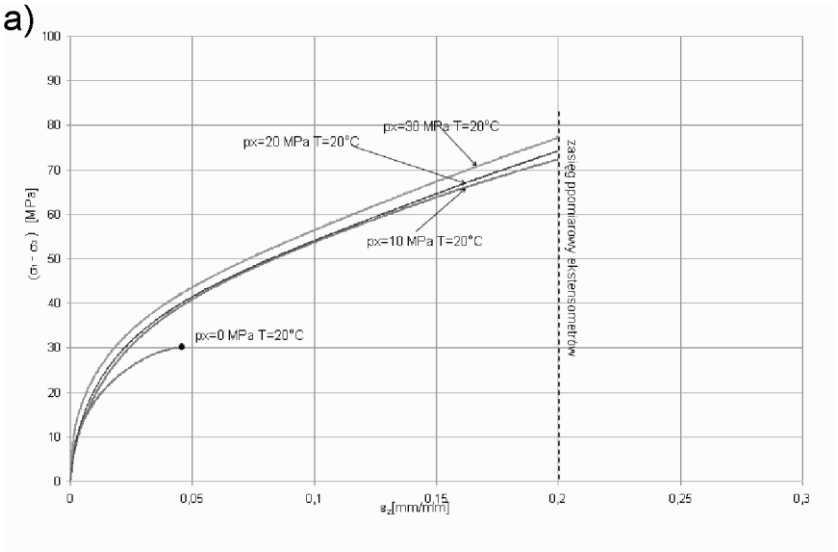
Próbki badane przy ciśnieniach okólnych 10, 15 i 20 MPa wykazywały znacznie większą zdolność do przenoszenia obciążeń i wywołanych nimi odkształceń. Po przekroczeniu progu dylatancji próbki doznawały znacznych odkształceń przechodząc w stan pokrytyczny. Dla tych próbek oznaczono wartości kąta tarcia wewnętrznego w różnych stadiach odkształcania się w stanie przedkrytycznym. Wyznaczono wartości naprężenia różnicowego $(\sigma_1-\sigma_3)$ i odpowiadające im wartości największego naprężenia głównego (σ_1) dla trzech różnych (5%, 10%, 15%) wartości odkształcenia podłużnego, w przedziale powyżej granicy dylatacji. W oparciu o te zależności (rys. 5) wyznaczono: wartość kąta tarcia wewnętrznego wynoszącego ok. 3,6°.

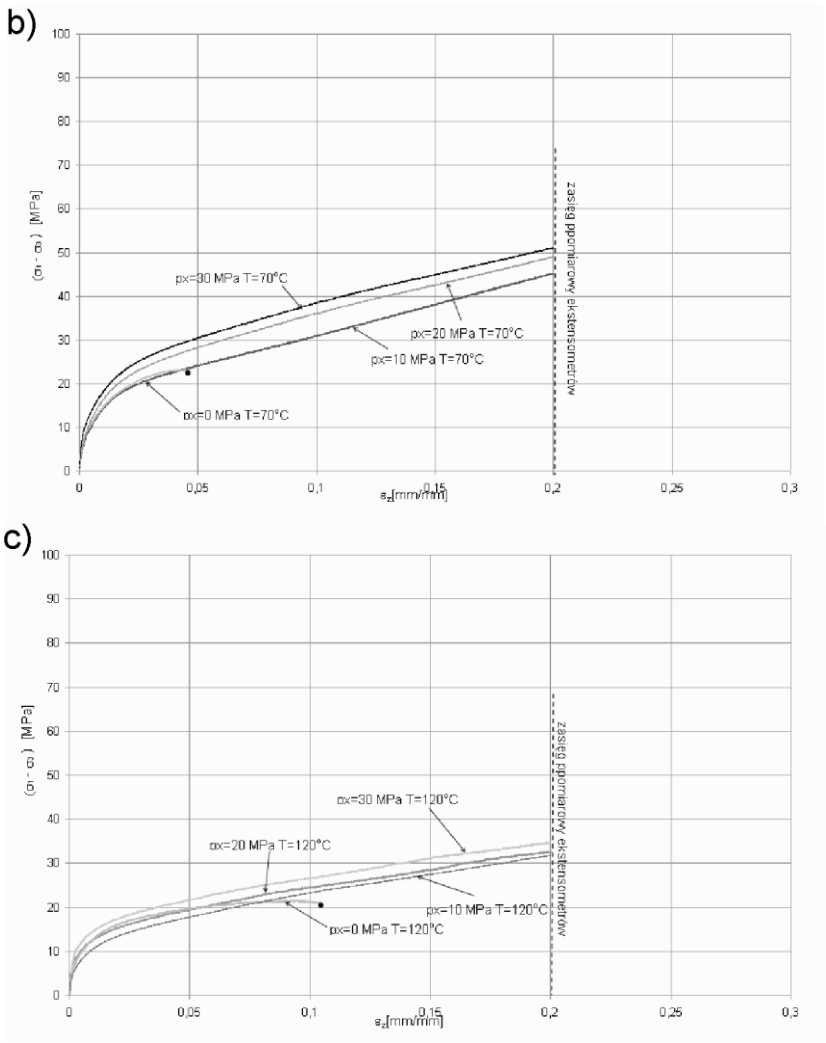


Rys.5. Zależność największego naprężenia głównego odpowiadającego różnym wartościom jednostkowego odkształcenia podłużnego *(εz)* od ciśnienia okólnego *(p)* dla soli zachowującej się ciągliwie

W ramach przeprowadzonych badań wykonano również serie badań trójosiowych w podwyższonych temperaturach. Efektem wykonanych doświadczeń było uzyskanie charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej $(\sigma_1-\sigma_3) = f(\varepsilon_z)$ (rys. 6) w trzech zakresach temperaturowych: $T_1 = 20^0C$, $T_2 = 70^0C$, $T_3 = 120^0C$, przy zadanych 4 stopniach stałego dla danego doświadczenia ciśnienia bocznego σ_3 wynoszącego $\sigma_{3i} = 0, 10, 20, 30$ [MPa].

Dla określenia wpływu czynnika temperatury na przebieg charakterystyki naprężeniowo-deformacyjnej zebrane wyniki laboratoryjne prób ściskania w trójosiowym stanie naprężenia poddano analizie.





Rys.6. Doświadczalna uśredniona krzywa $(\sigma_1-\sigma_3) = f(\varepsilon_z)$ soli kamiennej LGOM przy stałej temperaturze a) $T_1 = 20^0C$, b) $T_2 = 70^0C$, c) $T_3 = 120^0C$

Przebieg krzywych doświadczalnych aproksymowano równaniem potęgowym:

$$(\sigma_1-\sigma_3) = (\varepsilon_z)^A B$$

gdzie

$(\sigma_1-\sigma_3)$ - naprężenie różnicowe [MPa],

(ε_z) - względne odkształcenie wzdłużne [mm/mm]

A, B - współczynniki doświadczalne

Wartości liczbowe współczynników doświadczalnych A i B, i współczynnika korelacji zostały przedstawione w tabeli 2.

W analizowanych zakresach temperaturowych $T = 20, 70, 120\ ^0C$ zaobserwowano, że wraz ze wzrostem temperatury wielkości współczynników doświadczalnych maleją. Aproksymując wszystkie zależności $A=f(T)$ i $B=f(T)$ funkcją liniową oszacowano wartości współczynników A i B.

Doświadczalna zależność współczynników A i B w funkcji temperatury T może być określona za pomocą związków:

$$A = -0{,}001 \cdot T + 0{,}4628$$

$$B = -0{,}9581\ T + 165{,}38$$

Można zatem poprzez porównanie tych związków z $(\sigma_1-\sigma_3) = (\varepsilon_z)^A B$ uzyskać następującą zależność:

$$(\sigma_1-\sigma_3) = (-0{,}9581 \cdot T + 165{,}38) \cdot (\varepsilon_z)^{(-0{,}001\ T\ +\ 0{,}4628)}$$

gdzie:

$(\sigma_1-\sigma_3)$ – naprężenie różnicowe [MPa],

ε_z – względne odkształcenie wzdłużne [mm/mm],

T – temperatura [^{0}C].

Zestawienie wartości liczbowych współczynników doświadczalnych A i B i współczynnika korelacji aproksymowanych krzywych doświadczalnych. (Opracowanie własne)

Tabela 2

Warunki ściskania	$(\sigma_1-\sigma_3) = (\varepsilon_z)^A B$		
	A [MPa]	B [MPa]	współczynnik korelacji
σ_3 = 0 MPa T=20^{o}C	0,498	160,830	0,92
σ_3 = 0 MPa T=70^{o}C	0,405	90,270	0,97
σ_3 = 0 MPa T=120^{o}C	0,332	51,746	0,82
σ_3 = 10 MPa T=20^{o}C	0,412	137,230	0,89
σ_3 = 10 MPa T=70^{o}C	0,398	80,850	0,97
σ_3 = 10 MPa T=120^{o}C	0,380	56,670	0,98
σ_3 = 20 MPa T=20^{o}C	0,465	160,580	0,97
σ_3 = 20 MPa T=70^{o}C	0,397	92,200	0,96
σ_3 = 20 MPa T=120^{o}C	0,336	54,169	0,96
σ_3 = 30 MPa T=20^{o}C	0,408	147,090	0,99
σ_3 = 30 MPa T=70^{o}C	0,353	88,223	0,98
σ_3 = 0 MPa T=120^{o}C	0,340	59,897	0,82

Przedstawiona empiryczna zależność stanowiąca rezultat przeprowadzonych doświadczeń laboratoryjnych i analizy wyników ujmuje wpływ podwyższonej temperatury na charakterystykę deformacyjno-naprężeniową soli kamiennej w próbach trójosiowego ściskania, w określonych warunkach ciśnień bocznych i zakresu temperatury.

5. Podsumowanie

Zlokalizowanie podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych w strukturze solnej LGOM z pewnością niosłoby wiele komplikacji, wymagając przede wszystkim udostępnienia złoża szybami z powierzchni i wykonania całej podziemnej struktury wyrobisk. Obecny stopień zaawansowania w stosowaniu technik górniczych daje jednak możliwości na wybudowanie składowiska, które zapewni odpowiednio dużą przestrzeń dla zdeponowania odpadów niebezpiecznych typu „multi". Trzeba jednak liczyć się z tym, że tego typu obiekty nie powstają z dnia na dzień. Najważniejszym czynnikiem, oprócz wykonania projektu koncepcyjnego i zdobycia odpowiednich zezwoleń i koncesji, jest poparcie lokalnej społeczności dla planowanej inwestycji. Budowa składowiska będzie realizowana w oparciu o doświadczenia krajów o zaawansowanej technice składowania odpadów niebezpiecznych, w tym odpadów promieniotwórczych. Jakość złoża soli, w którym planowane jest składowisko pozwoli na częściowy zwrot kosztów budowy obiektu, bowiem wydobyty na powierzchnię urobek solny bedzie pożądanym i atrakcyjnym produktem handlowym. Najważniejszym jednak argumentem przemawiającym za deponowaniem odpadów niebezpiecznych (w tym promieniotwórczych) w złożu soli LGOM jest zdolność tego górotworu do ciągłych, reologicznych deformacji. Zaciśnięte pojemniki w górotworze solnym pozostaną w izolacji od biosfery w nieograniczonym czasie, gwarantując utrzymanie bądź polepszenie jakości stanu środowiska naturalnego na powierzchni Ziemi oraz poprawę jakości życia przyszłych pokoleń.

Literatura

1. Bundessantalt fuer Geowissenschaften und Rohstoffe., Nuclear Waste Disposal in Germany, Investigation and evaluation of regions with potentially suitable host rock formations for a geologic nuclear repository, Hannover/ Berlin, April 2007.
2. Kłeczek Z.: Podziemne składowisko odpadów uciążliwych i niebezpiecznych w złożu soli LGOM. VI Konferencja „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych. Wisła, 6-9.06. 2000.
3. Kłeczek Z., Zeljaś D.: Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w Polsce. Przegląd Geologiczny, vol. 52, nr 8/1, 2004.
4. Kłeczek Z,, Zeljaś D.: „Dylatancja soli kamiennej ze złoża LGOM", Czasopismo Naukowo - Techniczne Górnictwa Rud CUPRUM Nr 3 (40)/2006.
5. Kłeczek Z., Zeljaś D.: Ekologiczne i bezpieczne składowisko odpadów niebezpiecznych w strukturze solnej LGOM. Przegląd Górniczy nr 6/2010.
6. Kłeczek Z., Zeljaś D.: Koncepcja budowy centralnego składowiska odpadów w strukturze solnej LGOM. Poster XVI Międzynarodowego Sympozjum Solnego „Quo Vadis Sal": „Magazynowanie i składowanie w wyrobis-

kach solnych – teraźniejszość i przyszłość górnictwa solnego".Toruń, 13-14.10.2011.

7. Kłeczek Z., Zeljaś D.: Wpływ podwyższonej temperatury na charakterystykę deformacyjno – naprężeniową próbek cechsztyńskiej soli kamiennej LGOM. Przegląd Górniczy nr 12/ 2011.
8. Kłeczek Z., Radomski A,, Zeljaś D.: „Podziemne Składowanie", Prace naukowe – Monografie CMG KOMAG, Gliwice 2005, Nr 10.
9. Ślizowski K., Ney R.: Opracowanie modelu koncepcyjnego krajowego głębokiego składowiska odpadów promieniotwórczych w skałach a) solnych b) ilastych. Archiwum Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 1999.
10. Wyniki badań wykonanych podczas realizacji projektu badawczego nr N 523455236, 2009 – 2012.
11. Zeljaś D.: „Górotwór solny LGOM jako materiał konstrukcyjny do budowy podziemnego składowiska odpadów" praca zbiorowa - monografia, Gliwice 2007, KOMEKO 2007.
12. Zeljaś D.: „Własności reologiczne soli kamiennej złoża monokliny Przedsudeckiej" – praca zbiorowa – monografia, Gliwice 2011, KOMEKO 2011.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę
w latach 2009-2012 jako projekt badawczy
Nr N523 455236

Ocena przydatności popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego do produkcji tworzyw geopolimerowych

Lucyna Madejska – Politechnika Krakowska, **Andrzej Jarosiński** – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

1. Wstęp

Popioły lotne, powstające w wyniku spalania między innymi węgla kamiennego, stanowią jeden z kilku różnorodnych odpadów energetycznych. Ich ilość w skali światowej osiąga rocznie ok. 500 milionów Mg, zatem zagospodarowanie tych odpadów stanowi istotny problem dla środowiska. W Polsce popioły lotne wytwarzane są w ilości ok. 4 milionów Mg rocznie, co stanowi około 23% ogólnej ilości krajowych odpadów energetycznych. Do pozostałych rodzajów odpadów energetycznych zaliczamy żużle, mieszanki popiołowo-żużlowe, popioły z kotłów fluidalnych, odpady z odsiarczania spalin, itp.

Z końcem XX wieku nastąpił w świecie znaczny wzrost poziomu wykorzystania omawianych odpadów; w Polsce także odnotowano to zjawisko. Najbardziej spektakularny wzrost wystąpił w naszym kraju w zakresie wykorzystania popiołów lotnych, osiągając poziom 96% ogólnej ilości wytworzonych popiołów w latach 2002-2003 [1]. Te pozytywne tendencje w Polsce ulegały wahaniom w poszczególnych latach, ale potwierdziły utrwalenie się powstałego trendu. Taka skala wykorzystania popiołów lotnych w naszym kraju potwierdza słuszność propozycji przekwalifikowania terminu ”odpad” na „uboczny produkt spalania”, proponowanej przez przemysł energetyczny. Dodatkowym wsparciem dla tej sugestii jest także przemysł materiałów budowlanych, wykorzystujący ponad 55% wytwarzanych popiołów lotnych. Uwzględniając tak dużą skalę użytkowania popioły lotne są zatem w pełni wartościowym surowcem dla producentów materiałów budowlanych, jeśli tylko spełniają wymagania w zakresie składu surowcowego.

W niniejszym rozdziale podjęto próbę oceny przydatności popiołów lotnych, uzyskanych w procesach spalania węgla kamiennego w krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach, do produkcji interesujących, znanych od niedawna materiałów kompozytowych - geopolimerów. Jako jedną z możliwości wykorzystania tych tworzyw zaproponowano produkcję materiałów budowlanych o specjalnych właściwościach.

2. Właściwości popiołów lotnych

Popioły lotne to drobne pyły, składające się z kulistych cząstek szklistych (amorficznych) o gładkiej powierzchni. Cechują się szarą barwą i ściernością. Popioły różnią się składem ziarnowym oraz powierzchnią właściwą, która może

wynosić od 150 do 1000 m^2/g. Pod względem chemicznym popioły lotne charakteryzują się dużą zmiennością składu, zależnie od rodzaju spalanego węgla oraz technologii zastosowanego procesu spalania. Podstawowe składniki popiołów, które stały się podstawą do dokonania ich podziału według normy BN-79/6722-09 to związki krzemu, glinu, żelaza i wapnia. Według tej normy rozróżniamy następujące rodzaje popiołów lotnych, różniących się co do zawartości składników:

- krzemianowy (k) – SiO_2 40%, Al_2O_3 30%, CaO 10%, SO_3 4%
- glinowy (g) – SiO_2 40%, Al_2O_3 30%, CaO 10%, SO_3 3%
- wapniowy (w) – SiO_2 30%, Al_2O_3 30%, CaO 10%, SO_3 3%

Dwa rodzaje popiołów (k) i (g) należą także według innej klasyfikacji do grupy popiołów niskowapniowych, natomiast (w) do grupy wysokowapniowych, który to podział determinują ich właściwości pucolanowe. Oprócz podstawowych składników chemicznych, takich jak SiO_2, Al_2O_3, CaO popioły lotne zawierają także makroskładniki jak P, K, Mg oraz mikroskładniki jak Zn, Fe, Cu, Mn, B, Mo i inne.

Podziału popiołów lotnych można dokonać w oparciu o szereg kryteriów. Przykładowo popioły lotne różnią się składem chemiczno-mineralnym, w tym zawartością pierwiastków radioaktywnych. I tak zawartość pierwiastków radioaktywnych w popiołach lotnych może zmieniać się w szerokim zakresie: ^{40}K - 384,8-1776 Bq/kg, ^{226}Ra - 15,27 - 154,2 Bq/kg czy Th 18 - 21,5 Bq/kg [2]. Cechy te rzutują na możliwości ich zagospodarowania.

Na ogół oceny popiołów lotnych dokonuje się także w oparciu o udział krystalicznych faz mineralnych oraz faz szklistych. Obecność tej ostatniej decyduje o właściwościach pucolanowych, czyli o zdolności do reagowania z wapnem w środowisku wodnym. Według [3] popioły dzieli się na nisko i wysokomodułowe (tabela 1).

Podział popiołów lotnych według [3]

Tabela 1

Składnik	Popioły lotne [% wag]	
	Niskowapienne	Wysokowapienne
SiO_2	34-60	25-40
Al_2O_3	17-31	8-17
Fe_2O_3	2-2,5	5 -10
CaO	0,5 -5	10-38
MgO	1-5	1-3

Skład fazowy popiołów jest bardzo zróżnicowany, zależnie od czynników geologicznych, determinujących tworzenie pokładów węgla, a także od zastosowanej technologii procesu spalania węgla. Na podstawie badań rentgenogra-

ficznych ustalono, że głównymi składnikami popiołów są: kwarc, kaolinit, mullit i syderyt. Mogą także pojawiać się inne związki, zwłaszcza kalcyt, hematyt, czy piryt, obecne w przypadku innych warunków spalania węgla [4].

3. Wykorzystanie popiołów lotnych

Istnieje wiele przesłanek, przemawiających za utrzymaniem tendencji wzrostu ilości wykorzystywanych popiołów lotnych. Należą do nich przede wszystkim:

- minimalizacja kosztów składowania,
- zmniejszenie obszaru używanego do składowania, a zatem możliwość wykorzystania tych terenów do innych celów,
- możliwość odsprzedaży popiołów lotnych innym przedsiębiorcom (korzyści finansowe),
- korzyści offsetowe wynikające z przetwarzania pyłów,
- popioły mogą stanowić zamienniki rzadkich i drogich surowców naturalnych.

Wykorzystanie popiołów lotnych w innych dziedzinach przemysłu może być rozwiązaniem alternatywnym bądź to stosowanych surowców, bądź procesu przemysłowego [4]. Tego rodzaju zastosowania dotyczą głównie:

- produkcji klinkieru cementowego, cementów, betonów, materiałów ceramicznych,
- produkcji materiałów podsadzkowych do budowy dróg i wyrobisk górniczych,
- dodatku do materiałów konstrukcyjnych, stanowiącemu barierę infiltracyjną,
- wykorzystania sorpcyjnych właściwości popiołów do usuwania np. metali ciężkich ze ścieków,
- usuwania zanieczyszczeń organicznych ze ścieków (pestycydów, fenoli, barwników i in.),
- syntezy zeolitów w celu wykorzystania ich do procesów wymiany jonowej, jako sit molekularnych, czy adsorbentów,
- wykorzystania obecności glinokrzemianów w popiołach do syntezy geopolimerów.

Jednym z zasadniczych kryteriów przydatności technologicznej popiołów lotnych są moduły:

$$M_R = SiO_2 + Al_2O_3 / CaO + MgO + Fe_2O_3$$

$$M_K = SiO_2 / Al_2O_3$$

Według powyższych kryteriów popioły z Elektrociepłowni "Kraków" S.A., o których mowa w dalszych rozdziałach, są typowymi materiałami krzemianowo-glinowymi, kwarcowo-mullitowe o niskiej zawartości faz siarczanowych ($M_R > 6$, $M_K < 3$ i $SO_3 < 3\%$).

4. Prognozy na przyszłość popiołów lotnych

Popioły lotne, chociaż same uznane za powodujące zanieczyszczenie środowiska, mogą stanowić ważny surowiec do różnego rodzaju procesów przemysłowych, wymienionych powyżej. Wprawdzie celem spalania węgla jest produkcja energii, a nie popiołów lotnych, to jednak te ostatnie odgrywają coraz większą rolę w wielu dziedzinach. Ich wykorzystanie w Polsce na poziomie 96% może być powodem do satysfakcji na tle krajów Unii Europejskiej, gdzie wynosi ono 88%, natomiast w USA stanowi 35%. Jednakże na rynku krajowym ten wysoki poziom wykorzystania popiołów należy rozdzielić na obszar przemysłowy, obejmujący 55% całości, natomiast pozostała część popiołów jest zużywana do prac rekultywacyjnych, niwelacyjnych, czy jako materiały podsadzkowe w górnictwie. Widać zatem dalsze możliwości wykorzystania popiołów w przemyśle materiałów budowlanych, idąc naprzeciw tendencjom obniżenia kosztów produkcji i poprawy właściwości produkowanych cementów i betonów. Należy jednak uwzględnić istotną barierę, która hamuje intensywność użytkowania popiołów. Stanowi ją rozbieżność pomiędzy okresem największej produkcji popiołów lotnych w energetyce (zima), a okresem największego zapotrzebowania popiołów do produkcji cementów i betonów (lato). Powstaje zatem problem deponowania popiołów w okresie zimowym, podczas którego popioły tracą swoją aktywność, nabierając wilgoci w czasie zbyt długiego przechowywania. Należałoby więc stworzyć odpowiednie warunki składowania, pozwalające na zachowanie aktywności popiołów, bądź też wytworzyć taki półprodukt, który by „zamroził" aktywność pucolanową popiołów bezpośrednio po ich wytworzeniu, zachowując ją przez odpowiednio długi czas.

Drugim istotnym problemem obok składowania popiołów jest brak stałości ich składu jakościowego, co jest powodem utrudnień w małoelastycznym procesie technologicznym, którego parametry nie są dostosowane do zmiennych składów surowca. Dostosowanie technologii do zmiennego składu surowca stanowi więc wyzwanie dla użytkowników popiołów w dziedzinie przemysłowej.

5. Geopolimery – możliwość wykorzystania popiołów lotnych

Polimery nieorganiczne lub inaczej geopolimery pojawiły się jako nowoczesne materiały z końcem XX wieku [5]. Są to glinokrzemiany aktywowane zasadami w niskich temperaturach. Posiadają one rozbudowaną strukturę tetraedryczną, w której łańcuch polimeru powstaje w wyniku połączenia SiO_4 z AlO_4

poprzez wspólny atom tlenu [6]. Wzór empiryczny liniowej cząsteczki geopolimeru to:

$$M_n[(SiO_2)zAlO_2]_n \cdot kH_2O$$

gdzie:

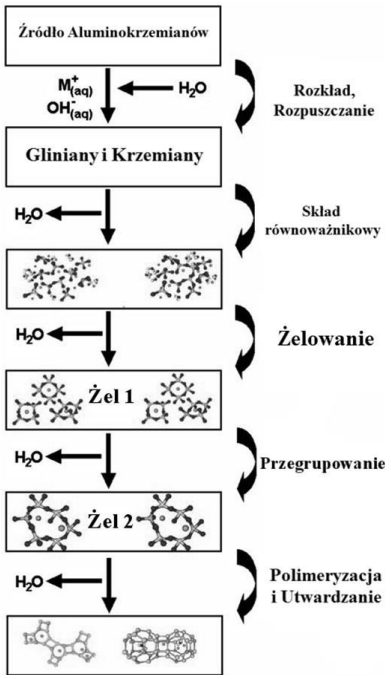
M – oznacza metal,

n – stopień polimeryzacji,

$z=1, 2, 3$

k – ilość moli wody.

Geopolimery można otrzymywać kilkoma sposobami, w zależności od użytych substratów. Dzięki odpowiedniemu doborowi składu i warunków syntezy oraz zastosowanych dodatków, otrzymuje się geopolimery o różnorodnych właściwościach fizykochemicznych, nadające się do wykorzystania w różnych gałęziach przemysłu. Do substratów stosowanych do syntezy geopolimerów należą, między innymi popioły lotne ze spalania węgla kamiennego jako źródło glinokrzemianów. Drugim surowcem są wodorotlenki sodu lub potasu, stosowane w formie stężonych roztworów. Ponadto stosuje się różnego rodzaju dodatki w celu korekty składu wsadu surowcowego, np. szkło wodne, tlenek lub węglan wapnia, magnez, czy plastyfikatory. Dodatki są stosowane głównie w celu uzyskania pożądanych właściwości końcowego produktu - geopolimeru. Schemat procesu syntezy geopolimeru przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Schemat syntezy geopolimeru według [7]

Geopolimery jako nowoczesne materiały stosowane są dzięki szeregowi niezwykle istotnych właściwości, a mianowicie:

a) wysokiej wytrzymałości mechanicznej,
b) odporności na ścieranie,
c) ognioodporności (do 1000^{o}C),
d) odporności korozyjnej na działanie różnych kwasów i soli (H_2SO_4, HNO_3, HCl, wody morskiej),
e) niskiej przewodności cieplnej,
f) dobrym zdolnościom adhezyjnym w stosunku do różnych powierzchni (np. stali, szkła, ceramiki),
g) immobilizacji substancji radioaktywnych i toksycznych,
h) wodoodporności.

Z powyższych właściwości wynikają rozliczne możliwości zastosowania geopolimerów, szczególnie do produkcji materiałów budowlanych oraz materiałów kompozytowych termo i ognioodpornych. Szczególnie godne podkreślenia są wyniki badań trwałości geopolimerów w agresywnych środowiskach (kwasy, sole), co przy niezwykle pozytywnych efektach badań laboratoryjnych stwarza alternatywę dla ulegających korozji tradycyjnych materiałów budowlanych.

Technologia produkcji geopolimerów jest dziedziną rozwijającą się bardzo intensywnie. Jednakże ze względu na fakt skomplikowanej i nie w pełni jeszcze zrozumiałej struktury geopolimerów istnieje konieczność pogłębienia badań nad tymi materiałami. Sama produkcja geopolimerów jest dziedziną konkurencyjną do tradycyjnej metody produkcji cementów, czy betonów. Aby zapewnić dalszy postęp w rozwoju technologii geopolimerów konieczny jest otwarty dialog pomiędzy ośrodkami naukowymi i przemysłem. Od efektów tego dialogu, popartych szerszym upowszechnieniem wiedzy na temat geopolimerów, jako szczególnego sposobu wykorzystania popiołów lotnych, będzie zależał dalszy rozwój tej dziedziny. Bardzo obiecujące tutaj są przesłanki produkcji geopolimerów, a mianowicie możliwość uzyskania materiałów o pożądanych właściwościach poprzez umiejętny dobór parametrów procesu (stosunku fazy ciekłej do stałej, stężeń roztworów zasad, składu popiołów lotnych, czasu polimeryzacji, warunków suszenia, itp.) oraz rodzaju stosowanych dodatków. Tego rodzaju perspektywa jest więc silnym bodźcem do doskonalenia technologii wytwarzania geopolimerów w takim kierunku, by uzyskany produkt posiadał pożądane właściwości uzyskane poprzez dobór składu surowcowego oraz korektę parametrów procesu.

Badania wstępne prowadzone w Instytucie Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Krakowskiej doprowadziły do syntezy geopolimeru, uzyskanego na bazie popiołów lotnych z elektrociepłowni „Kraków” S.A. oraz

roztworów wodorotlenku sodu i potasu o stężeniach 10 i 16 mol/dm^3 [8, 9]. Skład popiołu lotnego stosowanego jako surowiec przedstawiono w tabeli 2.

Skład chemiczny popiołu lotnego z elektrociepłowni "Kraków" S.A.

Tabela 2

Tlenki	Zawartość przeliczona na stan wyjściowy [% wagowe]
SiO_2	53,3
Al_2O_3	21,15
Fe_2O_3	8,5
CaO	0,65
MgO	2,95
Na_2O	1,94
K_2O	3,75
SO_3	0,49
TiO_2	0,75
P_2O_5	0,42
BaO	0,02
SrO	0,01
H_2O	0,15
straty prażenia	5,85
suma	99,93

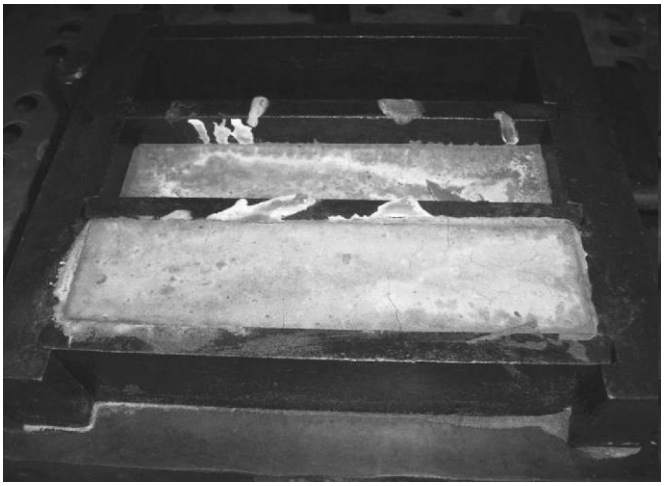
Po zmieszaniu całej masy reakcyjnej umieszczono ją w metalowej matrycy, tworząc kształtki o wymiarach 4x4x16 cm, co przedstawiono na rysunku 2.

Następnie suszono kształtki w temperaturze 60^{o}C w różnych okresach czasu – od 56 do 92 godzin. Po wysuszeniu i wyjęciu ich z form pozostawiono je w temperaturze pokojowej do zakończenia procesu dojrzewania, trwającego od kilku do kilkunastu dni. Z chwilą zakończenia dojrzewania przeprowadzono badania składu fazowego próbek metodą rentgenograficzną oraz metodą spektroskopii absorpcyjnej w podczerwieni, a następnie badania wytrzymałości mechanicznej oraz wymywalności metali ciężkich.

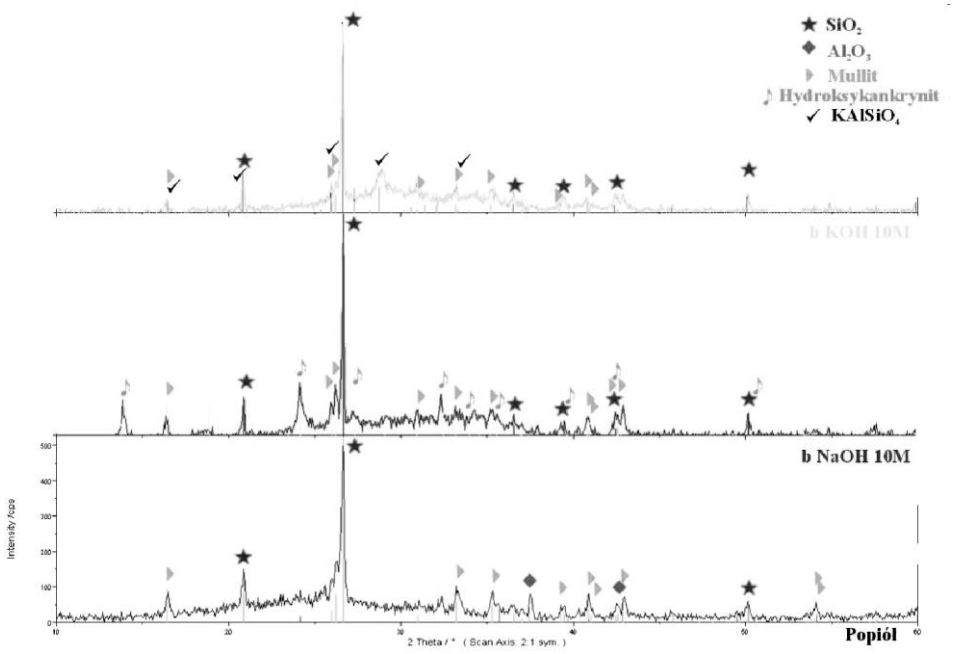
Na podstawie uzyskanych wyników analiz stwierdzono, że uzyskany produkt można zidentyfikować na dyfraktogramach, a o powstaniu nowych struktur świadczy obecność hydroksykankrynitu. Na rysunku 3 przedstawiono dyfraktogram uzyskanych próbek geopolimerów, odpowiednio dla roztworu KOH oraz NaOH w porównaniu z widmem popiołu lotnego, jako surowca wyjściowego.

Badania wytrzymałości mechanicznej próbek geopolimeru dały wyniki rzędu 26,5 MPa, co jest wartością porównywalną dla betonów. Po wykonaniu

dalszych badań uzupełniających można więc zaproponować zastosowanie geopolimeru do produkcji materiałów budowlanych.



Rys.2. Kształtki geopolimeru w matrycy



Rys.3. Dyfraktogram porównawczy próbek geopolimerów oraz popiołu lotnego

6. Podsumowanie

Zastosowanie popiołów lotnych w rozlicznych dziedzinach przemysłu, w tym do produkcji geopolimerów jest źródłem rozlicznych korzyści, a głów-

nie: oszczędności energii, zmniejszenia emisji zanieczyszczeń powietrza, zmniejszenia emisji CO_2, zachowania terenów, które były przewidziane jako składowiska dla popiołów, z możliwością ich wykorzystania do innych celów. Pomimo szeregu trudności napotykanych podczas unieszkodliwiania popiołów (np. braku stałości składu surowca, zależnego od rodzaju spalanego węgla, czy trudności z zachowaniem aktywności pucolanowej popiołów składowanych w sezonie zimowym) w Polsce obserwuje się korzystną tendencję wzrostową w dziedzinie wykorzystywania popiołów lotnych. Jeżeli jeszcze udoskonali się badania w dziedzinie składu surowcowego popiołów, doprowadzając do większej tolerancji na rozbieżności w składzie ilościowo-jakościowym surowca, a także poszerzy się ofertę surowcową o inne produkty uboczne spalania węgla (żużle, mieszanki popiołowo-żużlowe, popioły z kotłów fluidalnych), to wówczas nasza oferta wykorzystania tych odpadów stanie się niezwykle bogata. Duże nadzieje można wiązać z produkcją geopolimerów, która wydaje się sprzyjać elastycznym rozwiązaniom, a dzięki bogatej gamie różnych właściwości otwiera pole do działania technologii przyszłości.

Literatura

1. Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A.: Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgli w Polsce. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, z.1. 2005,21, str.23-42.
2. Rosik-Dulewska Cz.: Podstawy gospodarki odpadami, PWN Warszawa 2005.
3. Grzeszczyk S., Lipowski G., Popioły lotne i ich wpływ na reologię i hydratację cementów, wyd. Pol. Opolska, Opole 2002.
4. Ahmaruzzaman M.: A review on the utilization of fly ash. Progress in Energy and Combustion Science, 2010, 36, str. 327-363.
5. Davidovits J.: Inorganic polymeric new materials. Journal of Thermal Analysis, 1991, 37, str.1633-1656.
6. Komnitsas K., Zaharaki D.: Geopolymerisation; A review and prospects for the minerals industry. Minerals Engineering, 2007, 20, iss.14, str.1261-1277.
7. Duxson P. et al.: Geopolymer technology: the current state of the art. Journal of Material Science, 2007, 42, str.2917-2933.
8. Jarosiński A., Żelazny S., Madejska L.: Research on preparation of geopolymers from fly ashes. 15th Conference on Environment and Mineral Processing, VSB Ostrava 8-10.06.2011, str.385-388.
9. Madejska L., et al.: Properties of geopolymer binder obtained from fly ash. Czasopismo Techniczne. Wyd. Politechniki Krakowskiej, 2011, iss.8,str. 113-118.

Dostępne i przyjazne środowisku metody przeróbki wtórnych materiałów cynkonośnych

Andrzej Jarosiński – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, PAN, **Sylwester Żelazny** – Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Krakowskiej

– Wstęp

Nowoczesne procesy technologiczne powinny uwzględniać zintegrowaną strategię zapobiegania zanieczyszczenia środowiska naturalnego również w odniesieniu do procesów pozyskiwania koncentratów surowców mineralnych, ich przetwarzania oraz stosowania produktu finalnego. Cel ten można osiągnąć poprzez usprawnienie technologii oraz rozwiązywanie problemów ekologicznych. Rozwiązaniu temu nie sprzyja powiększająca się dysproporcja pomiędzy rosnącym zapotrzebowaniem na surowce mineralne, a ograniczonymi możliwościami ich pozyskiwania bez degradacji środowiska. Podejmowane działania techniczno-organizacyjne dotyczące tych zagadnień stanowią jeden z zasadniczych elementów umożliwiający zrównoważony rozwój. Z tych też względów na rynku poszukiwane są wysokojakościowe koncentraty, w tym koncentraty metali nieżelaznych. Pozyskiwanie takich koncentratów powinno uwzględniać kompleksowe wykorzystanie surowców oraz ochronę środowiska.

Według raportu DG Enterprise & Industry UE z czerwca 2007 należy podjąć kroki zmierzające między innymi do poszukiwania, innowacyjnych technologii i nowych rozwiązań aparaturowych i organizacyjnych, które pozwalają na poprawę efektywności przeróbki surowców mineralnych.

Taki tok postępowania jest zgodny z komunikatem Komisji z dnia 26 stycznia 2011 roku nt .”Europa efektywnie korzystająca z zasobów-inicjatywa przewodnia strategii „Europa 2020”(KOM(2011)21).

Osiągnięcie tego celu jest możliwe poprzez wdrażanie innowacyjnych i przyjaznych środowisku metod opierających się na zrównoważonej produkcji i konsumpcji mineralnych surowców cynkonośnych.

W niniejszej pracy Autorzy skoncentrowali się na takich zagadnieniach, jak:

- sposoby pozyskiwania wysokojakościowych koncentratów sfalerytowych oraz wykorzystanie nagromadzonych odpadów flotacyjnych do pozyskiwania kolektywnych koncentratów sfalerytowo-galenowych,
- metody przetwarzania koncentratów sfalerytowych oraz wtórnych materiałów cynkonośnych w procesach metalurgicznych.

2. Pozyskiwanie koncentratów cynkowych w warunkach krajowych

Źródłem cynku w kraju są stratoidalne złoża siarczkowych rud Zn-Pb w dolomitach triasowych Zagłębia Śląsko-Krakowskiego o zasobach bilansowych 90,42 mln. ton rudy (3,93 mln ton Zn) (tabela 1.)

Złoża rud Zn-Pb i rud Zn występujących w rejonie Śląsko-Krakowskim na 31.12.2009 [mln t] [2]

Tabela 1

Rodzaj rudy	Rejon	Źródło	
		udokumentowane	prognozowane
Siarczkowe rudy Zn-Pb	Olkuski	38,57	45,8-51,8
	Zawierciański	51,83	14,80
Całkowita ilość		90,40	60,60-66,60
Tlenkowe rudy Zn	Śląsko-Krakowski		51,19 (w złożach)
			9,64 (na hałdach górniczych)
Całkowita ilość rud tlenkowych			60,83
Sumaryczna ilość		90,40	121,43-127,43

Oprócz cynku i ołowiu złoża te zawierają metale towarzyszące. Ilość tych metali szacuje się na 1030 ton srebra i 15 780 ton kadmu. Zarówno w kraju, jak i w krajach UE obserwuje się tendencję wyczerpywania się złóż rud cynku (przykładowo – Irlandia, Szwecja, Polska). Z krajów europejskich tylko w Rosji wzrosła podaż cynku w koncentratach. Należy zaznaczyć, że rudy Zn-Pb należą do ubogich i trudno wzbogacanych.

Struktura pozyskiwania koncentratów cynkonośnych [1]

Tabela 2

Rok	2004	2005	2006	2007	2008
Koncentraty:[tys.t Zn]	140,3	135,6	126,6	129,6	132,4
Tlenkowy*	9,7	9,2	10,5	18,9	22,2
Siarczkowy**	130,6	126,4	116,1	110,7	110,2
ZGH „Bolesław”	86,0	85,0	82,0	80,3	77,5
ZG. „Trzebionka”	44,6	41,4	34,1	30,4	32,7

** wyłącznie z materiałów odpadowych, ** koncentraty selektywne i kolektywne*

Do roku 2009 przerabiano 3092, 3 tys. ton rud z czego w 2009 r. przypadało 79,8% na kopalnię Olkusz-Pomorzany, a 20,2% na ZG.: „Trzebionka”S.A. Aktualnie jedynym czynnym zakładem górniczym rud Zn-Pb jest kopalnia „Olkusz-Pomorzany”. Strukturę krajowej gospodarki koncentratami cynku podano w tabeli 2. Z przedstawionych danych w tej tabeli wynika, że wyraźnie wzrasta udział wykorzystania wtórnych materiałów cynkonośnych. Szacuje się,

że do 20% wytwarzanego cynku pochodzi z wtórnych źródeł. W krajach UE udział ten wynosi 30-40%, natomiast w USA nawet 62%. Jednakże w przypadku USA należy uwzględnić poprawkę, wynikającą z dużego importu cynku, wówczas udział wtórnych materiałów cynkonośnych kształtuje się na poziomie 28%.

W tabeli 3 podano bilans gospodarki koncentratami cynkowymi w Polsce.

Bilans krajowej gospodarki koncentratami cynku w 2009 roku [tys. t Zn] [1]

Tabela 3

Zużycie	165,6
Produkcja	115,5
Import	77,4
Eksport	27,3

Z danych powyższych wynika, że udział importu w gospodarce koncentratami cynkowymi jest znaczny. Polska importuje koncentraty cynku głównie z takich krajów, jak: Australia (37,6 mln ton), Kanada (24,8), Wielka Brytania (17,4), Niemcy (14), Peru (10,9) i Rumunia (10,2). Koncentraty cynku i ołowiu są eksportowane do Bułgarii (25 tys.ton), Chin (11,0), Niemiec (5,1) oraz Rosji (1,0).

Średnia zawartość cynku zarówno w rudach pochodzących z ZG „Trzebionka" S.A. i ZGH. „Bolesław" S.A. ulega systematycznemu zmniejszeniu. Spadek ten wynosił dla rud pochodzących ZGH. „Bolesław" S.A. od 4,0-4,2 % Zn do 3,7-3,9% Zn. Dlatego też w strategii tego Zakładu jest zagospodarowanie złóż w okolicach Olkusza (Klucze, Laski) i korzystania z koncentratów pochodzących z Czarnogóry i Ukrainy. Według danych [4] za perspektywiczne złoża należy uważać złoża Laski, „Gołuchowice" i Zawiercie. Zasoby cynku w złożu „Zawiercie I" ocenia się na 1 mln. ton przy średniej zawartości 5,9% Zn i 2,2% Pb. Zasoby surowcowe w niektórych złożach Zagłębia Śląsko-Krakowskiego ilustruje tabela 4.

Stan zasobów rud Zn-Pb w Zagłębiu Śląsko-Krakowskim [7]

Tabela 4

Złoże	Wielkość zasobów [mln t]	Zawartość [%]		Zasoby cynku [tys. t Zn]	Zasoby ołowiu [tys. t Pb]
		Zn	Pb		
Pomorzany	≈ 13,0	3,93	1,29	507,5	166,6
Olkusz	3,2	3,72	0,59	119,9	19,0
Klucze I	1,3	3,99	1,21	52	15,7
Laski	5,9	3,33	0,5	19,5	29,6

W tabeli 5 podano skład chemiczny produktów wzbogacania rud Zn-Pb w ZGH „Bolesław"S.A.

Zawartość niektórych składników w nadawie i w produktach wzbogacania rudy Zn-Pb w ZGH „Bolesław"S.A. [%]* [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 5

Lp.	Oznaczenie	Nadawa do flotacji	Galena	Kamień dolomitowy	Blenda flotacyjna	Koncentrat kolektywny	Odpady flotacyjne
1	Zn	4,420	2,240	0,4200	55,37	48,470	0,890
2	Pb	1,440	64,480	0,0900	1,61	10,400	0,620
3	ZnO	0,300	0,060	0,1300	0,48	0,350	0,380
4	Fe	10,000	8,380	1,2200	4,69	4,370	8,530
5	CaO	22,100	0,770	36,3000	2,07	0,620	25,700
6	MgO	11,000	0,330	15,1000	1,03	0,550	10,800
7	S_c	11,600	18,800	0,7000	31,88	28,600	8,500
8	S_s	10,800	18,400	0,5600	31,42	28,200	8,230
9	Cl	0,030	0,018	0,200	0,15	0,100	0,020
10	Cd	0,037	0,017	0,0050	0,28	0,240	0,010
11	Cu	0,001	0,003	0,0006	0,04	0,025	0,004
12	SiO_2	8,550	0,320	0,8800	0,45	0,530	9,950

** według danych z ZGH „Bolesław" S.A.*

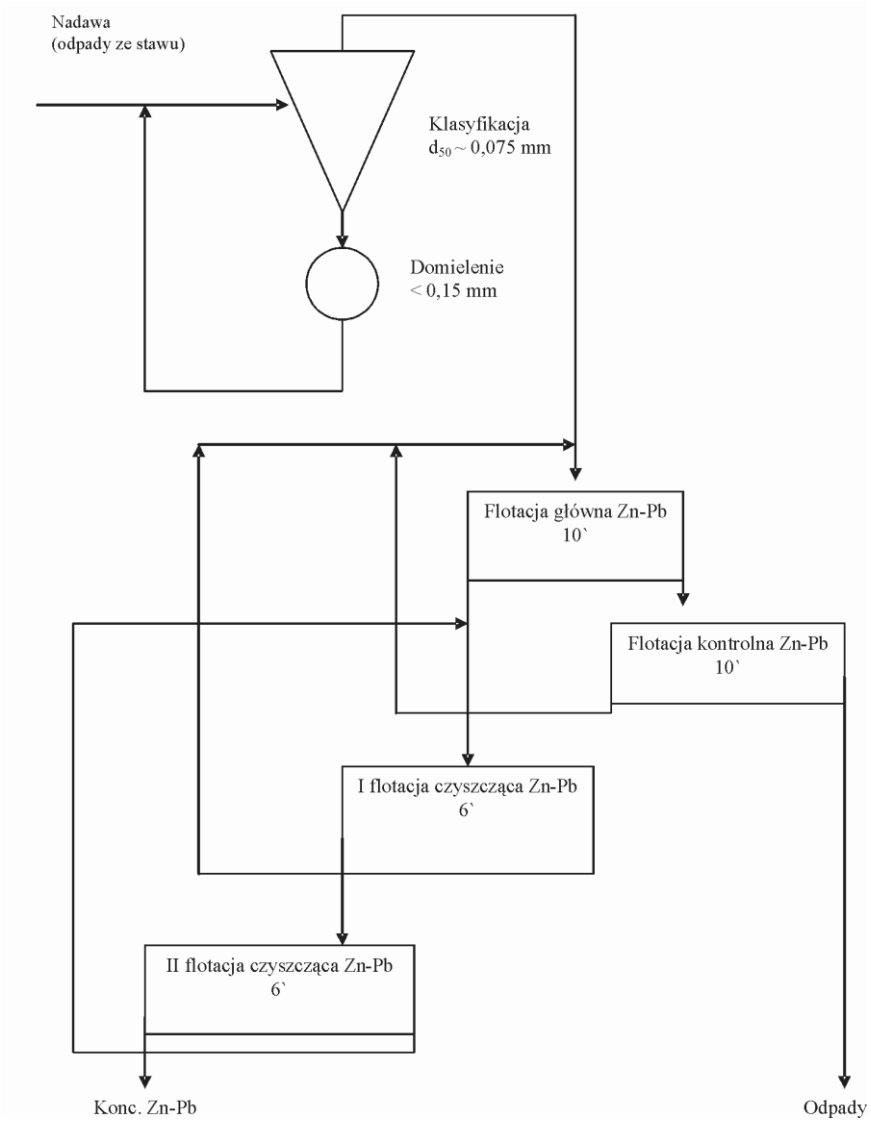
Za dodatkowe źródło cynku można zaliczyć wcześniej nagromadzone odpady flotacyjne, których na składowiskach jest 99 mln ton w przeliczeniu na suchą masę i o średniej zawartości 1,39%Zn i 0,60% Pb (tabela 6).

Masa odpadów flotacyjnych pochodzących z przeróbki rud Zn-Pb w kraju [mln. t] [6]

Tabela 6

Rejon występowania	Miejsce wytwarzania	Powierzchnia [ha]	Zasoby [mln t w.s.]	Zawartość [%] Zn	Pb
Bytomski	WPM „Orzeł Biały"	37,0	3,7	5,10	0,80
	WPM" Nowy Dwór"	46,0	9,5	2,30	0,50
		35,0	5,8	2,50	0,70
	WPM „Marchlewski"	118,0	19,0	2,91	0,62
Bolesławsko -olkuski	WPM „Bolesław" i WPM „Olkusz-Pomorzany"	100	50,0	1,10	0,65
Chrzanowsko -trzebiński	ZG „Trzebionka"	64,0	30,0	0,90	0,50
Razem		282,0	99,0	1,39	0,60

Należy wyraźnie zaznaczyć, że tego typu materiału zalicza się do trudno wzbogacanych, ze względu na duży udział minerałów cynku i ołowiu w postaci utlenionej. Im wyższy stopień utlenienia siarczkowych minerałów cynku i ołowiu, tym niższy uzysk flotacji. W Instytucie Metali Nieżelaznych wraz z ZGH „Bolesław" S.A. opracowano i zweryfikowano koncepcję pozyskiwania koncentratów kolektywnych, a więc do otrzymywania cynku i ołowiu na drodze pirometalurgicznej. Przykładowo na rysunku 1 zamieszczono schemat odzysku cynku i ołowiu na drodze flotacji.



Rys.1. Schemat odzysku cynku i ołowiu z odpadów flotacyjnych pochodzących ze stawu nr 4 ZGH „Bolesław" S.A. z wykorzystaniem maszyn flotacyjnych [6]

W tabeli 7 podano bilans materiałowy tego procesu.

Bilans materiałowy wzbogacania odpadów flotacyjnych z wybranych stref stawu osadowego nr 4, z zastosowaniem maszyn flotacyjnych typu IF [6]

Tabela 7

Strefa stawu osadowego	Produkt	Wychód %	Zawartość, %			Uzysk, %		
			Zn	Pb	Fe	Zn	Pb	Fe
Strefa I	Nadawa	100,00	1,31	0,85	9,82	100,00	100,00	100,00
	K Zn-Pb	1,30	49,31	7,58	6,56	48,97	11,56	0,87
	Odpady	98,70	0,68	0,77	9,86	51,03	88,44	99,13
Strefa II	Nadawa	100,00	1,19	1,18	10,71	100,00	100,00	100,00
	K Zn-Pb	1,21	47,27	12,16	5,53	48,03	12,51	0,52
	Odpady	98,79	0,63	1,04	10,78	51,97	87,49	99,48
Strefa III	Nadawa	100,00	1,58	0,97	10,30	100,00	100,00	100,00
	K Zn-Pb	1,61	51,40	7,01	5,42	52,52	11,65	0,85
	Odpady	98,39	0,76	0,87	10,38	47,48	88,35	99,15
Strefa IV	Nadawa	100,00	1,65	0,94	9,83	100,00	100,00	100,00
	K Zn-Pb	1,77	51,73	5,20	6,16	55,50	9,79	1,11
	Odpady	98,23	0,75	0,86	9,90	44,50	90,21	98,89
Strefa V	Nadawa	100,00	1,15	0,89	10,20	100,00	100,00	100,00
	K Zn-Pb	1,14	46,71	8,67	7,78	46,28	11,10	0,87
	Odpady	98,86	0,62	0,80	10,23	63,72	88,90	99,13

3. Wzbogacanie ogniowe

Od kilku lat zaniechano wzbogacania galmanów w piecach przewałowych, ponieważ proces ten nie znajduje ekonomicznego uzasadnienia. W kraju podaje się temu wzbogacaniu takie odpadowe materiały cynkonośne, jak pyły stalownicze, szlamy i odpady z procesów technologicznych wytwarzania cynku metalicznego i zużyte baterie cynkowo-węglowe oraz cynkowo-manganowe. Należy podkreślić, że istnieje zgodność co do tego, że najbardziej racjonalnym sposobem przeróbki tych pyłów jest wzbogacanie ogniowe w piecach zwanych Waelza. Przeróbka tych pyłów uwzględnia zarówno aspekty ekologiczne, jak i poprawę w zakresie recyklingu pyłów w procesach metalurgicznych. Uchodzi za pewnik, że metoda przeróbki wtórnych materiałów cynkonośnych jest bardziej efektywna niż metody przeróbki odpadów na drodze hydrometalurgicznej.

Ocenia się, że tylko w kraju ilość pyłów stalowniczych (EAF) wynosi od 70 000 do 100 000 ton w skali roku i ciągle wykazuje tendencję wzrostową. W przypadku stalowni elektrycznych ilość pyłów EAF wynosi 12-16 kg/t stali. Udział pyłów cynkonośnych pochodzących z wytopu stali w piecach elektrycznych ilustruje tabela 8.

Wymagania metalurgii stali są takie, aby materiały zawracane do procesów stalowniczych zawierały poniżej 0,4% Zn. W tabeli 9 podano skład chemiczny zarówno pyłów pochodzących ze stalowni konwertorowych (BOF) i stalowni elektrycznych (EAF).

Szacunkowy udział pyłów cynkonośnych pochodzących z wytopu stali w piecach elektrycznych [5]

Tabela 8

Rejon	Lata 1997 [t]	1997 [%]	2007 [t]	2007 [%]
Europa	670 000	22,66	730 000	19,7
USA	860 000	29,10	981 000	26,5
Japonia	420 000	14,20	443 000	12,0
Inne kraje zachodnie	1 007 000	34,00	1 548 000	41,8
Razem	2 957 000	100,00	3 702 000	100,0

Skład chemiczny pyłów stalowniczych pochodzących z procesu wytopu stali w konwertorach i w piecach elektrycznych [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 9

Rodzaj pyłu	Zn	Fe	Pb	Cd	CaO	MgO
Pyły(BOF)	9,27	49,70	0,24	-	7,62	2,70
Pyły(EAF)	19,40	24,60	4,50	0,100	0,56	2,00
Pyły(EAF)	21,57	30,01	3,98	0,074	3,09	2,76

Zasadniczą wadą tych odpadów cynkonośnych jest podwyższona zawartość chloru (0,5-3% Cl) i fluoru (0,05-0,1% F). W odpadach tych cynk występuje głównie w dwóch postaciach, a mianowicie w postaci ZnO i $ZnFe_2O_4$. Przeróbka tego spinelu cynkowego jest możliwa praktycznie w procesach wzbogacania ogniowego.

W krajowych zakładach wytwarzających cynk metaliczny powstają różne materiały odpadowe, przede wszystkim szlamy pochodzące z ługowania prażonych koncentratów cynkowych. Ocenia się, że w ZGH „Bolesław" S.A. powstaje 50 000 t szlamów w skali roku, natomiast w HMN „Szopienice" ilość ta wynosi 14 000 t/rok. Ponadto około 150 000 t tych szlamów jest składowana w HMN „Szopienice". Skład chemiczny szlamów cynkonośnych pochodzących z krajowych wytwórni cynku metalicznego zamieszczono w tabeli 10.

Skład chemiczny szlamów cynkonośnych* [opracowanie własne]

Tabela 10

Pochodzenie materiału	Zawartość [%]											
	Zn	Pb	Cd	Fe	S	As	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	Cl	F
ZGH „Bolesław”	18,55	6,78	0,28	21,26	8,49	0,25	6,06	1,31	3,22	0,36	0,0032	0,002
HMN „Szopienice”	19,95	7,75	0,26	21,57	9,51	0,23	2,84	0,43	3,37	0,85	0,0260	0,002
Nisso Smelting	22,00	3,40	0,28	28,70	5,50	-	-	-	-	-	-	-

Źródło ZGH „Bolesław” S.A.

Dla celów porównawczych w tabeli 10 podano skład wtórnego materiału pochodzącego z firmy Nisso-Smelting.

W ostatnim dwudziestoleciu uruchomiono nowe lub zmodyfikowano stare instalacje w takich krajach, jak USA, Niemcy, Francja, Japonia, Włochy, Polska, Rosja i inne.

Wsadem w procesie przewałowym jest wtórny materiał cynkonośny i koksik z dodatkiem topników. Proces prowadzi się w piecach przewałowych (obrotowych) najczęściej o długości 40-60 m w temperaturze 1200°C. Zużycie koksiku wynosi 160-380 kg/t cynku przy uzysku cynku 85-95%. Głównym produktem jest tzw. surowy tlenek cynku zawierający przeciętnie 50-60% Zn. Skład chemiczny omawianego produktu zależy od rodzaju użytego wtórnego materiału cynkonośnego oraz warunków techniczno-technologicznych. Przeciętny skład chemiczny surowego tlenku cynku tzw. tlenku Waelza w zależności od materiału wyjściowego ilustruje tabela 11.

Przeciętny skład chemiczny surowego tlenku cynku w zależności od stosowanego wtórnego materiału cynkonośnego [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 11

Rodzaj materiału wtórnego	Zawartość wybranych składników w surowym tlenku cynku z procesu Waelza [%]										
	Zn	Pb	Fe	SiO_2	MgO	CaO	S	Cl	Cd	As	Sb
Pyły (EAF)	56,54	10,21	2,14	0,18	0,64	2,48	0,09	7,96	0,33	0,18	0,010
Szlamy	49,98	18,70	3,80	1,06	0,39	2,44	3,28	1,39	0,89	0,29	0,001

W nowych koncepcjach ogniowego wzbogacania dąży się do zmniejszenia energochłonności procesu oraz zmniejszenia emisji ditlenku wegla. Pionie- rem w tym zakresie jest firma B.U.S.(Zinkrecykling) w Niemczech, która w niedługim przedziale czasowym kilkakrotnie zmodyfikował proces Waelza.

Przykładowo zastosowanie mieszalników Eiricha do aglomeracji wsadu pozwoliło na wzrost wydajności o około 20%. Kolejna modyfikacja sprowadza się nie tylko do usprawnienia procesu aglomeracji, ale przede wszystkim do

poprawy bilansu cieplnego pieca. Zmniejszenie zużycia koksu i poprawę bilansu uzyskuje się w wyniku reoksydacji metalicznego żelaza w strefie końcowej pieca przewałowego. Wdrożenie tej metody zwanej SDHL pozwoliło dodatkowo na zwiększenie uzysku cynku.

W tabeli 12 zamieszczono przykłady instalacji pracujących w ramach firmy B.U.S. Group.

Zakłady przerabiające pyły metalurgiczne w ramach firmy B.U.S. Group [3]

Tabela 12

Firma	Kraj	Ilość przetwarzanych odpadów [t/rok]
BUS Metall Duisburg	Niemcy	105 000
BUS Zinkrecycling Freiberg	Niemcy	220 000
BUS Scan Dust Landkrona	Hiszpania	55 000
Fouquieres-Lez-Lens	Francja	125 000
BUS VALERIA Grareliner	Francja	65 000

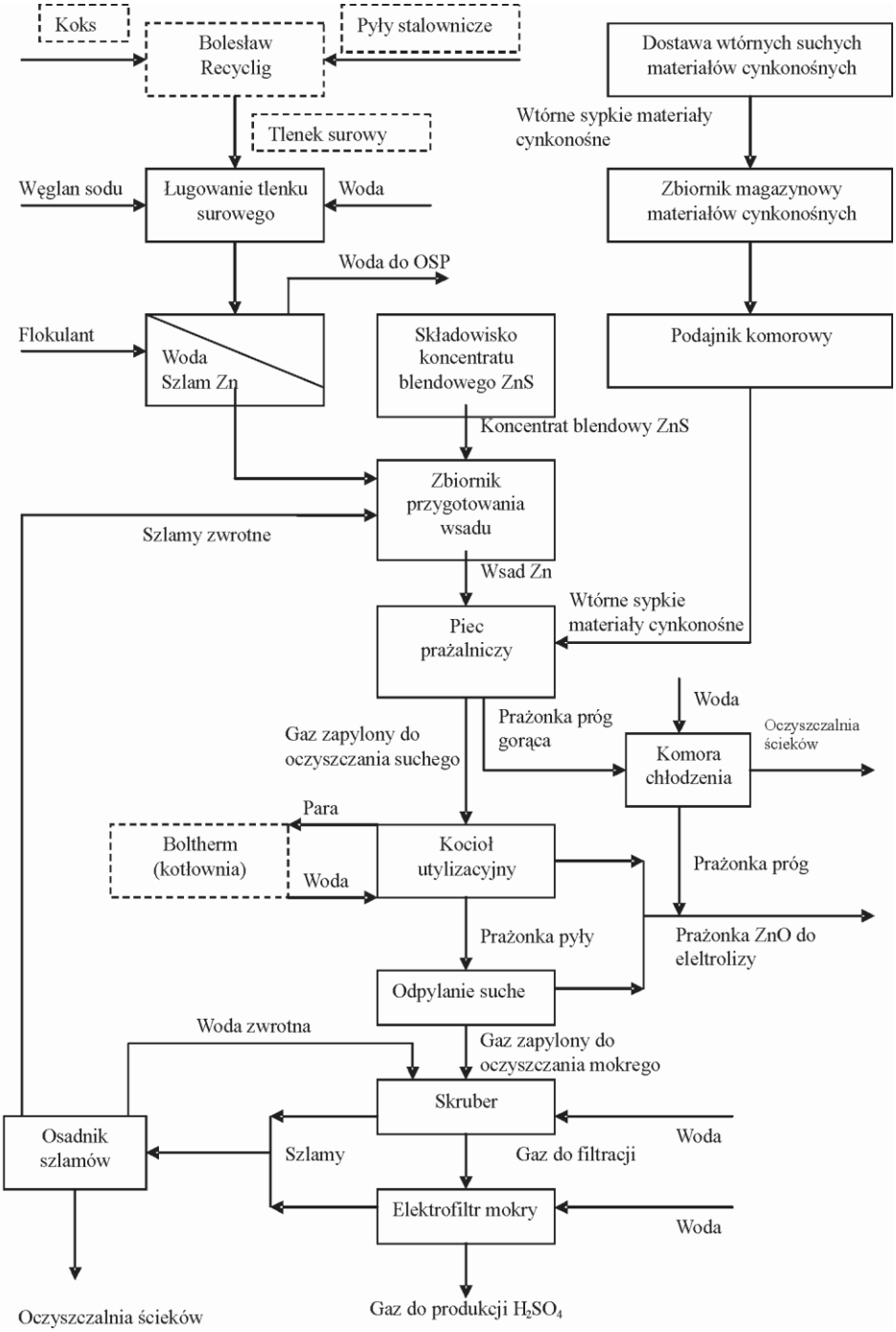
Następna tabela 13 przedstawia parametry niektórych rozwiązań technologicznych procesu przewałowego.

Parametry procesu przewałowego we Freiburgu związane z jego modyfikacją [5]

Tabela 13

Wskaźnik	Proces standardowy	Proces - wsad granulowany	Proces -SDHL
Przewał [t/dobę]	146	165-170	200-210
Odzysk cynku [%]	84,0	86,0	91-93
Zużycie cynku [kg/t Zn]	380	270	160-170
Zużycie metanu [Nm^3/h]	180	180	0

Reasumując można stwierdzić, że udział wtórnych materiałów cynkonośnych w procesach wytwarzania cynku metalicznego, ulega systematycznemu wzrostowi i przyczynia się do poprawy wskaźników techniczno-ekonomicznych wytwarzania cynku i poprawy w zakresie ochrony środowiska. Podsumowaniem niech będzie schemat ideowy kompleksowej przeróbki koncentratów sfalerytowych wraz z wtórnymi materiałami cynkonośnymi w procesie hydrometalurgicznego otrzymywania cynku metalicznego (rys. 2).



Rys.2. Schemat ideowy kompleksowej przeróbki koncentratów sfalerytowych z jednoczesną przeróbką wtórnych materiałów cynkonośnych w warunkach krajowych

4. Podsumowanie

Zarówno w kraju, jak i zagranicą, produkcja cynku opiera się na metodach pirometalurgicznej oraz kombinowanej, polegającej na przygotowaniu surowca cynkonośnego do procesu ługowania, zwanej często w uproszczeniu metodą hydrometalurgiczną. W świecie, cynk metaliczny otrzymuje się głównie metodą hydrometalurgiczną, w której wykorzystuje się koncentraty selektywne, jak i wtórne materiały cynkonośne. Również w Polsce udział tej metody w wytwarzaniu cynku metalicznego jest większy niż w przypadku technologii pirometalurgicznej.

W krajach UE, w tym w Polsce, obserwuje się powiększającą się dysproporcję pomiędzy zapotrzebowaniem na surowce cynkonośne, a możliwościami ich pozyskiwania. Dlatego w krajach tych podjęto działania zmierzające do wzrostu efektywności wykorzystania surowców cynkonośnych poprzez poprawę wskaźników techniczno-ekonomicznych w obszarze produkcji cynku oraz wzrostu udziału wtórnych materiałów cynkonośnych w procesach technologicznych. Taki tok postępowania przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa dostaw surowców potrzebnych do prawidłowego rozwoju sektora wytwarzania cynku w krajach UE.

Na uwagę zasługuje fakt, że pozyskiwane koncentraty sfalerytowe w ZG. „Trzebionka" S.A. należały do najlepszych w świecie pod względem jakości pomimo, że otrzymywano je z ubogich rud Zn-Pb. Ponadto podejmuje się działania zmierzające do kompleksowej przeróbki tych rud.

W Polsce opracowano i zweryfikowano proces pozyskiwania dodatkowo koncentratów kolektywnych z jednoczesnym zagospodarowaniem wcześniej nagromadzonych odpadów flotacyjnych. Wykorzystanie antropogennych złóż wtórnych jest zrozumiałe, zarówno w aspekcie racjonalnej gospodarki surowcami cynkonośnymi, jak i ochrony środowiska.

W ostatnim okresie zauważono w kraju istotny wzrost zagospodarowania wtórnych materiałów cynkonośnych. Wiąże się to z wykorzystaniem instalacji procesu przewałowego do przetwarzania odpadów cynkonośnych na surowy tlenek cynku, co także przyczynia się do poprawy bazy surowcowej z jednoczesnym utrzymaniem standardów ochrony środowiska.

Literatura

1. Bilans Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polski i Świata 2004-2008, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Pracownia Polityki Surowcowej, PAN Kraków 2010.
2. Gawlik L., Mokrzycki E.: Mineral Raw materials of Poland-resource aspect, Sustainable production and consumption of mineral resources, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2011,13-39.

3. Jaeger O.: EAFD surowiec dla hutnictwa stali i cynku, Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych, Krynica 19-21 maja 2005, s 111-117.
4. Jarosiński A.: Aktualne i perspektywiczne kierunki przeróbki surowców cynkonośnych, Zrównoważona produkcja i konsumpcja surowców mineralnych, wyd. Wyd. IGSMiE PAN 2011,53-62.
5. Kucharski M.: Recykling metali nieżelaznych, wyd. AGH, Kraków 2010.
6. Śmieszek Z., Cichy K., Wieniewski A., Reguła C., Ochab B.: Odpady flotacyjne jako potencjalne źródło zasobów surowcowych na przykładzie rud Zn-Pb, Przegląd Górniczy 10, 79-87, 2011.
7. Wnuk R., Retman W., Walczak K., Piątek G., Adamczyk Z., Kubański W.: Prognoza przyrostu zasobów niektórych złóż rud siarczkowych rejonu olkuskiego (z uwzględnieniem stanu zasobu rud tlenkowych) w aspekcie ich potencjalnego zagospodarowania, Materiały konferencyjne „Górnictwo cynku i ołowiu na początku XXI wieku, ZGH „Bolesław" S.A. 23.11.2007, str. 1-20.

ROZDZIAŁ 2

NOWE ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE MASZYN PRZERÓBCZYCH

Możliwości poprawy parametrów jakościowych i ilościowych produktów w węźle wzbogacania osadzarkowego

Piotr Matusiak, Daniel Kowol - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Poprawna praca osadzarkowego węzła wzbogacania jest zależna od wielu czynników, a w szczególności od właściwego doboru urządzeń współpracujących. Źle dobrane urządzenia powodują nieefektywną pracę, a w następstwie nieuzyskiwanie jakości zakładanych parametrów produktów, takich jak procentowa ilość strat substancji palnej w odpadach, zawartość substancji balastowych (popiół) oraz szkodliwych (związki siarki w koncentracie).

Istnieje wiele metod uzyskania właściwych parametrów jakościowych i ilościowych produktów wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych.

Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- równomierność rozprowadzania ilościowego nadawy na powierzchni urządzenia zasilającego osadzarkę,
- właściwy dobór i poprawność działania urządzenia odbioru produktów wzbogacania,
- poprawność działania w stosunku do zmian układu sterowania osadzarką,
- dostosowanie wydajności przenośników kubełkowych w zależności od chwilowego obciążenia,
- właściwy dobór parametrów konstrukcyjnych pokładu sitowego osadzarki.

2. Metody poprawy parametrów jakościowych i ilościowych

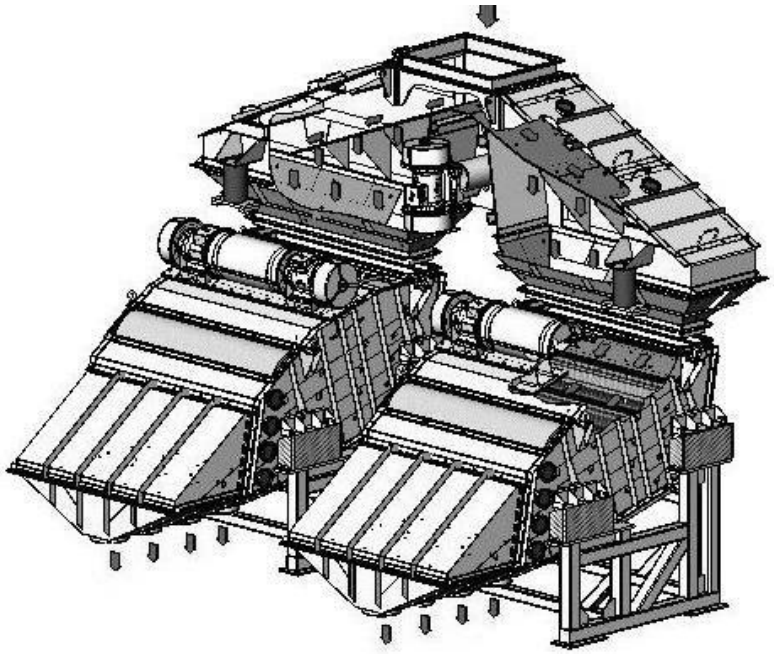
2.1. Wprowadzenie nadawy

Jednym z podstawowych wymogów procesu wzbogacania, prawidłowo realizowanego sposobu rozwarstwiania materiału oraz odprowadzania produktów rozwarstwionego łoża, jest równomierne zasilanie nadawą osadzarki pulsacyjnej. Zakłócenia na tym etapie powodują nierównomierne obciążenie powierzchni roboczej, co skutkuje zmniejszeniem efektywności wychodu koncentratu i półproduktu oraz stratami w produkcie odpadowym. Zwiększa się również prawdopodobieństwo występowania nieplanowanych przerw produkcyjnych na skutek nadmiernej kumulacji materiału uniemożliwiającej jego przemieszczanie.

Przeprowadzona analiza skuteczności urządzeń rozprowadzających materiał wykazała, że najbardziej niekorzystną dystrybucję uzyskuje się stosując

zsuwnie nadawcze z bocznym zasilaniem. Przy tego typu rozprowadzaniu materiał wprowadzany jest w postaci strug o różnej wysokości i prędkości, o sumarycznej szerokości, w najlepszym przypadku około 75% szerokości zsuwni na wylocie [9].

Największą skuteczność w rozprowadzaniu materiału uzyskuje się stosując urządzenia wibracyjne o szerokości odpowiadającej wymiarom koryta roboczego osadzarki przy kierunku zgodnym z przemieszczaniem nadawy. Najczęściej stosowanymi urządzeniami w osadzarkowych węzłach przygotowania nadawy są podajniki i przesiewacze wibracyjne. Przy zgodności kierunku przemieszczania z kierunkiem zasilania materiału, ruch wibracyjny pozwala na jego rozprowadzenie i otrzymanie na wejściu warstwy o jednakowej wysokości i prędkości transportowej. Jednopunktowy sposób zasilania węglem surowym przesiewacza wibracyjnego nie jest rozwiązaniem najkorzystniejszym dla procesu klasyfikacji wymiarowej materiału, gdyż powoduje nierównomierne rozprowadzenie ziaren na powierzchni sita.



Rys.1. Przekrój wibracyjnego rozdzielacza z centralnym zasilaniem i podwójnym wylotem [9]

Wprowadzenie materiału pod kątem prostym w stosunku do osi podłużnej przesiewacza, powoduje nierównomierny rozkład materiału na szerokości przesiewacza. Nie pomaga tu stosowanie dodatkowych elementów kierujących na zsuwni nadawczej. Podczas przemieszczania materiału wzdłuż powierzchni roboczej nie następuje jego uśrednienie. Różnice występujące na wlocie i na wylocie, a tym samym na szerokości zsuwni nadawczej koryta osadzarki.

W celu uzyskania poprawy jakości wprowadzania materiału na szerokości urządzeń w węźle osadzarkowego wzbogacania, należy zastosować podajniki wibracyjne z funkcją dystrybucji materiału. Podajniki tego typu (rys. 1) umożliwiają zmniejszenie długości urządzeń nadawczych.

2.2. Układy odbioru produktów wzbogacania

W rozwiązaniach konstrukcyjnych układów odbiorczych produktu dolnego osadzarek pulsacyjnych stosowane są różne metody odprowadzania ziaren frakcji ciężkich z powierzchni roboczej koryta. Wynikają one głównie z rozmiaru ziaren nadawy oraz przyjętych założeń projektowych w aspekcie kontroli procesu rozdziału lub przewidywanego obciążenia [8].

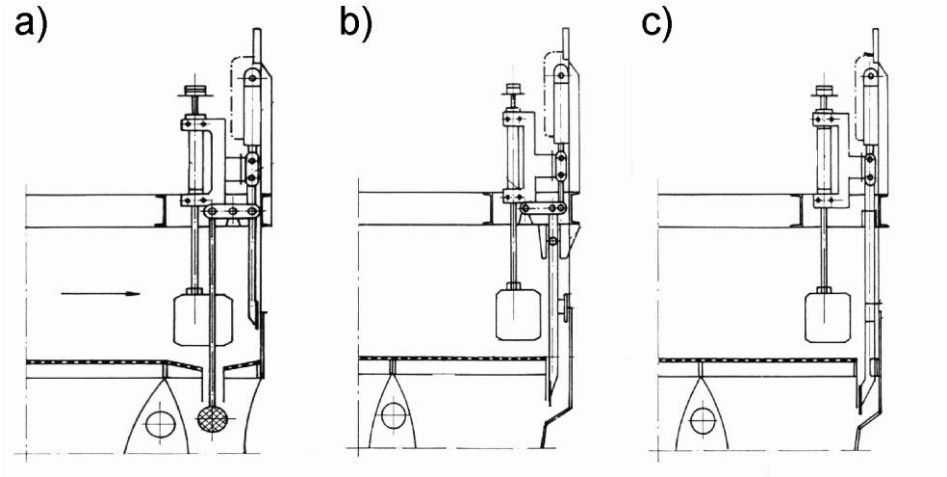
W osadzarkach miałowych OM, wzbogacających nadawy o uziarnieniu 20 (30) – 0,5 (0) mm, stosowane są przepusty rurowe typu „R" oraz zasuwowe typu „Z" (rys. 2). Ich wspólną cechą jest posiadanie kanału odbiorczego, dzięki któremu zwiększa się wysokość warstwy materiału nad szczeliną przepustu [5, 6].

W starszych konstrukcjach osadzarek miałowych stosowane są przepusty rurowe. Koryto przepustu typu „R", usytuowane przy progu przelewowym przedziału, wyposażone jest w sita symetrycznie nachylone w stronę kanału odbiorczego o przekroju prostokątnym. Elementem regulującym stopień otwarcia przepustu jest rura (lub kątownik) podwieszona na ruchomych cięgnach. Produkt ciężki odprowadzany jest z kanału odbiorczego poprzez dwie równoległe szczeliny, których powiększanie następuje poprzez obniżanie położenia elementu wykonawczego.

Powyższy sposób regulacji ilości odprowadzanego materiału pozwala utrzymywać jego stałą wysokość w kanale odbiorczym, co wpływa korzystnie na stabilizację prędkości przepływu strumienia pulsacyjnego wody w obszarze rozdzielczym łoża oraz na dokładność pomiaru gęstości warstwy. Takiego usytuowanie wyżej wymienionych elementów powoduje jednak znaczne uzależnienie parametrów pulsacji od stopnia otwarcia szczeliny przepustu [5, 6].

Przepusty typu „R" stosowane są również w nowych rozwiązaniach osadzarek miałowych typu KOMAG [5].

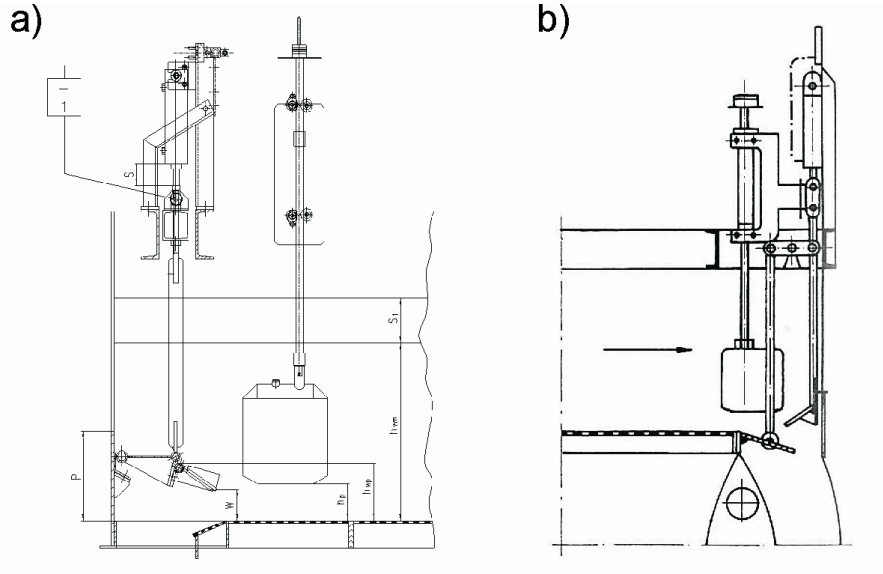
W układach odbioru produktu dolnego, w których stosowano przepusty zasuwowe, elementem wykonawczym była pionowa zasuwa tworząca otwór szczelinowy. Wymagało to szeregu zmian w konstrukcji osadzarek miałowych, w celu poprawy stabilności rozluzowania materiału w strefie przyprogowej. Zastąpiono dwustronne podsitowe komory pulsacyjne jednostronnymi (oddalonymi bardziej od progu i przepustu) i umiejscowiono kanał odbiorczy przepustu bezpośrednio przy płaszczyźnie progu, a czujnik pływakowy umieszczono nad powierzchnią sita.



Rys.2. Przepusty produktów w osadzarkach miałowych typu KOMAG [5, 7]:
a) rurowy, b) zasuwowy dźwigniowy, c) zasuwowy prostoliniowy

Przepusty zasuwowe można podzielić na dźwigniowe oraz prostoliniowe. W pierwszym z nich występował ruch obrotowy części elementów zespołu, natomiast w drugim ruch prostoliniowy [5, 6, 7].

W osadzarkach ziarnowych OZ (lub średnioziarnowych OS) odprowadzanie produktu dolnego podczas procesu wzbogacania nadaw węglowych o uziarnieniu 120 – 50 (20) mm (lub 50 (70) – 0,5 mm) odbywa się najczęściej przy wykorzystaniu przepustów klawiszowych (rys. 3).



Rys.3. Przepusty klawiszowe produktów w osadzarkach ziarnowych (a)
i średnioziarnowych (b) typu KOMAG [5, 7]

W odróżnieniu od rozwiązań stosowanych w osadzarkach miałowych nie posiadają one kanału odbiorczego, a materiał ciężki jest odprowadzany z przestrzeni roboczej poprzez szczelinę poziomą, umieszczoną na poziomie bliskim do powierzchni sit w korycie roboczym. Szczelina powstaje na skutek jednoczesnego obniżania klapy, będącej przedłużeniem pokładu sitowego, oraz podnoszenia progu ruchomego, wyposażonego w szereg uchylnych klawiszy. Klapy przepustu posiadają perforowane otwory dla zapewnienia przepływu strumienia pulsacyjnego wody w obszarze przyprogowym oraz redukcji jego prędkości w szczelinie odbiorczej, podczas odprowadzania materiału [5, 6].

W proponowanych rozwiązaniach uwzględniono uwarunkowania technologiczne, wynikające z dotychczasowych doświadczeń w stosowaniu osadzarek typu KOMAG. Stwierdzono występowanie zjawiska niestabilności obciążenia osadzarki nadawą, które powodują znaczne zmiany w ilości odprowadzanego produktu dolnego. Uzyskanie prawidłowego przebiegu procesu wzbogacania podczas występowania powyższych zmian wymaga, aby układy osadzarki, w tym odprowadzania, zapewniały ciągły odbiór produktów, odpowiedni do ilości dostarczonej nadawy. W nowych rozwiązaniach uwzględniono wpływ zmian prędkości przepływu pulsacyjnego wody w przestrzeni odbiorczej osadzarki na skuteczność rozdziału łoża na produkty wzbogacania.

2.3. Sterowanie przenośnikami kubełkowymi

Układ sterowania wydajnością przenośników kubełkowych, dostosowany do chwilowego obciążenia (rys. 4), umożliwia jego efektywną pracę. Wykorzystanie informacji przekazywanych przez czujniki stopnia napełnienia osadzarki, aktualnej wartości strumienia nadawy oraz czujników wagi taśmy nadawczej, stopnia otwarcia przepustów umożliwia, za pomocą przemiennika częstości, zmianę prędkości obrotowej silnika napędzającego przenośnik. Dodatkowo, przemiennik częstotliwości informuje o aktualnym obciążeniu przenośnika kubełkowego.

Rys.4. Schemat układu sterowania przenośnikiem kubełkowym [10]

Umożliwia to chwilowe przekraczanie wydajności nominalnej przenośnika o około 20%, w momencie, gdy węzeł jest przeciążony. Chwilowe zwiększenie wydajności przenośnika pozwala na szybsze „wyładowanie" produktu dolnego.

W przypadku, gdy ilość odpadów lub półproduktu jest mniejsza można zredukować jego prędkość, co wpływa na zwiększenie trwałości przenośnika i oszczędności energii (tabela 1).

Wpływ obciążenia przenośnika kubełkowego na zapotrzebowanie mocy i oszczędność energii [10]

Tabela 1

Lp.	Stopień wypełnienia kubełków [%]	Procent wykorzystania mocy nominalnej [%]	Oszczędność energii w stosunku do mocy nominalnej [%]
1	0	53,5	46,5
2	20	62,6	37,4
3	40	71,8	28,2
4	60	80,6	19,4
5	80	90,0	10,0
6	100	100,0	0,0

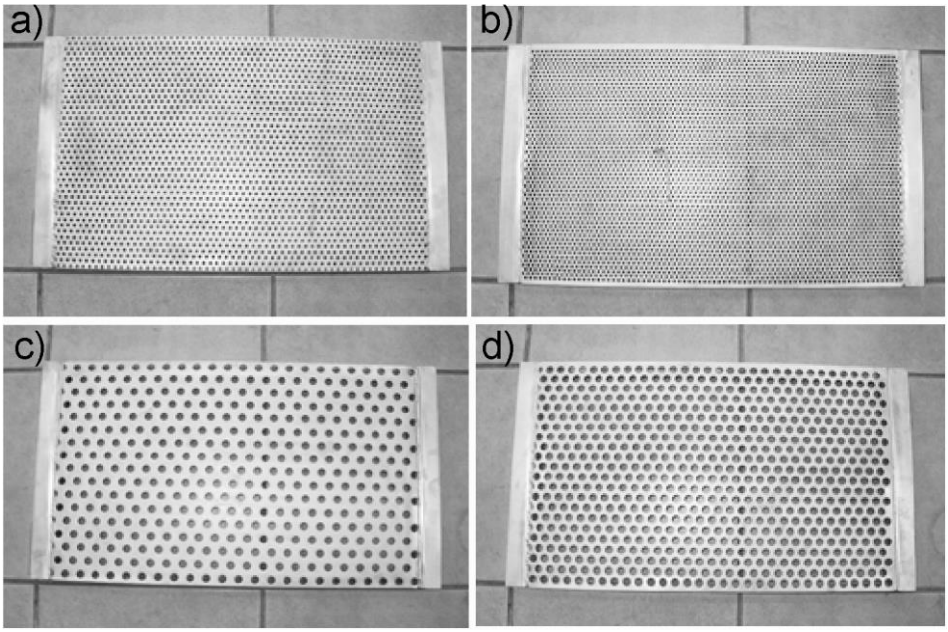
2.4. System sterowania osadzarką

Duży wpływ na jakość uzyskiwanego koncentratu oraz straty w węźle osadzarkowym może mieć właściwe sterowanie osadzarką. Nieprawidłowo dobrane parametry pulsacji, oraz nieprecyzyjny algorytm sterowania odbiorem produktów mogą skutkować nieefektywną pracą całego węzła osadzarkowego.

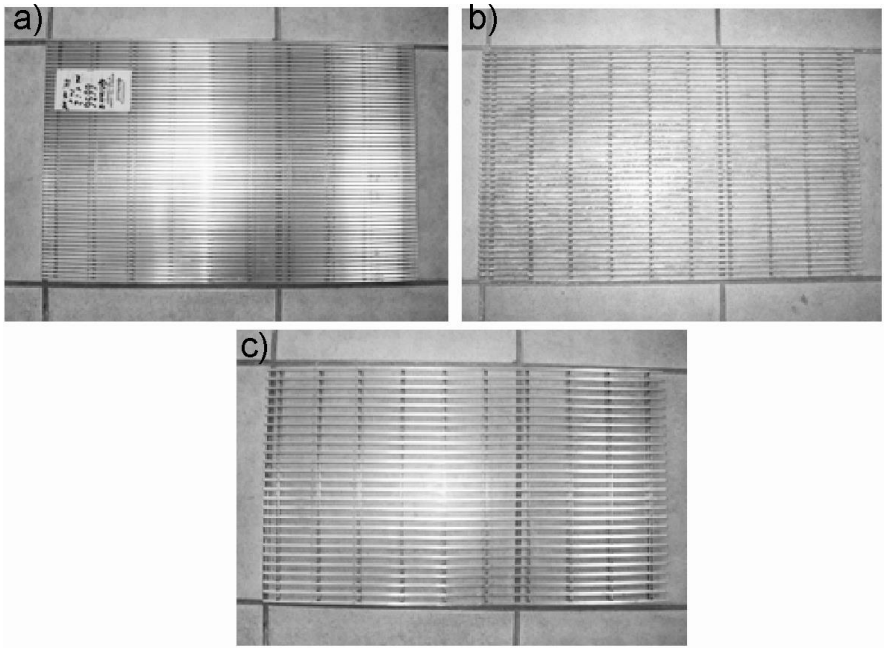
2.5. Pokład sitowy

Rodzaj zastosowanych sit wpływa na opory przepływu wody, co przekłada się bezpośrednio na jakość uzyskanego produktu oraz poniesione straty. Badania laboratoryjne skuteczności gęstościowego rozwarstwiania nadaw węglowych o zróżnicowanym składzie grawimetrycznym wykazały, że istnieje zależność pomiędzy oporami przepływu wody przez otwory sit, a charakterystyką ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce [4]. Dobór odpowiedniego typu sita (rys. 4 i 5) w komorze roboczej osadzarki pozwala na dostosowanie charakterystyki wzbogacanego materiału.

Najistotniejszym parametrem sit jest ich prześwit. Stosowanie sit o dużym prześwicie pozwala na bardziej skuteczny rozdział lekkich ziaren frakcji koncentratowej o gęstości <1,5 g/cm^3. Zmniejszanie prześwitu sit powoduje wzrost skuteczności rozdziału ziaren przerostowych o gęstości 1,5 – 1,8 g/cm^3 oraz obniżenie skuteczności rozdziału lżejszych od nich ziaren koncentratowych (tabela 2).



Rys.4. Sita perforowane o różnych wielkościach otworów i współczynnikach prześwitu [4]: *a) otwór Ø 4 prześwit 22,8%, b) otwór Ø 4 prześwit 40,4%, c) otwór Ø 10 prześwit 22,8%, d) otwór Ø 10 prześwit 40,4%*



Rys.5. Sita szczelinowe o różnych szerokościach szczeliny i współczynnikach prześwitu [4]: *a) szczelina 2 mm, prześwit 37%, b) szczelina 4 mm, prześwit 54%, c) szczelina 8 mm, prześwit 70%*

Zestawienie udziałów frakcji 1,5 g/cm^3 oraz 1,5-1,8 g/cm^3 w warstwie koncentratowej

Tabela 2

Warstwa		Otwory Ø 4 mm		Otwory Ø 10 mm	
		Współczynnik prześwitu [%]			
		22,8	40,4	22,8	40,4
Udziały frakcji < 1,5 g/cm^3	30 s	92,2	98	98	97,9
	45 s	94	100	98	98
	60 s	96	100	98	100
Udziały frakcji 1,5 - 1,8 g/cm^3	30 s	89,8	80,4	71,4	64,6
	45 s	90	82,1	73,5	64,6
	60 s	90	84,3	70,8	65,3

Wydłużenie czasu wzbogacania powoduje wzrost skuteczności rozdziału frakcji koncentratowych oraz obniżenie wychodu frakcji przerostowych. Zmniejszenie skuteczności rozdziału ziaren przerostowych, które nastąpiło po wydłużeniu czasu wzbogacania materiału wskazuje, że oprócz procesu gęstościowego rozdziału cząstek występuje również ich klasyfikacja wymiarowa.

Poprzez dobór parametrów konstrukcyjnych sita można również modyfikować krzywą pulsacji wody (zmiana oporu przepływu wody przez otwory/ szczeliny sit). Wraz ze wzrostem oporu przepływu przez sita (zmniejszenie prześwitu i wielkości otworów) zmniejszeniu ulega wartość skoku i prędkość strumienia wznoszącego wody, w czasie cyklu pulsacji, charakteryzującego się krótkimi fazami wznoszenia i podtrzymania oraz długą fazą opadania (tabela 3) [3, 4].

Fazy cyklu pulsacji w osadzarce

Tabela 3

Fazy pulsacji	Sita						
	Sita perforowane				Sita szczelinowe		
	Ø4 mm, prześwit 22,8 %	Ø4 mm prześwit 40,4 %	Ø10 mm prześwit 22,8 %	Ø10 mm prześwit 40,4 %	S=2mm, prześwit 37%,	S=4mm, prześwit 54%,	S=8mm, prześwit 70%,
Woda							
Wznoszenie	41,0	40,3	41,7	41,5	42,7	42,1	41,9
Podtrzymanie	26,3	29,7	26,9	27,0	28,1	27,4	28,1
Opadanie	32,7	30,0	31,4	31,5	29,2	30,5	30,0
Materiał							
Wznoszenie	40,7	41,0	40,1	41,3	40,2	40,4	41,3
Podtrzymanie	26,5	26,3	26,6	26,7	28,3	26,9	26,7
Opadanie	32,8	32,7	33,3	32,0	31,5	32,7	32,0

Kolejnym czynnikiem negatywnie wpływającym na proces wzbogacania grawitacyjnego jest niewłaściwy rozkład prędkości materiału wzdłuż łoża osadzarki. Wynika to ze zbyt małego nachylenia pokładu sitowego w pierwszym przedziale, oraz jego braku w przedziale drugim, bądź drugim i trzecim. Jest to szczególnie widoczne przy dużej wysokości progów przelewowych. Często niewielkie korekty nachylenia pokładów sitowych osadzarki (2-3 stopnie) znacznie poprawiają proces wzbogacania grawitacyjnego.

3. Podsumowanie

Wymienione w opracowaniu możliwości regulacji lub zmian konstrukcyjnych w węźle osadzarkowym stanowią część zagadnień związanych z dostosowaniem osadzarek do skutecznego procesu wzbogacania.

Niewłaściwe dobrane parametry pulsacji, źle dobrany układ odbioru produktu, czy niedostosowanie wydajności przenośników kubełkowych powodują zakłócenia w pracy całego węzła osadzarkowego. Modyfikacja pokładów sitowych wpływa na kształt krzywej pulsacji, co poprawia klasyfikację jakościową oraz wymiarową. Uzyskanie właściwego produktu handlowego o zadanych parametrach jakościowych oraz zminimalizowanie strat węgla w odpadach można osiągnąć dzięki zmianom konstrukcyjnym osadzarek, w tym układów doprowadzania powietrza roboczego (zaworów pulsacyjnych), zespołów odbioru produktów dolnych oraz udoskonalenia systemu sterowania.

Dla poprawy parametrów jakościowych i ilościowych produktów w węźle wzbogacania osadzarkowego nieodzowne jest dalsze prowadzenie prac badawczo-rozwojowych, w zakresie technologii i konstrukcji maszyn przeróbczych, których ostatecznym celem jest ich wdrożenie do warunków przemysłowych.

Literatura

1. Blaschke St.: Przeróbka mechaniczna kopalin. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1982.
2. Dietrych J.: Osadzarki. Państwowe Wydawnictwo Techniczne. Katowice 1953.
3. Zwiększenie skuteczności rozdziału w osadzarkach pulsacyjnych w oparciu o dobór parametrów konstrukcyjnych pokładu sitowego. Materiały nie publikowane ITG KOMAG 2008-2009.
4. Lenartowicz M., Kowol D., Łagódka M., Matusiak P.: Badania laboratoryjne wpływu parametrów pokładu sitowego na charakterystykę ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce pulsacyjnej. Gór. Geoinż. AGH 2009 nr 4 s. 169-175.
5. Kowol D., Lenartowicz M., Łagódka M.: Rozwiązania konstrukcyjne układów odprowadzania produktu dolnego w osadzarkach pulsacyjnych,

KOMEKO 2009, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbcze surowców mineralnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2009 s. 225-236.

6. Opracowanie metod poprawy i stabilizacji charakterystyki ilościowo-jakościowej produktów rozdziału we wzbogacalnikach pulsacyjnych z uwzględnieniem cienkowarstwowego wzbogacania i sterowania urządzeniami odbioru produktów. Materiały nie publikowane ITG KOMAG 2007.
7. Osoba M., Jędo A.: Wpływ modernizacji osadzarek na uzyskiwane parametry jakościowe produktów wzbogacania, KOMEKO 2000 "Produkcja surowców mineralnych z uwzględnieniem problemów ochrony środowiska", Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Szczyrk, 14 - 16 marca 2000 s. XIII 1-7.
8. Matusiak P., Kowol D., Jędo A.: Rozwój konstrukcji i technologii w osadzarkach pulsacyjnych typu Komag do wzbogacania węgla kamiennego i innych surowców mineralnych, KOMEKO 2011, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011 s. 73-86.
9. Intensyfikacja procesu wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych poprzez doskonalenie metod regulacji i sterowania. Materiały nie publikowane ITG KOMAG 2011.
10. System sterowania osadzarki pulsacyjnej. Materiały nie publikowane ITG KOMAG 2006-2011.

Badania rozkładu gęstościowego wzbogacanego materiału w strefie rozdziału/odbioru osadzarki pulsacyjnej

Daniel Kowol, Michał Łagódka - Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Wzbogacanie nadaw węglowych w osadzarkach pulsacyjnych jest procesem złożonym obejmującym zarówno rozwarstwianie gęstościowe materiału, jak i jego rozdział na produkty. Skuteczność działania osadzarek pulsacyjnych uzależniona jest zarówno od ich rozwiązań konstrukcyjnych, jak i dostosowania parametrów pracy do charakterystyki wzbogacanego materiału i wymogów jakościowych procesu produkcyjnego.

Prowadzone w ITG KOMAG prace badawcze dotyczące wzbogacania grawitacyjnego w osadzarkach pulsacyjnych, obejmujące proces rozdziału nadaw węglowych, pozwalają na stałe doskonalenie ich działania [1, 2, 3, 4, 5, 6].

W celu zwiększenia skuteczności procesu wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych realizowano w ITG KOMAG projekt badawczy w zakresie doskonalenia metod przygotowania nadawy oraz zwiększenia kontroli działania układu rozdziału/odbioru produktów wzbogacania. Projekt obejmował badania laboratoryjne wpływu uśredniania nadawy na skuteczność rozdziału oraz badania przemysłowe rozkładu gęstościowego łoża w strefie rozdziału/odbioru i dynamiki kształtowania się warstw gęstościowych na długości koryta roboczego osadzarki pulsacyjnej [7].

W niniejszym rozdziale zamieszczono wyniki badań zmian rozkładu gęstościowego wzbogacanego materiału (łoża) w strefie rozdziału/odbioru osadzarki [8].

2. Uwarunkowania procesowe

Badania prowadzono w węźle osadzarkowego wzbogacania, w którym eksploatowana jest dwukorytowa, średnioziarnowa osadzarka OS36 D3E przeznaczona do trójproduktowego wzbogacania materiału w klasie ziarnowej 60 (80) – 12 (0) mm.

Operacja odprowadzania produktów ciężkich w osadzarce OS36 D3E realizowana była w sześciu przedziałach. Usytuowane równolegle koryta posiadały wspólne zasilanie sprężonym powietrzem pulsacyjnym.

W każdym z przedziałów znajdował się automatycznie sterowany przepust produktu ciężkiego typu „K” (klawiszowego) oraz pływakowy układ pomiarowy położenia warstwy rozdzielczej. Pierwsze przedziały odpadowe, o pochyleniu pokładu sitowego wynoszącym około 6°, w odróżnieniu od pozostałych

posiadały ruchomy próg przelewowy, stanowiący integralną górną część przepustu. Próg ulegał podwyższeniu wraz z powiększeniem się szczelinowego otworu przepustu (i odwrotnie). Minimalna wysokość progu w stosunku do najniższego poziomu pokładu sitowego wynosiła około 20 cm i odpowiadała poziomowi sit na wlocie osadzarki. Zakres zmian wysokości progu ruchomego wynosił około 10 cm. W pozostałych przedziałach tj. drugich odpadowych i przerostowych zastosowano progi stałe, których wysokość wynosiła odpowiednio 40 cm i 60 cm. Elementy ruchome (klawisze) przepustów typu „K", podczas zmian otwarcia przemieszczały się w przeciwnych kierunkach, tworząc pionową szczelinę odbiorczą, usytuowaną na końcu pokładu sitowego. Poprzez szczelinę i sita klap przepustów przepływał strumień pulsacyjny wody, wypływający z ostatniej w przedziale podsitowej komory pulsacyjnej, zasilającej również drugą połowę przedziału, której długość wynosiła 1,5 m.

Przedstawiona charakterystyka osadzarki OS36D3E wpływała na zróżnicowanie procesu rozdziału wzbogacanego materiału w poszczególnych kolejnych przedziałach, ze względu na uzależnienie zagęszczenia ośrodka od wysokości progów dostosowanych do zróżnicowanych parametrów wzbogacanego materiału.

3. Metoda badań

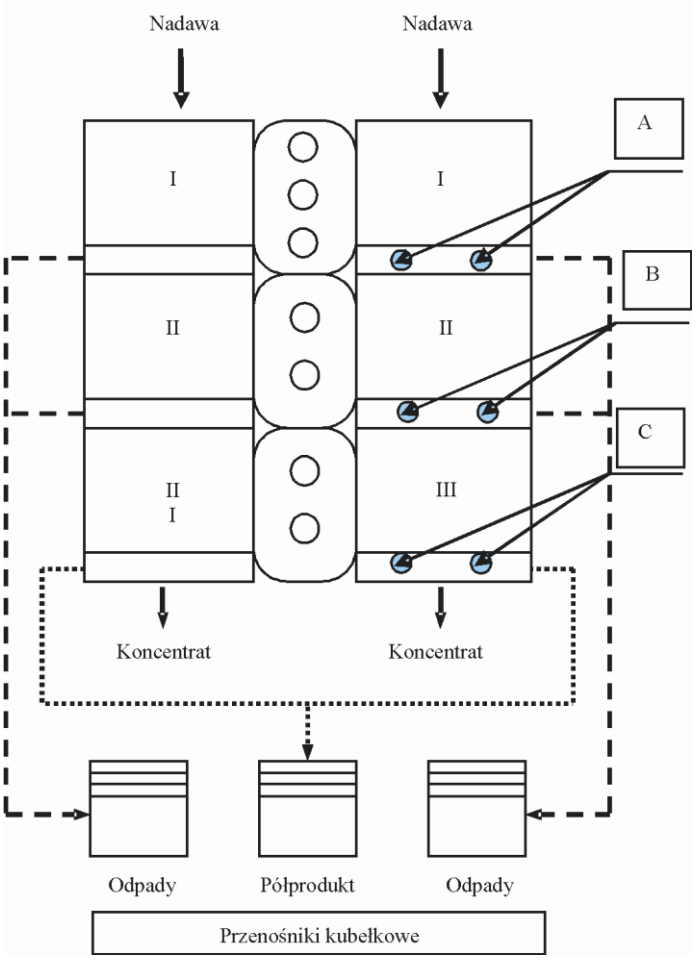
Badania przeprowadzono w celu identyfikacji właściwości dynamicznych osadzarki, mających wpływ na rozluzowanie materiału podczas rozdziału/ odbioru produktów. Wyniki badań będą wykorzystane do doskonalenia automatycznego sterowania odbiorem produktów ciężkich w osadzarkach pulsacyjnych.

W ramach badań wykonano pomiary rozkładu gęstościowego łoża, z wykorzystaniem pływaków doświadczalnych oraz rejestrowano położenia przepustu produktu dolnego.

Pomiary z wykorzystaniem pływaków doświadczalnych przeprowadzono we wszystkich trzech przedziałach wybranego (lewego) koryta roboczego osadzarki. W każdym przedziale umieszczono 2 pływaki doświadczalne, po obydwu stronach centralnie umieszczonego pływaka przemysłowego. Pływaki doświadczalne nazywano odpowiednio prawy i lewy, w stosunku do ich umieszczenia w łożu względem pływaka przemysłowego, patrząc od strony wlotu nadawy. Na rysunku 1 przedstawiono schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych.

Na podstawie uzyskanych wyników badań przeprowadzono analizę skuteczności, zarówno gęstościowego rozwarstwiania wzbogacanego materiału, jak i odbioru produktów. W tym celu różnicowano obciążenie pływaków pomiarowych (zmieniano gęstości pływaków) dla uzyskania odwzorowania para-

metrów ruchu materiału w różnych warstwach łoża. Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie charakterystyki zmian gęstości pozornej ośrodka w obszarze pomiarowym.



Rys.1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych (pływaki doświadczalne)
A – I przedział, B – II przedział, C – III przedział

4. Wyniki badań

Wyniki badań analizowano w stosunku do każdego z trzech przedziałów roboczych osadzarki.

4.1. Przedział I

W pierwszych przedziałach odpadowych, które są najbardziej obciążone materiałem, następuje rozdział i odprowadzanie największych i najcięższych

ziaren odpadowych. Ze względu na ich małą prędkość w przedziale roboczym, zastosowano największe pochylenie pokładu sitowego oraz najniższą wysokość progu, w celu ograniczenia prawdopodobieństwa wystąpienia spiętrzeń materiału wymuszających przerwy w podawaniu nadawy.

Powyższe czynniki powodują, że układ automatycznej regulacji odbioru produktu ciężkiego ma za zadanie stabilizowanie warstwy rozdzielczej na małej wysokości, umożliwiającej szybkie odprowadzanie z powierzchni roboczej przedziału przez przepust produktu odpadowego. Budowa zastosowanego w osadzarce OS36 przepustu z wysoko usytuowaną szczeliną odbiorczą powoduje nagłe zakłócenia stopnia rozluzowania łoża w strefie pomiarowo-odbiorczej przedziału, na skutek zbyt dużego obniżenia się rzeczywistego poziomu warstwy rozdzielczej, powodowanego błędem pomiarowym czujnika pływakowego reagującego zarówno na gęstość ośrodka, jak i na natężenie strumienia wznoszącego wody.

Gęstość warstw

Pływak pomiarowy dla gęstości 1,35 do 1,45 g/cm^3, umieszczony po prawej stronie przedziału, osadzał się niżej od pływaka po lewej stronie, średnio o 2,7 cm. Dla gęstości pływaków 1,5 g/cm^3 ich położenie podczas osadzania było porównywalne. Pływak po prawej stronie osadzał się na warstwie o grubości 42,8 cm, a po lewej o grubości 42,2 cm (różnica 0,6 cm).

Stałe opadanie pływaków w stronę otworu odbiorczego przepustu produktu ciężkiego następowało, gdy gęstość pływaka po prawej stronie przekraczała wartość 1,5 g/cm^3 (H warstwy <42,8 cm), a po lewej, gdy była większa od 1,55 g/cm^3 (H warstwy <41,8 cm). Można przyjąć, że było to równoznaczne z odprowadzaniem materiału przez przepust z dolnej warstwy o gęstości >1,5 g/cm^3 i wysokości <43 cm, po prawej stronie przedziału, o gęstości >1,55 g/cm^3 oraz wysokości <42 cm po lewej stronie przedziału.

Zróżnicowanie gęstości pozornej podczas operacji rozdziału/odbioru produktów pomiędzy punktami pomiarowymi wynosiło 0,05 g/cm^3, w położeniu warstwy rozdzielczej na szerokości koryta roboczego około 1 cm.

Skok pulsacji

Pomiary skoku ruchu pulsacyjnego pływaków dla zakresu gęstości 1,35-1,5 g/cm^3 wykazały, że był on zawsze większy dla pływaka umieszczonego po prawej stronie przedziału.

Dla zakresów wartości skoku pływaków w zakresie 2,9-3,4 cm (pływak prawy) oraz 2,5-2,7 cm (pływak lewy) różnica pomiędzy pływakami wynosiła od 0,2 do 0,9 cm. Porównując skok pływaka oraz poziom jego osadzania we wzbogacanym materiale można stwierdzić, że w pierwszym przedziale odpa-

dowym osadzarki większemu skokowi ruchu pulsacyjnego pływaka towarzyszył niższy poziom osadzania się w materiale.

Działanie przepustu produktu ciężkiego

Podczas prowadzenia badań gęstości łoża średni stopień otwarcia szczeliny przepustu produktu ciężkiego w I przedziale lewego koryta osadzarki OS36D3E wynosił około 55% całkowitego otwarcia. Zakres zmienności wyżej wymienionego parametru podczas badań poszczególnych gęstości pływaków pomiarowych wynosił 51,9 - 60,7%. Działanie przepustu charakteryzowało się dużą zmiennością stopnia otwarcia wynoszącą średnio 71,1 % (zakres zmian od 65,4 do 75,9%). Powyższe znaczące zmiany otwarcia przepustu występowały przeważnie co 12 cykli ruchu pulsacyjnego wody.

Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział I [8]

Tabela 1a

Gęstość pływaka, [g/cm^3]	Pomiar warstwy H [cm]			Pomiar skoku [cm]			Otwarcie przepustu [%]	
	Prawy	Lewy	Różnica	Prawy	Lewy	Różnica	Średnie	Zakres zmian
1,35	52,47	53,61	-1,14	2,90	2,66	0,24	51,9	65,4
1,4	44,55	48,65	-4,10	2,88	2,54	0,34	60,4	75,9
1,45	44,16	47,08	-2,92	3,42	2,57	0,85	52,9	70,1
1,5	42,83	42,21	0,62	3,16	2,49	0,67	57,0	71,8
1,55	↓	41,78			2,29		55,3	72,4
1,6		↓						

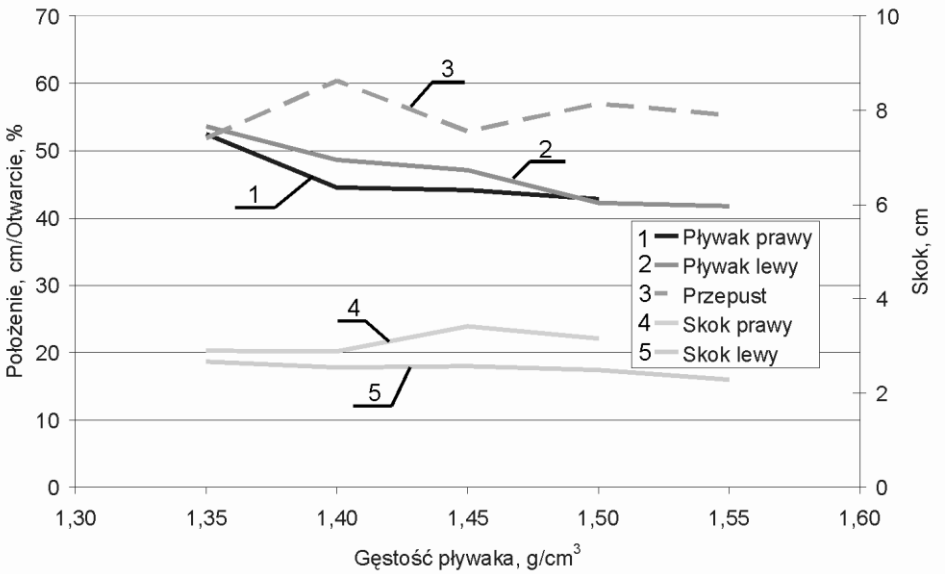
Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział I [8]

Tabela 1b

Parametr		Przedział I			
		Strona prawa	Strona lewa	Różnica	Średnia
Pływak	Gęstość graniczna [g/cm^3]	1,50	1,55	0-0,05	1,525
	Wysokość (H) warstwy rozdzielczej [cm]	42,80	41,80	1,00	42,30
	Skok [cm]	2,9-3,4	2,5-2,7	0,2-0,9	-
Przepust	Średnie otwarcie [%]	55,6			
	Zakres zmian otwarcia [%]	71,1			
	Częstość zmian, cykle pulsacji	12			

Wyniki stabilizacji gęstościowej warstw łoża osadzarki na szerokości przedziału I zamieszczono w tabelach 1a i 1b.

Na rysunku 2 graficznie zobrazowano zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału (położenie i skok pływaka, otwarcie przepustu), w przedziale I osadzarki, od zadanej gęstości pływaka.



Rys.2. Zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału od gęstości pływaka – Przedział I [8]

4.2. Przedział II

W drugich przedziałach odpadowych, gdzie wzbogacany materiał nie zawiera już znacznej ilości ziaren frakcji odpadowych, zwłaszcza o dużym rozmiarze, stosowany jest próg stały o wysokości około 40 cm. Ma on za zadanie utrzymanie zakresu zmian wysokości warstwy rozdzielczej na poziomie zapewniającym, zarówno jak najmniejszy przepływ nad krawędzią progu ziaren frakcji odpadowych do kolejnego przedziału przerostowego, jak i odpowiednią jakość produktu odpadowego.

W odróżnieniu od warunków występujących w pierwszych przedziałach odpadowych, operacja rozdziału/odbioru produktu ciężkiego przebiega w sposób stabilny i nie występują nagłe zmiany stopnia otwarcia przepustu. Jest to wynikiem różnic jakościowych wzbogacanego materiału, który w drugich przedziałach może być, poprzez oddziaływanie powierzchni progu przelewowego, odpowiednio zagęszczony na większej wysokości, co zmniejsza wpływ zmian stopnia otwarcia przepustu na błąd pomiaru czujnika pływakowego poziomu położenia warstwy rozdzielczej.

Gęstość warstw

Pływak pomiarowy dla gęstości od 1,35 do 1,75 g/cm^3, umieszczony po prawej stronie przedziału, osadzał się niżej niż pływak po lewej stronie, średnio o 4,8 cm. Stałe opadanie pływaków w kierunku otworu odbiorczego przepustu produktu ciężkiego następowało, gdy gęstość pływaka, po prawej stronie, przekraczała wartość 1,75 g/cm^3 (H warstwy <33,3 cm), a po lewej, gdy była większa od 1,9 g/cm^3 (H warstwy <33,5 cm).

Było to równoznaczne z odprowadzaniem materiału przez przepust z dolnej warstwy, o gęstości pozornej >1,75 g/cm^3 i wysokości <33 cm po prawej stronie przedziału i o gęstości pozornej >1,9 g/cm^3 oraz takiej samej wysokości <33 cm po lewej stronie przedziału.

W przedziale II wysokość położenia warstwy rozdzielczej na szerokości przedziału była taka sama, natomiast zróżnicowanie gęstości pozornej wyniosło aż 0,15 g/cm^3.

Skok pulsacji

Pomiary skoku pływaków doświadczalnych dla porównywalnego zakresu gęstości 1,4-1,75 g/cm^3 wykazały, że był on większy dla pływaka znajdującego się po lewej stronie przedziału (tj. odwrotnie niż w przedziale I – dalej od wlotu powietrza roboczego do komory pulsacyjnej).

Dla wartości skoku pływaków 0,9-1,4 cm (pływak prawy) i 1,4-2,4 cm (pływak lewy) różnice pomiędzy pływakami zawierały się w przedziale od 0,2 do 1 cm. Porównując skok pływaka do poziomu jego osadzania we wzbogacanym materiale można stwierdzić, że w odróżnieniu od procesów zachodzących w I przedziale odpadowym, w drugim mniejszemu skokowi ruchu pulsacyjnego pływaka odpowiadało niższe osadzanie się w materiale (i odwrotnie).

Działanie przepustu produktu ciężkiego

W trakcie pomiarów stabilizacji gęstości łoża średni stopień otwarcia szczeliny przepustu produktu ciężkiego w II przedziale osadzarki wynosił około 45%. Zakres zmian wartości tego parametru podczas prób realizowanych przy różnych gęstościach pływaków pomiarowych wynosił 41,0-46,7%. Podczas badań zmienność stopnia otwarcia przepustu nie była stała i wahała się w granicach od 8,3 do 37,3% (średnio 24,2%), co wynikało z różnic w ilości dostarczanej nadawy do lewego koryta osadzarki. Znaczące zmiany stopnia otwarcia przepustu występowały przeważnie co 25-50 cykli pulsacji.

Wyniki stabilizacji gęstościowej warstw łoża osadzarki na szerokości przedziału II zamieszczono w tabeli 2a i 2b.

Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział II [8]

Tabela 2a

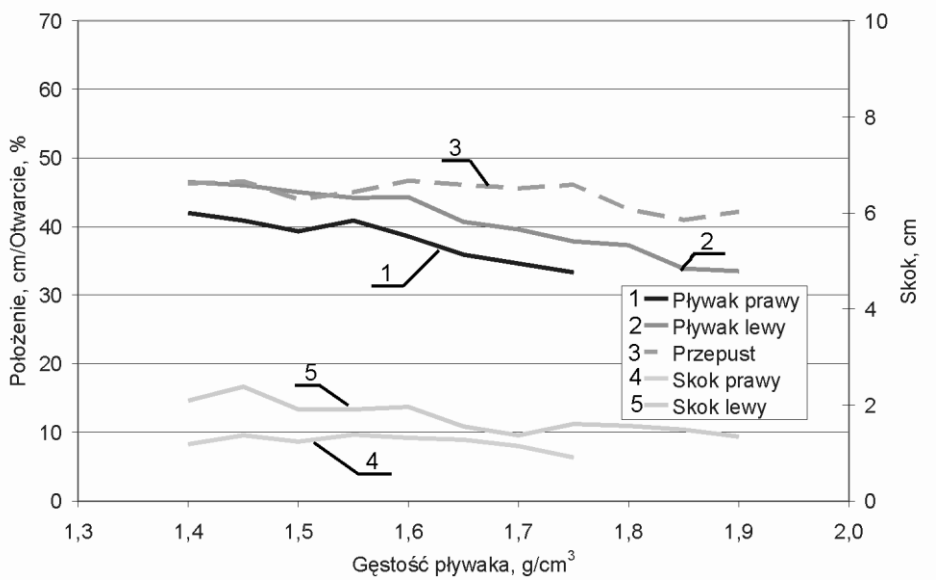
Gęstość pływaka [g/cm^3]	Pomiar warstwy H [cm]			Pomiar skoku [cm]			Otwarcie przepustu [%]	
	Prawy	Lewy	Średnie	Średnie	Lewy	Różnica	Średnie	Zakres zmian
1,4	41,95	46,45	-4,50	1,18	2,09	-0,91	46,3	32,1
1,45	40,92	46,06	-5,14	1,36	2,38	-1,02	46,6	37,3
1,5	39,27	44,98	-5,71	1,24	1,91	-0,67	44,0	25,9
1,55	40,91	44,15	-3,24	1,37	1,90	-0,53	45,0	33,8
1,6	38,59	44,31	-5,72	1,32	1,96	-0,64	46,7	31,0
1,65	35,90	40,67	-4,77	1,27	1,55	-0,28	46,1	24,1
1,7	34,60	39,62	-5,02	1,14	1,36	-0,22	45,6	33,9
1,75	33,30	37,80	-4,50	0,90	1,60	-0,70	46,1	14,9
1,8	↓	37,24	↓	↓	1,56	↓	42,5	12,8
1,85	↓	33,88	↓	↓	1,48	↓	41,0	12,2
1,9	↓	33,50	↓	↓	1,34	↓	42,2	8,3
1,95	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓

Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział II [8]

Tabela 2b

Parametr		Przedział II			
		Strona prawa	Strona lewa	Różnica	Średnia
Pływak	Gęstość graniczna [g/cm^3]	1,75	1,90	-0,15	1,825
	Wysokość (H) warstwy rozdzielczej [cm]	33,30	33,50	-0,20	33,40
	Skok [cm]	0,9-1,4	1,4-2,4	0,2-1,0	-
Przepust	Średnie otwarcie [%]	44,7			
	Zakres zmian otwarcia [%]	24,2			
	Częstość zmian, cykle pulsacji	25-50			

Na rysunku 3 graficznie zobrazowano zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału (położenie i skok pływaka, otwarcie przepustu), w przedziale II osadzarki, od zadanej gęstości pływaka.



Rys.3. Zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału od gęstości pływaka – Przedział II [8]

4.3. Przedział III

W trzecich, ostatnich przedziałach osadzarki (przerostowych) produktem ciężkim jest półprodukt zawierający małe ziarna odpadowe, ziarna przerostowe oraz duże ziarna koncentratowe. Obciążenie materiałem w tych przedziałach jest najmniejsze, podobnie jak gęstość materiału. Ze względu na niską gęstość ziaren, stanowiących produkt ciężki, wysokość progu w tych przedziałach jest największa, a natężenie ruchu pulsacyjnego wody ograniczone do niezbędnego minimum.

Pod względem stabilności odprowadzania produktów ciężkich w przedziałach przerostowych (podobnie jak i pierwszych odpadowych), ze względu na ww. uwarunkowania, występuje zwiększone prawdopodobieństwo występowania zakłóceń powodujących nierównomierny wychód półproduktu.

Gęstość warstw

Pływak pomiarowy, dla gęstości od 1,2 do 1,35 g/cm^3, umieszczony po prawej stronie przedziału, osadzał się niżej od pływaka po lewej stronie, średnio o 8,6 cm. Rozpoczęcie stałego opadania pływaków w kierunku otworu odbiorczego przepustu produktu ciężkiego następowało, gdy gęstość pływaka po prawej stronie była większa od 1,35 g/cm^3 (H warstwy <30 cm), a po lewej stronie, gdy przekraczała wartość 1,5 g/cm^3 (H warstwy <25 cm).

Oznacza to, odprowadzanie materiału przez przepust z warstwy, o gęstości pozornej >1,35 g/cm^3 i wysokości <30 cm po prawej stronie koryta i o gęstości >1,5 g/cm^3 i wysokości <25 cm po lewej stronie koryta.

Zróżnicowanie gęstości pozornej podczas rozdziału/odbioru produktów pomiędzy punktami pomiarowymi wynosiło około 0,15 g/cm^3, a w położeniu warstwy rozdzielczej 5 cm.

Skok pulsacji

Pomiary skoków pływaków doświadczalnych, dla porównywalnego zakresu i gęstości z przedziału od 1,2 do 1,35 g/cm^3 wykazały, że był on większy dla pływaka znajdującego się po prawej stronie.

Dla wartości skoku pływaków 2,3-2,9 cm (pływak prawy) i wartości 1,1 cm (pływak lewy) różnice pomiędzy pływakami zawierały się w przedziale od 1,2 do 1,8 cm. Porównanie skoku pływaka do poziomu jego osadzania we wzbogacanym materiale wykazało, że analogicznie jak w I przedziale większemu skokowi ruchu pulsacyjnego pływaka towarzyszyło niższe osadzanie się w materiale (i odwrotnie).

Działanie przepustu produktu ciężkiego

Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział III [8]

Tabela 3a

Gęstość pływaka [g/cm^3]	Pomiar warstwy H [cm]			Pomiar skoku [cm]			Otwarcie przepustu [%]	
	Prawy	Lewy	Średnie	Średnie	Lewy	Różnica	Średnie	Zakres zmian
1,2	35,45	46,22	-10,77	2,27	1,08	1,19	35,4	35,5
1,25	34,22	41,52	-7,30	2,48	1,08	1,40	36,0	21,0
1,3	32,23	39,93	-7,70	2,60	1,13	1,47	36,1	16,1
1,35	29,99	38,51	-8,52	2,87	1,10	1,77	36,4	13,0
1,4		37,72			0,90		33,7	32,4
1,45		30,16			0,89		30,6	33,4
1,5		25,38			1,02		29,7	29,8
1,55								

Podczas pomiarów stabilizacji gęstości łoża na szerokości przedziału średni stopień otwarcia szczeliny przepustu produktu ciężkiego (półproduktu) w III przedziale osadzarki wynosił 34%. Zakres zmian wartości tego parametru podczas prób realizowanych przy różnych gęstościach pływaków pomiarowych wynosił 29,7-36,4%. Zmienność stopnia otwarcia wahała się w granicach 13,0-

35,5% (średnio 25,9%) w wyniku różnicowania ilości nadawy wprowadzanej do osadzarki. Znaczące zmiany stopnia otwarcia przepustu występowały przeważnie co 20 cykli pulsacji.

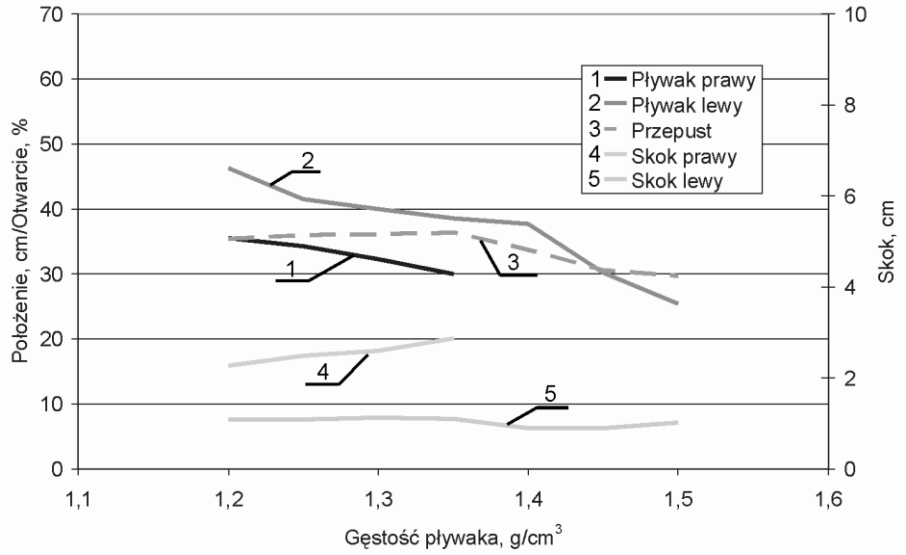
Wyniki stabilizacji gęstościowej warstw łoża osadzarki na szerokości przedziału III zamieszczono w tabelach 3a 3b.

Stabilizacja gęstościowa warstw łoża osadzarki – Przedział III [8]

Tabela 3b

Parametr		Przedział II			
		Strona prawa	Strona lewa	Różnica	Średnia
Pływak	Gęstość graniczna [g/cm^3]	1,35	1,50	-0,02	1,425
	Wysokość (H) warstwy rozdzielczej [cm]	30,00	25,00	5,00	27,50
	Skok [cm]	2,3-2,9	0,9-1,1	1,2-1,8	-
Przepust	Średnie otwarcie [%]	34,0			
	Zakres zmian otwarcia [%]	25,9			
	Częstość zmian, cykle pulsacji	20			

Na rysunku 4 graficznie zobrazowano zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału (położenie i skok pływaka, otwarcie przepustu), w przedziale III osadzarki, od zadanej gęstości pływaka.



Rys.4. Zależność rejestrowanych parametrów strefy rozdziału od gęstości pływaka – Przedział III [8]

5. Podsumowanie

Wykazany nierównomierny rozkład materiału na szerokości koryta roboczego osadzarki pod względem ilościowo-jakościowym spowodowany był głównie nieprawidłowym wprowadzaniem materiału do osadzarki, jak i wynikającym z niego nierównomiernym rozkładem pulsacji.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że natężenie przepływu materiału na szerokości koryta roboczego ulegało zmianie wraz z jego przemieszczaniem wzdłuż osadzarki.

We wszystkich przedziałach osadzarki gęstość graniczna stałego opadania pływaka pomiarowego była większa po stronie zwiększonego podawania nadawy. Uzyskane różnice gęstości ośrodka występujące pomiędzy lewą i prawą stroną koryta roboczego osadzarki, wynoszące dla kolejnych przedziałów odpowiednio 0,05; 0,15 i 0,15 g/cm^3 wskazują, że warunki rozdziału rozwarstwionego materiału na produkty odbiegały od prawidłowych, pozwalających na skuteczniejsze przeprowadzanie automatycznej regulacji odbioru produktów.

Wyniki pomiarów skoku pływaka wykazały, że natężenie ruchu pulsacyjnego wody, zależne od oporów przepływu, ulegało zmniejszeniu wraz ze wzrostem obciążenia powierzchni roboczej materiałem oraz zmniejszaniem porowatości warstwy.

Wykazane różnice w gęstości pozornej ośrodka (materiał/woda) na szerokości przedziałów roboczych, a tym samym parametrów jakościowych materiału świadczą o dużym uzależnieniu skuteczności procesu osadzarkowego wzbogacania od równomierności rozprowadzania nadawy, na odpowiednią szerokość, przed jej wprowadzeniem do przestrzeni roboczej osadzarki.

Wynika to z konieczności spełnienia podstawowego wymogu prawidłowego sposobu realizacji procesu osadzarkowego wzbogacania jakim jest równomierne obciążenie powierzchni roboczej materiałem, zarówno podczas przeprowadzania jego rozwarstwienia, jak i rozdziału/odbioru produktów.

Literatura

1. Kowol D., Lenartowicz M., Łagódka M.: „Badania laboratoryjne wpływu parametrów pokładu sitowego na rozdział materiału w osadzarce pulsacyjnej w zależności od charakterystyki nadawy”. Maszyny Górnicze 1/2010 (121).
2. Lenartowicz M., Kowol D., Łagódka M., Matusiak P.: „Badania laboratoryjne wpływu parametrów pokładu sitowego na charakterystykę ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce pulsacyjnej”. Górnictwo i Geoinżynieria, AGH 2009 nr 4, s. 169-175.

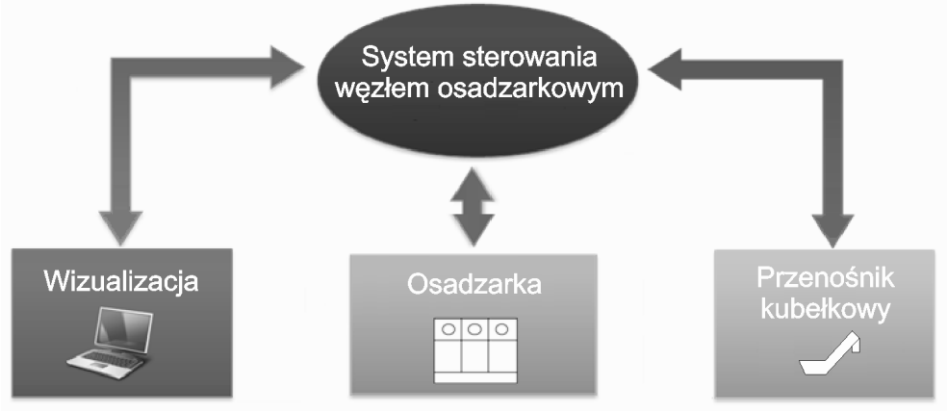
3. Lenartowicz M., Kowol D., Łagódka M.: „Wpływ wysokości łoża na skuteczność rozdziału nadaw węglowych w osadzarkach pulsacyjnych". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 284, Gliwice 2008 s. 65 – 74.
4. Kowol D., Lenartowicz M.; Łagódka M.: „Wpływ zmian rozluzowania łoża na położenie warstwy rozdzielczej w osadzarce pulsacyjnej", Maszyny Górnicze 2/2007.
5. Kowol D.: „Badania zakłóceń pomiaru gęstości rozdziału w zależności od cech geometrycznych pływaka", APPK 2007, Materiały konferencyjne, Jaworze 2007 r.
6. Kowol D., Łagódka M., Lenartowicz M., Osoba M.: „Możliwości zwiększenia skuteczności sterowania procesem wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych typu KOMAG", KOMEKO 2004, Materiały konferencyjne, CMG KOMAG, Ustroń 2004 r.
7. Kowol D.: Badania dynamiki kształtowania się warstw gęstościowych w osadzarce przemysłowej, Maszyny Górnicze 1/2012 (w przygotowaniu).
8. Intensyfikacja procesu wzbogacania w osadzarkach pulsacyjnych poprzez doskonalenie metod regulacji i sterowania. Materiały nie publikowane ITG KOMAG, 2011.

Układ sterowania węzłem osadzarkowym

Sebastian Jendrysik, Mariusz Woszczyński, Krzysztof Stankiewicz – Instytut Techniki Górniczej KOMAG, **Andrzej Gawliński** – KWK Budryk

1. Wstęp

W niniejszym rozdziale przedstawiono innowacyjny system sterowania węzłem osadzarkowym uwzględniający w swojej strukturze możliwości adaptacyjnej regulacji prędkości przenośników kubełkowych. Testową aplikację systemu zainstalowano w kopalni KWK „Budryk", gdzie wprowadzono do użytku przemiennik częstotliwości sterujący prędkością przenośnika kubełkowego 4.115E, który odprowadza kamień z dwóch pierwszych przedziałów, jednego z koryt osadzarki OS36D3E przeznaczonej do trójproduktowego wzbogacania materiału w klasie ziarnowej 60(80) – 12(0)mm. Strukturę układu sterowania przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Struktura układu sterowania węzłem osadzarkowym wdrożona w KWK „Budryk" [źródło: opracowanie własne]

Modernizację związaną z wprowadzeniem adaptacyjnej regulacji ruchu przenośników kubełkowych przeprowadzono w dwóch etapach:

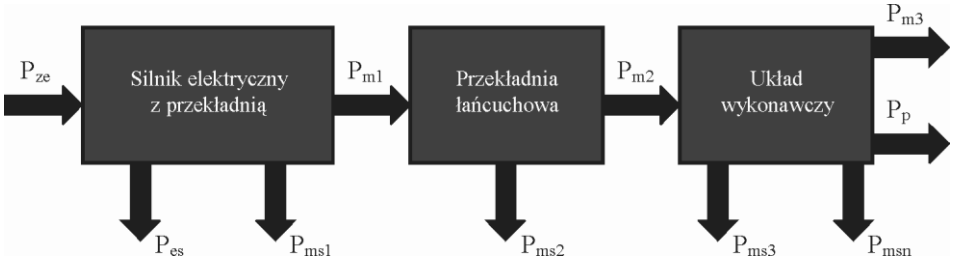
- w pierwszym włączono do ruchu falownik, który ustawiony w tryb ręczny, służył do przekazywania danych o obciążeniu napędu przenośnika do centralnego układu sterowania, gdzie dane te były rejestrowane,
- w drugim włączono automatyczny układ sterowania prędkością napędu przenośnika.

2. Bilans mocy w węźle przenośnika kubełkowego

W przedstawianym rozwiązaniu celem adaptacyjnej regulacji prędkości przenośnika jest uzyskanie takiej prędkości ruchu kubełków, aby stopień ich

wypełnienia był stały. Ze względu na znacząco zmieniającą się w rzeczywistych warunkach wartość natężenia strumienia materiału kierowanego na wejście przenośnika, efektem zastosowania regulacji adaptacyjnej będzie spadek wartości energii elektrycznej niezbędnej do działania przenośnika. Przewiduje się, że w ciągu roku zaoszczędzone zostanie co najmniej 10% energii.

Jak stwierdzono we wstępie pierwszy etap budowy układu sterowania polegał na zbieraniu danych pomiarowych, które następnie poddane zostały dokładnej analizie. Określono zależności pomiędzy obciążeniem przenośnika kubełkowego, a otwarciem szczelin upustowych w osadzarce. Podczas prac nad budową układu sterowania wiele uwagi poświęcono analizie mocy pobieranej przez napędy przenośników kubełkowych. Moc elektryczna jest bezpośrednio związana z mocą mechaniczną w układzie elektromechanicznym podnośnika kubełkowego [4]. Bilans mocy w układzie przenośnika kubełkowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys.2. Bilans mocy w układzie podnośnika kubełkowego [4] *P_{ze} – moc chwilowa zasilania elektrycznego [W], P_{es} – moc chwilowa elektryczna strat przetwarzania energii [W], P_{m1} – moc chwilowa mechaniczna silnika [W], P_{m2} – moc chwilowa mechaniczna na wyjściu przekładni łańcuchowej [W], P_{m3} – moc chwilowa mechaniczna użyteczna [W], P_{ms1} – moc chwilowa strat mechanicznych przetwarzania energii [W], P_{ms2} – moc chwilowa strat przekładni łańcuchowej [W], P_{ms3} – moc chwilowa strat mechanicznych związanych z normalną pracą [W], P_p – moc chwilowa przeciążeń [W], P_{msn} – moc chwilowa strat mechanicznych związanych ze stanem niepożądanym [W]*

W strumieniu mocy mechanicznej, w całym układzie podnośnika kubełkowego można wyróżnić dwa podstawowe przepływy:

a) strumień mocy użytecznej oddawanej przez podnośnik kubełkowy,
b) strumień mocy strat.

W strumieniu mocy strat można z kolei wyróżnić:

a) moc strat związaną z przetwarzaniem energii i będącą normalną konsekwencją sprawności urządzenia,
b) moc strat związaną z pogarszającym się stanem technicznym urządzenia lub stanem awaryjnym (przeciążeniem).

Bilans mocy, zgodnie z rys.2 przedstawia się następująco [1]:

$$p_{ze} = p_p + p_{m3} + p_{msn} + \sum p_{ms} \quad [W] \tag{1}$$

gdzie:

$$\sum p_{ms} = p_{ms1} + p_{ms2} + p_{ms3} + p_{es} \quad [W] \tag{2}$$

W przypadku sterowania przenośnikiem kubełkowym odbierającym produkt dolny z osadzarki pulsacyjnej mogą wystąpić dwa istotne zagrożenia:

- wzrost mocy strat co jest związane z możliwością zablokowania się przenośnika,
- wzrost mocy związanej z chwilowym gwałtownym wzrostem odprowadzania produktu z osadzarki.

Moc przeciążeń można obliczyć jako:

$$p_p = m_p \cdot \omega_{wy} \quad [W] \tag{3}$$

gdzie:

m_p - chwilowy moment przeciążenia,

ω_{wy} - prędkość kątowa wału wyjściowego napędzającego kubełki.

Ponieważ jest to układ elektromechaniczny bez mechanicznej regulacji prędkości obrotowej można dość dokładnie określić zależność prędkości kątowej wału wyjściowego od prędkości kątowej wału napędowego (silnika).

$$\omega_{wy} = \frac{\omega_s}{i_c} \quad \left[\frac{1}{\min}\right] \tag{4}$$

gdzie:

ω_{wy} - prędkość kątowa wału wyjściowego [1/min],

ω_s - prędkość kątowa wału silnika [1/min],

i_c - całkowite przełożenie układu mechanicznego.

Moment przeciążenia sprowadzony na wał silnika wynosi:

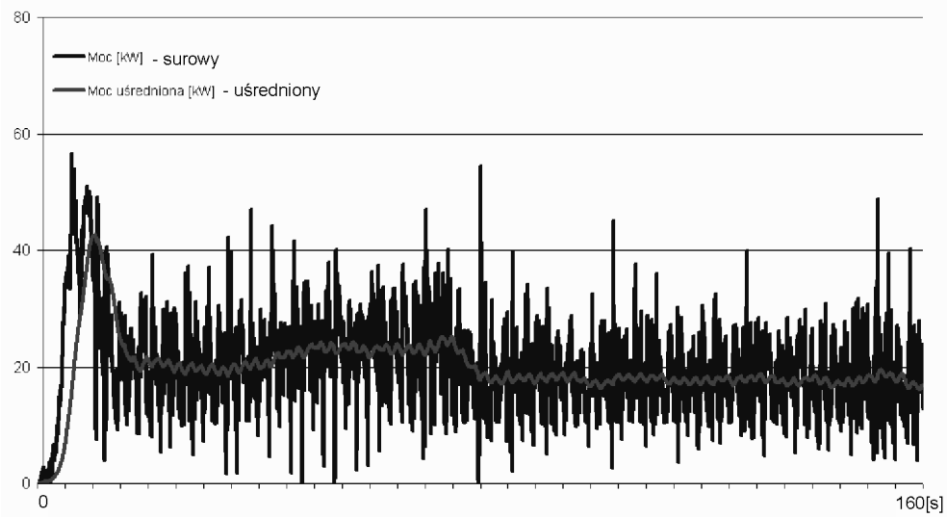
$$m_{ps} = \frac{p_p}{\omega_{wy} i_c} \quad [Nm] \tag{5}$$

Analizując stany niepożądane, poprzez analizę mocy elektrycznej, można dokonać pewnych uproszczeń. Mianowicie należy przyjąć, że w krótkim przedziale czasowym są one stałe, a więc zmiany w normalnym przebiegu mocy elektrycznej są wywołane przez moc związaną ze stanem niepożądanym albo moc związaną z przeciążeniem układu.

W rozpatrywanym układzie, ze względu na jego konstrukcję mechaniczną, która wymusza skokowe zmiany mocy, należy korzystać z wartości średnich mocy obliczanych ze wzoru:

$$P_{el} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t}^{t+\Delta t} p_{ze}(t)dt \quad [W] \tag{6}$$

Należy pamiętać o odpowiednim doborze długości okresu uśredniania Δt. W celu uzyskania wartości uśrednionej mocy, uwzględniającej zmiany w jej przepływach, w istotnych chwilach czasowych należy dobrać stosunkowo niskie wartości Δt (zbyt mała wartość Δt może stanowić powód generowania błędów).



Rys.3. Przykładowy przebieg mocy: ciemny - surowy , jasny - uśredniony [źródło: opracowanie własne]

W celu utworzenia układu sterowania, umożliwiającego wykrywanie i identyfikowanie niepożądanych zdarzeń (stanów awaryjnych przenośnika) konieczne jest powiązanie sygnału o mocy pobieranej przez napęd z sygnałami pochodzącymi z osadzarki pulsacyjnej, określającymi jej obciążenie.

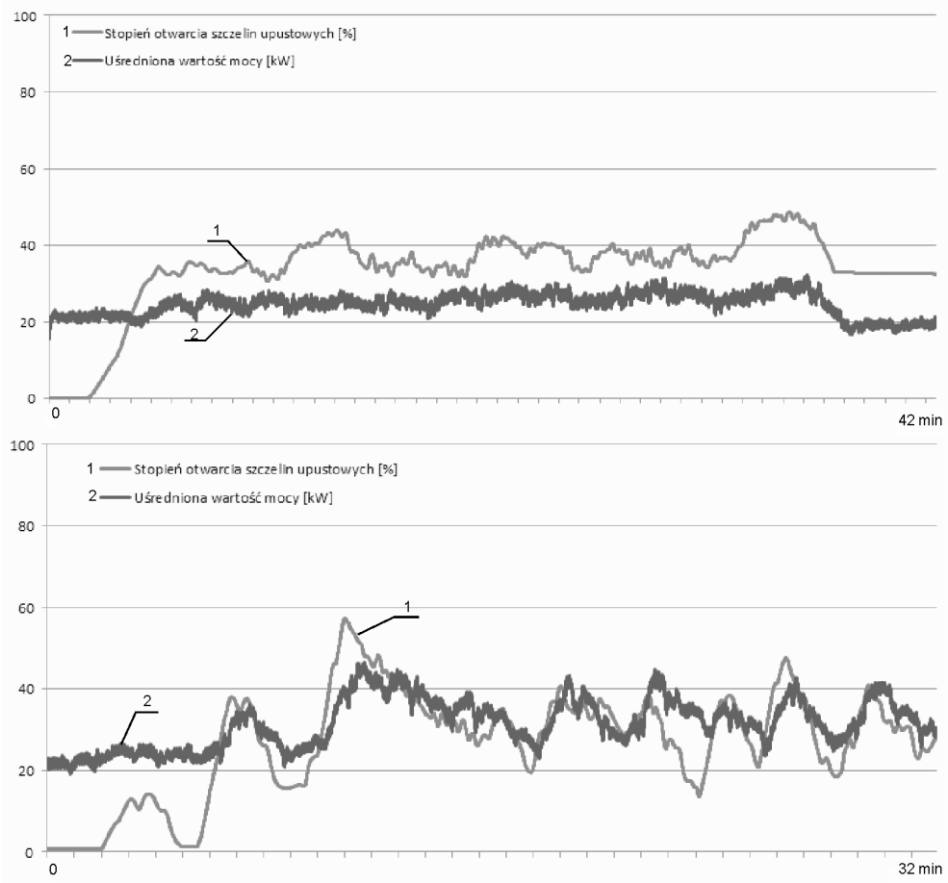
3. Powiązanie pracy osadzarki z pracą przenośnika kubełkowego

Odprowadzanie produktów ciężkich w dwukorytowej osadzarce średnioziarnowej OS36D3E realizowane jest w sześciu przedziałach. Usytuowane równolegle koryta posiadają po dwa przedziały odpadowe i po jednym przedziale przerostowym.

Przemiennik częstotliwości zainstalowany został na przenośniku odprowadzającym materiały z dwóch pierwszych przedziałów jednego z koryt. W każdym z przedziałów znajduje się przepust produktu ciężkiego typu „K” [3]. Pierwszy przedział odpadowy, w odróżnieniu od drugiego posiada ruchomy próg przelewowy, stanowiący integralną część przepustu typu „K”. Próg ulega

podwyższeniu wraz z powiększeniem się szczelinowego otworu przepustu (i odwrotnie). Zakres zmian wysokości progu ruchomego wynosi około 10 cm. W drugim przedziale odpadowym zastosowano próg stały, którego wysokość wynosi około 40 cm. Przewyższa on poziom uzyskiwany przy maksymalnym otwarciu przez próg ruchomy przepustu. Elementy ruchome (klapowe) przepustów typu „K" podczas zmian otwarcia przemieszczają w przeciwnych kierunkach, tworząc pionową szczelinę odbiorczą, na szerokości przedziałów, usytuowaną na poziomie końcowego odcinka sit.

W pierwszych przedziałach odpadowych, które są najbardziej obciążone materiałem, następuje rozdział i odprowadzanie największych i najcięższych ziaren odpadowych. Ze względu na ich małą prędkość transportową wzdłuż koryta roboczego, zastosowano najbardziej pochylony pokład sitowy oraz najniższą wysokość progu, w celu ograniczenia prawdopodobieństwa wystąpienia spiętrzeń materiału wymuszanych przez przerwy w podawaniu nadawy [3].



Rys.4. Porównanie sumy stopnia otwarcia szczelin upustowych z mocą pobieraną przez napęd przenośnika [źródło: opracowanie własne]

W drugim przedziale odpadowym, gdzie wzbogacany materiał nie zawiera już znacznych ilości ziaren frakcji odpadowych, zwłaszcza o dużym rozmiarze, stosowany jest próg stały o wysokości około 40 cm, mający za zadanie utrzymanie zakresu zmian wysokości warstwy rozdzielczej na poziomie zapewniającym, zarówno jak najmniejszy przepływ nad krawędzią progu ziaren frakcji odpadowych do kolejnego przedziału przerostowego, jak i odpowiednią jakość produktu odpadowego [3].

Przedstawiona wyżej charakterystyka osadzarki OS36D3E wskazuje na zróżnicowanie procesu odprowadzania produktu z obu przedziałów. W badaniach przeprowadzono próbę powiązania otwarcia szczelin przepustów z mocą pobieraną przez napęd przenośnika. Wykorzystano fakt, że jednym z parametrów rejestrowanych przez system jest wynik pomiaru otwarcia szczelin upustowych w poszczególnych przedziałach osadzarki.

Przykładowe przebiegi pokazujące zależność pomiędzy otwarciem szczelin upustowych i mocą pobieraną przez napęd przenośnika, pokazano na rysunku 4. Wykresy przedstawiają przetworzony sygnał sumy otwarcia szczelin upustowych w pierwszym i drugim przedziale osadzarki.

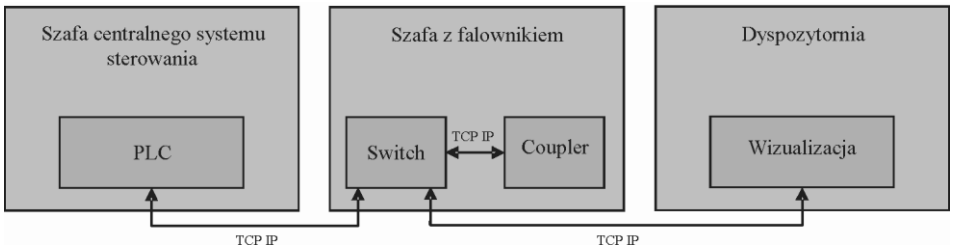
4. Układ sterowania prędkością napędu przenośnika

Wdrożenie automatycznego układu sterowania prędkością było drugim etapem realizacji adaptacyjnej regulacji ruchu przenośnika kubełkowego. Podczas przeprowadzania prób z falownikiem prowadzono ciągłą rejestrację wybranych parametrów pracy osadzarki. Przez włączenie danych pomiarowych do algorytmu sterowania i skorelowanie ich z mierzoną mocą pobieraną przez napęd przenośnika uzyska się pożądane wyniki sterowania. Utworzono algorytm umożliwiający monitoring i identyfikację wzrostów poboru mocy związanych ze stanami awaryjnymi przenośnika.

Do podstawowych funkcji układu sterowania przenośnikami kubełkowymi należy:

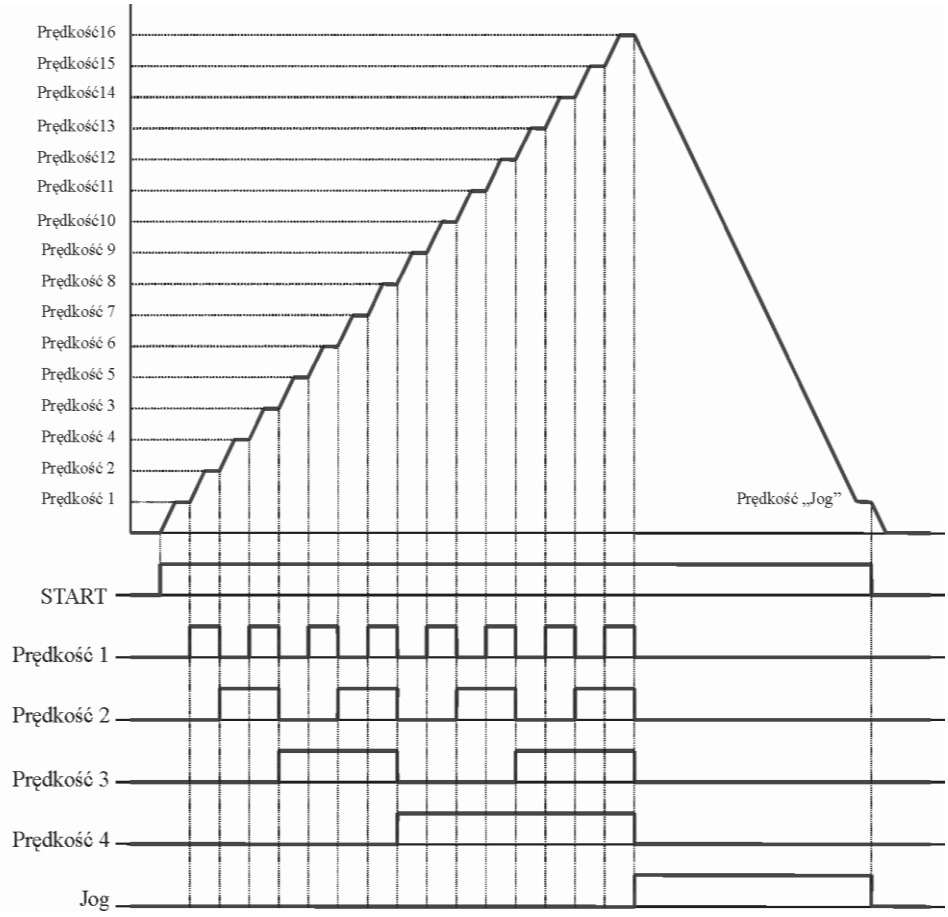
- regulacja prędkości przenośników w zależności od ich obciążenia,
- wykrywanie i identyfikacja niepożądanych zdarzeń związanych z nagłym przyrostem mocy pobieranej przez napędy przenośników,
- ręczne sterowanie prędkością przenośników z szafy sterowania osadzarką.

Wdrożenie algorytmu do sterowania wymagało przeprowadzenia modernizacji infrastruktury sieciowej systemu sterowania. W szafie sterowniczej z falownikiem, zamontowanej w rozdzielni zakładu przeróbczego, zainstalowano dodatkowy moduł rozszerzający sterownika PLC (coupler) i utworzono w ten sposób rozproszony układ sterowania pracujący w sieci TCP IP. Strukturę układu sterowania pokazano na rysunku 5.



Rys.5. Struktura układu sterowania węzłem wzbogacania [4]

Do sterowania prędkością przenośnika wykorzystano funkcję falownika „Multi-Step Speed Operation" [3]. Funkcja ta, za pomocą kombinacji 4 wejść cyfrowych, pozwala na wybór jednej z 16 częstotliwości zasilania napędu przenośnika oraz dodatkowo częstotliwości nadrzędnej „Jog", charakteryzującej się wyższym priorytetem. Schemat ilustrujący zasadę działania sterowania prędkością pokazano na rysunku 6.

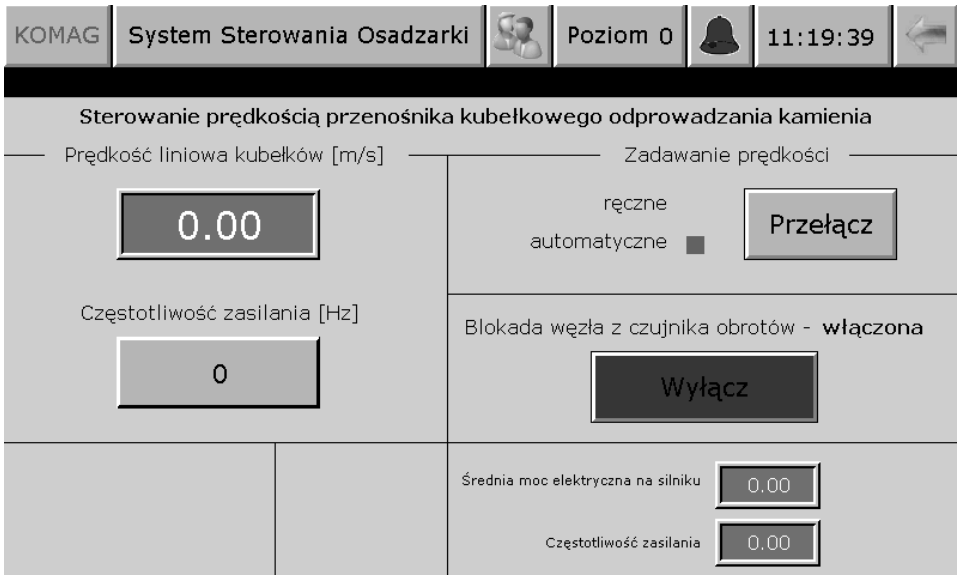


Rys.6. Zasada sterowania prędkością falownika [4]

Funkcja sterowania prędkością realizowana jest w centralnym sterowniku, który poprzez coupler wysyła sygnały na wejścia falownika i aktywuje różne prędkości ruchu przenośnika. Zakres prędkości pracy wyznaczono przy współpracy z pracownikami kopalni.

System sterowania umożliwia ręczne zadawanie prędkości bezpośrednio z panelu operatorskiego zainstalowanego w szafie sterowniczej osadzarki. Ekran synoptyczny pokazano na rysunku 7. Na ekranie prezentowana jest m.in. prędkość liniowa kubełków. Prędkość ta wyznaczana jest za pomocą czujnika indukcyjnego wysyłającego impulsy do jednostki centralnej układu sterowania.

Oprócz zadania informacyjnego, czujnik stanowi również dodatkowe zabezpieczenie, wykrywające niekontrolowane zatrzymanie lub obniżenie prędkości przenośnika. W przypadku takim następuje natychmiastowe zatrzymanie całego ciągu technologicznego. Istnieje możliwość wyłączenia blokady węzła z czujnika.



Rys.7. Ekran synoptyczny do sterowania pracą przenośnika kubełkowego [źródło: opracowanie własne]

5. Analiza przewidywanych oszczędności zużycia energii elektrycznej

Idea sterowania prędkością przenośnika polega na uzyskaniu takiej prędkości ruchu kubełków, aby stopień ich wypełnienia był stały. Efektem tego jest spadek poboru mocy według zależności:

$$\Delta P = m \cdot g \cdot \Delta v \cdot tg\left(arctg \frac{\Delta h}{k} \right) \tag{7}$$

gdzie:

ΔP – spadek poboru mocy [W],

m – masa podnoszonej konstrukcji przenośnika (bez produktu) [kg],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

Δv – różnica prędkości wznoszenia [m/s],

Δh – różnica poziomów przenoszenia [m],

k – rozstaw poziomy przenośnika [m].

Na podstawie zrealizowanych w zakładzie przeróbczym kopalni KWK „Budryk" badań, prowadzonych w okresie 2 tygodni, zarejestrowano w trakcie normalnej pracy osadzarki średni pobór mocy równy w przybliżeniu 73% mocy zainstalowanej. Doliczając do tego okresy w których osadzarka nie pracuje przy włączonym przenośniku (przy chwilowych wyłączeniach osadzarki z przyczyn technicznych lub braku nadawy nie jest w zwyczaju wyłączanie przenośnika) stwierdzono, że średni pobór mocy wynosi poniżej 70% mocy zainstalowanej. W wyniku wdrożenia układu adaptacyjnej regulacji prędkości przenośnika kubełkowego można więc zaoszczędzić około 30% energii elektrycznej. Przy założeniu, że praca napędu realizowana jest średnio 15 godzin na dobę i cenie energii elektrycznej brutto 0,50 zł/kWh, wygenerowane zostaną oszczędności o wartości ponad 10 000 zł/rok.

6. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono zmiany jakie wprowadzono w węźle technologicznym osadzarki OS36D3E w zakresie włączenia systemu sterowania prędkością napędu przenośnika kubełkowego 4.115E do struktury układu sterowania osadzarki pulsacyjnej, dające początek centralnemu układowi sterowania węzłem osadzarkowym.

Po kilkutygodniowej obserwacji połączonych systemów można stwierdzić, że praca przenośnika i osadzarki jest stabilna, a wprowadzone zmiany nie naruszyły struktury centralnego systemu sterowania węzła osadzarkowego [2]. Należy podkreślić, że wprowadzone zmiany w układzie sterowania poprawiają działanie przenośnika kubełkowego, poprzez regulację jego wydajności w zależności od obciążenia. Usprawnia to jego działanie głównie w aspekcie ograniczenia prędkości w trakcie ruchu jałowego. Rozwiązanie takie daje oszczędności energii, ale nie rozwiązuje problemu przepływu surowca. Podczas procesu wzbogacania występuje nierównomierny przepływ nadawy pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Przy bardzo niekorzystnej nadawie charakteryzującej się dużą ilością kamienia, może dochodzić do awaryjnego zatrzymania przenośnika. W chwili obecnej brak jest w układzie sprzężeń zwrotnych, które pozwoliłyby regulować ilość nadawy, a tym samym ilość surowca

do odbioru. Przedstawione problemy zostaną rozwiązane w toku dalszych prac projektowych nad systemem sterowania węzłem osadzarkowym.

Literatura

1. Praca statutowa E/BDT-9968/OR5 – Zabudowa układu sterowania na wybranym obiekcie. Materiały nie publikowane ITG KOMAG, Gliwice 2007.
2. Praca statutowa E/BDT-9968/OR8 – Włączenie zespołu sterowania do istniejącego układu napędu podnośnika kubełkowego. Próby odbiorcze i nadzór autorski. Próby wstępne. Materiały nie publikowane ITG KOMAG, Gliwice 2009.
3. Praca statutowa E/BM-9648/OR17 – Nadzór i badania systemu sterowania w warunkach KWK „Budryk". Materiały nie publikowane ITG KOMAG, Gliwice 2011.
4. Praca statutowa E/BM-9648/OR19 – Zintegrowanie systemu sterowania osadzarki i podnośnika kubełkowego w kopalni KWK Budryk. Materiały nie publikowane ITG KOMAG, Gliwice 2011.

Gęstościomierz radiometryczny do monitoringu i sterowania procesu wzbogacania węgla w osadzarce

Stanisław Cierpisz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG, Politechnika Śląska,
Zbigniew Będkowski – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

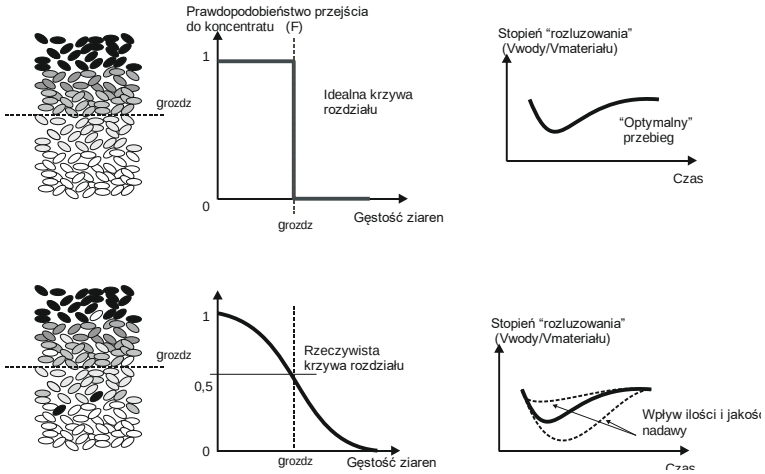
1. Wstęp

W zagadnieniu automatycznej regulacji osadzarki wyróżnić można dwa problemy: sterowanie parametrami cyklu pulsacji w celu stabilizacji przebiegu rozluzowania materiału w pulsującym łożu oraz stabilizacji gęstości rozdziału rozwarstwionego łoża poprzez odpowiednią regulację odbioru produktu dolnego z osadzarki. W opracowaniu niniejszym więcej uwagi poświęcono drugiemu problemowi. Wynika to z trudności precyzyjnego modelowego opisu przebiegu stratyfikacji ziaren w pulsującym ośrodku i wpływu na ten proces zakłóceń w postaci zmian ilości, jakości nadawy i dynamiki przebiegu rozluzowania materiału. Miarą wielkości zakłóceń stratyfikacji ziaren według ich gęstości jest krzywa rozdziału reprezentowana przez tzw. rozproszenie prawdopodobne lub imperfekcję, wielkości które są praktycznie niedostępne pomiarowo. Ilustrację wpływu stopnia rozluzowania materiału na efektywność procesu wzbogacania wynikającą z określonej krzywej rozdziału przedstawiono na rysunku 1.

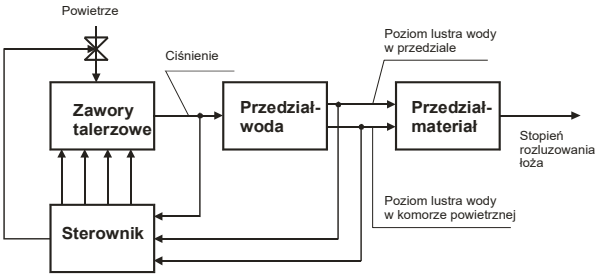
Optymalny przebieg stopnia rozluzowania ośrodka powinien teoretycznie doprowadzić do uzyskania prostokątnej krzywej rozdziału. W rzeczywistości idealny rozdział ziaren według ich gęstości nie jest możliwy, ponieważ ich pozycja w łożu zależy również od ich rozmiaru i kształtu. Zakłócenia w ilości i jakości nadawy powodują okresowe fluktuacje kształtu przebiegu rozluzowania, który powinien być bieżąco korygowany przez takie wielkości sterujące jak: momenty otwarcia i zamknięcia zaworów powietrza, ciśnienie powietrza oraz ewentualnie ilość wody dolnej. Schemat blokowy sterowania stopniem rozluzowania ośrodka woda/węgiel przedstawiony jest na rysunku 2. Kształt przebiegu rozluzowania ośrodka stabilizowany (korygowany) jest pośrednio na podstawie informacji o ruchu wody w przedziale głównym i komorze powietrznej oraz ciśnienia powietrza podawanego do komory powietrznej [5]. Na podstawie tej informacji sterownik wypracowuje odpowiednie momenty otwarcia i zamknięcia zaworów talerzowych oraz ciśnienia powietrza podawanego do osadzarki.

Po rozwarstwieniu ziaren materiału następuje w strefie odbioru produktów rozdział łoża na produkt dolny (materiał znajdujący się poniżej warstwy rozdziału) i górny (powyżej warstwy rozdziału). Powszechnie stosowanym urządzeniem pomiarowym wskazującym położenie warstwy materiału o wybranej gęstości jest pływak metalowy. Alternatywnym rozwiązaniem proponowanym w najnowszych rozwiązaniach układów sterowania jest gęstościomierz radiometryczny usytuowany na wybranej wysokości [1, 3, 4] (najczęściej na wyso-

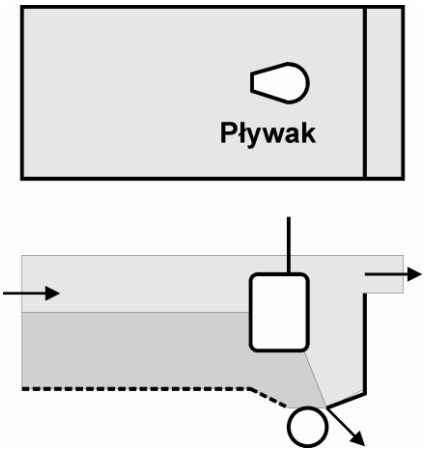
kości, którą powinna zająć warstwa materiału o wybranej gęstości rozdziału – rysunek 3.



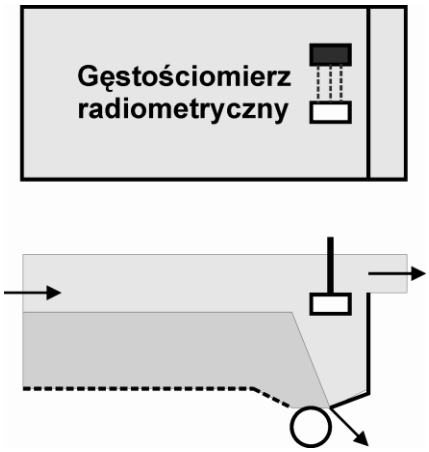
Rys.1. Ilustracja wpływu stopnia rozluzowania łoża w osadzarce na efektywność procesu wzbogacania



Rys.2. Schemat blokowy sterowania cyklem pulsacji

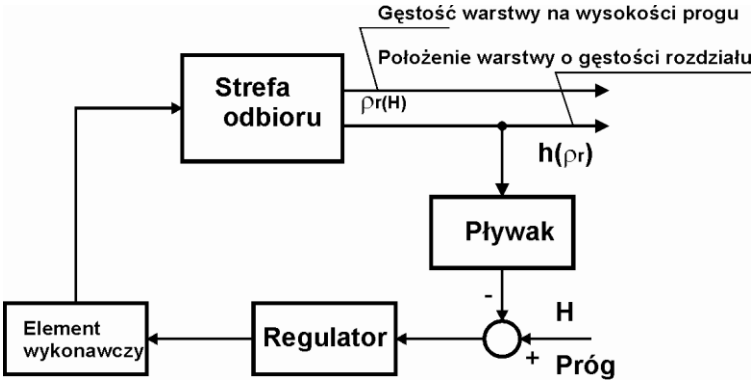


Rys.3a. Pływak jako miernik położenia warstwy materiału o wybranej gęstości

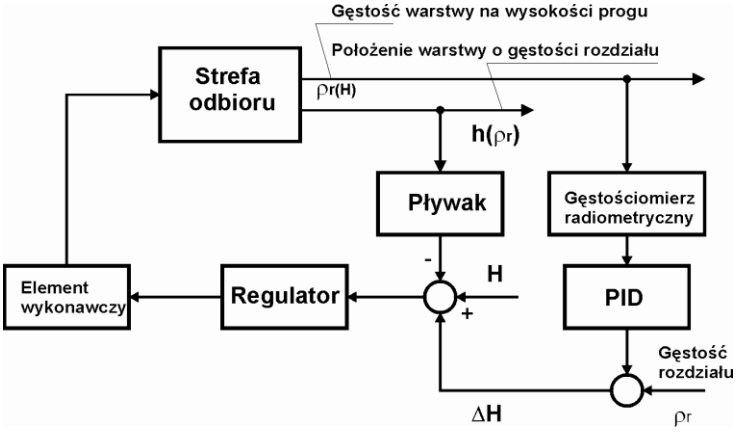


Rys.3b. Gęstościomierz radiometryczny mierzący gęstość warstwy materiału na wybranej wysokości

Rozdział rozwarstwionego materiału w strefie odbioru produktów następuje poprzez odpowiednie ustawienie otwarcia szczeliny odbierającej produkt dolny, a w konsekwencji ustalenie natężenia przepływu tego produktu. Natężenie przepływu produktu dolnego jest zasadniczym parametrem wpływającym na wartość gęstości rozdziału materiału w osadzarce. Schematy blokowe układów regulacji odbioru produktu dolnego z zastosowaniem pływaka i gęstościomierza radiometrycznego przedstawiono na rysunkach 4a, b. Działanie pływaka i gęstościomierza jest odmienne. Położenie pływaka powinno wskazywać położenie warstwy materiału o wybranej gęstości. Położenie pływaka, a więc położenie warstwy, która ma się stać warstwą rozdziału, jest w układzie na rysunku 4a stabilizowane na poziomie progu przelewowego przez regulację natężenia przepływu produktu dolnego q_d. W układzie na rysunku 4b położenie pływaka korygowane jest przez kaskadową pętlę regulacji, składającą się z gęstościomierza radiometrycznego, węzła zadanej wartości gęstości rozdziału oraz regulatora PID. Kaskadowa pętla regulacji koryguje błędy pomiarowe pływaka w okresach niestabilnej pracy osadzarki.



Rys.4a. Układ regulacji odbioru produktu dolnego z pływakiem



Rys.4b. Układ regulacji odbioru produktu dolnego
z gęstościomierzem radiometrycznym

2. Pomiar gęstości ośrodka

2.1. Pływak

Podstawowym urządzeniem pomiarowym w strefie odbioru produktów w obecnie stosowanych osadzarkach jest metalowy pływak. Szczegółowe badania własności pływaka jako urządzenia mierzącego położenie wybranej warstwy materiału w pulsującym łożu przedstawiono w [2]. Z badań wynika, że błąd ten jest tym większy im większy jest pływak i dla badanych pływaków i łoża materiału mieści się w zakresie 1,0 – 1,5 cm. Można spodziewać się, że w warunkach przemysłowych i przy zmiennym stopniu rozluzowaniu materiału, który występuje w praktyce, błędy te mogą być odpowiednio większe (2,0 – 3,0 cm). Odbija się to bezpośrednio w jakości działania pływakowych układów sterowania odbiorem produktów w osadzarce, w postaci zmian ilości i jakości koncentratu i odpadów/przerostów. Najmniejszy wpływ zmian składu densymetrycznego ośrodka obserwuje się dla pływaka pierścieniowego o najmniejszej wysokości (16 mm). Istotny wpływ na wielkość błędu pomiarowego ma stopień wynurzenia pływaka z materiału do wody znajdującej się nad łożem osadzarki. Zmiany położenia pływaka powodowane są w znacznym stopniu poprzez zmiany gęstości rozluzowanego łoża, w którym pływak się porusza w każdym cyklu pulsacji. Efekt ten wynika bezpośrednio z zastosowania wzoru Rittingera (1) na tzw. prędkość równopadania ziaren materiału o wybranej gęstości i gęstości pływaka:

$$k_1 \cdot \sqrt{d_z \cdot (\rho_z - \rho_o)} = k_2 \cdot \sqrt{D_p \cdot (\rho_p - \rho_o)} \tag{1}$$

gdzie:

d_z, D_p - zastępcze średnice ziarna i pływaka,

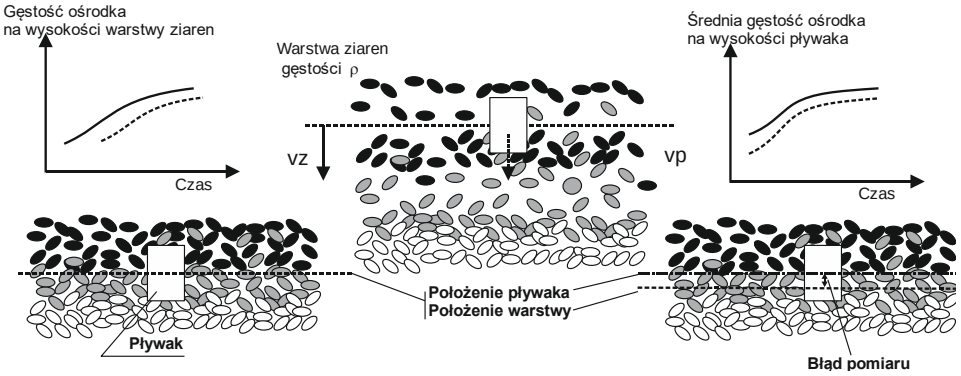
ρ_z, ρ_p - gęstości ziarna i pływaka,

ρ_o - średnia gęstość ośrodka w stanie rozluzowanym,

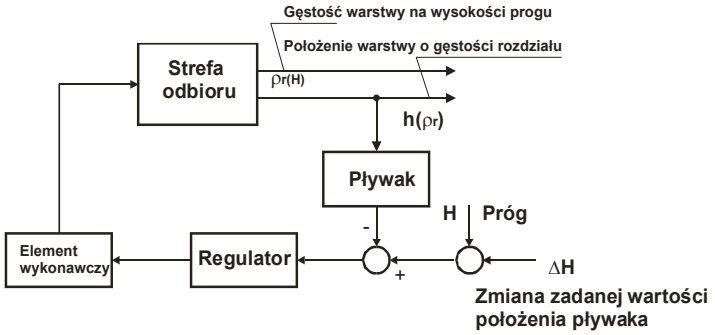
k_1, k_2 - współczynniki kształtu ziarna i pływaka.

Zmiany profilu gęstości oraz różnice w wielkości ziarna i pływaka powodują, że pływak i ziarno poruszają się w obszarach rozluzowanego ośrodka o różnych średnich gęstościach. Efekt ten zilustrowany jest na rysunku 5.

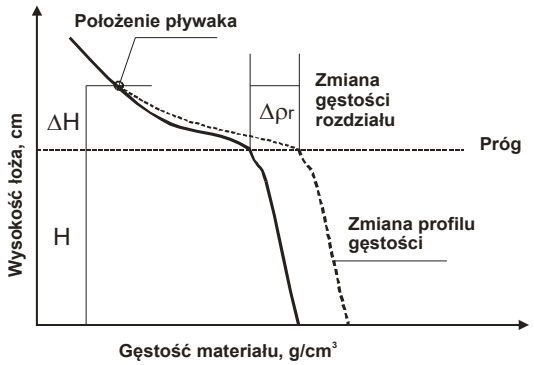
W pierwszych pływakowych układach sterowania warstwę o gęstości rozdziału ustala się poprzez dobór odpowiedniej gęstości pływaka, dodając do jego rurowego prowadzenia dodatkowe masy („ciężarki”). W wielu układach ten sposób jest w dalszym ciągu stosowany. Wybór warstwy rozdziału może być również dokonany pośrednio, przy niezmienionej gęstości pływaka, poprzez zmianę zadanego położenia pływaka ΔH w stosunku do wysokości progu przelewowego H, jak to pokazano na rysunku 6.



Rys.5. Ilustracja zmian położenia pływaka powodowanego zmianami nadawy



Rys.6a. Zmiana gęstości rozdziału przez zmianę zadanego położenia pływaka o stałej gęstości



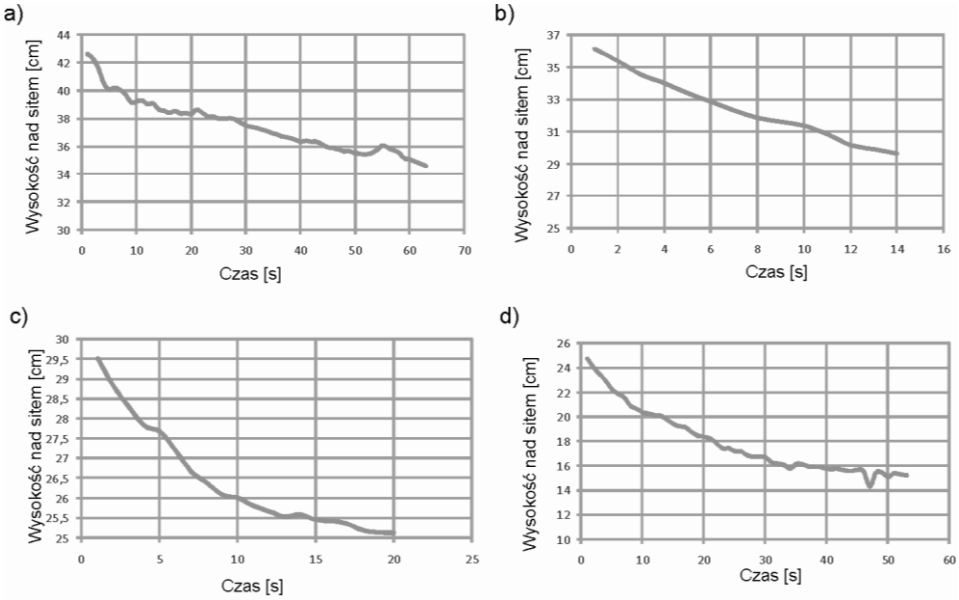
Rys.6b. Wpływ zmian nadawy na gęstość rozdziału w układzie z rysunku 3.8a

W pracy [2] badano również dynamiczne własności pływaka. Na rysunkach 7a, b, c, d przedstawiono przykładowe przebiegi zmian położenia pływaka w funkcji czasu po skokowej zmianie jego obciążenia (gęstości). Pod względem własności dynamicznych pływak jest elementem nieliniowym – jego charakterystyka dynamiczna zależy nie tylko od kształtu pływaka, ale również od położenia w łożu (profilu gęstości materiału w łożu). Aproksymacja przebiegów funkcjami wykładniczymi pozwala na oszacowanie stałej czasowej pływaka

jako inercyjnego elementu pomiarowego. Mierzone stałe czasowe mieściły się w przedziale 10,0 ÷ 40,0 s.

2.2. Gęstościomierz radiometryczny

W nowych układach regulacji osadzarek [1, 4, 5] proponuje się korektę pomiaru położenia warstwy rozdziału pływakiem przez pomiar ciągły gęstości łoża na wybranej wysokości – gęstościomierzem izotopowym (radiometrycznym), zabudowanym w łożu osadzarki, w strefie odbioru produktów wzbogacania. Rozwiązanie takie sprawia, że niekorzystny wpływ zmian parametrów densymetrycznych łoża na pomiar gęstości warstwy jest praktycznie wyeliminowany. Dodatkowo, sygnał pomiarowy z gęstościomierza wykorzystany może być do analizy i rejestracji zmian gęstości ośrodka w trakcie każdego cyklu pulsacji. Umożliwia to szacunkowy pomiar przebiegu rozluzowania warstwy w czasie cyklu pulsacji – parametru decydującego o efektywności i procesu wzbogacania węgla.



Rys.7. Zmiana położenia środka pływaka w funkcji czasu po skokowej zmianie jego gęstości *a) zmiana gęstości 1,2→1,3 g/cm^3, b) zmiana gęstości 1,3→1,4 g/cm^3, c) zmiana gęstości 1,4→1,5 g/cm^3, d) zmiana gęstości 1,5→1,6 g/cm^3*

Przetworzony na sygnały sterujące sygnał pomiarowy z gęstościomierza może być wykorzystany do sterowania elementami wykonawczymi układu odbioru produktów wzbogacania, a ponadto, poprzez oprogramowany sterownik systemu może umożliwić lepszy dobór parametrów pulsacji powietrza roboczego i ilości wody dolnej – w celu optymalizacji stopnia rozluzowania materiału w łożu osadzarki.

2.2.1. Metoda pomiaru

Do pomiaru gęstości ośrodka woda-węgiel w łożu osadzarki stosuje się metodę absorpcji promieniowania gamma ze źródła promieniowania ^{137}Cs umieszczonego w pojemniku ołowianym [1]. Detektorem promieniowania jest sonda scyntylacyjna. Kolimatory wiązki promieniowania zapewniają uzyskanie wąskiej wiązki promieniowania oddziałującej z warstwą materiału o grubości ok. 3,0 cm, co umożliwia pomiar gęstości tzw. warstwy rozdziału, która w 50% przechodzi przelewem do koncentratu, a w 50% zostaje odprowadzona do produktu dolnego. Metoda pomiarowa zilustrowana jest na rysunku 8. Na wyjściu detektora uzyskuje się ciąg impulsów, których średnia częstość zależy wykładniczo od mierzonej gęstości ośrodka (2).

$$\rho_x = 1 - \frac{In\left(\frac{I_x}{I_w}\right)}{\mu d} = 1 - \frac{\ln\left(\frac{N_x}{N_w}\right)}{\mu d} \tag{2}$$

gdzie:

I_0 – natężenie promieniowania wychodzącego z pojemnika,

I_w – natężenie promieniowania padającego na detektor dla wody,

N_w – liczba zliczeń impulsów na wyjściu detektora dla wody,

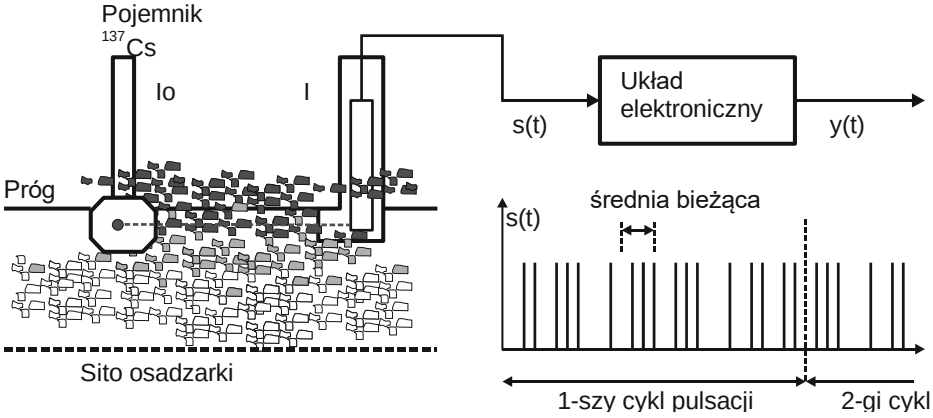
I_x – natężenie promieniowania padającego na detektor dla badanego ośrodka,

N_x – liczba zliczeń impulsów na wyjściu detektora dla badanego ośrodka,

d – grubość absorbenta [cm],

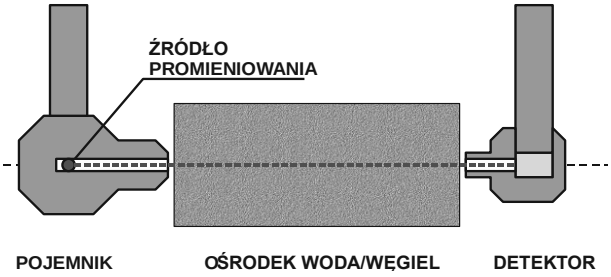
μ – masowy współczynnik osłabienia promieniowania [cm^2/g],

ρ_x – gęstość ośrodka [g/cm^3].



Rys.8. Metoda pomiaru gęstości ośrodka woda-węgiel w korycie osadzarki

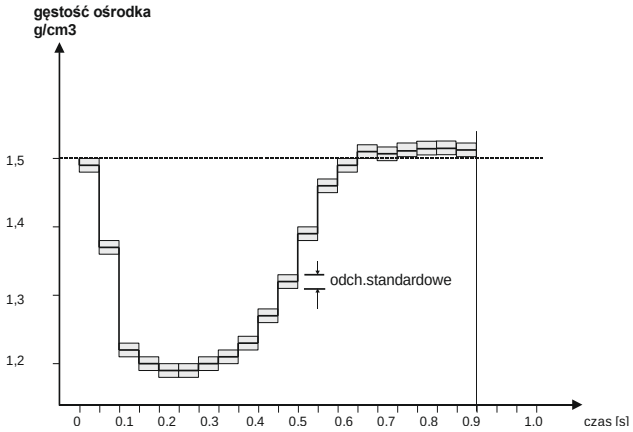
Schemat konstrukcji pojemnika na źródło promieniowania ^{137}Cs (150 mCi) oraz sondy scyntylacyjnej przedstawiono na rysunku 9.



Rys.9. Schemat konstrukcyjny głowicy pomiarowej złożonej z pojemnika na źródło promieniowania ^{137}Cs i sondy scyntylacyjnej z kryształem NaJ

2.2.2. Wstępne pomiary zmian gęstości badanego ośrodka

Przykładowy przebieg zmian gęstości ośrodka w ciągu jednego cyklu pulsacji przedstawiony jest na rysunku 10, a widok głowicy pomiarowej umieszczonej w korycie osadzarki na rysunku 11.



Rys.10. Przykładowy przebieg zmian gęstości w ciągu 1 s

Rys.11. Widok głowicy pomiarowej

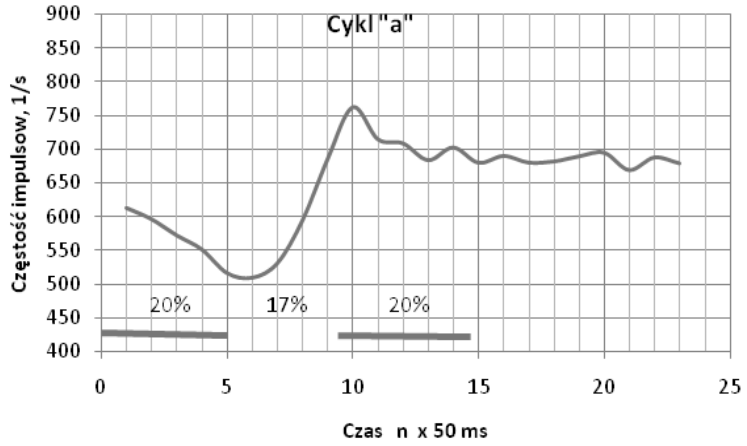
Ze względu na wymagany krótki elementarny czas pomiaru (50 ms) istotnym problemem jest uzyskanie akceptowalnej statystycznej niepewności pomiaru gęstości (założono < 0,01 g/cm^3). Niepewność pomiaru natężenia promieniowania I_x mierzonego w czasie t i wyrażona w postaci odchylenia standardowego określona jest zależnością:

$$\sigma = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{I_x \cdot t}} \quad [\%] \tag{3}$$

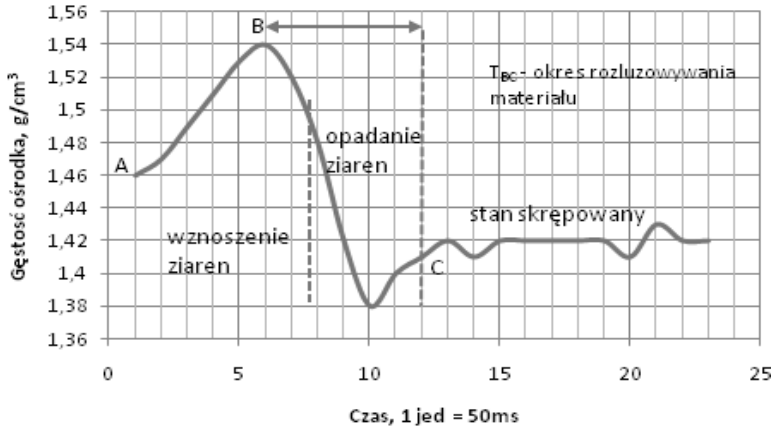
Na podstawie charakterystyki kalibracji głowicy pomiarowej oraz wzoru (3) określono niepewność pomiaru gęstości ośrodka $\sigma_{\rho x}$ dla końca zakresu pomiarowego ρ_x = 1,7 g/cm^3 (1,2 g/cm^3 – 1,7 g/cm^3). Wyznaczono również współczynnik przeliczeniowy gęstości ośrodka na gęstość suchego materiału w łożu osadzarki, który wynosi k_g = 1,28. W celu ograniczenia błędu pomiarowego gęstości ośrodka przyjęto, że wynik pomiaru gęstości będzie średnią z trzech ostatnich pomiarów w każdym z 8 cykli pulsacji (ok. 10 s), co odpowiada sumarycznemu czasowi pomiaru impulsów z detektora t_p = 1,2 s.

Przykładowy przebieg zmian liczby zliczanych impulsów oraz odpowiadający im przebieg zmian gęstości ośrodka w 1 cyklu pulsacji przedstawiono na rysunkach 12 i 13 (na wysokości progu). Przebieg zmian gęstości ośrodka zależy od miejsca rejestracji (położenie głowicy pomiarowej względem sita lub progu), grubości łoża materiału w strefie odbioru i rozkładu gęstości warstw wraz z ich położeniem, parametrów cyklu pulsacji powietrza (ciśnienie, czasy otwarcia i zamknięcia zaworu wlotowego i wylotowego powietrza). W pierwszej fazie otwarcia zaworu wlotowego powietrza następuje gwałtowne podniesienie całego łoża bez efektu jego rozluzowania (okres T_{AB}). W strefę pomiaru dostają się warstwy materiału o coraz większej gęstości i w związku z tym obserwuje się wzrost rejestrowanej gęstości. W następnym okresie (po zamknięciu zaworu wlotowego) następuje dalszy ruch materiału w górę, przy czym ziarna położone wyżej (jako mniej skrępowane) poruszają się szybciej i następuje faza rozluzowania materiału objawiająca się zmniejszeniem się rejestrowanej gęstości. Po osiągnięciu maksymalnego stopnia rozluzowania następuje opadanie ziaren, które może wywołać w początkowej fazie dalsze zmniejszanie się gęstości na skutek pojawiania się ziaren o coraz mniejszej gęstości, a następnie zwiększanie się gęstości na skutek stopniowego osiągania stanu skrępowania.

Proces osiągania stanu skrępowania (wzrostu gęstości) przyspieszony jest otwarciem zaworu wylotowego powietrza, który powinien być w odpowiednim momencie zamknięty w celu zatrzymania ruchu wody w dół i powtórzenia cyklu pulsacji w warunkach hydraulicznych, takich samych jak w poprzednim cyklu. Przyjmuje się, że okres trwania stanu rozluzowania T_{BC} może być miarą stopnia rozluzowania materiału.



Rys.12. Przykładowy przebieg zmian liczby impulsów

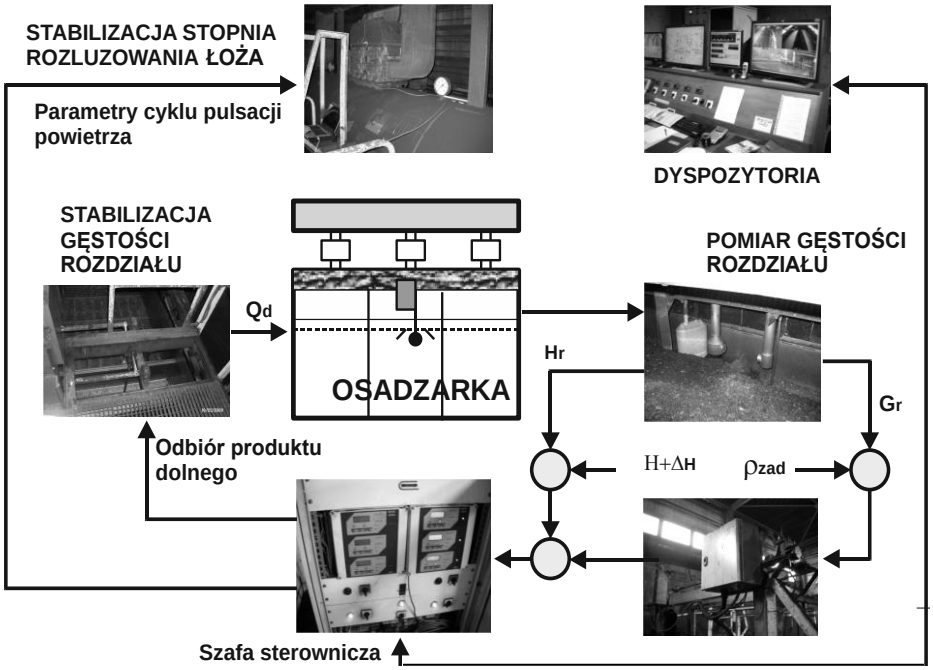


Rys.13. Przebieg zmian gęstości ośrodka odpowiadający przebiegowi zmian liczby impulsów (rys. 12)

Gęstość rozdziału węgla w osadzarce wyznacza się z odczytu wskazań gęstościomierza w końcowej części cyklu pulsacji (ostatnie 3-4 interwały pomiarowe – 50 ms dające sumaryczny czas rejestracji zliczeń impulsów z detektora – 150 ÷ 200 ms). Uśrednienie wyniku pomiaru w ciągu kolejnych k cykli pulsacji daje łączny czas pomiaru $\Delta t_p = 50\,k$ ms (dla $k = 8$, $\Delta t_p = 1{,}2 \div 1{,}6$ s).

3. Automatyczna regulacja gęstości rozdziału

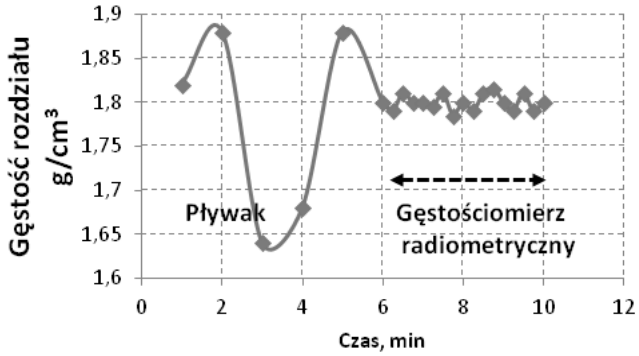
Schemat blokowy układu regulacji przedstawiony jest na rysunku 14. Podstawowy układ stabilizacji gęstości rozdziału składa się z pływaka, którego gęstość jest tak dobrana, aby pływak dla $\Delta H = 0$ znajdował się na wysokości warstwy materiału o gęstości równej zadanej gęstości rozdziału, węzła sumacyjnego wartości zadanej $(H+\Delta H)$ oraz regulatora P.



Rys.14. Schemat blokowy radiometrycznego układu stabilizacji gęstości rozdziału

Zadaniem tego układu jest utrzymywanie pływaka na wysokości progu przelewowego, tym samym utrzymywanie położenia warstwy o zadanej gęstości (rozdziału) na wysokości progu. Odbywa się to poprzez sterowanie wielkością natężenia przepływu produktu dolnego Q_d. Zmiana zadanej gęstości rozdziału odbywa się przez odpowiednią zmianę ΔH, która powoduje zmianę zadanego położenia pływaka w stosunku do progu przelewowego, a tym samym zmniejszenie lub zwiększenie zadanej gęstości rozdziału. Należy zaznaczyć, że rzeczywista wartość zadanej gęstości rozdziału w tym przypadku może być określona tylko z pewnym przybliżeniem.

Zmiany wysokości i składu densymetrycznego łoża materiału powodują zmiany położenia pływaka (błędy pomiarowe pływaka). W efekcie występują fluktuacje gęstości rozdziału, których wielkość zależy od wielkości zmian ilości i jakości nadawy do osadzarki. W celu stabilizacji powyższych fluktuacji gęstości rozdziału zastosowano kaskadowy układ regulacji składający się z gęstościomierza radiometrycznego, węzła wartości zadanej i regulatora PI wypracowującego poprawkę wartości zadanej Δh. Sygnał z gęstościomierza porównywany jest z wartością zadaną gęstości rozdziału, a sygnał błędu e podawany jest na wejście regulatora PI wykonanego w postaci modułu cyfrowego algorytmu w oprogramowaniu sterownika przedziału. Gęstościomierz pracuje w pętli kaskadowej regulacji, obejmującej pętlę sterowania odbiorem produktu dolnego w zależności od położenia pływaka.



Rys.15. Porównanie efektów stabilizacji gęstości rozdziału w pływakowym układzie sterowania i w układzie z gęstościomierzem radiometrycznym

Na rysunku 15 przedstawiono porównanie efektów działania pływakowego układu sterowania z układem sterowania z gęstościomierzem radiometrycznym. W przypadku układu pływakowego obserwuje się znaczne fluktuacje gęstości rozdziału wynikające głównie z błędów pomiarowych pływaka w okresach znacznych zmian obciążenia osadzarki. Fluktuacje gęstości rozdziału dochodzą do 0,25 g/cm^3. Zastosowanie gęstościomierza radiometrycznego w kaskadowym układzie regulacji korygującym pracę pływaka umożliwia zmniejszenie tych fluktuacji do 0,15 g/cm^3, a więc do porównywalnych fluktuacji występujących w układach regulacji wzbogacalników zawiesinowych.

4. Wnioski

Opracowany doświadczalny system sterowania osadzarki składa się z gęstościomierza radiometrycznego oraz algorytmu kaskadowego sterowania pływakowym układem odbioru produktu dolnego. Gęstościomierz radiometryczny składa się z głowicy pomiarowej (pojemnik ze źródłem promieniowania gamma ^{137}Cs oraz sonda z detektorem scyntylacyjnym) zanurzonej w łożu osadzarki w pobliżu progu przelewowego koncentratu oraz układu elektronicznego przetwarzającego sygnał pomiarowy z sondy scyntylacyjnej. Gęstościomierz radiometryczny umożliwia pomiar zmian gęstości w kolejnych cyklach pulsacji ośrodka w oknach czasowych 50 ms oraz umożliwia uśrednianie tych pomiarów w kolejnych cyklach (2-10 cykli). W efekcie takiego przetwarzania sygnału uzyskuje się informację o wartości gęstości rozdziału (na podstawie pomiaru w końcowej części cyklu, w której występuje stan zwarty materiału) oraz stopnia rozluzowania materiału (początkowa część cyklu pulsacji ośrodka).

Przeprowadzono badania zmian gęstości ośrodka (woda/węgiel) w łożu osadzarki z podstawowym, pływakowym układem sterowania i z doświadczalnym układem sterowania (z gęstościomierzem radiometrycznym). Badania układu podstawowego wykazały fluktuacje gęstości rozdziału w przedziale

0,25 g/cm^3 powodowane zmianami ilości i jakości nadawy kierowanej do badanego przedziału osadzarki. Zastosowanie gęstościomierza radiometrycznego do pomiaru gęstości warstwy rozdziału w kaskadowym układzie korekty wartości zadanej położeniem pływaka w konwencjonalnym układzie sterowania odbiorem produktu dolnego w istotny sposób poprawia efekty stabilizacji gęstości rozdziału. Dokładność stabilizacji w stanie ustalonym w badanym doświadczalnym układzie sterowania wynosiła ok. ±0,015 g/cm^3 (dwukrotne odchylenie standardowe fluktuacji wokół wartości średniej). Błędy regulacji powodowane są głównie stochastycznymi fluktuacjami sygnału z gęstościomierza radiometrycznego.

Literatura

1. Cierpisz S., Będkowski Z. i inn.: Radiometryczny system sterowania procesem wzbogacania węgla w osadzarce. Konferencja KOMEKO 2011, 21-23 marzec 2011, Rytro.
2. Cierpisz S., Kowol D.: Wpływ zakłóceń procesu wzbogacania węgla w osadzarce na zmiany gęstości rozdziału - badania laboratoryjne. Gór. Geoinż. AGH, 4/2009.
3. Cierpisz S., Joostberens J., Kowol D.: Model symulacyjny strefy odbioru produktów wzbogacania w osadzarce. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, nr 2010.
4. Lyman G.J., Jonkers A., van Latum L., Hughes D.M.: Automatic computerised jig control. In: Proceedings of the ninth interantional conference on coal research, Washington, DC, USA, 13-16 Oct 1991.
5. Lyman G J (1992) Review of jigging principles and control. Coal Preparation; 11 (1-2); 41-72 (Jun 1992).

Zastosowanie modułowych sit gumowych typu EPP w osadzarkach pulsacyjnych miałowych

Andrzej Pyc, Marek Lenartowicz – Biuro Projektów Prorem Sp. z o.o., **Piotr Wodziński** – Politechnika Łódzka

1. Wstęp

Węgiel kamienny wydobywany w wyniku eksploatacji pokładów jest zbiorem różnej wielkości ziaren węgla, ziaren skały płonnej, przerostów węglowo-kamiennych i łupków przywęglowych [1, 2]. W takiej postaci nie nadaje się do bezpośredniego wykorzystania i musi być poddany procesom przeróbczym [1, 2]. Wzbogacanie węgla odbywa się najczęściej w urządzeniach wykorzystujących różnice w gęstości ziaren węgla i zanieczyszczeń [1,2]. Procesy te nazywa się wzbogacaniem grawitacyjnym [1]. Najbardziej rozpowszechnionymi technologiami wzbogacania grawitacyjnego węgla w zakładach przeróbczych są separacja we wzbogacalnikach z cieczą ciężką (płuczkach ziarnowych) oraz wzbogacanie w osadzarkach wodnych (płuczkach miałowych) [6]. W Polskich zakładach przeróbczych pracują płuczki ziarnowe i płuczki miałowe różnego typu, które wzbogacają węgiel kamienny powyżej 20 (10) mm oraz od 0,1 (0,5) lub (3) do 20 (10) mm [6].

Wzbogacanie w osadzarkach odbywa się poprzez poddawanie warstwy materiału działaniu pulsującego strumienia wody, dostarczanego przez pokład sitowy, dzięki któremu uzyskuje się rozluzowanie ziaren. W rozluzowanym ośrodku następuje rozwarstwienie ziaren według ich gęstości tzn. ziarna lekkie wynoszone są ku powierzchni łoża zawiesinowego, a ziarna cięższe opadają w jego dolną część. Rozwarstwiony materiał, na końcowym odcinku pojedynczego przedziału maszyny, podlega rozdziałowi na produkty wzbogacania [3, 7].

Na proces rozdziału materiału w osadzarce mają wpływ różne parametry procesu wzbogacania, które można podzielić na technologiczne i hydrodynamiczne [7].

Do technologicznych parametrów należą wszystkie czynniki związane z jakością jak i ilością wzbogacanego węgla, takie jak skład ziarnowy, skład densymetryczny, grubość łoża, czas wzbogacania. Do hydrodynamicznych zalicza się wszystkie czynniki warunkujące ruch pulsacyjny [7]. Proces wzbogacania kształtuje się w wyniku wzajemnego działania parametrów technologicznych i hydrodynamicznych [5].

Pokład sitowy w osadzarce to perforowana powierzchnia, na której następuje rozdział wzbogacanego materiału na frakcje o różnej gęstości oraz po której rozdzielone frakcje transportowane są w kierunku strefy odbioru, gdzie następuje ich rozdział na dwa produkty wzbogacania [7]. Powyższy element ma za

zadanie umożliwienie przepływu pulsującego strumienia wody oraz odprowadzanie przez otwory, pod dno sitowe, ziaren małych rozmiarów, o dużej gęstości [5, 7].

Parametry konstrukcyjne pokładu sitowego osadzarki powinny korelować z parametrami granulometrycznymi i densymetrycznymi wzbogacanego materiału, ponieważ kształt otworów, ich ukierunkowanie oraz stosunek powierzchni otworów do powierzchni całego sita (współczynnik prześwitu) mają istotne znaczenie dla [5, 7]:

- transportu materiału w korycie roboczym,
- stopnia rozluzowania wzbogacanego materiału,
- ilości, wielkości i rodzaju (gęstość) ziaren przepadających przez pokład sitowy,
- prędkości i natężenia przepływu pulsacyjnego strumienia wody.

W osadzarkach pulsacyjnych stosowano pokłady sitowe wykonane z płaskiej blachy perforowanej, z siatki cięto-ciągnionej, rusztowin lub sit szczelinowych [4].

Obecnie najpowszechniej stosuje się sita szczelinowe z otworami w formie prostokąta w którym stosunek boków jest duży, zgrzewane ze szczeliną usytuowaną zgodnie z kierunkiem przepływu materiału. Sita te charakteryzują się [8]:

- zdolnością do przenoszenia dużych obciążeń,
- wysokim współczynnikiem powierzchni otwartej (współczynnik prześwitu),
- idealnie równą i gładką powierzchnią.

W związku z podatnością ww. sit do zatykania się, dla zapewnienia poprawnej pracy osadzarek zachodzi konieczność regularnego, okresowego czyszczenia (odblokowania) powierzchni czynnej pokładów sitowych [8], dlatego w kilku aplikacjach zastosowano pokład sitowy wykonany z modułowych sit gumowych typu EPP o szczelinie prostokątnej ukierunkowanej pod kątem 30˚ odchylenia od pionu i wymiarach 6 x 20 mm.

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań przemysłowych osadzarek miałowych, w których jako pokład sitowy zastosowano sita szczelinowe i sita gumowe typu EPP.

2. Cel i metodyka badań

Celem badań przeprowadzonych w warunkach przemysłowych było porównanie wyników uzyskiwanych podczas wzbogacania miału surowego w osadzarkach pulsacyjnych, uzbrojonych w sita szczelinowe i sita gumowe typu EPP oraz potwierdzenie możliwości stosowania pokładów z modułowych sit gumowych w procesie wzbogacania miałów węglowych w osadzarkach.

Badania przeprowadzono w zakładzie przeróbki mechanicznej węgla na dwóch osadzarkach miałowych wzbogacających miał węglowy. Jedna osadzarka została wyposażona w sita szczelinowe zgrzewane wykonane z prętów typu Sbb42, ze szczeliną $s = 8$ mm, skierowaną równolegle do kierunku przepływu materiału po pokładzie sitowym, natomiast drugą osadzarkę wyposażono w pok- ład sitowy wykonany z modułowych sit gumowych typu EPP o szczelinie pros- tokątnej ukierunkowanej pod kątem 30˚ odchylenia od pionu i wymiarach 6 x 20 mm.

W tabeli 1 zestawiono parametry konstrukcyjne pokładów sitowych zastosowanych w badaniach. Sita zgrzewane charakteryzują się większą powierzchnią aktywną od modułowych sit gumowych, a więc powierzchnią przez którą odbywa się ruch pulsacyjny strumienia wody powodujący rozwarstwienie materiału na powierzchni pokładu sitowego osadzarki. Prześwit dla sita zgrzewanego o szczelinie $s = 8$ mm wynosi 74% powierzchni pokładu sitowego, a prześwit modułowego sita gumowego wynosi 27%.

Parametry konstrukcyjne zastosowanych w badaniach sit [8]

Tabela 1

Lp.	Typ sita	Szczelina s [mm]	Współczynnik prześwitu [%]
1	Zgrzewane - profile Sbb42 i Q55	8	74
2	Modułowe sito gumowe typu EPP	6x20	27

Próby nadawy i odpadów pobierano w czasie normalnej pracy osadzarek przez okres pięciu dni roboczych. W celu wykonania zaplanowanego zakresu prac badawczych pobrano próby technologiczne nadawy i odpadów z obydwu badanych osadzarek. Próby nadawy na osadzarki, pobierane były z przenośników taśmowych kierujących materiał do osadzarki, natomiast produkt odpadowy pobierano na wysypach zsuwni przenośników kubełkowych.

Pobrane próby zostały pomniejszone i poddane analizie densymetrycznej.

3. Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy densymetrycznej nadawy i odpadów uzyskanych w osadzarce miałowej z sitami szczelinowymi, a w tabeli 3 wyniki analizy densymetrycznej nadawy i odpadów uzyskanych w osadzarce miałowej z sitami gumowymi. Na rysunku 1 przedstawiono porównanie strat koncentratu w odpadach uzyskanych w osadzarce z sitami szczelinowymi i gumowymi.

Analiza densymetryczna nadawy i odpadów z osadzarki miałowej z sitami szczelinowymi [źródło: opracowanie własne]

Tabela 2

Próba	Nadawa			Odpady osadzarka uzbrojona w zgrzewane sito z profili Sbb42 i Q55 s = 8 mm		
	fr <1,45 [%]	fr 1,45-1,8 [%]	fr >1,8 [%]	fr <1,45 [%]	fr 1,45-1,8 [%]	fr >1,8 [%]
1	52,30	7,10	40,60	3,30	3,61	90,06
2	57,90	7,00	36,00	2,20	2,60	93,20
3	49,80	7,10	43,10	3,26	2,28	91,26
4	48,40	9,90	41,70	2,55	4,17	90,28
5	56,00	6,00	38,00	2,99	3,64	93,18
6	55,20	10,00	34,80	3,65	4,70	87,40
Średnia:	**53,50**	**7,85**	**39,03**	**2,99**	**3,50**	**90,90**

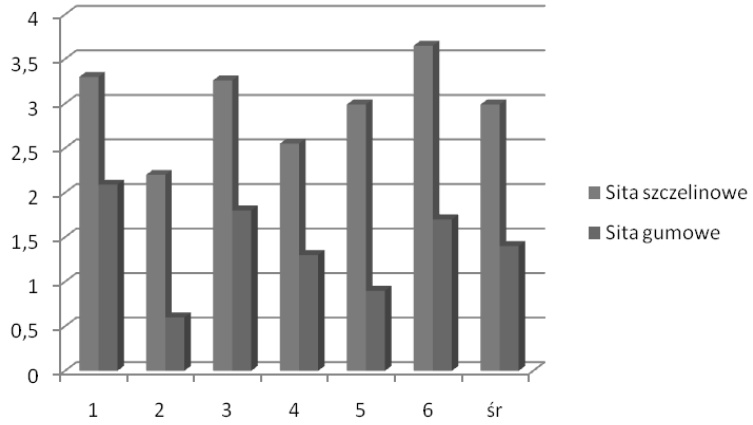
Analiza densymetryczna nadawy i odpadów z osadzarki miałowej z sitami gumowymi [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 3

Próba	Nadawa			Odpady osadzarka uzbrojona w modułowe sito gumowe typu EPP s = 6 x 20 mm		
	fr <1,45 [%]	fr 1,45-1,8 [%]	fr >1,8 [%]	fr <1,45 [%]	fr 1,45-1,8 [%]	fr >1,8 [%]
1	50,80	5,50	43,70	2,09	0,35	97,56
2	53,00	6,30	40,70	0,60	2,00	97,31
3	46,80	6,70	46,41	1,80	7,90	90,21
4	47,60	14,50	37,90	1,30	2,90	95,80
5	53,40	7,00	39,60	0,90	5,70	93,40
6	60,60	6,20	33,20	1,70	12,10	86,20
Średnia:	**52,03**	**6,58**	**40,25**	**1,40**	**5,16**	**93,41**

Wartości strat koncentratu w odpadach w osadzarce wyposażonej w zgrzewane sito w układzie prostopadłego ułożenia profili Sbb42 i Q55 o szczelinie s = 8 mm (prześwit P = 74%) wahają się od 2,20 do 3,65%. Średnia strata

koncentratu w odpadach w wyżej wymienionej osadzarce za cały okres badań wynosi 2,99 %.

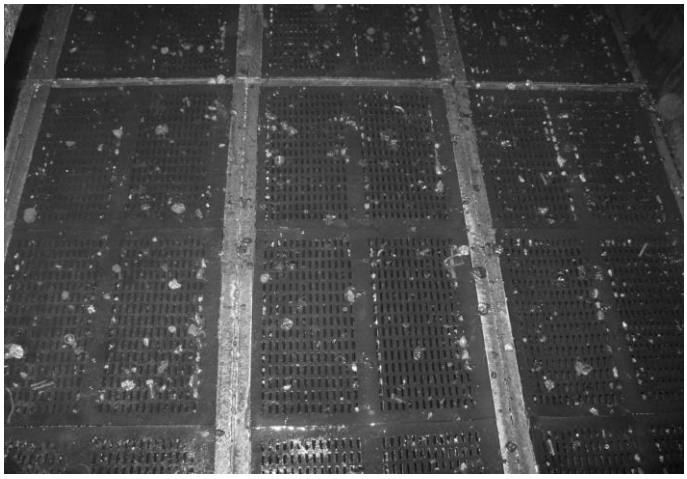


Rys.1. Straty koncentratu w odpadach w badanych osadzarkach
[źródło: opracowanie własne]

Wartości strat koncentratu w odpadach w osadzarce uzbrojonej w modułowe sita gumowe typu EPP o szczelinie s = 6 x 20 (prześwit pokładu sitowego P = 27%) wahają się od 0,6 do 2,09 %. Średnia strata koncentratu w odpadach w wyżej wymienionej osadzarce za cały okres badań wynosi 1,40 %.

Dodatkowo po zakończeniu badań przemysłowych porównano stopień zablokowania sit (rys.2 i 3) i stwierdzono, że po tygodniowym cyklu pracy osadzarek sita zgrzewane posiadają zdecydowanie mniejszą powierzchnię aktywną pokładu sitowego od modułowych sit gumowych.

Rys.2. Stopień zablokowania prześwitu modułowego sita zgrzewanego
[źródło: opracowanie własne]



Rys.3. Stopień zablokowania prześwitu modułowego sita gumowego typu: EPP
[źródło: opracowanie własne]

4. Podsumowanie

Zastosowanie modułowych sit gumowych o otworze prostokątnym, w którym dłuższy bok jest prostopadły oraz pochylony pod kątem 30˚ do kierunku transportu wzbogacanego materiału (stożkowatość otworu zgodna z kierunkiem przepływu materiału) [8] w osadzarce miałowej spowodowało:

- zmniejszenie strat koncentratu w odpadach,
- zmniejszenie „podatności" na blokowanie się sit,
- zmniejszenie możliwości przejścia przez otwór sita ziaren drobnych,
- ukierunkowanie przepływu strumienia wody przez otwór sita,
- eliminację potrzeby czyszczenia pokładu sitowego.

Badania przeprowadzone w warunkach przemysłowych w pełni potwierdziły zasadność stosowania modułowych sit gumowych typu EPP w osadzarkach pulsacyjnych do wzbogacania miału.

Literatura

1. Blaschke St.: Przeróbka mechaniczna kopalin. Wydawnictwo Śląsk. Katowice, 1982.
2. Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wydawnictwo Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków, 2009.
3. Dietrych J.: Osadzarki. Państwowe Wydawnictwo Techniczne. Katowice, 1953.

4. Lenartowicz M., Kowol D., Łagódka M.: Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych pokładów sitowych stosowanych w osadzarkach pulsacyjnych. KOMEKO 2008, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska systemy przeróbcze surowców mineralnych, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice 2008 s. 205-212.
5. Lenartowicz M., Kowol D., Łagódka M., Matusiak P.: Badania laboratoryjne wpływu parametrów pokładu sitowego na charakterystykę ruchu pulsacyjnego wody w osadzarce pulsacyjnej. Górnictwo i Geoinżynieria 2009, z.4, s.169-175.
6. Lutyński A., Osoba M.: Problemy mechanicznej przeróbki węgla kamiennego w perspektywie roku 2020. www.wnp.pl, 2008.
7. Poradnik Górnika, Tom 5. Wydawnictwo Śląsk. Katowice, 1976.
8. Pyc A., Wodziński P.: Wpływ parametrów pokładu sitowego na blokowanie sit w osadzarce miałowej. KOMEKO 2011, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, s. 87 – 97.

Rozwój konstrukcji przesiewaczy do klasyfikacji wstępnej węgla kamiennego oraz innych surowców ze szczególnym uwzględnieniem przesiewaczy o falującej powierzchni roboczej sita typu „flip-flow”

Krzysztof Kwaśny – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

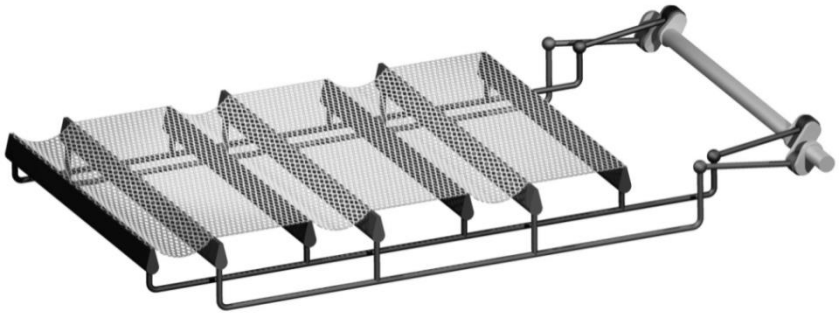
Jednym z ważniejszych zagadnień w procesie wzbogacania węgla kamiennego jest przeróbka drobnych klas tego surowca. W ciągu ostatnich dwudziestu lat, wiele polskich kopalń wprowadziło w swych zakładach przeróbczych wstępną klasyfikację węgla przed jego wzbogacaniem, polegającą na odsiewaniu najdrobniejszych klas ziarnowych. Powoduje to znaczne odciążenie obiegów wodno-mułowych, prowadząc do większej efektywności procesu wzbogacania. Proces ten jest trudny do realizacji z wykorzystaniem klasycznych przesiewaczy, ponieważ drobne ziarna powodują szybkie zatykanie otworów sit klasycznych. Konieczne staje się stosowanie innych rozwiązań. Jednym z nich są przesiewacze typu „flip-flow” – o falującej powierzchni roboczej sita.

Po raz pierwszy w Polsce przesiewacz o falującej powierzchni roboczej sita został zastosowany w 1992 roku w Zakładzie Przeróbczym KWK „Knurów”. W wyniku tego stało się możliwe odsiewanie z klas ziarnowych 20(30) – 0 mm klas drobnych poniżej 4 (5) mm. Pozwoliło to na zwiększenie efektywności procesu wzbogacania w osadzarkach węgla 20 (30) – 4 (5) mm przez znaczne uproszczenie drogich i uciążliwych w eksploatacji obiegów wodno-mułowych [6]. W obecnej chwili przesiewacze te są stosowane, między innymi w Zakładzie Wzbogacania i Odsiarczania Miałów Zakładu Górniczego „Sobieski”. Wykorzystuje się je do klasyfikacji węgla surowego 30 – 0 mm na klasy 30 – 2 mm, oraz 2 – 0 mm. Następnie klasa 30 – 2 mm jest wzbogacana w trójproduktowych osadzarkach wodnych pulsacyjnych, zaś klasa 2 – 0 mm podlega dalszej klasyfikacji na hydrocyklonach Ø 500 z ziarnem podziałowym 0,1 mm. Omawiane przesiewacze znalazły również zastosowanie w kopalniach: „Bielszowice”, „Chwałowice”, „Halemba”, „Jankowice”, „Makoszowy”, „Pokój”, „Polska-Wirek” oraz „Rydułtowy”. Ponadto, stosowane są również w Zakładzie Wzbogacania Odpadów Po- flotacyjnych „POLHO” do klasyfikacji na mokro nadawy na klasy: 20 – 3 mm, 3 – 0,3 mm, oraz 0,3 – 0 mm [7].

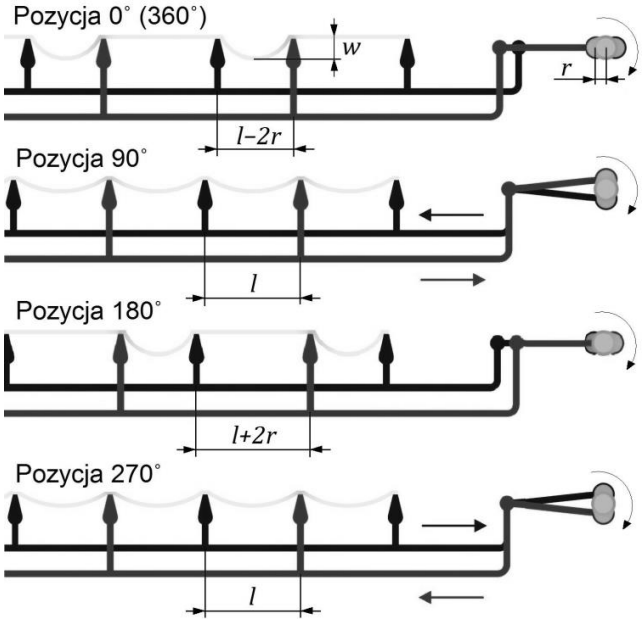
2. Opis działania przesiewacza typu „flip-flow”

Głównymi elementami przesiewacza o falującej powierzchni roboczej sita są dwie ruchome ramy, składające się ze ścian bocznych oraz łączących je poprzecznic (rys. 1). Na poprzecznicach zamocowane są kolejne segmenty mem-

branowych, elastycznych sit. Obie ramy wprowadzane są w ruch posuwisto-zwrotny, przy czym przemieszczają się w przeciwnych kierunkach. W wyniku tego, rozpięte pomiędzy poprzecznicami sita, są na przemian naprężane i rozluźniane (zostaje im nadany ruch falowy).



Rys.1. Model przesiewacza z elastycznym sitem o falującym ruchu roboczym [11]



Rys.2. Kolejne fazy ruchu falującego powierzchni sita [11]

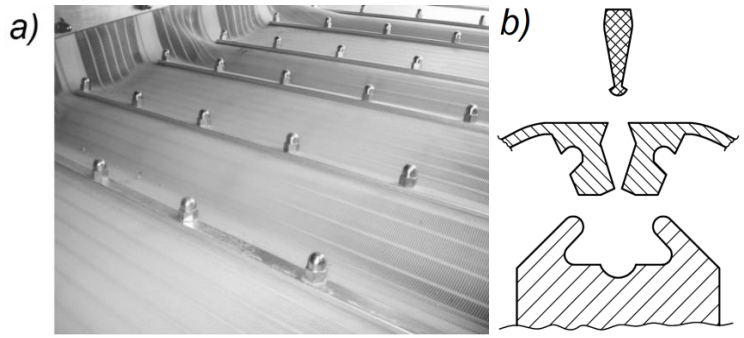
Na rysunku 2 pokazano kolejne fazy ruchu falującego sita. W pozycji 0˚ (360˚) połowa powierzchni sita jest napięta, zaś druga połowa tworzy falę o wysokości *w*. W kolejnej fazie ruchu napięte odcinki sita są stopniowo rozluźniane i w pozycji 90˚ całość powierzchni sit tworzy wklęsłe fale o równych wysokościach. W dalszej kolejności następuje stopniowe napinanie odcinków sita, które w pozycji 0˚ tworzyły fale, aż do ich całkowitego napięcia w chwili osiągnięcia pozycji 180˚. Następnie układ przesiewacza dąży do osiągnięcia pozycji 270˚, w której układ odcinków sita jest identyczny jak w pozycji 90˚. Po

tym następuje powrót do pozycji 0˚ (360˚) i cykl pracy przesiewacza rozpoczyna się od początku [1].

W pozycji 0˚ (360˚) oraz w pozycji 180˚ następuje gwałtowne napięcie sita. W tym czasie na sito działają przeciążenia rzędu 50 g (490,3 m/s^2), zaś ramy są narażone na przeciążenia 2 ÷ 3 g (19,61 ÷ 29,42 m/s^2). Następuje również sprężyste odkształcenie powierzchni sita, co powoduje zmianę wielkości otworów w sicie. W wyniku tego zaklinowane w otworach ziarna są uwalniane, zaś siły pochodzące od przeciążeń powodują ich gwałtowne wyrwanie z otworów sita. Zjawisko to nazywane jest samoczyszczeniem sita. Duże przyśpieszenia powodują również intensywne rozluźnienie i szybkie rozwarstwienie materiału przesiewanego. W porównaniu z tradycyjnymi przesiewaczami, do otworów sita dociera, w tym samym czasie, większa ilość drobnego materiału. To decyduje o osiągnięciu wysokiej, właściwej wydajności przelotowej. Istotną rolę odgrywa także obniżenie skłonności do przywierania ziaren materiału przesiewanego do sita dzięki efektowi trampolinowemu [4].

Ruch posuwisto-zwrotny ram, w większości konstrukcji tego typu przesiewaczy, jest uzyskiwany dzięki zastosowaniu napędu mimośrodowego. Wielkość amplitudy drgań ram przesiewacza jest zależna od promienia mimośrodowości r wału napędowego. Na rysunku 2 oznaczono wymiar l, będący odległością pomiędzy dwiema sąsiednimi poprzecznicami w pozycji 90˚ lub 270˚, czyli w chwili, gdy odległości pomiędzy wszystkimi poprzecznicami są takie same. Odległość pomiędzy tymi samymi poprzecznicami w chwili, gdy umocowane pomiędzy nimi sito jest napięte wynosi $l + 2r$, zaś w chwili, gdy sito tworzy falę o wysokości w, odległość ta wynosi $l - 2r$.

3. Sita membranowe



Rys.3. Elastyczne sita membranowe*: a) mocowane za pomocą listew i śrub, b) szybkiego montażu* [10, 12]

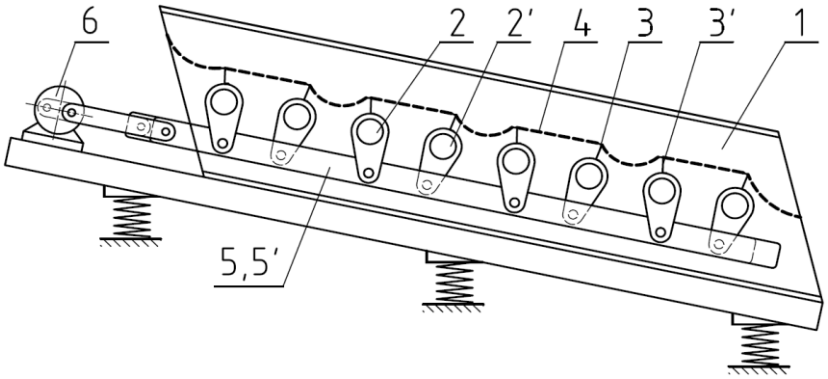
Omawiane przesiewacze wyposażone są w elastyczne, membranowe sita, które obecnie wykonywane są głównie z poliuretanu. W większości rozwiązań cały pokład sitowy przesiewacza składa się z segmentów, z których każdy sta-

nowi osobne sito. Sita te rozpięte są pomiędzy kolejnymi poprzecznicami i na nich następuje łączenie sąsiednich sit. Sposoby mocowania mogą być różne. Najczęściej wykorzystuje się do tego listwy zaciskowe i śruby (rys. 3a). Spotyka się również sita o odpowiednio wyprofilowanych krawędziach służące do szybkiego montażu w gniazdach wykonanych w poprzecznicach (rys. 3b). Zaletą segmentowej budowy pokładu sitowego jest łatwość wymiany uszkodzonych jego części. W takiej sytuacji wymienia się jedynie segment, który uległ uszkodzeniu.

4. Rozwiązania konstrukcyjne

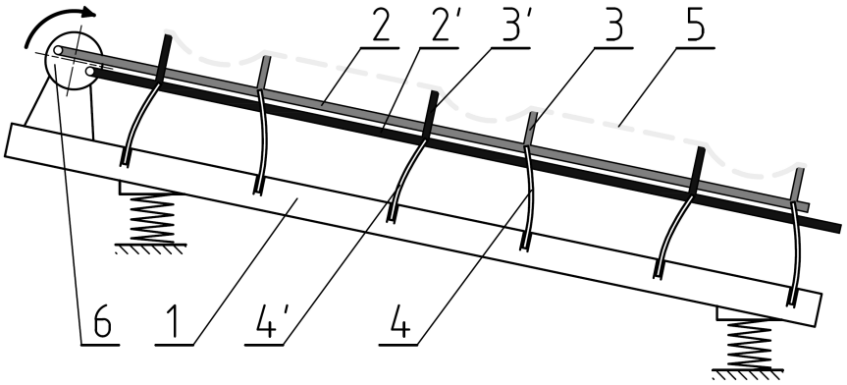
4.1. Przesiewacze typu TORWELL i LIWELL

Pierwsze urządzenia tego typu zostały opracowane przez firmę Hein, Lehman na początku lat 60-tych XX wieku. W przesiewaczach typu Torwell (rys. 4) poprzecznice 3, 3', pomiędzy którymi rozpięte są sita, mocowane są do uchylnych dźwigni 2, 2'. Dźwignie te, dzięki przegubowemu utwierdzeniu w rzeszocie przesiewacza 1, mają możliwość wykonywania ruchu wahadłowego. Napędzane są one przez mimośród o podwójnym wykorbieniu 6, za pośrednictwem belek 5, 5'. Dźwignie, mimośród oraz belki tworzą dwa układy przesunięte względem siebie o 180º i pracujące przeciwbieżnie. Dzięki temu sita są na przemian naprężane i rozluźniane. Przesiewacze te nie znalazły jednak szerszego zastosowania [5].



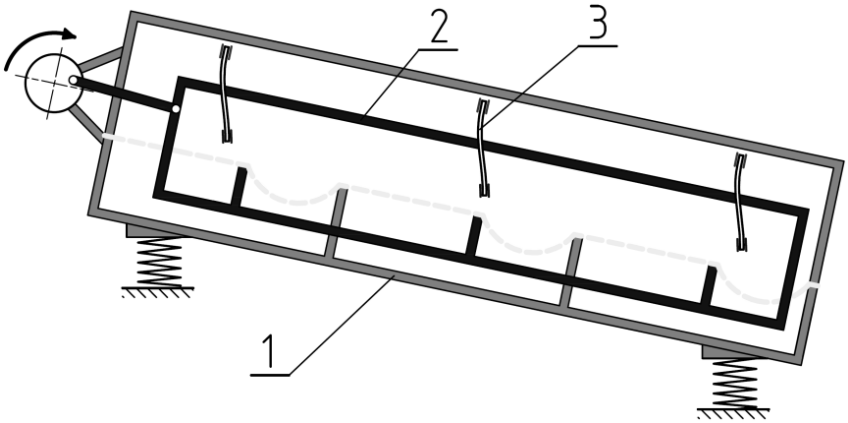
Rys.4. Przesiewacz typu Torwell [5]

Intensywny rozwój nastąpił z kolei w przypadku przesiewaczy typu Liwell, które to szybko zaczęto stosować w takich dziedzinach, jak przeróbka węgla, rudy, kruszyw oraz recykling. Ich pierwsze konstrukcje (rys. 5) składały się z dwóch układów ruchomych ram 2, 2' z poprzecznicami 3, 3', pomiędzy którymi są rozpięte sita membranowe 5. Ruchome ramy są połączone z ramą nośną 1 sprężystymi łącznikami 4, 4'. Ich napęd realizowany jest zaś za pomocą wału mimośrodowego z podwójnym wykorbieniem 6.



Rys.5. Przesiewacz Liwell z mimośrodem o podwójnym wykorbieniu [5]

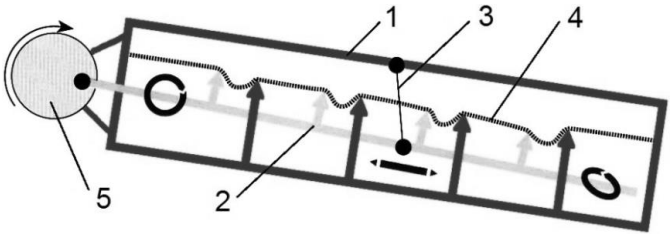
Nowsze konstrukcje zbudowane są z dwóch ram, z których jedna jest ramą główną (nośną) 1, zaś druga ruchomą 2 (rys. 6). Połączone są one sprężystymi łącznikami 3. W powyższym opisie tylko jedną z ram określono mianem ruchomej. Należy jednak dodać, że w czasie pracy przesiewacza obie ramy drgają z pewnymi amplitudami zależnymi od ich mas, promienia mimośrodowości, prędkości obrotowej, oraz sprężystości łączników.



Rys.6. Przesiewacz Liwell z mimośrodem o pojedynczym wykorbieniu [5]

4.2. Przesiewacz typu Trisomat

Kolejnym rozwiązaniem przesiewacza typu „flip-flow" jest przesiewacz znany pod nazwą Trisomat firmy IFE, którego budowę pokazano na rysunku 7. Jego cechą charakterystyczną jest to, że rama ruchoma 2 jest umocowana do ramy 1 tylko w jednym punkcie – w jej środkowej części. Mocowanie jest realizowane za pomocą wahliwego łącznika 3. Pomiędzy oboma systemami ram rozpięte są membranowe sita 4. Przednia część ramy 2 jest osadzona bezpośrednio na mimośrodzie wału napędowego 5.

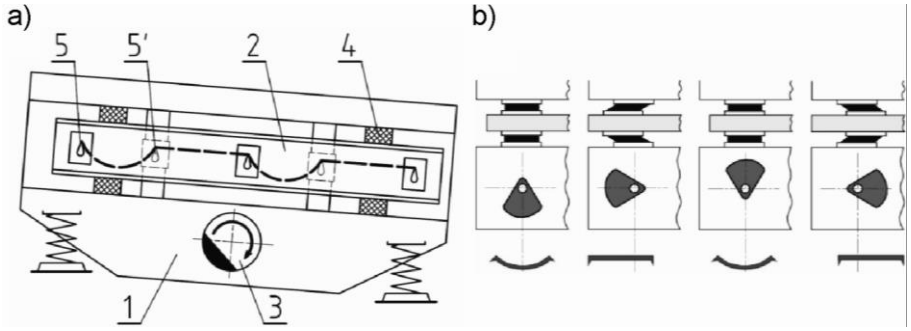


Rys.7. Przesiewacz typu Trisomat [12]

Taka budowa przesiewacza zapewnia zróżnicowanie ruchu roboczego sit wzdłuż pokładu sitowego przesiewacza. Ruch kołowy powstający na wejściowej części pokładu, pomaga w równomiernym rozprowadzeniu materiału i wspomaga jego transport. Ruch liniowy w centralnej części pokładu zapewnia optymalny kontakt pomiędzy materiałem i sitem, co poprawia skuteczność przesiewania. Eliptyczny ruch powstały na końcu pokładu opóźnia rozładunek materiału, dając możliwość jeszcze skuteczniejszego odsiania drobnych ziaren [12].

4.3. Przesiewacz typu Bivitec

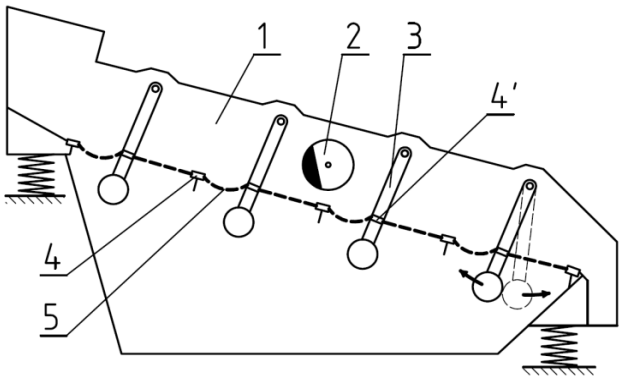
Innym rozwiązaniem jest przesiewacz typu Bivitec wprowadzony przez firmę „Binder&Co". Jego konstrukcja oparta jest na klasycznym przesiewaczu o drganiach kołowych, z wibratorem rezonansowym jednomasowym (rys. 8a). W skład przesiewacza wchodzą dwa systemy ramowe: rama główna 1, będąca jednocześnie konstrukcją nośną oraz rama wewnętrzna 2 połączona z ramą główną za pomocą gumowych łączników 4. Wibrator 3 wywołuje drgania ramy nośnej przesiewacza. Nie są one jednak w całości przenoszone na ramę wewnętrzną ze względu na jej elastyczne mocowanie oraz działanie sił bezwładności. Sytuację tą ilustruje rys. 8b. W wyniku tego, pomiędzy obiema ramami występuje przemieszczenie, dzięki któremu sita rozpięte pomiędzy poprzecznicami 5, 5' są na przemian napinane i rozluźniane. Siła napięcia sit jest zależna od parametrów pracy wibratora i jest dobierana w zależności od przeznaczenia przesiewacza. Spotkać można również konstrukcje z wibratorami dwumasowymi, wówczas drgania występujące w przesiewaczu mają charakter liniowy [12].



Rys.8. Przesiewacz Bivitec *a) schemat, b) zasada działania* [5, 12]

4.4. Przesiewacz bezwładnościowy

Ciekawym rozwiązaniem wydaje się być przesiewacz bezwładnościowy, którego konstrukcję pokazano na rysunku 9. Można tu wyróżnić rozwiązania z wibratorami jednomasowymi o drganiach kołowych oraz z wibratorami dwumasowymi o drganiach liniowych. W tym przypadku elementami wywołującymi ruch falowy sita 5 są wahadła 3 wraz z przytwierdzonymi do nich poprzecznicami 4'. Przemieszczenie wahadeł względem rzeszota 1 powstaje w wyniku drgań przesiewacza wywołanych wibratorem 2 oraz sił bezwładności działających na wahadła [5].



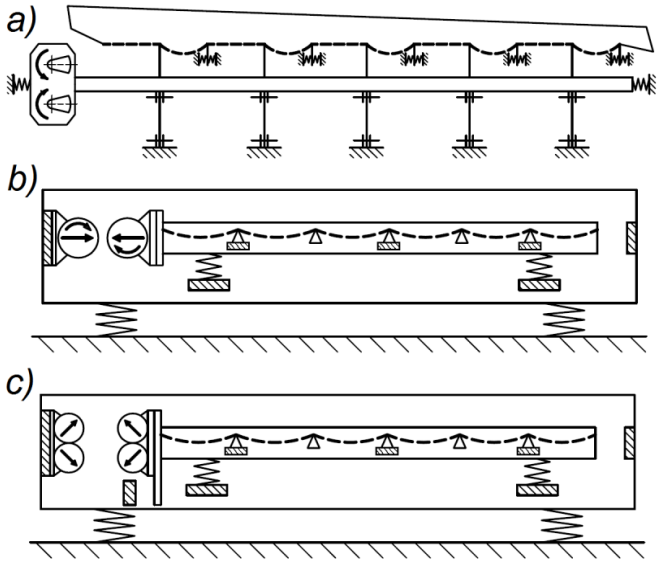
Rys.9. Przesiewacz bezwładnościowy [5]

4.5. Rozwiązania przesiewaczy typu „flip-flow" konstrukcji ITG KOMAG

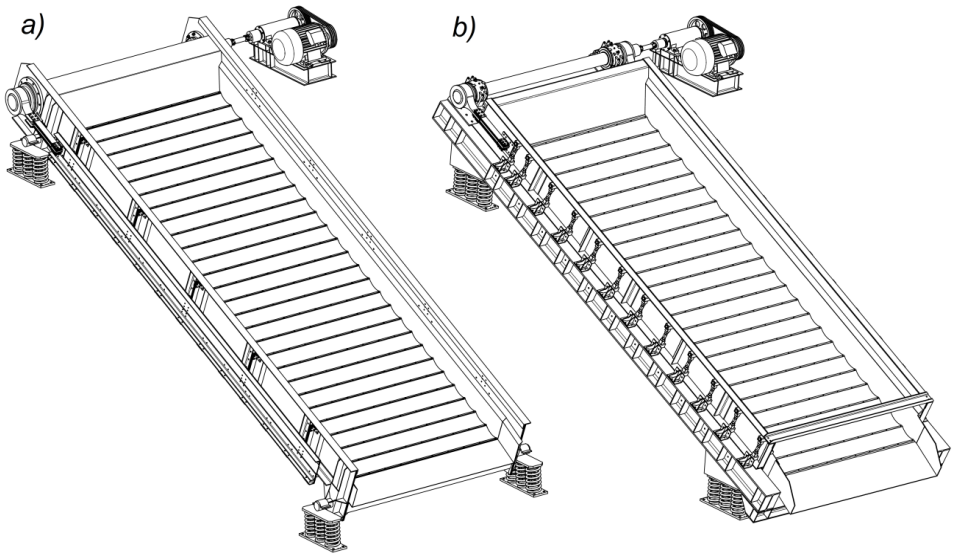
Wśród wielu projektów wykonanych przez KOMAG są również przesiewacze o falującej powierzchni roboczej sita. Pierwsze prace w tym zakresie podjęto na początku lat 90. XX wieku. Ich efektem były projekty przesiewaczy, które schematycznie przedstawiono na rys. 10. W pierwszym z nich (rys. 10a) elementem wywołującym drgania jest wibrator dwumasowy o drganiach liniowych. Rama napędzana wibratorem jest utwierdzona sprężyście do podłoża za pomocą sprężyn oraz sprężystych łączników. Do ramy tej przytwierdzona jest co druga z poprzecznic, pomiędzy którymi rozpięte są sita. Pozostałe poprzecznice utwierdzone są, również za pomocą sprężyn, do podłoża [8].

Przesiewacz pokazany na rysunku 10b napędzany jest dwoma wibratorami jednomasowymi o ruchu kołowym. Jeden z nich utwierdzony jest do ramy zewnętrznej, będącej jednocześnie ramą nośną, drugi zaś do ramy wewnętrznej. Obie ramy połączone są ze sobą za pomocą sprężyn. Membranowe sita rozpięte są pomiędzy poprzecznicami, z których co druga przytwierdzona jest do ramy zewnętrznej, zaś pozostałe do ramy wewnętrznej. Wibratory napędzające ramy są ze sobą sprzężone oraz ustawione przeciwsobnie. Dzięki temu ramom nadawane są drgania o przeciwnych kierunkach, które to z kolei przenoszone są na sita, powodując ich naprzemienne naprężanie i rozluźnianie. Na rysunku 10c

pokazano przesiewacz o takiej samej zasadzie działania jak opisany uprzednio z tym, że jako napęd zastosowano wibratory dwumasowe o drganiach liniowych [9].



Rys.10. Konstrukcje przesiewaczy zaprojektowanych w KOMAG-u [8, 9]



Rys.11. Najnowsze konstrukcje przesiewaczy typu „flip-flow” zaprojektowane w KOMAG-u [11]

W 2011 roku KOMAG przeprowadził modernizację konstrukcji przesiewacza o falującej powierzchni roboczej sita. Efektem tych prac były konstrukcje pokazane na rysunku 11. Składają się one z dwóch systemów ramowych, do

których naprzemiennie umocowane są poprzecznice podtrzymujące membranowe sita. Elementami wywołującymi ruch roboczy ram, a tym samym sit, są układy mimośrodowe. Przesiewacze te charakteryzują się prostą i zwartą konstrukcją, w której wykorzystano wiele innowacyjnych rozwiązań dotyczących przede wszystkim konstrukcji ram, wykonania sprężystego zawieszenia pomiędzy ramami oraz konstrukcji poprzecznic. Projekty te są w dalszym ciągu rozwijane [11].

5. Podsumowanie

Wprowadzenie w zakładach przeróbki mechanicznej węgla klasyfikacji wstępnej miało na celu zwiększenie efektywności procesu wzbogacania, poprzez odsianie z nadawy najdrobniejszych ziaren zamulających obiegi wodne. Proces ten, jest jednak trudny do realizacji z pomocą klasycznych przesiewaczy, ze względu na skłonność do zatykania otworów sitowych przez drobne ziarna. Jednym z typów przesiewaczy, które radzą sobie z tym problemem są przesiewacze o falującej powierzchni roboczej sita. Ich pierwsze projekty pojawiły się w latach 50-tych dwudziestego wieku, zaś do użytku wprowadzone zostały w latach 60-tych przez firmę Hein, Lehman. Ich pierwsze egzemplarze składały się z dwóch ram ruchomych oraz ramy nośnej, zaś ruch roboczy realizowany był za pomocą układów mimośrodowych z podwójnym wykorbieniem. Przez lata były one modernizowane, aż do powstania konstrukcji z mimośrodem o pojedynczym wykorbieniu w której jedna z ram ruchomych stanowi jednocześnie ramę nośną. Inną odmianą przesiewaczy typu „flip-flow" są tzw. przesiewacze bezwładnościowe, w których całkowicie wyeliminowano układ mimośrodowy. Obecnie istnieje wiele odmian przesiewaczy tego typu, z których część opisano w rozdziale 4.

Dzięki swoim zaletom, przesiewacze o falującej powierzchni roboczej sita stały się jednymi z najczęściej stosowanych do klasyfikacji wstępnej przed wzbogacaniem. W polskich kopalniach najbardziej rozpowszechnione są przesiewacze typu Liwell.

W tabeli 1 przedstawiono porównanie parametrów przesiewaczy typu „flip-flow" z innymi, często stosowanymi w górnictwie i innych dziedzinach przemysłu przesiewaczy. Z analizy danych można wnioskować, że ich największym atutem jest bardzo wysoka efektywność przesiewania wynosząca około 95%. Większą efektywność mają jedynie przesiewacze rusztowe palcowo-rolkowe, jednak nie są zalecane do klasyfikacji węgla, ze względu na ich dużą dynamikę pracy i możliwość kruszenia ziaren w czasie przesiewania. Przesiewacze z elastycznymi sitami charakteryzują się również najmniejszą, możliwą do uzyskania, wielkością ziarna podziałowego spośród wyszczególnionych przesiewaczy. Cechuje je również stosunkowo duża wydajność.

Porównanie parametrów wybranych typów przesiewaczy [1, 2, 12]

Tabela 1

Rodzaj przesiewacza	Maks. wydajność [t/h]	Maks. wielkość ziarna w nadawie [mm]	Wielkość ziarna podziałowego [mm]	Orientacyjna efektywność przesiewania [%]
Typu flip-flow	800	80	1÷40	95
WK	1000	200	6÷64	70÷90
WKw	600	600	50÷200	
PWK	720	200	10÷80	
PWP	720	200	10÷80	
PZ	1000	200	8÷40	
Rusztowy rolkowy RT	980	1500	80÷200	93
Rusztowy palcowo-rolkowy	300	180	20÷40	97

Należy również wspomnieć o ich wadach. Podstawową wadą jest niższa żywotność elastycznych sit w porównaniu z sitami klasycznymi. Uciążliwość tego problemu zmniejszono przez zastosowanie segmentowej budowy pokładu sitowego. Dzięki temu w przypadku uszkodzenia wymieniany jest uszkodzony segment. Również w przypadku poprzecznic mamy do czynienia z przyspieszonym procesem zużywania. Zaobserwowano przypadki ich pękania w czasie pracy, zwłaszcza w obszarze spoin. Jednak w ostatnich latach, zarówno w przypadku sit, jak i poprzecznic, jakość tych elementów uległa poprawie. Części zamienne oferowane obecnie przez producentów zapewniają uzyskanie zadawalającej żywotności. Również w KOMAG-u prowadzone są prace związane z optymalizacją konstrukcji poprzecznic w celu osiągnięcia jak największej wytrzymałości oraz żywotności.

Literatura

1. Blaschke S.: Przeróbka mechaniczna kopalin. Część I, Wydawnictwo Śląsk 1982.
2. Banaszewski T.: Przesiewacze. Wydawnictwo Śląsk, 1990.
3. Sztaba K.: Przesiewanie. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, 1993.
4. Aufbereitungs-Technik, 1985, nr 7.
5. AT English Edition: Fine and very fine screening, 1/2010
6. Problemy projektowe przemysłu i budownictwa, 1993, nr 2.

7. Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2004, zeszyt Nr 2(13).
8. Opis patentowy PL 171993 B1 – Przesiewacz wibracyjny, 1997.
9. Opis patentowy PL 173310 B1 – Przesiewacz z sitem elastycznym, 1998.
10. Opis patentowy US 7,654,394 B2 – Flexible mat screening or conveying apparatus, 2010.
11. Praca statutowa E/BG-12640 – Nowe rozwiązanie przesiewacza o falującej powierzchni roboczej sita. Materiały nie publikowane ITG KOMAG, Gliwice 2011.
12. Katalogi firm: „Hein, Lehman", „Binder&Co.", „IFE" „Wamag", „Mifama S.A.", „Jawo S.A."

Hydrocyklony klasyfikujące

Piotr Myszkowski – PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k.

1. Wstęp

Hydrocyklony znajdują coraz szersze zastosowanie w nowoczesnych zakładach przeróbki mechanicznej kopalin ze względu na prostotę budowy (brak części ruchomych), uproszczenie układów klasyfikacji, a także z powodu ciągłego zaostrzania wymagań dotyczących jakości rozdziału produktów klasyfikacji.

Hydrocyklony jako urządzenia klasyfikujące stosuje się w zakładach wzbogacania surowców mineralnych, w układach mielenia w celu uzyskania odpowiedniego uziarnienia materiału kierowanego do flotacji. W procesach mielenia na mokro, hydrocyklony klasyfikujące zapewniają wydzielenie ziaren drobnych, gotowych do flotacji i zagęszczenie ziaren grubych odpowiednio do wymagań procesu mielenia.

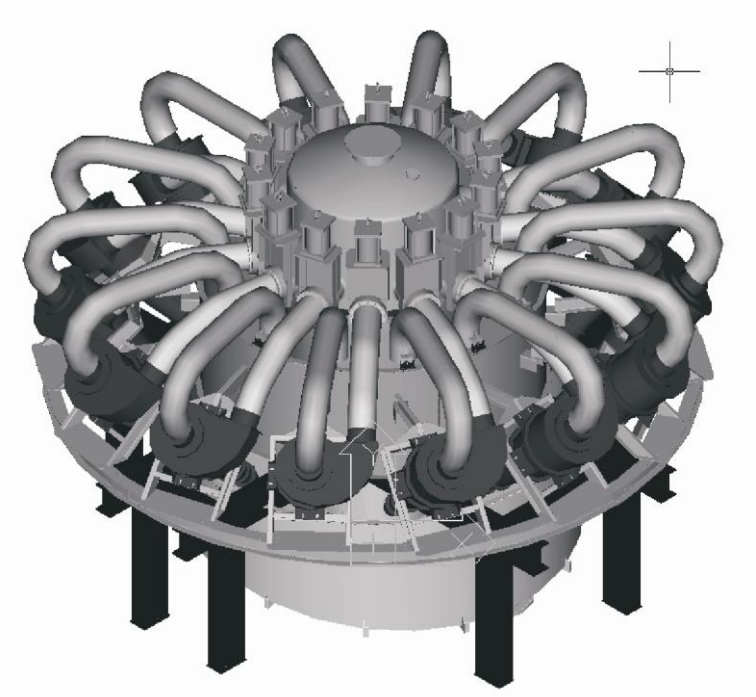
2. Dobór hydrocyklonu

Właściwy dobór hydrocyklonu nie jest sprawą prostą, ponieważ wiele parametrów wpływających na jego pracę, nie jest dokładnie znanych przed jego uruchomieniem. Z tego powodu bardzo często zdarza się, że konserwatywnie dobierany system klasyfikacji będzie produkował znacznie drobniejsze ziarno niż jest wymagane. W konsekwencji, w celu uzyskania żądanej jakości separacji, np. w systemie mielenia, utrzymujemy podwyższone zawroty i większe gęstości przelewów, a w układzie klasyfikacji przed flotacją, część ziaren nie będzie kierowana do wzbogacania. Większa gęstość przelewu w hydrocyklonie prowadzi do mniejszej efektywności pracy hydrocyklonu. Np. dla układu mielenia produkującego materiał P80 = 0,090 mm przy 300% zawrotu, szacunkowa zawartość klasy poniżej 0,037 mm w wylewie hydrocyklonu wyniesie 9% przy zagęszczeniu 32% przelewu. Jeśli zagęszczenie przelewu zwiększy się do 40%, zawartość klasy poniżej 0,037 mm w wylewie zwiększy się do 13% [2]. Większa ilość materiału w wylewie spowoduje zmniejszenie wydajności układu mielącego lub wzbogacania.

Dużo korzystniejszym rozwiązaniem, w porównaniu do wyżej opisanego podejścia konserwatywnego, jest dobór hydrocyklonu pod kątem zachowania dużej elastyczności po rozruchu. Oznacza to konieczność zmiany średnicy tulei przelewowej na mniejszą i zastosowanie większej liczby pracujących hydrocyklonów. W praktyce należy zamontować w baterii dodatkowe hydrocyklony.

3. Orientacja położenia hydrocyklonu

W układach największych młynów typu SAG stosowane są hydrocyklony o średnicy 660 – 840 mm i długości 2500 – 3000 mm. W efekcie występuje duża różnica ciśnienia pomiędzy wlotem a wylewem. Przyjmując założenie utrzymywania dużych gęstości wylewu przez cały okres eksploatacji, należy uważnie monitorować i utrzymywać na stałym poziomie stan zużycia dyszy wylewu. W wyniku montażu hydrocyklonu pod kątem 45^o zmniejsza się ciśnienie w rejonie wylewu, a utrzymywanie gęstości wylewu na stałym poziomie jest w takim przypadku dużo łatwiejsze. Dodatkowo, zmniejsza się prędkość wydostającej się przez dyszę wylewu strugi zagęszczonego materiału, a żywotność tego elementu zwiększa się wówczas o ok. 100%.



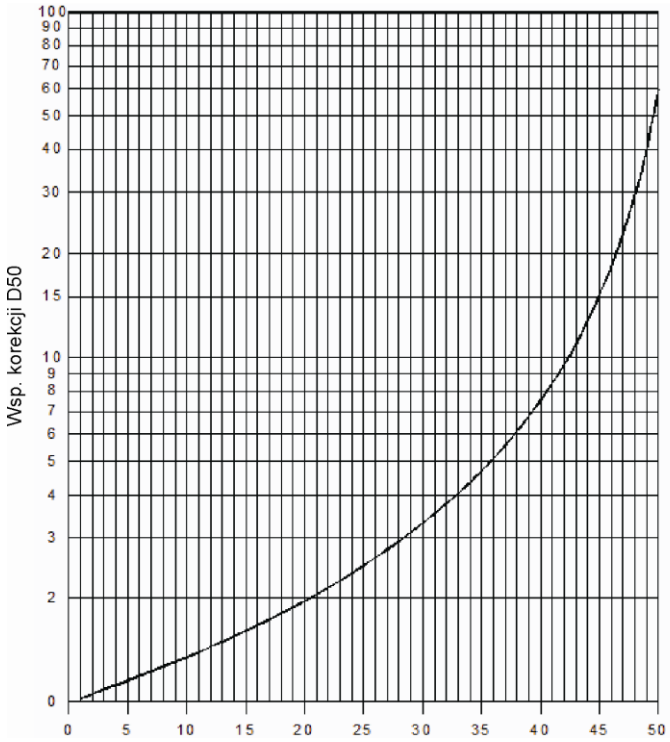
Rys.1. Bateria hydrocyklonów zamontowanych pod kątem 45^o [2]

Szacuje się, że połowa hydrocyklonów o dużych rozmiarach dostarczonych w ciągu ostatnich 10 lat, zostało zamontowanych pod kątem 45^o. Oprócz łatwiejszego utrzymywania dużych gęstości wylewów, taka pozycja montażu umożliwia pracę z większą elastycznością podczas zmian tonażu lub gęstości, ponieważ przewymiarowana średnica dyszy wylewu nie zatyka się tak łatwo i większe cząstki nie przedostaną się wówczas do przelewu. Z drugiej strony należy zastosować dłuższe rury przelewu, a dostęp do wylewów każdego hydrocyklonu jest utrudniony. W wielu przypadkach w celu wymiany dyszy wylewu należy wymontować z baterii cały hydrocyklon. Problemy opisane powyżej

nie występują przy zastosowaniu liniowego rozdzielacza nadawy, jednak w tym przypadku należy liczyć się z pogorszeniem izotropowości rozdzielanego na poszczególne hydrocyklony materiału.

4. Działanie hydrocyklonu

W dużej części układów klasyfikacji, występuje problem fluktuacji zagęszczenia świeżej nadawy. W rezultacie działanie hydrocyklonów staje się trudniejsze. Ponieważ zmienia się zagęszczenie nadawy, zmianie ulega również efektywność separacji w hydrocyklonie.



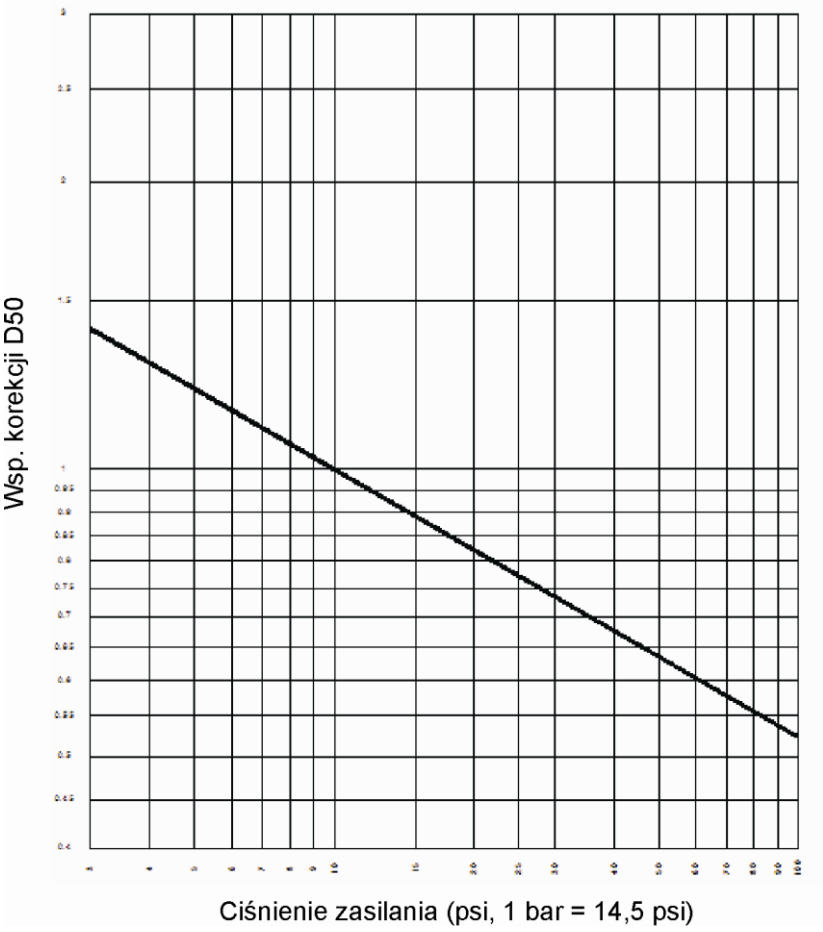
Rys.2. Wpływ zagęszczenia nadawy na współczynnik korekcji D50 [3]

Powyższy wykres obrazuje wpływ zagęszczenia ciał stałych nadawy na współczynnik D50. Wzrost zagęszczenia nadawy o 20% powoduje zmianę współczynnika D50 np. z 0,063 mm na 0,126 mm, a zmniejszenie zagęszczenia nadawy o 20% spowoduje zmianę D50 na ok. 0,03 mm. Drugą podstawową sprawą w działaniu hydrocyklonu jest otrzymanie wylewu o optymalnym zagęszczeniu. Jeśli gęstość wylewu zmniejsza się, wówczas ilość nadziarna w przelewie wzrasta, obniżając jakość separacji. W przypadku zamkniętych układów mielenia ilość materiału o drobnych wymiarach zawracana do młyna zwiększa się, powodując zwiększenie zawrotu przy obniżeniu jego jakości.

Będzie to także skutkować w zwiększeniu zapotrzebowania na moc pompy zasilającej oraz zwiększeniem jej zużycia, a w ekstremalnych przypadkach powodować będzie zmniejszenie wydajności młyna lub wzrost ziarna z przemiału. W przypadku klasyfikacji przed flotacją, materiał zbyt gruby przedostanie się do maszyn flotacyjnych.

Jedynym sposobem na utrzymywanie stabilnego zagęszczenia wylewu jest niezmienność średnicy dyszy wylewu, którą uzyska się poprzez zastosowanie materiałów odpornych na wycieranie materiałów ceramicznych na dyszę wylewu i dolny stożek. W większości przypadków zastosowanie gumy jako materiału na dyszę wylewową i dolny stożek powoduje stosunkowo szybkie ich zużycie ścierne i zwiększanie obecności wody w wylewie.

5. Wpływ ciśnienia zasilania na jakość separacji



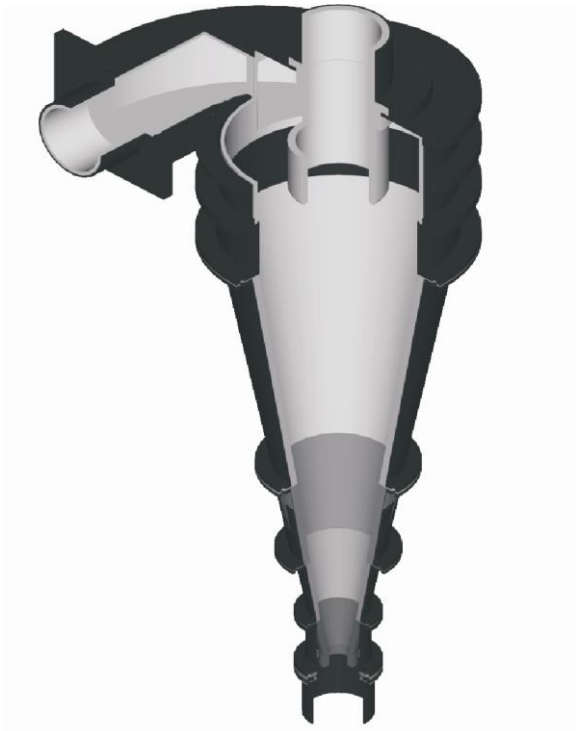
Rys.3. Wpływ ciśnienia zasilania na współczynnik korekcji D50 [3]

Innym czynnikiem mającym znaczny wpływ na działanie hydrocyklonu jest ciśnienie zasilania, rozumiane jako różnica ciśnień pomiędzy wlotem hydrocyklonu a ciśnieniem na przelewie. Ciśnienie to bezpośrednio wpływa na ilość energii, którą zużywa w danym momencie hydrocyklon oraz także wpływa na jakość separacji, zobrazowaną na rysunku 3.

Generalnie przyjmuje się, że im ciśnienie zasilania jest wyższe, tym separacja zachodzi przy drobniejszym ziarnie.

6. Obsługa hydrocyklonu

Wykładziny przeciwścierne w hydrocyklonie muszą być przez cały okres eksploatacji utrzymywane w dobrym stanie. Najbardziej niebezpiecznym zjawiskiem dla wykładzin ceramicznych jest przedostanie się do nadawy cząstek stalowych o wymiarze +50 mm. Należy bezwzględnie zastosować sito bezpieczeństwa.



Rys.4. Typowy układ wykładzin dla hydrocyklonów o dużych rozmiarach [2]

Z doświadczeń firmy KREBS [1] wynika, że układy klasyfikacji, w których zastosowano monitoring zużycia wykładzin hydrocyklonu pracują w sposób najbardziej efektywny. Wymaga się, aby zasuwy odcinające poszczególne hydrocyklony w baterii wyposażone zostały w liczniki godzin pracy. Wykła-

dziny poszczególnych sekcji hydrocyklonu zużywają się w sposób nierównomierny, dlatego cykl obsługowy hydrocyklonu jest równy żywotności najszybciej zużywającego się elementu. Jeżeli któraś z wykładzin hydrocyklonu zużywa się wyraźnie szybciej od pozostałych, należy wówczas zastanowić się nad zwiększeniem jej żywotności, tak, aby okres międzyremontowy był maksymalnie długi, co w efekcie obniży koszty remontowe.

W przypadku hydrocyklonów o dużej średnicy (660 i 840 mm) największe zużycie ścierne występuje w dyszy wylewu oraz dolnym stożku oraz w stożku środkowym. Następnie zużywa się wykładzina głowicy wlotowej. Z tego powodu, w celu utrzymania zbliżonej żywotności wszystkich części hydrocyklonu, na dyszę wylewu i dolny stożek należy zastosować materiał ceramiczny o najwyższej jakości.

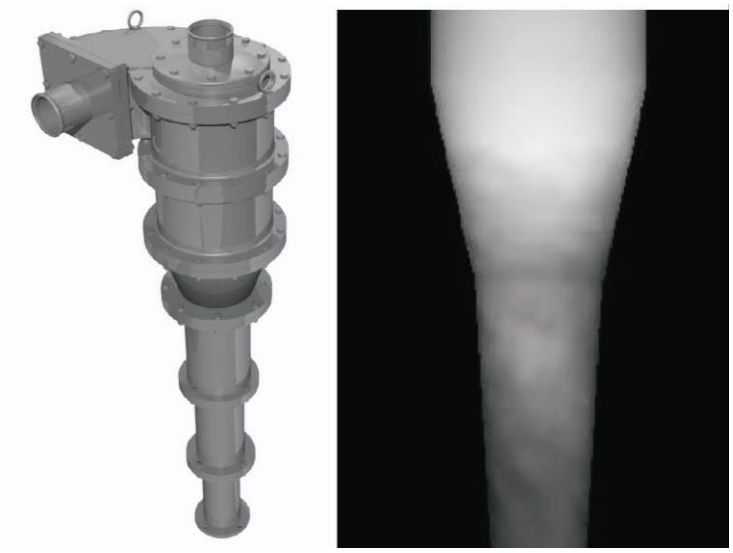
Podejście do zagadnienia równomiernego zużycia wykładzin wymaga, aby na dyszę wylewu zastosować materiał ceramiczny danej jakości, na dolny stożek inny materiał ceramiczny, na środkowy jeszcze inny, co w efekcie da nam równomierne zużycie tych elementów, zbliżone do zużycia wykładziny wlotu. Typowy zestaw wykładzin hydrocyklonu DS33 pokazano na rysunku 4. Zastosowano tutaj w dolnej części węglik krzemu. Taki dobór materiałów może być skuteczny np. przy stosunkowo gruboziarnistym przemiale (P80 = 0,3 mm) i abrazyjnym materiale. W przypadku innego materiału o drobniejszym ziarnie (P80 = 0,14 mm) zastosowanie wykładzin stożka środkowego z gumy, stożka dolnego z niskiej jakości ceramiki, a dyszy wylewu z najwyższej jakości ceramiki jest najbardziej ekonomiczne.

7. Hydrocyklon Krebs gMAX™

Firma KREBS wprowadziła na rynek nowatorski hydrocyklon gMAX, głównie z myślą o zastosowaniach w przemyśle górniczym. Umożliwia on dużo drobniejszą i ostrzejszą separację niż konstrukcje konwencjonalne.

Znaczne polepszenie własności techniczno-technologicznych uzyskano dzięki zastosowaniu specjalnej konstrukcji, w górnej części ostry stożek, który powoduje duże przyspieszenie prędkości stycznej wirującej zawiesiny, a w dolnej części łagodny, wydłużony stożek, gwarantujący długi czas przebywania ziaren w strefach o dużych prędkościach, co w efekcie daje drobniejszą separację.

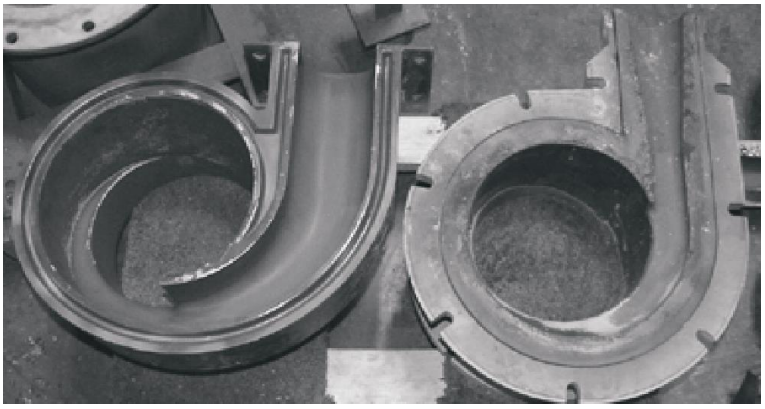
Optymalną efektywność działania uzyskano dzięki minimalizacji turbulencji i maksymalizacji prędkości stycznych. Mniejsze turbulencje oznaczają mniejszą ilość grubego ziarna kierowanego do przelewu oraz wydłużają żywotność wykładzin hydrocyklonu. Wyższe prędkości styczne oznaczają drobniejszą separację oraz zmniejszają ilość drobnego ziarna kierowanego do wylewu. Dzięki skupieniu się na tych dwóch czynnikach, hydrocyklony gMAX oferują podwyższoną efektywność działania.



Rys.5. Widok hydrocyklonu Krebs DSF10LB-gMAX oraz analiza mechaniki płynów (CFD Image) obrazująca zagęszczenie grubych ziaren wewnątrz hydrocyklonu gMAX [2]

8. Układ wlotowy gMAX™

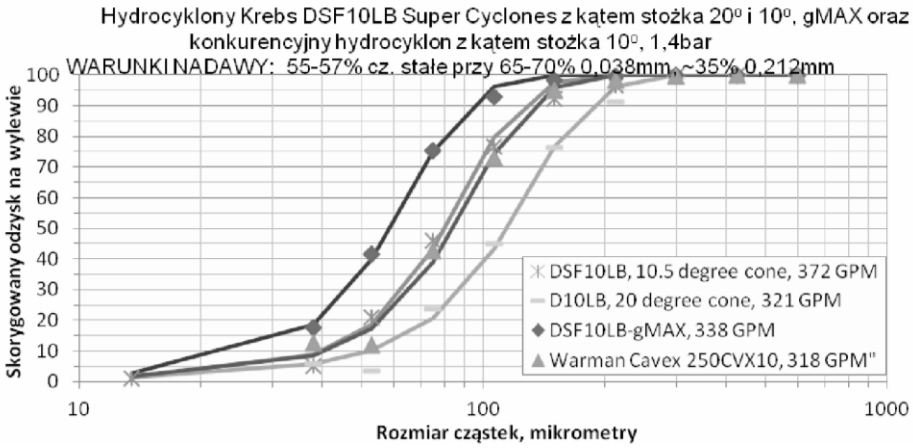
Podstawowymi założeniami w opracowaniu nowego typu hydrocyklonu było takie ukształtowanie głowicy wlotowej, aby nadać zawiesinie dużą prędkość zaraz po wejściu do hydrocyklonu oraz umożliwić długi czas przebywania separowanej zawiesiny w obszarze o wysokiej prędkości obwodowej. Otrzymano konstrukcję charakteryzującą się nowatorskim rozwiązaniem geometrii głowicy wlotowej (rys. 6) oraz wydłużonym korpusem, składającym się z części cylindrycznej i z dwóch stożków.



Rys.6. Porównanie kształtu głowicy wlotowej gMAX (lewa strona) i rozwiązanie konwencjonalne (prawa strona) [2]

9. Testy laboratoryjne D10LB-gMAX

Rysunek 7 obrazuje dane uzyskane z testów cyklonów 250 mm (10") o różnej konstrukcji przy wykorzystaniu próbki wylewu z młyna zmielonej rudy miedzi jednego z producentów w USA. Dla hydrocyklonu Krebs D10LB o stożku 20° wartość D50 = 0,114 mm. Po zmianie stożka na kąt 10,5° wartość D50 obniżyła się do 0,080 mm. Charakterystyka tej krzywej jest bardzo podobna do otrzymanej z testów konstrukcji konkurencyjnej o podobnym kącie stożka. Krzywa dla hydrocyklonu Krebs DS10LB-gMAX wykazuje D50 = 0,059 mm. Co oznacza ponad 40% drobniejsze ziarno niż standardowy D10LB i ponad 20% drobniejsze ziarno niż hydrocyklon o kącie stożka 10,5°. Wszystkie hydrocyklony zasilane były tą samą nadawą i tym samym ciśnieniem.



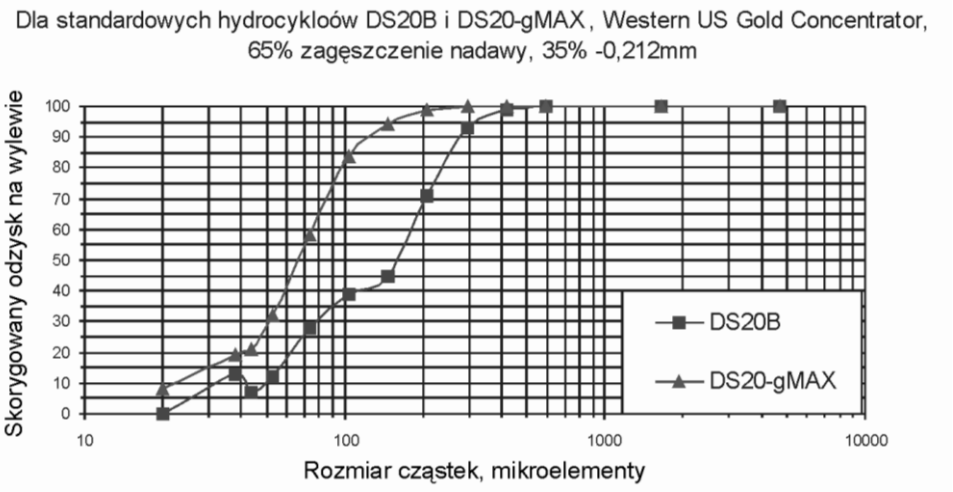
Rys.7. Krzywa skorygowanego odzysku [1]

10. Testy produkcyjne gMAX™ w zamkniętych układach mielenia

W przeciągu kilku lat, na wielu aplikacjach, wykonano testy pojedynczych hydrocyklonów gMAX™ montowanych jako jeden z wielu w bateriach hydrocyklonów klasyfikacyjnych. Okazało się, że jest to dobra metoda na wykonanie badań porównawczych pojedynczych cyklonów. Sprawdzenie wpływu zastosowania nowej technologii na dalsze procesy przeróbcze wymaga przeprowadzenia dalszych badań [1].

11. DS20-gMAX™

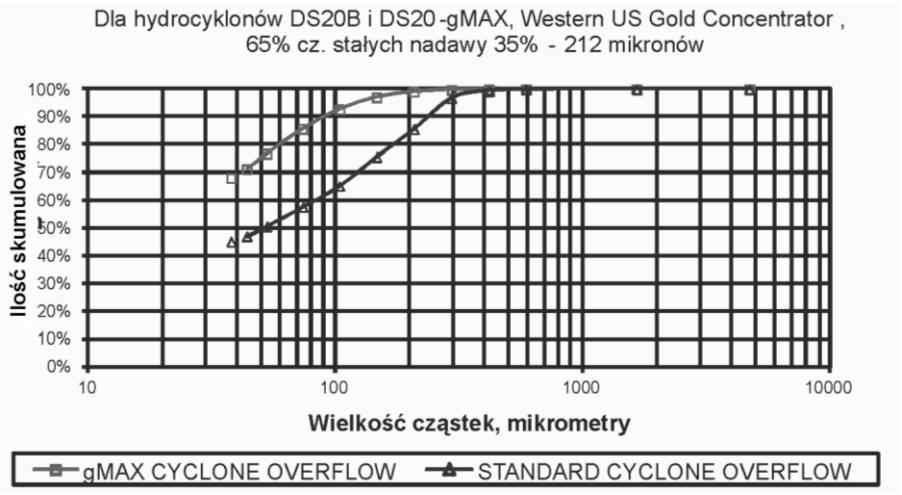
Na rysunku 8 pokazane są krzywe odzysku dla istniejących hydrocyklonów typu Krebs DS20B oraz testowego DS20-gMAX™ w układzie mielenia kopalni złota na zachodzie USA. Wskutek zastosowania gMAX™ wartość D50 obniżyła się ze 0,170 mm do 0,067 mm. Warto zauważyć, że krzywa jest bardziej pionowa, co świadczy o ostrzejszej separacji.



Rys.8. Krzywa skorygowanego odzysku [1]

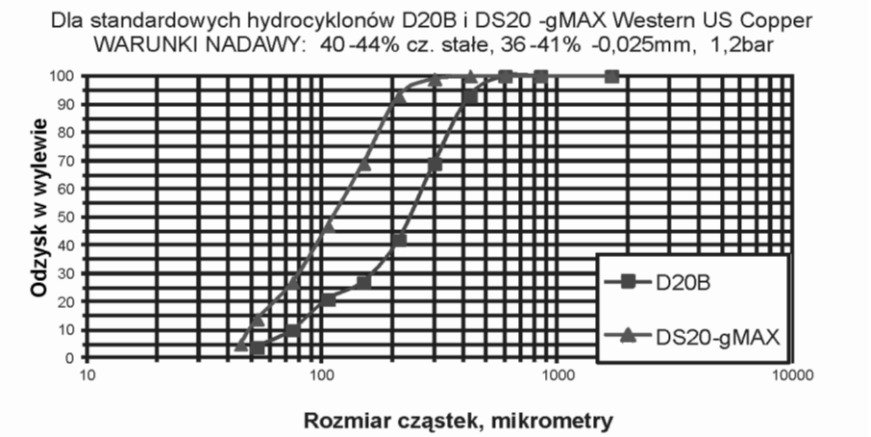
Rysunek 9 pokazuje rozkład wielkości ziaren w przelewie DS20- gMAX™, gdzie P80 = 0,060 mm przy zagęszczeniu 29,7% oraz dla porównania standardowy DS20B, gdzie P80 = 0,170 mm przy zagęszczeniu 38,6%.

Hydrocyklon gMAX™ o średnicy 500 mm (20”) separuje na ok. 50% drobniejsze ziarna niż istniejące, standardowe hydrocyklony 500 mm. Taki wynik uzyskano przy tym samym orurowaniu wlotu i przelewu, tej samej średnicy tulei przelewu i podobnej wydajności. Średnica dyszy wylewu musiała być zwiększona ze względu na dużo większy odzysk ciał stałych. Trzeba pamiętać, że zmiana konstrukcji hydrocyklonu klasyfikacyjnego pracującego w zamkniętym układzie mielenia, jest technologicznie uzasadniona w przypadku zgody na zwiększenie ilości zawrotu (circulating load) do młyna.



Rys.9. Rozkład wielkości cząstek przelewu hydrocyklonu [1]

Testy przeprowadzone w zakładach wzbogacania rud miedzi w USA potwierdziły różnicę w efektywności, zobrazowaną na rysunku 10. Wartość D50 standardowego D20B została zmniejszona o około 50% na DS20-gMAX™, z 0,240 mm do ok. 0,115 mm.

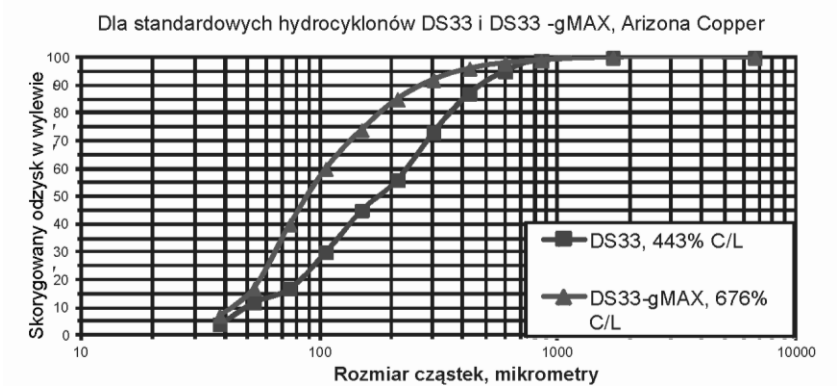


Rys.10. Krzywa odzysku [1]

12. Testy porównawcze DS33-gMAX i DS26-gMAX

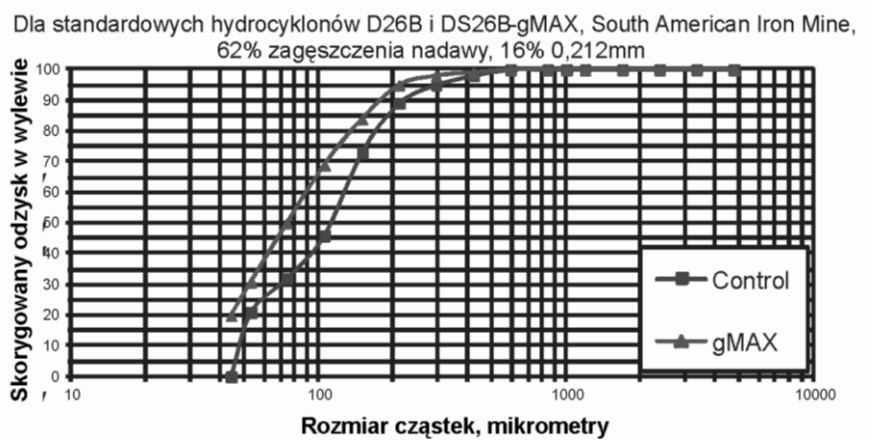
Przeprowadzono także testy porównawcze hydrocyklonów 840 mm (33”), których wyniki pokazano na rysunku 11. Również w tym przypadku dla gMAX™ koniecznym było zastosowanie dyszy wylewu o większej średnicy ze względu na większą ilość materiału. Oba hydrocyklony zamontowane były w tej samej baterii dwustanowiskowej.

Potwierdzono większą skuteczność separacji o ok. 50%. Następnie zwiększono średnice tulei przelewu w celu powrotu do warunków rozdziału przed testem. W efekcie użytkownik zdecydował się na zakup dwóch hydrocyklonów DS33-gMAX™.



Rys.11. Krzywa odzysku – testy porównawcze

W jednym z zakładów wzbogacania rud żelaza w Brazylii porównano standardowy hydrocyklon D26B z wersją typu gMAX™ otrzymując spadek wartości D50 o około 30%, z 0,120 mm do 0,080 mm, co obrazuje rysunek 12. Po wymianie tulei przelewu na większą uzyskano separację na grubsze ziarno, ale przy większej wydajności.



Rys.12. Krzywa odzysku [1]

13. Pompa KREBS typu MAX

Dodatkowym urządzeniem uzupełniającym hydrocyklony jest pompa zasilająca.

System doszczelniania pomp KREBS typu MAX™ składa się z dwóch decydujących elementów: szerokie łopaty odrzutnika po stronie ssania oraz opatentowany, regulowany pierścień dociskowy.

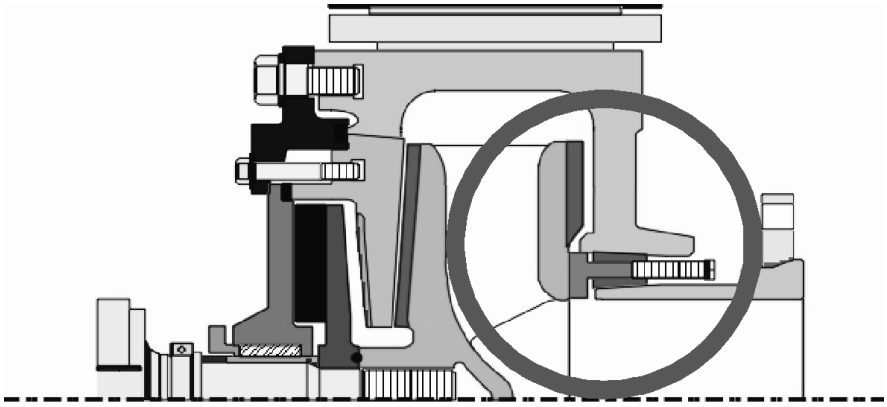
Rys.13. Wirnik pompy millMAX [4]

70% redukcji ciśnienia w szczelinie pomiędzy zewnętrzną krawędzią wirnika, a jego otworem wlotowym wytwarzają szerokie na 20 mm łopaty odrzutnika przedniego, które podczas pracy wypychają pulpę ze szczeliny. Za pozostałe 30% redukcji ciśnienia odpowiedzialny jest regulowany pierścień uszczelniający, który współpracuje z wirnikiem (rys. 13.), co w praktyce eliminuje recyrkulację wewnętrzną.

Oczywiście, niezbędna jest cykliczna regulacja pierścienia uszczelniającego (co kilka tygodni) poprzez łatwe dokręcenie śrub. Regulacja odbywa się z zewnątrz, podczas pracy pompy (brak konieczności postoju), a elementem przesuwanym jest pierścień uszczelniający (nie wirnik). Dlatego szczelina pomiędzy płytą tylną po stronie napędu a wirnikiem, która odpowiada za utrzymanie szczelności na wale, pozostaje niezmienna. Regulacja tej szczeliny następuje jednokrotnie podczas montażu pompy.

Poprzez eliminację recyrkulacji szlamu, sprawność działania pompy pozostaje niezmienna w długim okresie użytkowania bez konieczności zatrzymywania pompy w celu wymiany części lub wykonania poważnych regulacji. Pompy KREBS typu MAX umożliwiają pracę pompy stale przy tej samej prędkości, zmniejszając zużycie wlotu wirnika (powodowane przez turbulencje) oraz pozwalają na znaczne oszczędności energii elektrycznej i zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych.

Oprócz wyeliminowania recyrkulacji szlamu wewnątrz pompy istnieje także druga wielka korzyść - szczelina pomiędzy łopatami odrzutnika przedniego a korpusem jest stosunkowo szeroka, nie występuje, zatem zjawisko mielenia ziaren materiału w tym obszarze, tak jak to zdarza się w konwencjonalnych pompach. Dlatego pompy KREBS typu MAX™ zużywają średnio o ok. 10-20% mniej energii niż standardowe pompy tego samego rozmiaru. Oznacza to, że pompy milMAX™ oferują od 10% do 20% większą wydajność z silnikiem o tej samej mocy.



Rys.14. Regulacja pierścienia ściernego [4]

W wyniku zastosowaniu dodatkowego pierścienia uszczelniającego, zmniejsza się zdecydowanie zużycie ścierne wewnątrz pompy oraz zużycie energii elektrycznej. Ponad to okazuje się, że elementy podlegające naturalnemu zużyciu zużywają się równomiernie. Wirnik pracuje tak długo jak korpus i nie jest czynnikiem ograniczającym żywotność pompy. Wszystkie części zwilżane (korpus, wirnik, płyta tylna) są wymieniane w tym samym czasie.

Regulacja szczeliny po stronie ssania a wirnikiem w pompach KREBS typu MAX™ odbywa się podczas normalnego ruchu pompy, nie ma konieczności zatrzymywania zestawu pompowego, częściowego demontażu i regulacji wirnika. Dlatego pompy KREBS millMAX™ pracują w sposób ciągły od momentu uruchomienia do ich zatrzymania w celu wymiany zużytych elementów. Żywotność elementów podlegających naturalnemu zużyciu jest zwykle 1,5 do 3 razy dłuższa niż w innych wiodących konstrukcjach dostępnych na rynku. Konieczność obsługi pompy jest zredukowana do niezbędnego minimum.

Ponad to, pompy te gwarantują stabilność parametrów po stronie ciśnieniowej przez cały okres eksploatacji komory roboczej. Nie zachodzi tutaj zjawisko pogarszania się parametrów wraz ze zużywaniem się ściernym podzespołów pompy (wirnik i wykładzina po stronie ssania). Dlatego pompy KREBS millMAX współpracujące z np. hydrocyklonami klasyfikującymi, zdecydowanie zmniejszają straty powodowane przez spadek ciśnienia na wlocie do hydrocyklonu (mniejsze ciśnienie na wlocie do hydrocyklonu powoduje pojawienie się większej ilości części stałych w przelewie).

Wszystkie dotychczasowe referencje zebrane z eksploatacji pomp KREBS typu MAX udowadniają, że zużycie energii jest o około 20% niższe, a żywotność części komory roboczej jest przynajmniej dwukrotnie dłuższa [2].

14. Podsumowanie

Wiele różnych zmiennych wpływa na efektywność pracy systemu hydrocyklonów klasyfikujących. Oprócz stabilnych i optymalnych parametrów technologicznych nadawy, bardzo ważny jest właściwy dobór konstrukcji hydrocyklonu, który będzie gwarantował oczekiwane, optymalne rezultaty. Równie ważne jest jednak utrzymywanie hydrocyklonu w odpowiednim stanie, w taki sposób aby zapewnić stabilną pracę w ciągu całego okresu eksploatacji, głównie dbając o wymiary dyszy wylewu w celu kontroli nad zagęszczeniem wylewu i ilością drobnej klasy zawracanej do mielenia.

Zastosowanie hydrocyklonu gMAX™ może powodować konieczność wprowadzenia znacznych zmian w systemach klasyfikacji młynów danym zakładzie przeróbczym. Wymagania każdego układu klasyfikacji są unikatowe i specyficzne, dlatego możliwość wymiany konwencjonalnych hydrocyklonów na gMAX™ zależy od wymagań układu. Należy mieć na uwadze, że gMAX™

może pracować na znacznie szerszym zakresie wymiarów ziaren, dlatego konstrukcja ta jest przydatna w zdecydowanej większości zakładów.

Połączenie pomp KREBS typu MAX i hydrocyklonów gMAX, co gwarantuje podawanie do baterii hydrocyklonów, przez cały okres eksploatacji, jednakowej nadawy, powoduje, że system taki jest bardziej stabilny, a eliminacja strat ciśnienia na pompie i wymiana wykładzin hydrocyklonu o właściwym czasie powodują, że efektywność układu klasyfikacji jest w całym okresie eksploatacji stabilna i wysoka.

Literatura

1. Hydrocyclone design for large SAG mill circuits, Pat Turner, Technical Paper, Tim Olson, Max Wedeles, and Gerald Kelton, May 2001, Viña del Mar, Chile
2. Improving milling circuits through aggressive approach to cyclone and overall circuit operation, Technical Paper, Roman van Ommen, Abrie Schutte, Pat Turner, Tim Olson, Cape Town 2003
3. The sizing of hydrocyclones, R. A. Arterburn, Tucson, 1997.
4. millMAX Basics…, presentation of 2005, Pat Turner

Wpływ kształtu wirnika i ilości powietrza na przebieg flotacji w laboratoryjnej maszynce flotacyjnej

Marek Lenartowicz – Biuro Projektowe Prorem Sp. z o.o., **Daniel Kowol** – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wprowadzenie

Urobek węgla surowego może zawierać do ok. 30% ziaren o wielkości poniżej 1 mm, czyli tak zwanych ziaren mułowych [7]. Jest to konsekwencja mechanizacji urabiania węgla oraz transportu urobku do zakładów przeróbczych. Ziarna mułowe węgla kamiennego o uziarnieniu poniżej 0,5 mm można wzbogacać metodami flotacji i aglomeracji olejowej, w hydrocyklonach oraz we wzbogacalnikach zwojowych [7, 8]. W polskich zakładach przeróbczych wyżej wymienionego ziarna wzbogaca się najczęściej metodą flotacji pianowej [5, 8].

Proces wzbogacania ziaren węgla koksowego i energetycznego w klasie ziarnowej 0,5 – 0 mm w skali przemysłowej prowadzi się w maszynach flotacyjnych zwanych flotownikami [1, 8]. W krajowych zakładach przeróbczych najliczniej do wzbogacania mułów węglowych metodą flotacji stosuje się maszyny pneumomechaniczne typu IZ-5, IZ-12 oraz IF [4]. Flotowniki pneumomechaniczne to konstrukcje złożone z dużych komór lub koryt, w których znajdują się mechanizmy służące do utrzymywania ziaren mineralnych w postaci zawiesiny w wodzie, dyspersji powietrza oraz usuwania piany koncentratowej z powierzchni zawiesiny flotacyjnej i odprowadzania odpadów flotacyjnych [1, 2, 3, 8].

Stosowane w kraju pneumomechaniczne flotowniki typu IZ pracują z dużą sprawnością, ale są mało tolerancyjne na nadziarno (powyżej 0,5 mm). Ziarna powyżej 0,5 mm najczęściej przechodzą do odpadów, powodując straty substancji węglowej [2, 3, 5, 8]. W celu zmniejszenia strat ziaren węglowych uzasadniona jest intensyfikacja procesu flotacji zachodzącego we flotowniku. Jednym z elementów wpływających na przebieg procesu flotacji w maszynie jest wirnik, który zasysa i agituje zawiesinę flotacyjną oraz dysperguje w niej powietrze [1, 2, 3, 8].

Konstrukcja wirnika i ilość powietrza może mieć zasadniczy wpływ na poprawę skuteczności flotacji w związku z tym w niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań wpływu ilości powietrza na skuteczność procesu flotacji w zależności od kształtu wirnika.

2. Metodyka badań

Przedmiotem badań były wirniki o różnej geometrii i ich wpływ na przebieg procesu flotacji w laboratoryjnej maszynce flotacyjnej w zależności od ilości podawanego powietrza do komory flotacyjnej.

Badania prowadzono w laboratoryjnej maszynce flotacyjnej o pojemności komory 12 dm^3 przy użyciu trzech wirników i prędkości obrotowej równej 1040 obr/min oraz trzech różnych natężeniach dopływu powietrza (2 l/min, 4 l/min, 6 l/min ±0,4 l/min). Odczynnik flotacyjny podawano na początku flotacji w postaci mieszaniny złożonej z oleju napędowego ON oraz substancji pianotwórczej OKT (izooktanol) i kondycjonowano przez 30 sekund. Dawka odczynnika wynosiła 0,7 kg/Mg (ON+10% OKT). Poziom mętów w komorze flotacyjnej uzupełniano wodą tak, aby się utrzymywał na wysokości 1 cm poniżej progu przelewowego. Flotację prowadzono przy koncentracji części stałych w zawiesinie równej 100 g/l. Proces flotacji przerywano po upływie 180 s [6]. Produkty flotacji odwadniano, suszono w temperaturze otoczenia następnie ważono w celu określenia wychodu oraz oznaczano w nich zawartość popiołu, zgodnie z polską normą PN-ISO 1171:2002 Paliwa stałe – Oznaczanie popiołu.

Do oceny wyników flotacji uzyskanych przy użyciu przedmiotowych wirników przyjęto uzysk substancji palnej w koncentracie flotacyjnym obliczony według zależności [8]:

$$\varepsilon = \frac{\gamma(100 - \upsilon)}{100 - \alpha} \tag{1}$$

gdzie:

γ – wychód koncentratu,

υ – zawartość popiołu w koncentracie,

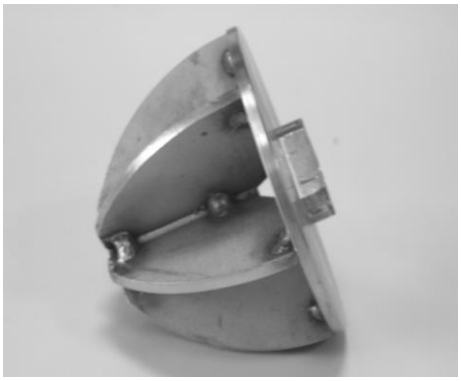
α – zawartość popiołu w nadawie.

Parametry stałe prowadzenia procesu:

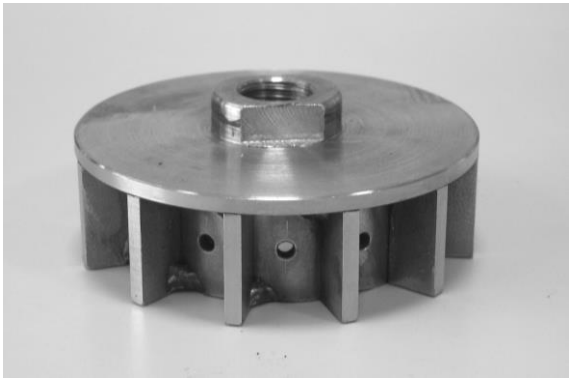
- temperatura badania 25° C ± 10° C
- prędkość obrotowa wirnika 1040 obr/min
- czas trwania 180 s
- koncentracja części stałych 100 g/l
- dawka odczynnika ok. 0,7 kg/Mg

Parametry zmienne prowadzenia procesu:

- wirnik – rysunek 1a [6, 9], wirnik 2– rysunek 1b [3, 6], wirnik 3 – rysunek 1c [4, 6],
- natężenie dopływu powietrza 2 l/min, 4 l/min, 6 l/min ±0,4 l/min



Rys.1a Wirnik 1 [6, 9]



Rys.1b Wirnik 2 [3, 6]

Rys.1c Wirnik 3 [4, 6]

3. Wyniki badań

W tabeli 1 zestawiono wyniki badań wpływu kształtu wirnika na przebieg procesu flotacji w zależności od natężenia dopływu powietrza.

Wyniki flotacji węgla (A_N = *śr. 13 %*) w maszynce laboratoryjnej uzyskane przy użyciu wirnika 1, 2 i 3 i natężeniu dopływu powietrza 2, 4 i 6 l/min ± 0,4 l/min [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 1

Natężenie dopływu powietrza [l/min]	Numer wirnika / Parametr	Wirnik 1	Wirnik 2	Wirnik 3
2 ± 0,4	**γ_k, [%]**	31,07	58,35	67,74
	γ_o, [%]	68,93	41,65	32,26
	A_k^a, [%]	2,97	5,04	3,14
	A_o^a, [%]	26,66	25,09	25,77
	ε, [%]	37,36	63,98	73,26
4 ± 0,4	**γ_k, [%]**	70,80	64,98	53,77
	γ_o, [%]	29,20	35,02	46,23
	A_k^a, [%]	3,96	3,18	4,10
	A_o^a, [%]	31,45	29,09	35,09
	ε, [%]	77,26	71,70	63,21
6 ± 0,4	**γ_k, [%]**	69,89	31,71	53,13
	γ_o, [%]	30,11	68,29	46,87
	A_k^a, [%]	3,02	2,90	2,48
	A_o^a, [%]	26,78	22,01	23,67
	ε, [%]	75,46	36,63	59,15

γ_k – wychód koncentratu, [%]; γ_o – wychód odpadów, [%]; A_k^a – zawartość popiołu w koncentracie, [%]; A_o^a – zawartość popiołu w odpadach, [%]; ε - uzysk substancji palnej w koncentracie, [%]

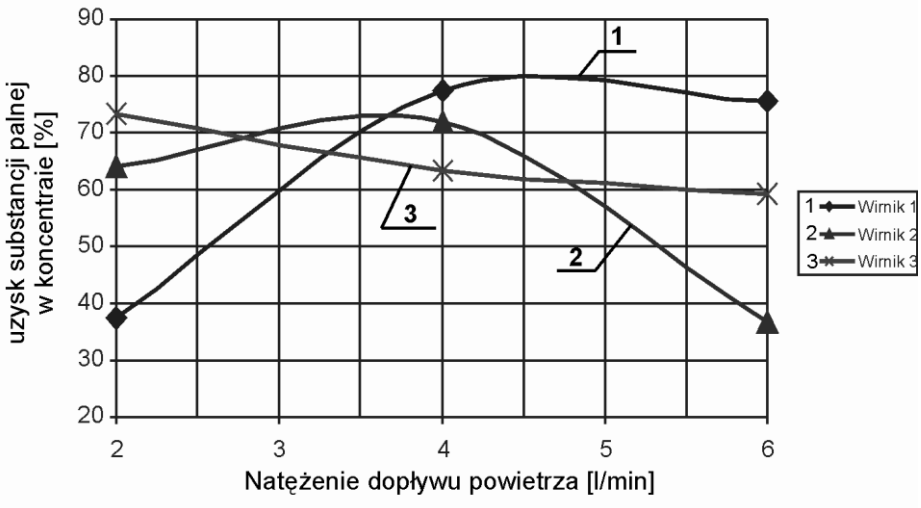
4. Omówienie wyników badań

W celu określenia wpływu kształtu (geometrii) wirnika (w zależności od natężenia dopływu powietrza) na przebieg procesu flotacji analizowano uzysk substancji palnej w koncentracie, wychód koncentratu, zawartość popiołu w koncentracie i zawartość popiołu w odpadach [8].

Uzyskane w badaniach uzyski substancji palnej w koncentracie ε (rys. 2) zawierały się w przedziale od 36,63% do 77,26% i były zależne od kształtu wirnika i natężenia dopływu powietrza. Wraz ze zwiększaniem natężenia dopływu powietrza malały uzyski substancji palnej w koncentracie, z wyjątkiem wirnika 1, gdzie uzysk ε wzrastał wraz ze wzrostem natężenia dopływu powietrza (rys. 2).

W zależności od natężenia dopływu powietrza (2, 4 i 6 l/min ± 0,4 l/min) uzysk substancji palnej w koncentracie dla poszczególnych wirników przedstawiał się następująco:

- wirnik 1 od 37,36 do 77,26%,
- wirnik 2 od 36,63 do 71,70%,
- wirnik 3 od 59,15 do 73,26%.



Rys.2. Uzysk substancji palnej w koncentracie w zależności od zastosowanego wirnika i natężenia dopływu powietrza [Źródło: opracowanie własne]

Największą skuteczność procesu flotacji uzyskano stosując „wysoki" łopatowy wirnik 3. Dla stosowanych w badaniach zakresów parametrów procesowych skuteczność procesu flotacji ziaren węglowych przy użyciu wirników „wysokich" (wirnik 1, 3) była większa od uzyskanych w próbach z wirnikiem „niskim" (wirnik 2). Oznacza to, że skuteczność procesu flotacji przy wykorzystaniu wirnika „wysokiego"(wirnik 1, 3) jest większa niż przy wykorzystaniu wirnika posiadającego tą samą średnicę, ale mniejszą wysokość.

Z uzyskanych powyżej rezultatów badań wynika, że na skuteczność procesu flotacji ziaren węglowych określaną poprzez uzysk substancji palnej w koncentracie znaczny wpływ miał rodzaj (kształt, geometria) stosowanych wirników.

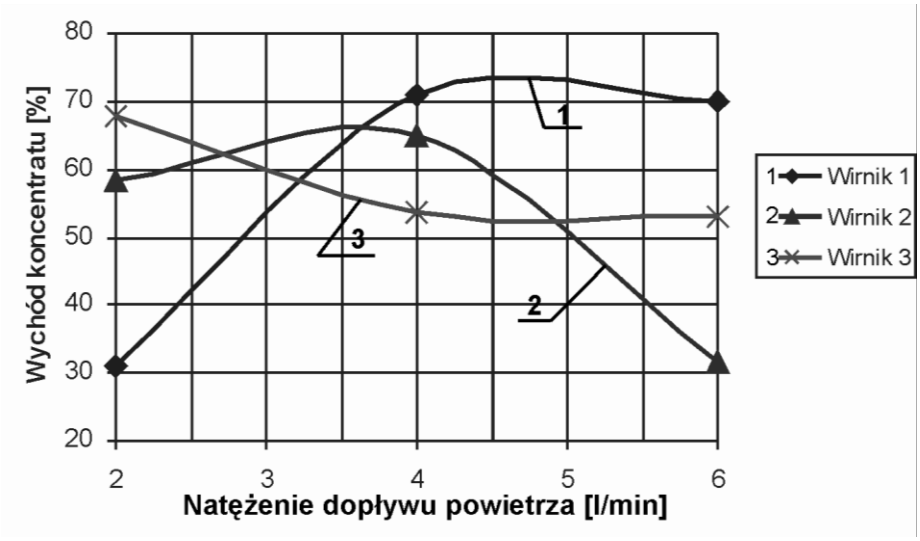
Do oceny pracy wirników przyjęto również wychody produktu koncentratowego i zawartość w nich popiołów. Podczas prób uzyskano dla poszczególnych wirników następujące zakresy wychodów produktu koncentratowego (rys. 3) oraz zawartości w nich popiołów (rys. 4):

- wirnik 1 – od 31,07 do 70,80% i od 2,97 do 3,96%,
- wirnik 2 – od 31,71 do 64,98% i 2,90 do 5,04%,

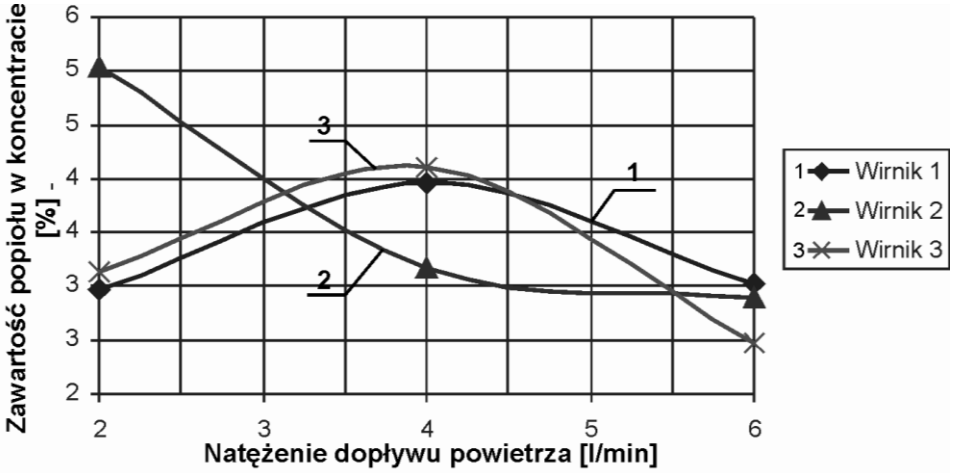
– wirnik 3 – od 53,13 do 67,74% i 2,48 do 4,10%.

Analiza przedstawionych wyników prób laboratoryjnych wskazuje, że najwyższe wychody koncentratu uzyskano dla:

– wirnika 1,2 przy natężeniu dopływu powietrza równym 4 l/min,
– wirnika 3 przy natężeniu dopływu powietrza równym 2 l/min.



Rys.3. Wychód koncentratu w zależności od zastosowanego wirnika i natężenia dopływu powietrza [Źródło: opracowanie własne]



Rys.4. Zawartość popiołu w koncentracie w zależności od zastosowanego wirnika i natężenia dopływu powietrza [Źródło: opracowanie własne]

Największy wzrost wychodu produktu koncentratowego uzyskano w przypadku wirnika 1, natomiast największy spadek wychodu produktu koncentra-

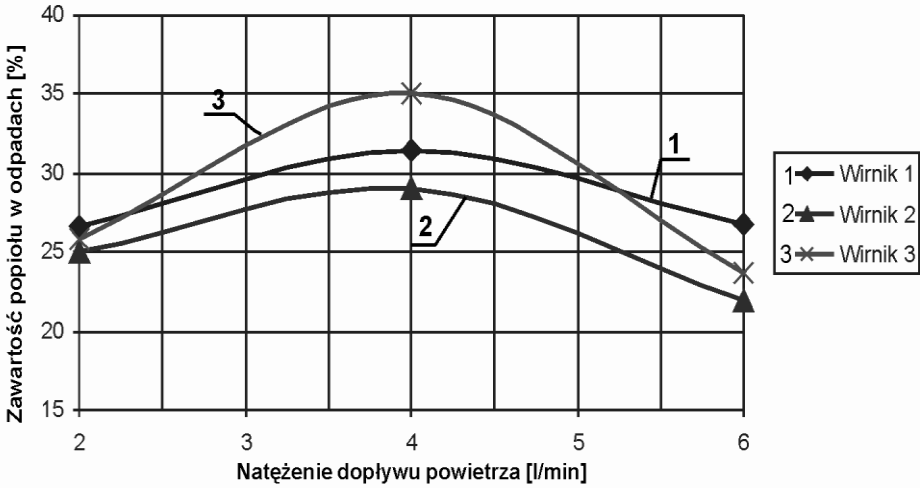
towego uzyskano w przypadku wirnika 2. Zwiększenie ilości powietrza z 2 l/min do 4 l/min spowodowało w przypadku wirnika 1 ok. dwukrotny wzrost wychodu koncentratu, a zwiększenie natężenia dopływu powietrza z 4 l/min do 6 l/min spowodowało w przypadku wirnika 2 dwukrotny spadek wychodu koncentratu.

Podczas badań przeprowadzone były również analizy zawartości popiołu w odpadach (rys. 5).

Zawartość popiołu w odpadach przedstawia się następująco:

- wirnik 1 – od 26,66 do 31,45%,
- wirnik 2 – od 22,01 do 29,09%,
- wirnik 3 – od 23,67 do 35,09%.

Biorąc pod uwagę ten parametr to najlepsze wyniki uzyskano przy wykorzystaniu wirnika 1 i 3.



Rys.5. Zawartość popiołu w odpadach w zależności od zastosowanego wirnika i natężenia dopływu powietrza [Źródło: opracowanie własne]

Do oceny pracy wirników przyjęto również współczynnik sprawności rozdziału lub sprawności flotacji S_f [8].

S_f – jest to stosunek określający, w procentach, uzyskany wychód substancji palnej do wychodu maksymalnie możliwego i wyraża się wzorem [8]:

$$S_f = \frac{2(A_O - A_N)(A_N - A_K)}{(A_O + A_K - 2A_N)A_N + 100(A_N - A_K)} \cdot 100\% \qquad (2)$$

Współczynnik sprawności rozdziału dla wszystkich przeprowadzonych prób zestawiono w tabeli 2.

Współczynnik sprawności rozdziału [Źródło: opracowanie własne]

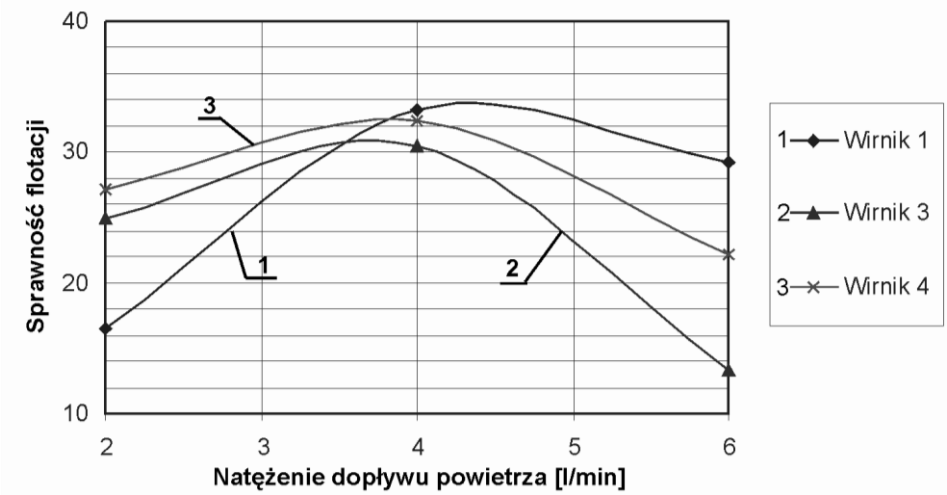
Tabela 2

Czynniki zmienne		Numer wirnika / Parametr	Wirnik 1	Wirnik 3	Wirnik 4
Natężenie dopływu powietrza [l/min]	2 ± 0,4	S_f, [%]	16,47	24,99	27,20
	4 ± 0,4		33,25	30,48	32,35
	6 ± 0,4		29,28	13,25	22,15

Wyniki sprawności flotacji S_f uzyskane przy natężeniach dopływu powietrza równych 2, 4 i 6 l/min ±0,4 l/min dla poszczególnych wirników przedstawiają się następująco:

- wirnik 1 – od 16,47 do 33,25%,
- wirnik 2 – od 13,25 do 30,48%,
- wirnik 3 – od 22,15 do 32,35%,

Proces flotacji najskuteczniej był realizowany w próbach z wirnikiem 4.



Rys.6. Sprawność flotacji w zależności od zastosowanego wirnika i natężenia dopływu powietrza [Źródło: opracowanie własne]

5. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono badania laboratoryjne wpływu kształtu wirnika na przebieg (skuteczność) procesu flotacji w zależności od natężenia dopływu powietrza do komory flotacyjnej.

W doświadczeniach zastosowano trzy wirniki i trzy natężenia dopływu powietrza (2 l/min ,4 l/min ,6 l/min ± 0,4 l/min). W wyniku przeprowadzenia dla każdego wirnika prób laboratoryjnego wzbogacania nadawy węglowej zawierającej średnio 13% popiołu, stosując trzy natężenia dopływu powietrza (2, 4, 6 l/min ±0,4 l/min), określono wpływ ilości powietrza i parametrów (kształtu) wirnika na skuteczność procesu flotacji wyrażoną za pomocą uzysku substancji palnej w koncentracie i wychodów koncentratu oraz współczynnika sprawności rozdziału.

Otrzymane w badaniach uzyski substancji palnej w koncentracie ε były zależne od kształtu wirnika i natężenia dopływu powietrza. Wraz ze zwiększaniem natężenia dopływu powietrza malały uzyski substancji palnej w koncentracie, z wyjątkiem wirnika 1, gdzie uzysk ε wzrastał wraz ze wzrostem natężenia dopływu powietrza. Najlepsze uzyski substancji palnej w koncentracie otrzymano kiedy proces flotacji prowadzono przy wykorzystaniu wirnika 1.

Stwierdzono, że wraz ze zwiększaniem natężenia dopływu powietrza następował spadek wychodu produktu koncentratowego, któremu w większości towarzyszył spadek zawartości popiołu. Wyjątkiem był wirnik 1, w przypadku którego zwiększanie natężenia dopływu powietrza powodowało wzrost wychodu produktu koncentratowego. Największy wzrost wychodu produktu koncentratowego uzyskano w przypadku wirnika 1, natomiast największy spadek wychodu produktu koncentratowego uzyskano w przypadku wirnika 2. Zwiększenie ilości powietrza z 2 l/min do 4 l/min spowodowało w przypadku wirnika 1 ok. dwukrotny wzrost wychodu koncentratu, a zwiększenie natężenia dopływu powietrza z 4 l/min do 6 l/min spowodowało w przypadku wirnika 3 dwukrotny spadek wychodu koncentratu.

Najwyższe wychody produktu koncentratowego uzyskano dla:

- wirnika 1 i 2 przy natężeniu dopływu powietrza równym 4 l/min,
- wirnika 3 przy natężeniu dopływu powietrza równym 2 l/min.

Wyniki sprawności flotacji S_f uzyskane przy natężeniach dopływu powietrza równych 2, 4 i 6 l/min ±0,4 l/min wykazały, że proces flotacji najskuteczniej był realizowany w próbach z wirnikiem 3.

Analiza przedstawionych wyników badań wykazała, że na skuteczność procesu flotacji wpływa zarówno kształt wirnika, jak i ilość podawanego powietrza.

Dla stosowanych w badaniach zakresów parametrów procesowych skuteczność procesu flotacji ziaren węglowych przy użyciu wirników „wysokich" (wirnik 1, 3) była większa (dla większości prób) od uzyskiwanych w próbach z wirnikiem „niskim" (wirnik 2). Oznacza to, że skuteczność procesu flotacji przy wykorzystaniu wirników „wysokich" jest większa niż przy wykorzystaniu wirników posiadających tą samą średnicę, ale mniejszą wysokość.

Najlepsze wyniki uzyskano w próbach, w których natężenie dopływu powietrza równe było 4 l/min ± 0,4 l/min, a najgorsze w których natężenie dopływu powietrza równe było 2 l/min ±0,4 l/min. Zwiększenie natężenia dopływu powietrza do 6 l/min ± 0,4 l/min powodowało pogorszenie wyników w stosunku do prób kiedy stosowano natężenie równe 4 l/min.

Literatura

1. Blaschke S., Blaschke W.: Maszyny i urządzenia do przeróbki kopalin. Kraków, AGH 1990.
2. Brzezina R., Romańczyk E., Sablik J.: Stosowanie pneumomechanicznych maszyn flotacyjnych do wzbogacania mułów węglowych. Wzbogacanie i Utylizacja Kopalin 1974 nr 2.
3. Brzezina R., Sablik J.: Zastosowanie maszyny flotacyjnej IZ – 12 do wzbogacania mułów węglowych. Projekty – Problemy, Budownictwo Węglowe 1978 nr 3.
4. Folder IMN: Maszyny flotacyjne dla przemysłu górniczego.
5. Lenartowicz M.: Aktywność flotacyjna węgla w korytowej pneumomechanicznej maszynie flotacyjnej w funkcji napięcia powierzchniowego zwilżania. Praca doktorska. Katowice, GIG 2007.
6. Lenartowicz M, Kowol D.: Badania wpływu kształtu wirnika na przebieg procesu flotacji w skali laboratoryjnej. Górnictwo i Geologia, Tom 6, Zeszyt 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011, s. 83-93.
7. Pyka I., Wierzchowski K.: Flotacja mułów energetycznych sposobem poprawy efektywności produkcji węgla. Inżynieria Mineralna nr 2 (15), s. 23 – 34, 2005.
8. Sablik J.: Flotacja węgli kamiennych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 1998.
9. www.flsmidth.com

Odwadnianie sedymentu węglowego z użyciem pras filtracyjnych na przykładzie prasy GHT 1500 zabudowanej w ZPMW KWK Jas-Mos

Bartosz Piechaczek, Grzegorz Gruszka, Krystyna Kiermaszek – PROREM sp. z o.o., **Andrzej Pyc** – Biuro Projektów PROREM sp. z o.o., **Emanuele Iero** – DIEMME Filtration Srl

1. Wprowadzenie

Firma DIEMME Filtration jest wiodącym producentem pras filtracyjnych na świecie. Dzięki wąskiej specjalizacji firma opracowała wiele różnych rozwiązań technicznych, pozwalających na dobór najodpowiedniejszej prasy filtracyjnej do każdego zastosowania. Dla firmy nie istnieje pojęcie „typowej prasy", gdyż wieloletnie doświadczenie pokazało, iż różne gałęzie przemysłu, różne procesy technologiczne, a nawet różne odmiany tego samego produktu wymagają zastosowania innych konstrukcji, rozwiązań i wykonania materiałowego. To właśnie takie podejście do klienta, skupiające się na oferowaniu klientowi skutecznej technologii odwadniania, a nie masowej sprzedaży urządzeń sprawiło, że firma DIEMME jest najchętniej wybieranym producentem specjalistycznych pras filtracyjnych.

2. Historia

Historia DIEMME rozpoczęła się w 1923 r. gdy założyciel firmy, Alfredo Melandri, zaprojektował i zbudował pierwsze maszyny do mechanicznego tłoczenia winogron. Początkowo głównym rynkiem zbytu firmy był przemysł winiarski. Na potrzeby winnic opracowano wiele innowacyjnych technologii. Urządzenia DIEMME odniosły sukces na całym świecie dzięki innowacyjnej i trwałej budowie.

W latach 60. XX wieku dzięki intuicji Primo Melandriego, syna Alfreda, technologie filtracji dotychczas stosowane w przemyśle winiarskim, zostały zastosowane i dostosowane do pracy w wielu innych procesach przemysłowych.

Europa przechodziła właśnie okres silnego rozwoju ekonomicznego, a wzrost zapotrzebowania na filtry w sektorze przemysłowym mógł zostać zaspokojony jedynie przez stworzenie nowego oddziału firmy; część ta specjalizowała się w technologii filtracyjnej, mając do dyspozycji własne działy techniczny, handlowy i produkcji.

Dlatego na początku lat 70. XX wieku firma DIEMME została zreorganizowana i powstały dwa niezależne oddziały firmy: Dział Filtracji i Dział Enologii; każdy z nich szybko stał się liderem w swojej dziedzinie zarówno w kraju, jak i za granicą.

Dział Filtracji, dzisiaj znany jako DIEMME Filtration, jest niezależną firmą, zdolną do obsługi całych zakładów i rozwiązań dopasowanych do zaspokojenia potrzeb najbardziej nawet wymagających klientów.

3. Obecność na świecie

DIEMME Filtration od wielu dekad obecna jest na całym świecie i może pochwalić się zaprojektowaniem i uruchomieniem w około 6 000 instalacji w procesach odwadniania na pięciu kontynentach.

Usługi doradcze i serwis techniczny zapewnia rozległa sieć przedstawicielstw, obejmująca zarówno zagraniczne filie firmy, jak i niezależnych przedstawicieli handlowych i dystrybutorów.

Obecność firmy w wielu krajach o różnych tradycjach przemysłowych sprawiła, że DIEMME zyskała ogromne doświadczenie w wielu gałęziach przemysłu:

- **górnictwo podziemne i odkrywkowe** (wzbogacanie metali: żelazo, nikiel, miedź, cynk; wzbogacanie niemetali; wzbogacanie metali szlachetnych: złoto, srebro, platyna, pallad; przeróbka węgla; węglan wapnia; silikaty; gliny; kaoliny; kruszywa budowlane: piasek, żwir; kruszywa z przeróbki marmuru i granitu);
- **metalurgia** (hydrometalurgia; oczyszczanie metali: wanad, chrom, mangan; oczyszczanie metali ziem rzadkich i szlachetnych: złoto, srebro, pallad, platyna; hutnictwo i odlewnictwo: oczyszczanie oparów);
- **chemia i farmaceutyka** (chemia wysokowartościowa; chemia podstawowa; nawozy; włókna syntetyczne; gazy techniczne i specjalne; pigmenty i barwniki; materiały plastikowe i żywice syntetyczne; lakiery; atramenty; kleje; perfumy; kosmetyki; mydła; tłuszcze; oleje; petrochemia; cement i spoiwa hydrauliczne; obróbka powierzchni; odzysk ołowiu z akumulatorów; szczepionki; antybiotyki; preparaty krwiopochodne; pektyny);
- **sektor komunalny** (zakłady uzdatniania wody; oczyszczalnie ścieków; spalarnie śmieci; perkolacja odpadów stałych);
- **przemysł spożywczy** (rolnictwo i żywność; mleczarstwo; destylarnie; rzeźnie; cukrownictwo; hodowle zwierząt; olejarnie; browary);
- **ceramika, szkło, kryształy** (produkcja płytek; produkcja piaskowca ceramicznego; produkcja mieszanek ceramicznych (glinek ceramicznych); szkło i kryształy);

4. Badania i rozwój

Sercem DIEMME Filtration jest centrum badawcze. Ciśnieniowy rozdział części stałych od cieczy jest skomplikowanym zjawiskiem fizycznym, które

bardzo ciężko odtworzyć na modelach teoretycznych. Dlatego bardzo istotne jest określenie parametrów procesu każdego pojedynczego przypadku, a następnie postępowanie według określonych reguł empirycznych wynikających z wielu dziesięcioleci doświadczenia.

Zespół wykwalifikowanych chemików i technologów pracujących w laboratorium w siedzibie firmy w Lugo codziennie bada próbki produktów pochodzących z całego świata. Przeprowadzane przez nich próby filtracyjne określają parametry fizykochemiczne filtrowanych produktów, co jest niezbędne do poprawnego doboru najbardziej optymalnych urządzeń w danym przypadku.

Wyniki każdej przeprowadzonej analizy trafiają do firmowej bazy danych, zawierającej tysiące danych wynikowych, gromadzonych od 1971 r. Po zakończeniu prób analityk sporządza szczegółowy raport z przeprowadzony prób, który wysyłany jest do klienta razem z próbkami przebadanego produktu.

Po próbach laboratoryjnych istnieje możliwość przeprowadzenia testów filtracyjnych w zakładzie klienta celem dalszej analizy. Testy te mogą zostać przeprowadzone na małych jednostkach stołowych symulujących jedną komorę filtracyjną lub jednostkach półprzemysłowych zabudowanych w kontenerze. W obu przypadkach istnieje możliwość symulacji wszystkich niezbędnych procesów technologicznych, takich jak ściskanie membran, dosuszanie placka, mycie placka, itp.

Rys.1. Stołowa prasa laboratoryjna (źródło: opracowanie własne)

Rys.2. Prasa filtracyjna typu ME630 zabudowana w kontenerze wykorzystywana do prowadzenia prób filtracyjnych w zakładzie klienta (źródło: opracowanie własne)

5. Dobór odpowiedniego urządzenia

Wyniki prób filtracyjnych wraz z danymi zebranymi przez przedstawicieli podczas wizyt w zakładzie klienta są następnie analizowane i po uwzględnieniu specyficznych uwarunkowań projektowych przygotowana zostaje propozycja techniczna rekomendująca konkretne rozwiązanie.

W końcowym etapie działania włączany jest dział handlowy, który przygotowuje szczegółową ofertę wraz z rysunkami technicznymi układu, instalacji, schematem technologicznym, opisami funkcyjnymi, arkuszami danych, obliczeniami stechiometrycznymi i rozkładem masy, a także innymi niezbędnymi danymi technicznymi i technologicznymi.

6. Projekt i realizacja

Złożenie zamówienia przez klienta oznacza początek wykonawczej części projektu, podczas której zespół projektantów składający się z technologów, konstruktorów i programistów projektuje cały układ. Całość projektu realizowana jest poprzez komputerowe technologie trójwymiarowe razem z oprogramowaniem analizy strukturalnej w celu sprawdzenia ukończonych komponentów.

Wszystkie elementy składowe układu są personalizowane. Nie tylko rozmiary maszyny, lecz również materiały konstrukcyjne, cykle powlekania i malowania są dobierane zgodnie ze specyfikacją każdego zadania. Urządzenia pomocnicze, a także komponenty mechaniczne, elektryczne i elektroniczne również się różnią, zależnie od indywidualnych wymagań klienta. Dzięki dokładnej analizie laboratoryjnej produktu podlegającego filtracji, a także zapoznaniu się z uwarunkowaniami technologicznymi i gabarytowymi u klienta możliwy jest dobór odpowiednich parametrów układu filtracyjnego, takich jak:

- typ prasy filtracyjnej,
- wykonanie materiałowe wszystkich elementów prasy, zwłaszcza tych, które mają bezpośredni kontakt z filtrowanym produktem,
- rodzaj i rozmiar płyt filtracyjnych,
- rodzaj i materiał tkanin filtracyjnych,
- konieczność zastosowania tkanin pomocniczych,
- konieczność zastosowania technologii ściskania membran, a także dobór właściwego medium ściskającego,
- konieczność zastosowania technologii dosuszania placka,
- konieczność zastosowania technologii mycia placka,
- konieczność zastosowania osłon zabezpieczających obsługę przed chlapaniem potencjalnie niebezpiecznych produktów,
- konieczność zastosowania układu pochłaniającego toksyczne opary,
- rodzaj i liczbę pomp w układzie napełniającym prasę,
- rodzaj i liczbę pomp lub sprężarek dostarczających medium ściskające membrany oraz dosuszające placek,
- czas poszczególnych etapów cyklu filtracji: napełniania, filtracji, ściskania membran, dosuszania placka, mycia placka, rozładunku.

Zazwyczaj na tym etapie klientowi dostarczana jest typowa dokumentacja:

- harmonogram projektu, produkcji i dostaw,
- rysunki obciążenia i mocowania,
- arkusze danych całego wyposażenia,
- rozmieszczenie elektrycznego panelu sterowania i schematów elektrycznych,
- opisy funkcjonalne sterowania procesami,
- schematy technologiczne, wyposażenia i procesu, instalacji rurowej,
- harmonogramy badań i inspekcji, certyfikaty badań użytych materiałów.

DIEMME Filtration dostarcza nie tylko „serce” układu – prasę filtracyjną, ale również rozwiązania systemowe „pod klucz”, obejmujące wszystkie urządzenia pomocnicze niezbędne do przeprowadzenia całego procesu odwadniania:

pompy, sprężarki powietrza, reaktory chemiczne, zbiorniki, zagęszczacze, odmulniki, mieszadła, układy dozowania odczynników chemicznych, przenośniki taśmowe, itp.

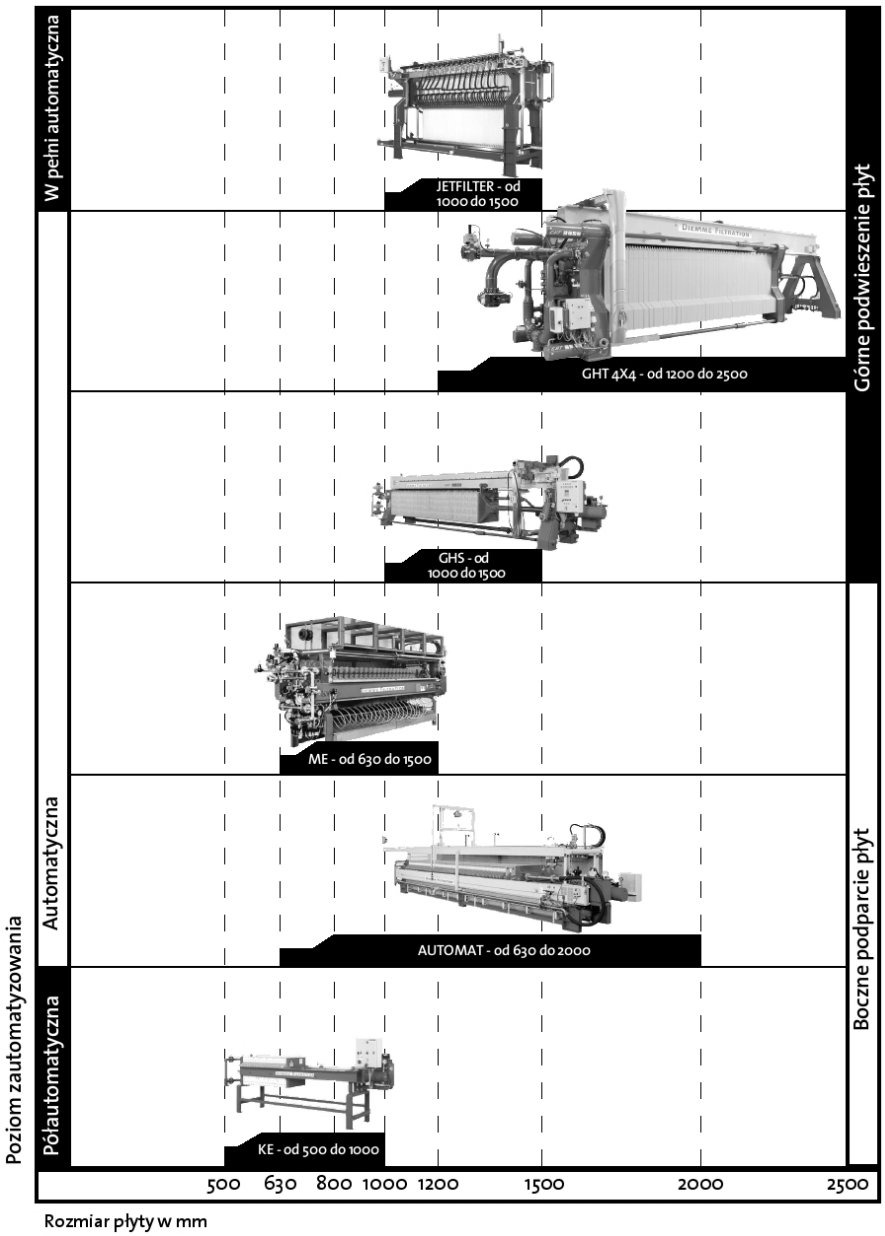
7. Gama pras filtracyjnych DIEMME

DIEMME Filtration oferuje najszerszą gamę pras filtracyjnych ze wszystkich producentów obecnych na światowych rynkach. Oprócz różnic w budowie strukturalnej, (górne podwieszenie lub boczne podparcie płyt) urządzenia DIEMME Filtration mogą różnić się zarówno rozmiarem, jak i poziomem automatyzacji.

Rozmiar prasy filtracyjnej zależy od szerokości i liczby użytych płyt. Masa pras filtracyjnych GHT 4x4 może wynieść do 75 ton, a ich średnia długość wynosi ok. 18 metrów. Na chwilę obecną są największymi prasami filtracyjnymi na świecie.

Poziom zautomatyzowania może również być dopasowany do indywidualnych wymagań klienta: półautomatyczne prasy wymagają interwencji obsługi podczas niektórych etapów cyklu; prasy automatyczne wymagają tylko nadzoru obsługi, a dla największej wygody prasy w pełni automatyczne mogą pracować bez jakiejkolwiek interwencji. Poniższy rysunek przedstawia typy pras filtracyjnych produkowanych przez DIEMME Filtration.

- prasy z bocznym podparciem płyt z siłownikiem typu dociskającego:
  - kategoria: standardowe obciążenie,
  - dobowa ilość odwodnionego produktu: średnia,
  - dobowa liczba cykli: średnia/niska,
  - stopień automatyzacji: półautomatyczna/automatyczna,
  - płyty: podparte na bocznych belkach,
- prasy z górnym podwieszeniem płyt z siłownikiem typu dociskającego:
  - kategoria: duże obciążenie,
  - dobowa ilość odwodnionego produktu: duża,
  - dobowa liczba cykli: duża,
  - stopień automatyzacji: automatyczna,
  - płyty: podwieszone do górnej belki,
- prasa z górnym podwieszeniem płyt z siłownikami typu przyciągającego:
  - kategoria: duże obciążenie,
  - dobowa ilość odwodnionego produktu: bardzo duża,
  - dobowa liczba cykli: duża,
  - stopień automatyzacji: automatyczna,
  - płyty: podwieszone do górnej belki.



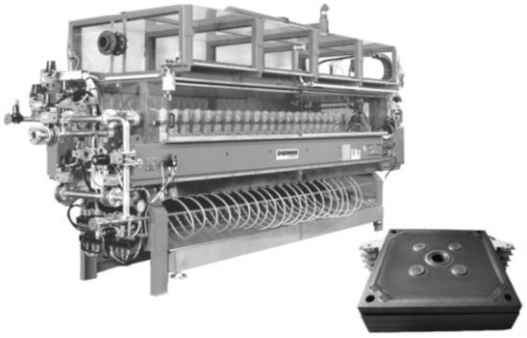
Rys.3. Gama pras filtracyjnych DIEMME (źródło: opracowanie własne)

8. Zastosowania specjalne

Wszystkie prasy filtracyjne produkowane przez DIEMME Filtration mogą zostać przystosowane do wszystkich procesów technologicznych – zgodnie z potrzebami i życzeniami klientów.

8.1. Wysoka temperatura

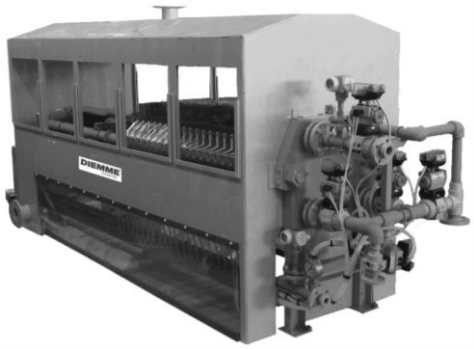
W przypadku bardzo lepkich materiałów (na przykład w stanie oleistym) filtracja odbywa się w wysokich temperaturach (>100°C). Rysunek poniżej przedstawia membranową prasę filtracyjną typu ME 800 zabudowaną we Francji do gorącego oczyszczania trzech różnych rodzajów poliolejów, z których każdy charakteryzuje się inną lepkością procesową i temperaturą.



Rys.4. Prasa filtracyjna ME 800 do filtracji produktu w wysokiej temperaturze (źródło: opracowanie własne)

8.2. Toksyczność

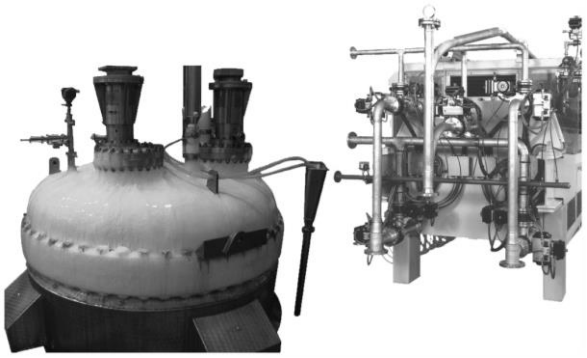
W przypadku filtracji produktów zawierających substancje toksyczne istnieje ryzyko emisji szkodliwych oparów. W takich przypadkach DIEMME Filtration izoluje prasę filtracyjną od otaczającego środowiska poprzez okapy odciągowe, które usuwają opary ze stanowiska pracy. Rysunek poniżej przedstawia membranową prasę filtracyjną typu KE 630 wyposażoną w okapy odciągowe, zabudowaną w Rosji w zakładzie oczyszczania i przetopu miedzi. Podczas filtracji ulatniają się opary zawierające arsen stosowany w rozcieńczonym roztworze, celem wytrącenia się jako siarczek. Powstały w wyniku tej reakcji szlam jest następnie filtrowany.



Rys.5. Prasa filtracyjna KE 630 do filtracji szlamu wydzielającego toksyczne opary (źródło: opracowanie własne)

8.3. Niska temperatura

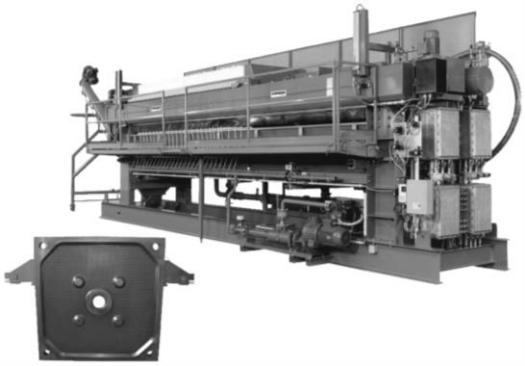
W przemyśle spożywczym często produkty należy filtrować w niskich temperaturach. Rysunek poniżej przedstawia membranową prasę filtracyjną typu ME 1000 zabudowaną w Hiszpanii do filtracji rektyfikowanego białego wina z dwuwinianem potasowym w zawieszeniu. Produkt wtłaczany jest do prasy filtracyjnej w temperaturze: -13°C, a opuszcza ją z temperaturą: -7°C. Materiały, z których produkowana jest ta prasa, spełniają wymagania US Food and Drug Administration.



Rys.6. Prasa filtracyjna ME 1000 do filtracji produktu w niskiej temperaturze (źródło: opracowanie własne)

8.4. Materiały wybuchowe

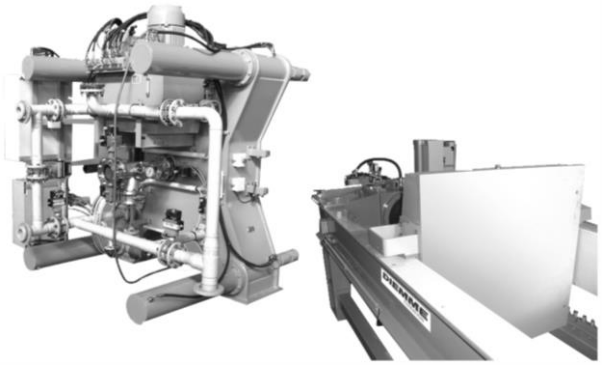
Prasy filtracyjne w przemyśle chemicznym, petrochemicznym i farmaceutycznym często muszą pracować w strefach sklasyfikowanych jako zagrożone wybuchem. Rysunek poniżej przedstawia membranową prasę filtracyjną typu AUTOMAT 800 zabudowaną we Włoszech do filtracji skrystalizowanego leku zawieszonego w czystym acetonie. Zarówno czyszczenie, jak i suszenie w celu odzysku acetonu odbywają się wewnątrz prasy filtracyjnej.



Rys.7. Prasa filtracyjna AUTOMAT 800 do filtracji produktu w strefie sklasyfikowanej jako zagrożona wybuchem (źródło: opracowanie własne)

8.5. Korozja

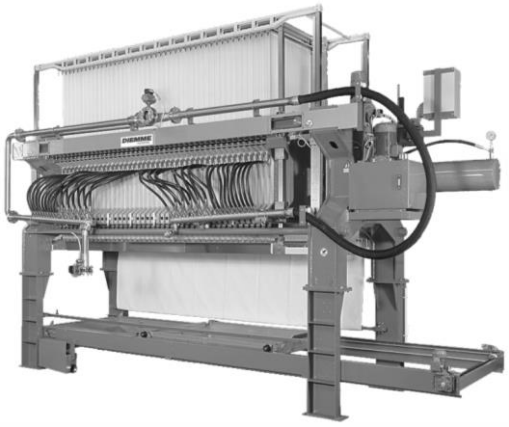
Podczas oczyszczania metali niezbędna jest praca z substancjami o bardzo niskim pH. Rysunek poniżej przedstawia głowicę prasy GHT 4x4 1200 z rurami z PP oraz prasę filtracyjną typu KE 500 wyłożoną PP. Urządzenia te zabudowane zostały w RPA do filtracji szlamu pochodzącego z ługowania surowców zawierających platynę, pallad, rod, złoto, nikiel, miedź i ruten za pomocą kwasu solnego.



Rys.8. Głowica prasy GHT 4x4 oraz prasa KE 500 do filtracji korodujących produktów (źródło: opracowanie własne)

8.6. Koloidy

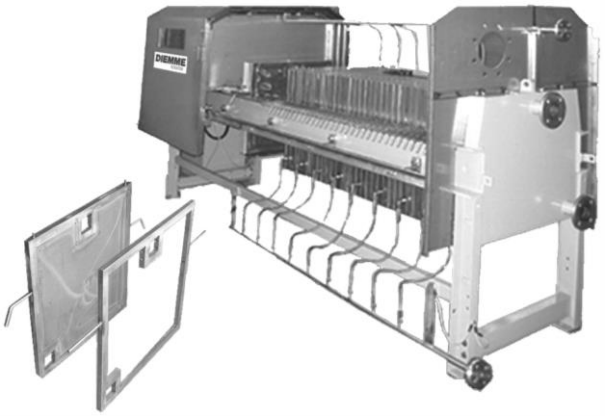
Do filtracji produktów o bardzo niskiej przesączalności, a także w przypadku gdy odłączenie placka od tkaniny filtracyjnej jest trudne, DIEMME Filtration stosuje innowacyjną prasę filtracyjną typu JETFILTER. Rysunek poniżej przedstawia tego typu urządzenie zabudowane we Włoszech do filtracji glinki ceramicznej.



Rys.9. Prasa filtracyjna JETFILTER do filtracji produktów o bardzo niskiej przesączalności (źródło: opracowanie własne)

8.7. Niskie zagęszczenie

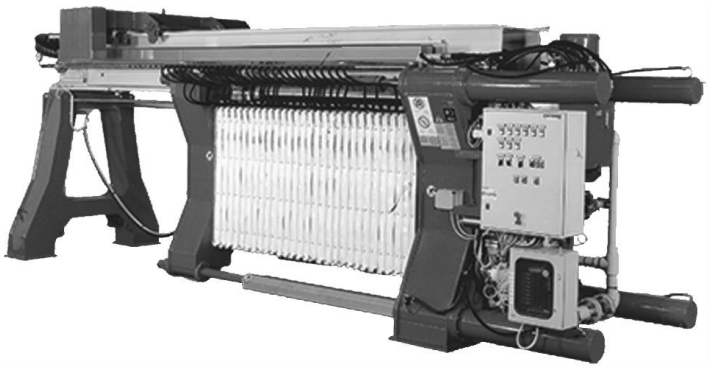
W przypadku oczyszczania, gdy filtrowany produkt charakteryzuje się niskim zagęszczeniem cząstek stałych, głównym celem jest otrzymanie jak najczystszego filtratu. Rysunek poniżej przedstawia prasę filtracyjną typu KE 630 wykonaną ze stali nierdzewnej AISI 316 i wyposażoną w specjalne płyty z ramami oraz papierowe elementy filtrujące zabudowaną w Australii do oczyszczania dodatków do polichlorku winylu (PVC).



Rys.10. Prasa filtracyjna KE 630 do filtracji produktów o bardzo niskim zagęszczeniu (źródło: opracowanie własne)

8.8. Materiały ścierne

W przemyśle wydobywczym (np. koncentraty Cu, Zn, Pb, Fe, C, itp.) filtrowany szlam cechuje się dużą ściernością, dobrą przesączalnością i dużą szybkością napełniania dzięki dużemu zagęszczeniu. Rysunek poniżej przedstawia membranową prasę filtracyjną typu GHT 1500 zabudowaną w Rosji do filtracji koncentratu flotacyjnego w zakładzie oczyszczania i wzbogacania złota.



Rys.11. Prasa filtracyjna GHT 1500 do filtracji produktów ściernych (źródło: opracowanie własne)

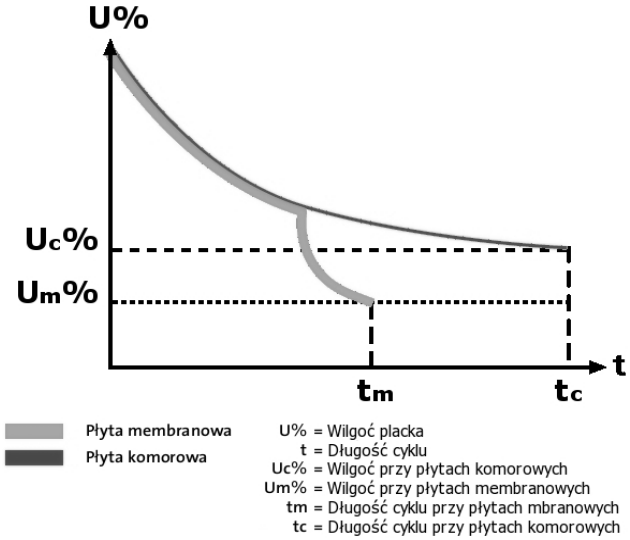
9. Stosowane technologie

DIEMME Filtration może dopasować swoje urządzenia do praktycznie każdego procesu technologicznego poprzez zastosowanie jednej lub kilku poniższych technologii.

9.1. Płyty membranowe

Nazwa „technologia membranowa" odnosi się do zastosowania specjalnego rodzaju płyt zwanych „membranowymi" lub „płytami o zmiennej objętości". Są one zdolne do zmiany swojej objętości poprzez wtłoczenie w przestrzeń między płytą a membraną wody lub powietrza przez specjalną jednostkę hydrauliczną.

Zwiększona objętość płyt bardzo szybko zwiększa ciśnienie wywierane na placki uformowane wewnątrz komór. W ten sposób długość cyklu filtracyjnego oraz wilgoć placka ulegają redukcji w stosunku do tradycyjnych technologii z zastosowaniem płyt komorowych.

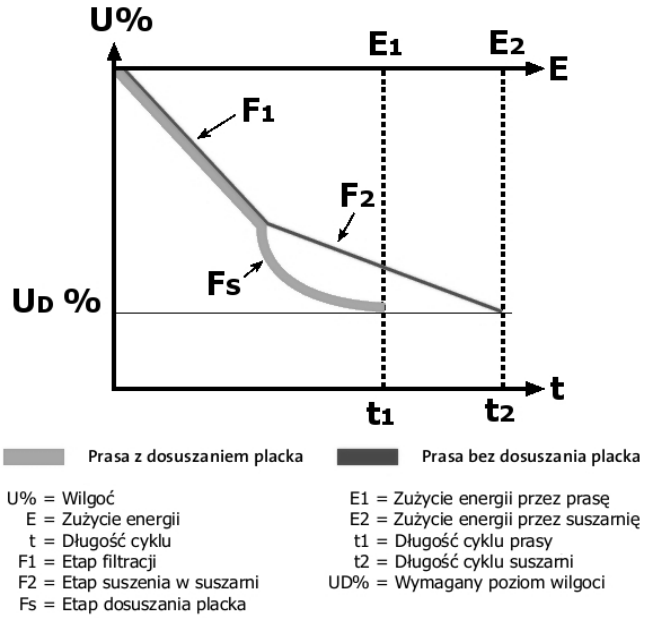


Rys.12. Porównanie parametrów filtracji płyt komorowych i membranowych (źródło: opracowanie własne)

9.2. Dosuszanie placka

Placki uformowane wewnątrz zespołu płyt dosuszane są za pomocą sprężonego powietrza, które kierowane jest z różnych stron: z prądem, pod prąd i krzyżowo.

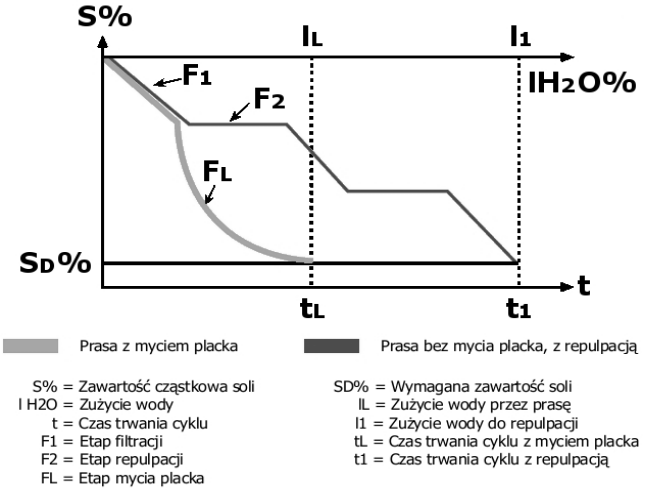
Technologia ta pozwala na równomierne przesychanie placka, redukując w ten sposób wilgoć placka do minimum, przy jednoczesnym zmniejszonym zużyciu energii w porównaniu do tradycyjnych technologii suszenia.



Rys.13. Porównanie parametrów filtracji z zastosowaniem dosuszania placka i bez użycia dosuszania placka (źródło: opracowanie własne)

9.3. Mycie placka

Przez placki uformowane w komorach płyt przetłaczana jest woda w różnych kierunkach: z prądem, pod prąd i krzyżowo. System ten pozwala na równomierne mycie placka, co obniża zawartość cząstkową soli w fazie stałej do minimum.



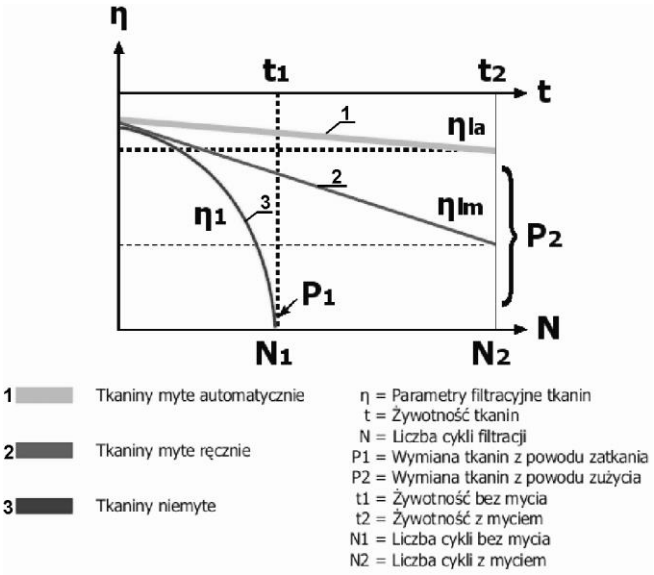
Rys.14. Porównanie parametrów filtracji z zastosowaniem mycia placka i z użyciem repulpacji zamiast mycia placka (źródło: opracowanie własne)

Jest to lepsza alternatywa dla tradycyjnej metody repulpacji, ponieważ ogranicza zarówno długość cyklu, jak i zużycie wody.

9.4. Mycie tkanin filtracyjnych

Tkaniny filtracyjne są podstawowym elementem filtrującym, od którego zależy funkcjonowanie całego procesu filtracji.

Aby utrzymać ich sprawność na najwyższym poziomie, w jak najdłuższym okresie, DIEMME Filtration wyposaża swoje prasy filtracyjne w automatyczny system mycia tkanin. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie optymalnych wyników filtracji przez cały okres żywotności tkanin filtracyjnych.



Rys.15. Porównanie żywotności tkanin filtracyjnych mytych automatycznie, ręcznie i niemytych (źródło: opracowanie własne)

10. KWK Jas-Mos – studium przypadku

10.1. Dotychczasowy układ technologiczny

W listopadzie 2009 r. Kopalnia Węgla Kamiennego Jas-Mos należąca do Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA rozpoczęła realizację zadania inwestycyjnego pt. „Budowa dla JSW SA KWK Jas-Mos instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie poniżej 25 μm”. W postępowaniu przetargowym najkorzystniejszą ofertę złożyła firma ZARMEN sp. z o.o, która w następstwie negocjacji bezpośrednich do realizacji projektu wybrała firmę Biuro Projektów PROREM, natomiast do realizacji dostaw prasy filtracyjnej wraz ze wszystkimi urządzeniami towarzy-

szącymi wybrała firmę PROREM, która zarekomendowała jako dostawcę prasy filtracyjnej firmę DIEMME Filtration – światowego lidera w produkcji specjalistycznych pras filtracyjnych. Wysoka jakość oferowanych urządzeń oraz profesjonalne podejście do kwestii doboru właściwego urządzenia sprawiły, że włoski producent pras filtracyjnych pozostawił w pokonanym polu innych znanych producentów tego typu urządzeń.

Zakres rzeczowy zadania obejmował m.in.:

- opracowanie technologii umożliwiającej odzysk części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarze wyłącznie poniżej 25 μm.

Wymogi technologiczne dla instalacji:

  - wydajność: minimum 8 Mg/h w przeliczeniu na suchą masę,
  - odzysk części stałych: minimum 98%,
  - zawartość wilgoci przemijającej W_{ex} w produkcie odwodnionym: maksimum 28%;
- opracowanie raportu oddziaływania na środowisko oraz projektu wielobranżowego instalacji,
- włączenie zaprojektowanej instalacji w istniejący ciąg technologiczny Zakładu Przeróbczego tak, aby pracująca instalacja nie powodowała zakłóceń w procesie wzbogacania węgla oraz funkcjonowaniu obiegu wodno-mułowego,
- dostawę elementów składowych instalacji,
- zabudowę urządzeń zaprojektowanej instalacji,
- przeprowadzenie rozruchu instalacji i ruchu pod obciążeniem do czasu osiągnięcia wymaganych parametrów technologicznych,
- udzielenie gwarancji na elementy instalacji: co najmniej 24 miesiące,
- przeszkolenie pracowników inwestora w zakresie obsługi i konserwacji urządzeń.

W ZPMW KWK Jas-Mos, jak i w większości kopalń należących do JSW SA koncentrat flotacyjny odwadniany jest za pomocą wirówek sedymentacyjno-sitowych. Jak powszechnie wiadomo jedną z największych wad takiego rozwiązania jest powstawanie produktu ubocznego, tzw. „sedymentu", czyli odcieku z części sedymentacyjnej wirówek sedymentacyjno-sitowych o stosunkowo wysokiej zawartości bardzo drobnych frakcji węglowych (uziarnienie 25 - 0 μm). Obecność tego typu frakcji w obiegu wodno-mułowym stwarza poważne problemy technologiczne.

Dotychczas sedyment traktowano jako produkt uboczny łączony z odpadem flotacyjnym i kierowano jako element składowy podsadzki hydraulicznej do wyrobisk na dole kopalni.

Celem inwestycji było odzyskanie i zagospodarowanie sedymentu z kategorii kłopotliwego produktu ubocznego (odpadu) na produkt handlowy. Inwestor poprzez postawienie rygorystycznych wymagań technologicznych względem nowej instalacji technologicznej odwadniania sedymentu odzyskał dodatkowy produkt o parametrach handlowych.

10.2. Koncepcja

W opracowaniu innowacyjnej technologii odwodnienia sedymentu węglowego wzięły udział trzy firmy:

- PROREM – firma specjalizująca się w kompleksowej obsłudze zakładów przeróbczych zarówno w aspekcie usługowym, jak i handlowym, jako autoryzowany przedstawiciel firmy DIEMME Filtration,
- Biuro Projektów PROREM – biuro projektowe posiadające w swoim portfolio realizację wielu projektów w zakładach przeróbczych,
- DIEMME Filtration – światowy lider w produkcji pras filtracyjnych działający na rynku od prawie 90 lat.

Początkiem opracowania technologii było pobranie reprezentatywnej próby zagęszczonego sedymentu celem przeprowadzenia prób filtracyjnych w laboratorium DIEMME Filtration. Udostępniona przez kopalnię próba posiadała następujące parametry fizykochemiczne:

Cechy fizykochemiczne próby zagęszczonego sedymentu udostępnionej przez kopalnię do prób laboratoryjnych (źródło: opracowanie własne)

Tabela 1

Parametr		Wartość
Temperatura	**(°C)**	20
pH		7,8
Ciężar właściwy	**(kg/dm^3)**	1,00
Zagęszczenie części stałych	**(g/l)**	131
CST_{18}	**(sek.)**	13,4
Przewodność	**(mS/cm)**	6,5
Kolor		Czarny

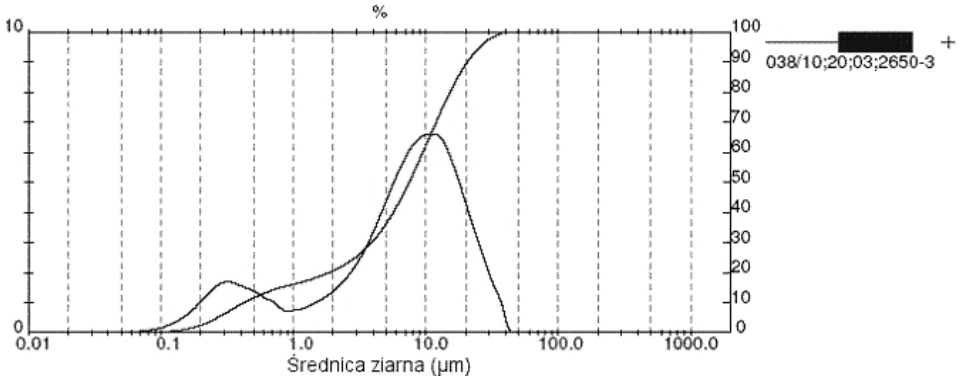
Analiza granulometryczna potwierdziła, że w zagęszczonym sedymencie udział ziaren o rozmiarze powyżej 25 μm jest niewielki.

Analiza morfologiczna pozwoliła na zdefiniowanie cech fizycznych części stałych i określenie, w jaki sposób mogą one wpływać na przebieg filtracji, na uzyskane wyniki wilgoci przemijającej W_{ex} w produkcie odwodnionym i zwartość placka. Pozwoliła ona również na przewidzenie i zapobieżenie zjawisku tiksotropii panelu, ścierności szlamu, skuteczności etapu mycia i innych.

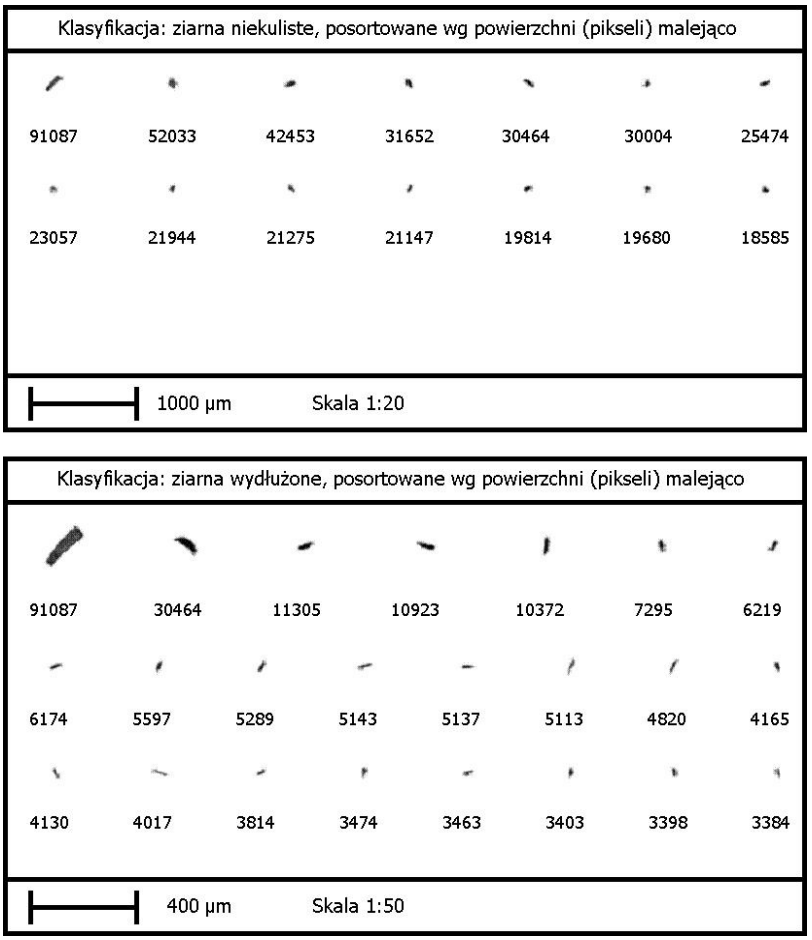
Skład ziarnowy próby zagęszczonego sedymentu (źródło: opracowanie własne)

Tabela 2

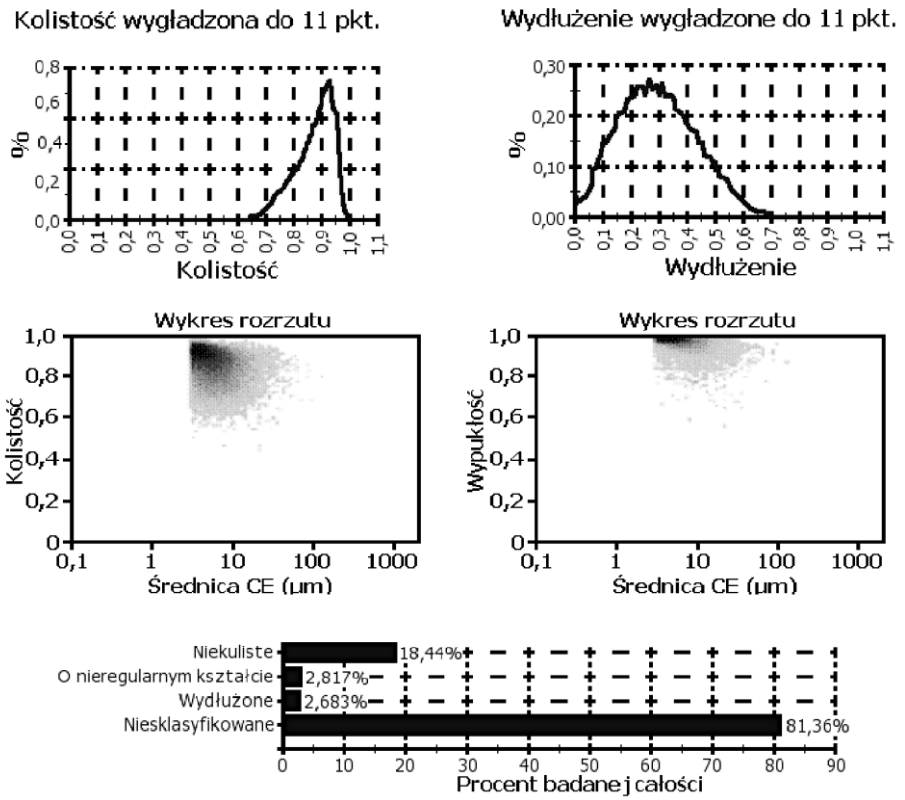
Od (µm)	W [%]	Do (µm)	Poniżej %	Od (µm)	W [%]	Do (µm)	Poniżej %
0,05	0,02	0,06	0,02	5,69	5,30	6,63	45,50
0,06	0,04	0,07	0,05	6,63	5,89	7,72	51,39
0,07	0,06	0,08	0,12	7,72	6,33	9,00	57,72
0,08	0,11	0,09	0,22	9,00	6,56	10,48	64,28
0,09	0,17	0,11	0,40	10,48	6,58	12,21	70,86
0,11	0,27	0,13	0,66	12,21	6,45	14,22	77,31
0,13	0,41	0,15	1,07	14,22	5,83	16,57	83,15
0,15	0,60	0,17	1,68	16,57	5,01	19,31	88,16
0,17	0,85	0,20	2,53	19,31	4,08	22,49	92,24
0,20	1,15	0,23	3,68	22,49	3,18	26,20	95,41
0,23	1,45	0,27	5,14	26,20	2,32	30,53	97,73
0,27	1,66	0,31	6,79	30,53	1,51	35,56	99,23
0,31	1,68	0,36	8,47	35,56	0,77	41,43	100,00
0,36	1,58	0,42	1,05	41,43	0,00	48,27	100,00
0,42	1,46	0,49	1,51	48,27	0,00	56,23	100,00
0,49	1,32	0,58	1,83	56,23	0,00	65,51	100,00
0,58	1,14	0,67	1,96	65,51	0,00	76,32	100,00
0,67	1,00	0,78	1,97	76,32	0,00	88,91	100,00
0,78	0,74	0,91	1,71	88,91	0,00	103,58	100,00
0,91	0,75	1,06	16,46	103,58	0,00	120,67	100,00
1,06	0,80	1,24	17,26	120,67	0,00	140,58	100,00
1,24	0,91	1,44	18,17	140,58	0,00	163,77	100,00
1,44	1,05	1,68	19,22	163,77	0,00	190,80	100,00
1,68	1,23	1,95	20,45	190,80	0,00	222,28	100,00
1,95	1,47	2,28	21,92	222,28	0,00	258,95	100,00
2,28	1,76	2,65	23,68	258,95	0,00	301,68	100,00
2,65	2,14	3,09	25,83	301,68	0,00	351,46	100,00
3,09	2,63	3,60	28,46	351,46	0,00	409,45	100,00
3,60	3,23	4,19	31,68	409,45	0,00	477,01	100,00
4,19	3,90	4,88	35,59	477,01	0,00	555,71	100,00
4,88	4,62	5,69	40,20				



Rys.16. Reprezentacja graficzna składu ziarnowego próby zagęszczonego sedymentu (źródło: opracowanie własne)



Rys.17. Morfologiczny skład ziarnowy próby zagęszczonego sedymentu (źródło: opracowanie własne)

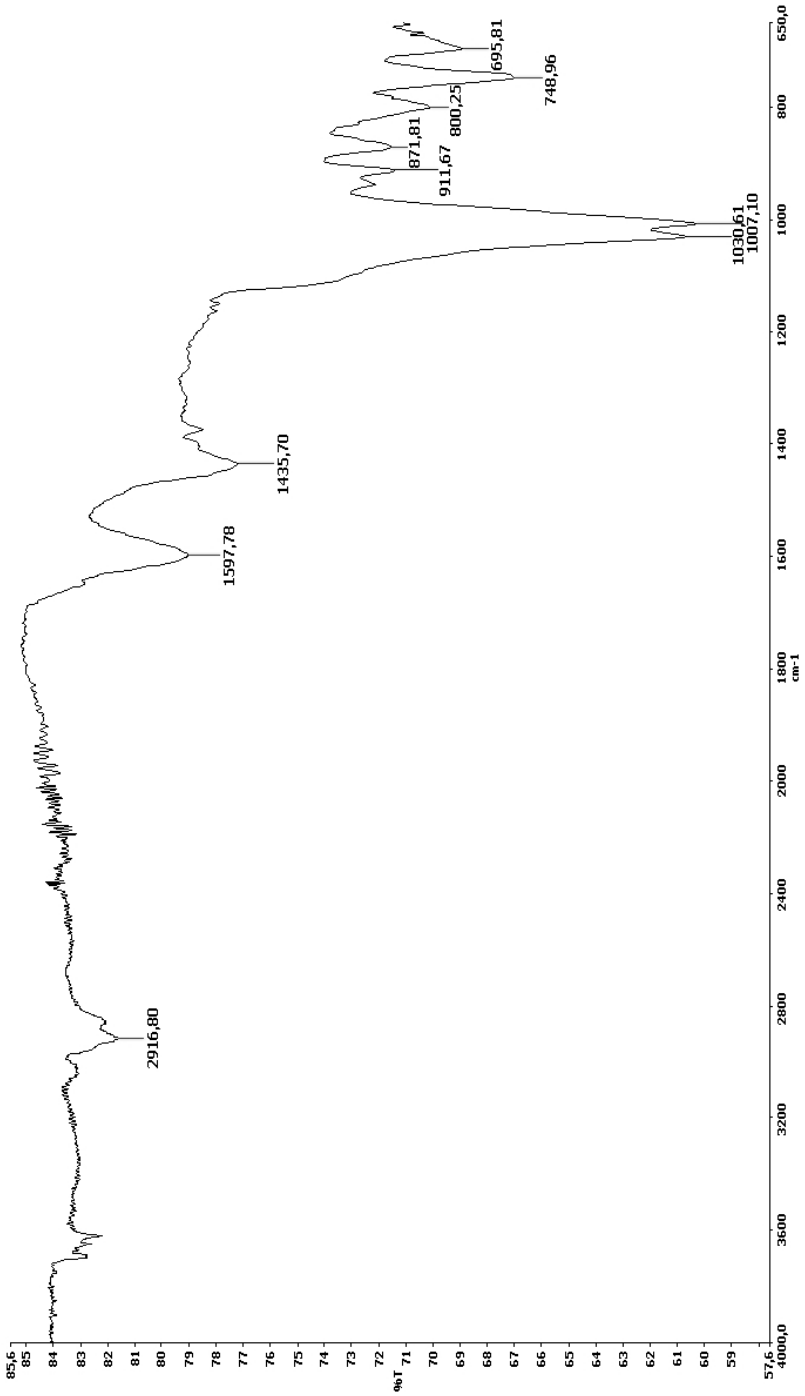


Rys.18. Analiza składu ziarnowego ze względu na kształt ziaren
(źródło: opracowanie własne)

Została również przeprowadzona analiza spektroskopijna w podczerwieni za pomocą laserowego spektrofotometru używając transformaty Fouriera. Przedstawione poniżej widmo jest cyfrowym odciskiem na poziomie molekularnym analizowanej próby.

Wyniki prób pokazały, że osiągnięcie wymaganych parametrów wilgoci przemijającej W_{ex} w produkcie odwodnionym nie przekraczającej 28% przy uzyskaniu wydajności minimum 8 Mg/h w przeliczeniu na suchą masę w procesie odwodnienia zagęszczonego sedymentu węglowego możliwe jest jedynie przy zastosowaniu następujących technologii:

- mieszany zespół płyt – wyposażenie prasy w płyty membranowe na zmianę z płytami komorowymi,
- ściskanie membran – za pomocą sprężonego powietrza,
- dosuszanie placka – krzyżowo przeciwprądowo,
- automatyczny system mycia tkanin filtracyjnych.



Rys.19. Analiza spektroskopijna w podczerwieni próby zagęszczonego sedymentu (źródło: opracowanie własne)

Na udostępnionej przez kopalnię próbie zagęszczonego sedymentu węglowego przeprowadzono cztery próby filtracyjne:

a) próba ze ściskaniem membran sprężonym powietrzem o ciśnieniu 15 bar, bez dosuszania placka,
b) próba ze ściskaniem membran sprężonym powietrzem o ciśnieniu 15 bar i dosuszaniem placka sprężonym powietrzem o ciśnieniu 3 bar,
c) próba ze ściskaniem membran sprężonym powietrzem o ciśnieniu 15 bar i dosuszaniem placka sprężonym powietrzem o ciśnieniu 5 bar,
d) próba ze ściskaniem membran sprężonym powietrzem o ciśnieniu 15 bar i dosuszaniem placka sprężonym powietrzem o ciśnieniu 6 bar,

Analiza przeprowadzonych prób jednoznacznie wykazała, iż założenia inwestora są możliwe do zrealizowania w każdym z zakresów:

– wilgoć przemijająca W_{ex} w produkcie odwodnionym nie wyższa niż 28%,
– wydajność minimum 8 Mg/h w przeliczeniu na suchą masę,

przy zastosowaniu membranowej prasy filtracyjnej z zastosowaniem dosuszania placka sprężonym powietrzem.

Uzyskane wyniki i gwarancje technologiczne firmy DIEMME Filtration pozwoliły przystąpić do negocjacji z Generalnym Realizatorem Inwestycji celem zaoferowania optymalnie dobranej instalacji gwarantującej zrealizowanie wymagań Inwestora.

Wyniki przeprowadzonych laboratoryjnych prób filtracyjnych (źródło: opracowanie własne)

Tabela 3

Laboratoryjne próby filtracyjne					
Nr próby		1	2	3	4
Powierzchnia filtracyjna	**m^2**	0,008			
Temperatura	**°C**	otoczenia			
Ciśnienie napełniania	**bar**	7			
Ciśnienie dosuszania	**bar**	–	3	5	6
Ciśnienie ściskania membran	**bar**	15			
Opis filtratu		klarowny			
Opis placka		zbity		zbity, kruchy	
Sucha masa	**%**	64,4	67,8	69,9	72
Wilgoć przemijająca W_{ex}	**%**	35,6	32,2	30,1	28

Na podstawie przeprowadzonych prób filtracyjnych oraz w oparciu o wymagania Inwestora dotyczące wymaganej wydajności węzła odwadniania oraz szacowanego czasu pracy układu podjęto decyzję o zabudowie prasy filtracyjnej typu GHT 1500.P7 o następujących parametrach:

– liczba płyt komorowych: 41,
– liczba płyt membranowych: 40,

- głębokość komory: 50 mm,
- układ obustronnego napełniania prasy,
- dotykowy panel sterowania wyposażony w sterownik PLC,
- misa ściekowa,
- automatyczny układ mycia tkanin filtracyjnych,
- stała bariera ochronna wokół prasy,
- kurtyna fotokomórkowa z jednej strony prasy,
- przejezdna platforma do wymiany tkanin filtracyjnych,
- wirowa pompa nadawy,
- sprężarka śrubowa do dosuszania placka wraz ze zbiornikiem ciśnieniowym,
- doprężacz tłokowy do ściskania membran wraz ze zbiornikiem ciśnieniowym.

10.3. Osiągnięte wyniki

Jak już wspomniano wcześniej, jednym z warunków stawianych przez Inwestora było przeprowadzenie rozruchu instalacji i ruchu pod obciążeniem do czasu osiągnięcia wymaganych parametrów technologicznych – zakładane parametry technologiczne zostały osiągnięte w krótkim czasie.

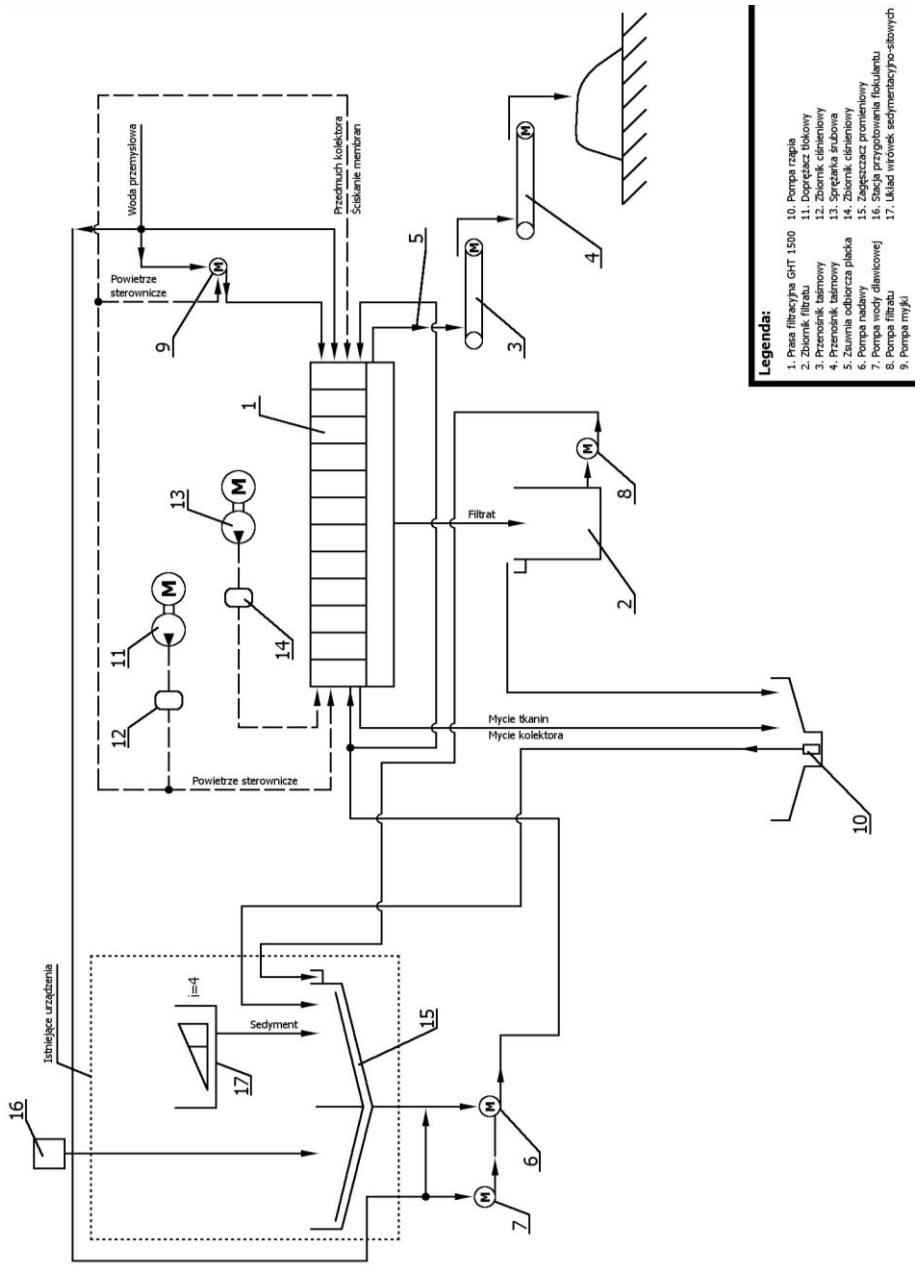
Ponadto, dzięki ostrożnemu doborowi urządzenia z uwzględnieniem odpowiedniej tolerancji, udało się uzyskać wyniki znacząco lepsze niż te wymagane przez Inwestora, co pozwala użytkownikowi na pewną swobodę w nastawach parametrów pracy, umożliwiając obniżenie wilgoci przemijającej W_{ex} w produkcie odwodnionym lub zwiększenie wydajności instalacji w przeliczeniu na suchą masę – w granicach określonych w wymaganiach stawianych nowej instalacji odwadniania sedymentu. Poniżej znajdują się wyniki przemysłowych badań laboratoryjnych produktów powstałych poprzez odwodnienie sedymentu węglowego za pomocą nowej prasy filtracyjnej, przeprowadzone w dniach 22-23. 09. 2011 r.

Wyniki przeprowadzonych prób przemysłowych (źródło: opracowanie własne)

Tabela 4

Przemysłowe próby filtracyjne									
Numer kolejny próby		1	2	3	4	5	6	7	8
Wilgoć przemijająca W_{ex} w produkcie odwodnionym	**%**	22,43	23,92	23,85	23,42	23,48	22,44	23,39	19,50
Wydajność w przeliczeniu na suchą masę	**Mg/h**	9,79	9,69	9,55	9,56	9,82	10,05	10,73	7,76
Całkowity czas cyklu filtracji	**min**	25,20	25,20	25,20	25,00	25,00	25,00	22,70	31,40

Poniższy rysunek przedstawia schemat technologiczny nowej instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie poniżej 25 μm zabudowanej w ZPMW KWK Jas-Mos.



Rys.20. Schemat technologiczny instalacji odzysku drobnych frakcji węglowych z sedymentu w oparciu o prasę filtracyjną GHT 1500 (źródło: opracowanie własne)

11. Podsumowanie

Celem inwestycji realizowanej przez JSW SA KWK Jas-Mos było odzyskanie jak największej ilości części stałych z sedymentu i uzyskanie takich parametrów jakościowych, aby umożliwić zastosowanie ich w produktach handlowych.

Wyniki prób filtracyjnych przeprowadzonych w laboratorium na próbie zagęszczonego sedymentu pozwoliły na sporządzenie charakterystyki filtrowanego produktu, określenie technologicznych możliwości jego odwodnienia oraz dobór właściwych urządzeń.

W październiku 2011 inwestycja została sfinalizowana i nastąpiło oficjalne przekazanie instalacji Inwestorowi. Próby filtracyjne przeprowadzone zarówno przez Inwestora, jak i przez niezależne laboratorium badawcze potwierdziły spełnienie wymaganych parametrów.

W podsumowaniu należy podkreślić, iż Inwestor, tj. JSW SA w wyniku oferty firm PROREM i DIEMME uzyskał założone cele inwestycji, tj.:

- dodatkowe ilości produktu handlowego o parametrach:
  - $W_{ex} \approx 22 \div 26\%$,
  - $A^d \approx 12 \div 15\%$,
  - wydajność $\approx 9{,}5 \div 10{,}5$ Mg/h;
- pełne zamknięcie obiegu wodno-mułowego,
- nowoczesną instalację, która powinna zostać zastosowana we wszystkich Zakładach Przeróbczych, w których do odwadniania koncentratu flotacyjnego stosowane są wirówki sedymentacyjno-sitowe.

Literatura

1. Materiały własne PROREM sp. z o.o.
2. Materiały własne Biuro Projektów PROREM sp. z o.o.
3. Materiały własne DIEMME Filtration Srl.

ROZDZIAŁ 3

OBIEGI WODNO-MUŁOWE – TECHNOLOGIE I AUTOMATYZACJA PROCESÓW

Identyfikacja depozytów mułów węglowych – własności chemiczne, „BAZA DANYCH (DMW)"

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego, Oddział Zamiejscowy w Katowicach **Aleksander Lutyński, Tomasz Suponik** - Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ponad 200-letniej działalności górnictwa węgla kamiennego zmieniały się kryteria przydatności węgli energetycznych i koksowych. Do czasu przemysłowego opanowania flotacji, pozwalającej na wzbogacenie drobnych ziaren urobku oraz wprowadzenie zamkniętych obiegów wodno-mułowych, ziarna poniżej 1 mm traktowane były jako odpady.

Z powyższych powodów przez dziesiątki lat muły węglowe (frakcja drobnoziarnista poniżej 1mm) były wydzielane z urobku i składowane w osadnikach ziemnych jako produkt nie mający, w tamtych warunkach, możliwości gospodarczego wykorzystania.

Po uruchomieniu przez energetykę kotłów z paleniskami pyłowymi, część zdeponowanych w osadnikach ziemnych mułów węglowych została wyeksploatowana. Dodawano je do miałów, tworząc mieszanki energetyczne chętnie odbierane przez energetykę, posiadającą urządzenia przystosowane do spalania węgli nawet bardzo złej jakości. Pomimo wykorzystywania mułów w osadnikach, nadal pozostało dużo zmagazynowanego w ten sposób surowca. Wiele takich wtórnych złóż węgla, ze względu na upływ czasu, jest obecnie niezidentyfikowane. Zostały one pokryte warstwą gleby i roślinnością. W celu określenia możliwości wykorzystania tych antropogenicznych złóż węgla kamiennego, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego wspólnie z Politechniką Śląską, Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów rozpoczął w 2009 r. realizację projektu rozwojowego pn: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułowych węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania"[1,3].

2. Własności chemiczne depozytów mułów węglowych [2, 5]

Dokonując identyfikacji jakościowej zdeponowanych w środowisku mułów węglowych analizowano ich skład chemiczny oznaczając zawartość: SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, Na_2O, S_c, C, P_2O_5 (tabela 1) oraz zawartość następujących metali (w s.m.), takich jak: arsenu, baru, chromu, cyny, cynku, glinu, kadmu, kobaltu, magnezu, manganu, miedzi, molibdenu, niklu, ołowiu, rtęci, wanadu, wapnia (tabela 2). Analizie poddano również ekstrakt wodny z próbek mułów oznaczając w nim następujące parametry podstawowe,

tj.: odczyn, przewodność, TDS, zasolenie, temperaturę, $ChZT_{Cr}$, fenole, azot amonowy, azot azotanowy (V), azot azotanowy (III), cyjanki wolne, chlorki, siarczany (VI), siarczki, chrom (VI), WWA, OWO, niejonowe SPC, anionowe SPC (tabela 3) oraz metale (takie jak wymieniono powyżej).

2.1. Metodyka badań laboratoryjnych

Wykaz metod badawczych stosowanych do określenia składu chemicznego próbek mułów

Tabela 1

Lp.	Składnik	Metoda
Przygotowanie próbki do badań zgodnie z: PN-G04528/00:1977		
1.	**SiO_2**	PN-G-04528/03:1977 Metoda wagowa - polega na wytrąceniu kwasem solnym kwasu krzemowego z roztworu do badań, odparowaniu i wyprażeniu – oraz zważeniu masy krzemionki w popiele
2.	**Al_2O_3**	PN-G-04528/04:1977 Metoda miareczkowania kompleksometrycznego 0,05 M octanem cynkowym
3.	**TiO_2**	PN-G-04528/08:1978 Metoda kulometryczna - polega na wytworzeniu w obecności kwasu siarkowego barwnego kompleksu związków jonów tytanowych z wodą utlenioną i fotometrycznym pomiarze intensywności zabarwienia
4.	**Fe_2O_3**	PN-G-04528/04:1977 Metoda wagowa - oznaczanie żelaza opiera się na strącaniu Fe^{3+} z kwaśnego roztworu amoniakiem w postaci trudno rozpuszczalnego wodorotlenku żelaza (III): i wyprażeniu osadu w temperaturze 1173 K do Fe_2O_3
5.	**CaO**	PN-G-04528/06:1977 Metoda polega na kompleksometrycznym, odmiareczkowaniu (wersenianem dwusodowym) sumy wapnia i magnezu oraz samego wapnia z roztworu po odsączeniu krzemionki z przygotowanego według normy roztworu
6.	**MgO**	PN-G-04528/07:1977
7.	**K_2O** **Na_2O**	PN-G-04528/10:1998 Metoda fotometrii płomieniowej - polega na wzbudzeniu w płomieniu atomów sodu i potasu oraz pomiarze fotometrem płomieniowym natężenia promieniowania
8.	**S_c**	PN-90/G04514/16 Zawartość siarki całkowitej analizatorem LECO
9.	**C**	PN-B-04481:1988 Metoda Tiurina - metoda polega na utlenieniu węgla do CO_2 w środowisku kwaśnym z zastosowaniem jako utleniaczy dwuchromianu potasu. Nadmiar utleniacza miareczkuje się solą Mohra w obecności siarczanu ferroiny.
10.	**P_2O_5**	PN-G-04528/11:1979

Badania parametrów chemicznych próbek mułów pochodzących z osadników mułowych wykonano w Katedrze Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów oraz w Instytucie Geologii Wydziału Górnictwa i Geologii. Oznaczenia były wykonywane na podstawie Norm Polskich oraz metod (procedur badawczych) opracowanych w specjalistycznych laboratoriach.

Wykaz zastosowanych metod badawczych stosowanych do określenia składu chemicznego próbek mułów podano w tabeli 1.

Oznaczenia zawartości pierwiastków zostały wykonane metodą atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP- AES), przy użyciu spektrometru JY 2000.

Wykaz wykonanych oznaczeń metali wraz z granicami oznaczalności dla poszczególnych metali

Tabela 2

Lp.	oznaczenie	jednostka	Granica oznaczalności [µg/kg s.m]
1.	arsen	µg/kg s.m	35
2.	bar	µg/kg s.m	3
3.	chrom	µg/kg s.m	4
4.	cyna	µg/kg s.m	5
5.	cynk	µg/kg s.m	4
6.	glin	µg/kg s.m	15
7.	kadm	µg/kg s.m	2
8.	kobalt	µg/kg s.m	4
9.	magnez	µg/kg s.m	1
10.	mangan	µg/kg s.m	1
11.	miedź	µg/kg s.m	2
12.	molibden	µg/kg s.m	6
13.	nikiel	µg/kg s.m	7
14.	ołów	µg/kg s.m	30
15.	rtęć	µg/kg s.m	17
16.	wanad	µg/kg s.m	15
17.	wapń	µg/kg s.m	1

W metodzie atomowej spektrometrii emisyjnej próbka jest ogrzewana do wysokiej temperatury, tak aby zachodziła nie tylko dysocjacja cząsteczek na wolne atomy, ale również, aby dostateczna ilość atomów lub jonów znalazła się w stanie wzbudzonym. Atomy i jony występujące w stanie wzbudzonym są nietrwałe i wracając do stanu podstawowego emitują charakterystyczne promieniowanie. Oznaczanie zawartości pierwiastka w próbce oparte jest na pomiarze intensywności promieniowania emitowanego przy charakterystycznej dla danego pierwiastka długości fali. Wszystkie atomy i jony będące w stanie wzbudzonym mogą jednocześnie emitować charakterystyczne dla nich promieniowanie. Pozwala to zarówno na wybranie odpowiedniej dla danego pierwiastka długości fal, jak i na możliwość jednoczesnego pomiaru wielopierwiastkowego.

Wykaz wykonanych oznaczeń wraz z granicami oznaczalności dla poszczególnych metali podano w tabeli 2.

Badania ekstraktu wodnego przeprowadzono zgodnie PN – EN 12457-4:2006.

Metoda polega na badaniu porcjowym odpadów przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 10 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości). Wykaz metod oznaczania poszczególnych parametrów podstawowych w ekstrakcie wodnym podano w tabeli 3, natomiast oznaczanie zawartości metali w ekstrakcie dokonano atomowej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP- AES), przy użyciu spektrometru JY 2000.

Wykaz metod oznaczenia poszczególnych parametrów podstawowych wykonywanych w ekstrakcie wodnym

Tabela 3

Lp.	Oznaczenie	Jednostka	Metoda oznaczenia
1.	TDS	mg/l	substancje rozpuszczone w wodzie
2.	$ChZT_{Cr}$	mg O_2/l	PN-ISO 6060:2006 Metoda oznaczenia: Metoda polega na określeniu liczby miligramów dwuchromianu potasowego w przeliczeniu na O_2 zużytego na utlenienie związków organicznych i niektórych związków nieorganicznych obecnych w analizowanej wodzie. Dokładność oznaczenia: <10mg/l Zakres stosowania: dla stężenia >10mgO_2/l do700mgO_2/l
3.	fenole	mg/l	Metoda fotometryczna, Metoda oznaczenia: Metoda polega na sprzęganiu fenolu z dwuazowaną p-nitroaniliną w roztworze alkalicznym, Zakres stosowania: 0.5 - 50.0 mg/l
4.	azot amonowy	mgNH_4^+-N/l	Metoda fotometryczna firmy Merck 114752.0001; Spectroquant® Metoda oznaczenia: w roztworach silnie zasadowych azot amonowy występuje głównie w formie amoniaku, który wchodzi w reakcję z środkiem chlorującym tworząc monochloraminę. Monochloramina z kolei reaguje z tymolem tworząc zabarwioną na niebiesko pochodną indofenolu, który jest oznaczany fotometrycznie. Zakres stosowania: 0.010 - 3.00 mg/l NH_4-N Metoda analogiczna z EPA 350.1, APHA 4500-NH_3 D i ISO 7150/1.
5.	azot azotanowy(V)	mgNO_3^--N/l	Metoda fotometryczna firmy Merck 109713.0001; Spectroquant®; Metoda oznaczenia: azotany, w roztworze zakwaszonym kwasem siarkowym i fosforowym, reagują z 2,6 – dimetylofenolem tworząc zabarwiony na pomarańczowo roztwór 4 – nitro- 2,6 dimetylofenol, który jest oznaczany fotometrycznie. Metoda analogiczna z DIN 38405 D9 i ISO 7890/1 Zakres stosowania: 0.10 - 25.0 mg/l NO_3-N

Wykaz metod oznaczenia poszczególnych parametrów podstawowych wykonywanych w ekstrakcie wodnym (cd.)

Tabela 3

Lp.	Oznaczenie	Jednostka	Metoda oznaczenia
6.	azot azotanowy(III)	mgNO_2^--N/l	Metoda fotometryczna test firmy Hach nr 8507 - Metoda dwuazowania Metoda oznaczenia: azotyny reagują z kwasem sulfanilowym tworząc pośrednią formę soli diazoniowej, która w połączeniu z kwasem chromotropowym tworzy na różowo zabarwiony produkt oznaczany fotometrycznie. Metoda zaakceptowana przez EPA 44(85), 25505 Zakres stosowania: 0.002 - 0.300 mg/l NO_2^-N
7.	cyjanki	mgCN/l	Metoda fotometryczna test firmy Hach nr 8027 - Metoda pirydynowo-pirazolonowa. Metoda oznaczenia: stosowany w metodzie odczynnik daje z wolnymi cyjankami produkt reakcji intensywnie zabarwiony na niebiesko, który jest oznaczany fotometrycznie. Zakres stosowania: 0.002 - 0.240 mg/l CN^-
8.	chlorki	mgCl/l	PN-ISO 9297:1994 - metoda miareczkowa (Metoda Mohra) Metoda oznaczenia: metoda polega na bezpośrednim miareczkowaniu obojętnego roztworu zawierającego chlorki mianowanym roztworem $AgNO_3$ w obecności jonów chromianowych. Zakres stosowania: 5 – 400mg/l
9.	siarczany(VI)	mgSO_4/l	Metoda fotometryczna test firmy Hach nr 8051; metoda z zastosowaniem SulfaVer4. Metoda oznaczenia: Jony siarczanu reagują z barem z SulfaVer 4 i wytrąca się siarczan barku w postaci osadu, który jest oznaczany fotometrycznie Metoda analogiczna z EPA 375.4 Zakres stosowania: 2-70mg/l
10.	siarczki	mgS^{2-}/l	Metoda fotometryczna test firmy Hach nr 8131; Metoda z zastosowaniem błękitu metylenowego Metoda oznaczenia: Siarczek wodoru oraz siarczki metali rozpuszczonych w kwasie wchodzą w reakcję z siarczanem N,N-dietylo-p-fenylenodiaminy tworząc błękit metylenowy, który jest oznaczany fotometrycznie. Metoda analogiczna z EPA 376.2 Zakres stosowania: 5-800mg/l
11.	chrom (VI)	mgCr/l	Metoda fotometryczna test firmy Hach nr 8023; Metoda z 1,5-dwufenylokarbazydem. Metoda oznaczenia: stosowany w metodzie odczynnik zawiera kwaśny bufor połączony z 1,5-dwufenylokarbezydem, który reaguje z chromem sześciowartościowym dając purpurowe zabarwienie oznaczane fotometrycznie. Metoda zaaprobowana przez EPA; Metoda analogiczna z USGS 1-1230-85 Zakres stosowania: 0.01 - 0.70 mg/l Cr^{6+}
12.	niejonowe SPC	mg/l	PN-ISO 7875-2:2002 - spektrofotometria absorpcyjna cząsteczkowa (fotokolorymetria)
13.	anionowe SPC	mg/l	PN-EN 903:2002 – spektrofotometria absorpcyjna cząsteczkowa (fotokolorymetria)
14.	OWO	mgC/l	Użyta aparatura: analizator firmy Shimadzu Analyser TOC-V_{CSH} z samplerem ASI-V

2.2. Wyniki analizy parametrów chemicznych próbek mułów dla wybranych obiektów

W niniejszym podrozdziale przedstawiono wyniki badań składu chemicznego oraz oznaczenia zawartości metali (analiza bezpośrednia) i wyniki analizy ekstraktu wodnego dwóch próbek mułów pochodzących z osadnika, oznaczonego na potrzeby projektu symbolem K18 (próbki o nr K18/5 i K18/8). Wyniki badań składu chemicznego próbek przedstawiono w tabeli 4, wyniki oznaczeń metali (analiza bezpośrednia) w próbce mułów przedstawiono w tabeli 5, a wyniki badań ekstraktu wodnego próbek mułów przedstawiono w tabelach 6a i 6b.

Wyniki badań składu chemicznego próbek mułów pochodzących z osadnika K18 (próbki o nr K18/5 i K18/8)

Tabela 4

Lp.	Składnik	Zawartości graniczne [%]	próbka z osadnika K18/5	próbka z osadnika K18/8
			zawartość średnia [%]	
1.	SiO_2	27,81-63,96	55,69	40,79
2.	Al_2O_3	4,83-10,26	9,28	7,22
3.	TiO_2	0,01-0,30	0,02	0,07
4.	Fe_2O_3	0,46-1,78	0,84	0,81
5.	CaO	0,01-0,14	0,03	0,01
6.	MgO	0,35-1,20	0,77	0,88
7.	K_2O	1,19-2,98	2,98	2,52
8.	Na_2O	0,32-1,33	0,79	1,31
9.	S_c	0,57-2,98	0,57	0,64
10.	C	11,15-31,80	15,53	26,50
11.	P_2O_5	0,001-0,015	0,003	0,015

Powyższe wyniki badań porównano do wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi – (grupa B) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359). Analizy wykazały niewielkie przekroczenia wartości dopuszczalnych stężeń w przypadku cynku (wartości dopuszczalnych stężeń wynosi 300 mg/kg) i kobaltu (wartości dopuszczalnych stężeń wynosi 50 mg/kg) w obu analizowanych próbkach oraz niklu (wartości dopuszczalnych stężeń wynosi 70 mg/kg) i ołowiu (wartości dopuszczalnych stężeń wynosi 100 mg/kg) w przypadku próbki o numerze K18/5.

Wyniki oznaczeń metali w próbce mułów pochodzących z osadnika K18 (próbki o nr K18/5 i K18/8)

Tabela 5

Lp.	oznaczenie	próbka z osadnika K18/5	próbka z osadnika K18/8
		wynik oznaczenia [mg/kg s.m.]	
1	arsen	15,81	16,50
2	bar	417,92	529,60
3	chrom	2,84	1,23
4	cyna	3,34	3,20
5	cynk	**499,69***	**583,21***
6	glin	50272,21	38486,11
7	kadm	1,51	0,96
8	kobalt	**92,67***	113,20
9	magnez	4663,84	5323,63
10	mangan	3906,72	4361,22
11	miedź	43,31	85,65
12	molibden	3,33	1,23
13	nikiel	**94,12***	23,63
14	ołów	**178,98***	69,36
15	rtęć	< 0,017	< 0,017
16	wanad	302,84	100,23
17	wapń	185,34	74,41

** przekroczone wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi – (grupa B) zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz. U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).*

Wyniki analizy ekstraktu wodnego, sporządzonego z próbek K18/5 i K18/8, nie wykazały przekroczeń najwyższych dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dn. 28 stycznia 2009 r. zmieniającego rozporządzenie 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. z 2009 r., Nr 27, poz. 169).

Wyniki badań ekstraktu wodnego próbek mułów pochodzących z osadnika K18 (nr próbki K18/5)

Tabela 6a

Lp.	Składnik	Stężenie w odcieku - wyniki oznaczenia przy stosunku cieczy do fazy stałej (L/S) = 10 l/kg	Uwalniana ilość składnika przy L/S=10
PARAMETRY PODSTAWOWE			
1.	odczyn	8,05 pH	-
2.	przewodność	0,739 mS/cm	-
3.	TDS	370 mg/l	3700 mg/kg
4.	zasolenie	0,3 g/kg	-
5.	temperatura	14,9 ^{o}C	-
6.	$ChZT_{Cr}$	40,0 mg O_2/l	400 mg/kg
7.	fenole	0,36 mg/l	3,6 mg/kg
8.	azot amonowy	0,481 mgNH_4^--N/l	4,81 mg/kg
9.	azot azotanowy(V)	<0,1 mgNO_3^--N/l	<1 mg/kg
10.	azot azotanowy(III)	0,013 mgNO_2^--N/l	0,13 mg/kg
11.	cyjanki wolne	0,009 mgCN/l	0,09 mg/kg
12.	chlorki	39,05 mgCl/l	390,5 mg/kg
13.	siarczany(VI)	413 mgSO_4/l	4130 mg/kg
14.	siarczki	8 µgS^{2-}/l	0,080 mg/kg
15.	chrom (VI)	0,007 mgCr/l	0,07 mg/kg
16.	WWA	µg/l	nie mierzono
17.	OWO	mgC/l	nie mierzono
18.	niejonowe SPC	5 mg/l	nie mierzono
19.	anionowe SPC	7,5 mg/l	nie mierzono
METALE			
20.	arsen	<0,006 mg/l	<0,06 mg/kg
21.	bar	0,088 mg/l	0,88 mg/ kg
22.	chrom	<0,003 mg/l	<0,03 mg/ kg
23.	cyna	<0,008 mg/l	<0,08 mg/ kg
24.	cynk	0,055 mg/l	0,55 mg/ kg
25.	glin	0,223 mg/l	2,23 mg/ kg
26.	kadm	<0,001 mg/l	<0,01 mg/ kg
27.	kobalt	0,088 mg/l	0,88 mg/ kg
28.	wapń	35,50 mg/l	355,0 mg/ kg
29.	miedź	0,022 mg/l	0,22 mg/ kg
30.	molibden	<0,005 mg/l	<0,05 mg/ kg
31.	nikiel	0,440 mg/l	4,40 mg/ kg
32.	ołów	0,222 mg/l	2,22 mg/ kg
33.	rtęć	<0,017 mg/l	<0,17 mg/ kg
34.	wanad	0,050 mg/l	0,50 mg/ kg
35.	magnez	19,630 mg/l	196,30 mg/ kg
36.	mangan	0,102 mg/l	1,02 mg/ kg

Wyniki badań ekstraktu wodnego próbek mułów pochodzących z osadnika K18 (nr próbki (K18/8)

Tabela 6b

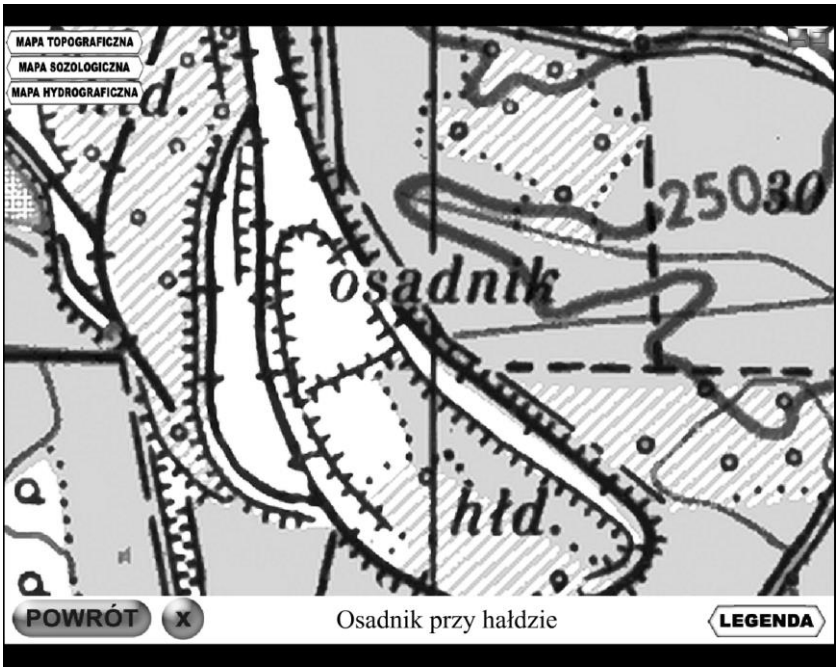
Lp.	Składnik	Stężenie w odcieku - wyniki oznaczenia przy stosunku cieczy do fazy stałej (L/S) = 10 l/kg	Uwalniana ilość składnika przy L/S=10
PARAMETRY PODSTAWOWE			
1.	odczyn	7,52 pH	-
2.	przewodność	0,567 mS/cm	-
3.	TDS	284 mg/l	2840 mg/kg
4.	zasolenie	0,2 g/kg	-
5.	temperatura	14,2 ºC	-
6.	$ChZT_{Cr}$	42,5 mg O_2/l	425 mg/kg
7.	fenole	0,37 mg/l	3,7 mg/kg
8.	azot amonowy	0,834 mgNH_4^--N/l	8,34 mg/kg
9.	azot azotanowy(V)	0,4 mgNO_3^--N/l	4 mg/kg
10.	azot azotanowy (III)	0,013 mgNO_2^--N/l	0,13 mg/kg
11.	cyjanki wolne	0,005 mgCN/l	0,05 mg/kg
12.	chlorki	88,75 mgCl/l	887,5 mg/kg
13.	siarczany(VI)	109 mgSO_4/l	1090 mg/kg
14.	siarczki	13 µgS^{2-}/l	0,130 mg/kg
15.	chrom (VI)	0,034 mgCr/l	0,34 mg/kg
16.	WWA	µg/l	nie mierzono
17.	OWO	mgC/l	nie mierzono
18.	niejonowe SPC	mg/l	nie mierzono
19.	anionowe SPC	mg/l	nie mierzono
METALE			
20.	arsen	<0,006 mg/l	<0,06 mg/kg
21.	bar	0,592 mg/l	5,92 mg/ kg
22.	chrom	<0,003 mg/l	<0,03 mg/ kg
23.	cyna	<0,008 mg/l	<0,08 mg/ kg
24.	cynk	0,229 mg/l	2,29 mg/ kg
25.	glin	1,651 mg/l	16,51 mg/ kg
26.	kadm	<0,001 mg/l	<0,01 mg/ kg
27.	kobalt	0,165 mg/l	1,65 mg/ kg
28.	wapń	11,15 mg/l	111,5 mg/ kg
29.	miedź	0,011 mg/l	0,11 mg/ kg
30.	molibden	<0,005 mg/l	<0,05 mg/ kg
31.	nikiel	0,565 mg/l	5,65 mg/ kg
32.	ołów	0,055 mg/l	0,55 mg/ kg
33.	rtęć	<0,017 mg/l	<0,17 mg/ kg
34.	wanad	1,220 mg/l	12,20 mg/ kg
35.	magnez	22,230 mg/l	222,30 mg/ kg
36.	mangan	0,054 mg/l	0,54 mg/ kg

3. Baza danych (DMW)

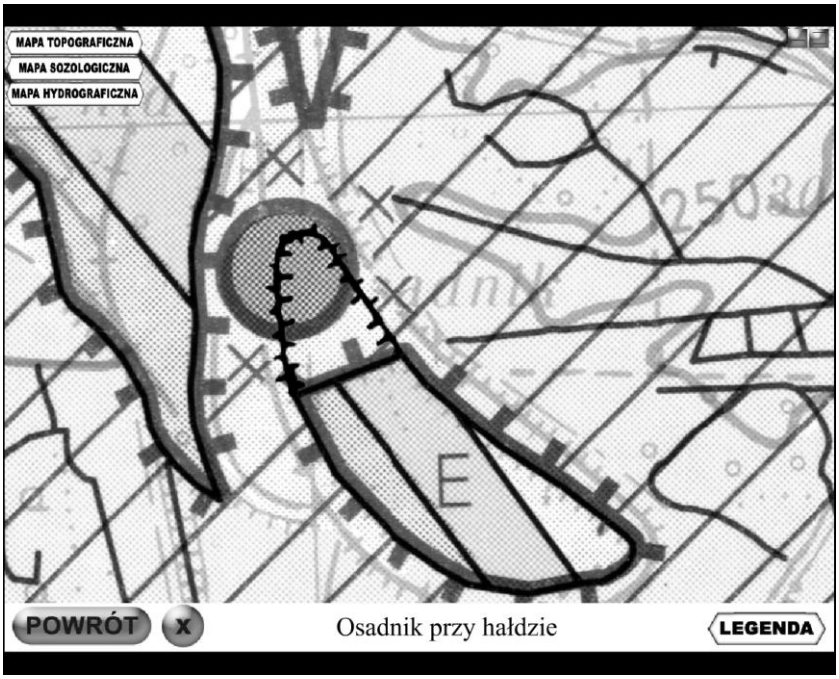
W ramach projektu opracowano również komputerową bazę danych zawierającą informacje o zidentyfikowanych depozytach mułów węglowych. Baza ta zwiera dane dotyczące: [6]

- lokalizacji – nazwa, dane teleadresowe, właściciel obiektu, opis lokalizacji, współrzędne geograficzne,
- rodzajach i ilości (objętości) zdeponowanych odpadów,
- rodzajach i ilości pobranych prób z danego osadnika wraz metryką i szkicem otworu z naniesieniem głębokości.
- wyników analiz jakościowych pobranych prób z oznaczeniem takich parametrów, jak:
  - zawartości wilgoci przemijającej $\mathbf{W_{ex}}$ i higroskopijnej $\mathbf{W_h}$,
  - zawartości popiołu w stanie analitycznym $\mathbf{A^a}$, roboczym $\mathbf{A^r}$ i suchym $\mathbf{A^d}$,
  - zawartości siarki w stanie analitycznym $\mathbf{S_t^a}$, roboczym $\mathbf{S_t^r}$ i suchym $\mathbf{S_t^d}$,
  - zawartości części lotnych w stanie analitycznym $\mathbf{V^a}$, roboczym $\mathbf{V^r}$ i suchym $\mathbf{V^d}$,
  - wartości opałowej w stanie analitycznym $\mathbf{Q^a}$, roboczym $\mathbf{Q^r}$ i suchym $\mathbf{Q^d}$.
- wyników analiz granulometrycznych i densymetrycznych dla prób uśrednionych z wybranych osadników. W analizach tych dla każdej klasy ziarnowej i frakcji gęstościowej oznaczono:
  - wychody,
  - wilgoć higroskopijną $\mathbf{W_h}$,
  - zawartość popiołu w stanie analitycznym $\mathbf{A^a}$ i suchym $\mathbf{A^d}$,
  - zawartość siarki w stanie analitycznym $\mathbf{S_t^a}$ i suchym $\mathbf{S_t^d}$,
  - zawartość części lotnych w stanie analitycznym $\mathbf{V^a}$ i suchym $\mathbf{V^d}$,
  - wartość opałową w stanie analitycznym $\mathbf{Q^a}$ i suchym $\mathbf{Q^d}$.
- oszacowanej przybliżonej wartości potencjału energetycznego osadnika.

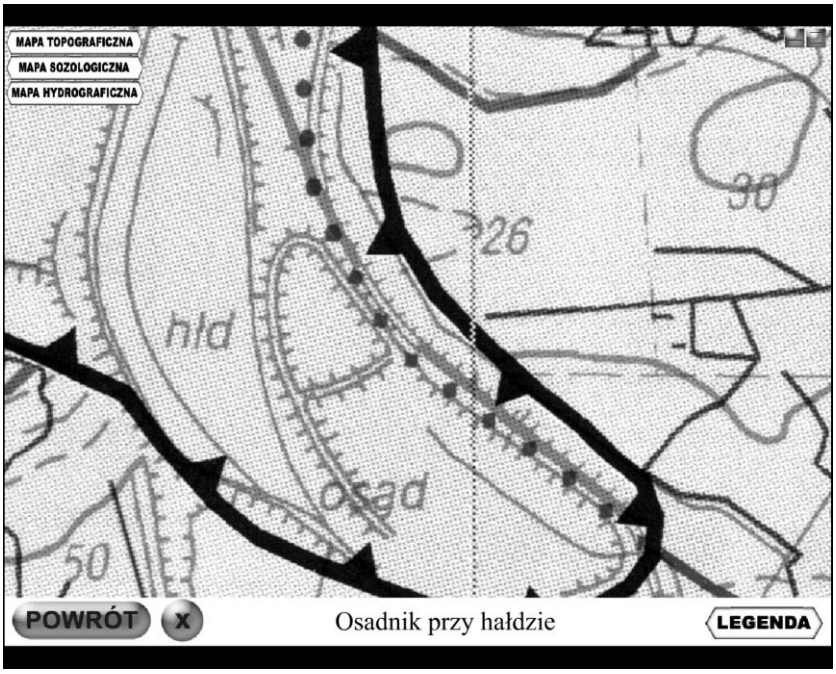
W opracowanej na potrzeby projektu „Bazie danych (DMW)" zamieszczono również wizualizację komputerową, prezentującą lokalizacje zinwentaryzowanych osadników mułów węglowych na podkładach map topograficznych, hydrograficznych i sozologicznych. Na rysunkach 1-3 przedstawiono przykładowe lokalizacje zidentyfikowanych depozytów mułów węglowych z wykorzystaniem powyższych map [4, 5].



Rys.1. Wizualizacja zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych na mapie topograficznej



Rys.2. Wizualizacja zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych na mapie sozologicznej



Rys.3. Wizualizacja zinwentaryzowanych depozytów mułów węglowych na mapie hydrograficznej

4. Wnioski

Projekt rozwojowy Nr N R09 006 06/2009 pn. ”Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania” realizowany przez Instytut Mechanizacji i Budownictwa Skalnego „Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego” wraz z Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej umożliwił inwentaryzację ilościową, jakościową oraz oszacowanie potencjału energetycznego zdeponowanych w środowisku depozytów mułów węglowych.

Przeprowadzone badania własności chemicznych próbek mułów z zinwentaryzowanych osadników wykazały nieznaczne przekroczenia wartości dopuszczalnych stężeń metali, tj. cynk, kobalt, nikiel i ołów. Jest to najprawdopodobniej spowodowane zanieczyszczeniami antropogenicznym oraz obecnością tych metali w gruntach otaczających teren badanych osadników.

Natomiast analiza ekstraktu wodnego próbek mułów (na przykładzie próbek mułów z osadnika K18) zarówno w zakresie parametrów podstawowych, jak i metali, nie wykazała przekroczeń najwyższej dopuszczalnej wartości substancji szkodliwych dla środowiska wodnego. Potwierdza to fakt, że metale znaj-

dujące się w mułach, w tym te dla których stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych występują w strukturach związanych chemicznie, nie stanowią zagrożenia dla środowiska i nie ograniczają potencjalnych kierunków gospodarczego wykorzystania.

Ważnym elementem składowym projektu jest również sporządzona na jego potrzeby „Baza danych (DMW)". Narzędzie to umożliwi zebranie w sposób kompleksowy wszystkich danych o zidentyfikowanych osadnikach wraz z wizualizacją na podkładach mapowych. Pozwoli również na agregację, sortowanie i filtrację według narzuconego przez użytkownika parametru granicznego zgromadzonych danych.

Wdrożenie wyników projektu w skali przemysłowej pozwoli na osiągnięcie wymiernych efektów ekonomicznych i ekologicznych związanych m.in. z:

- włączeniem do bilansu paliwowego kraju pełnowartościowego paliwa,
- rewitalizacją terenów zdegradowanych i pozyskaniem nowych terenów inwestycyjnych,
- eliminacją negatywnego oddziaływania na środowisko depozytów mułów węglowych, w tym głównie na wody podziemne i powierzchniowe.

Literatura

1. Projekt rozwojowy Nr N R09 006 06/2009 pn. "Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania", IMBiGS, Warszawa 2009,
2. Lutyński A. i in.: Sprawozdanie z pracy NB- 208/RG-5/09 wykonywanej w ramach projektu Nr N R09 0006 06/2009 - Zadanie 2 „Identyfikacja ilościowo-jakościowa depozytów mułów węglowych", Gliwice 2010. (praca nie publikowana),
3. Baic I., Blaschke W., Szafarczyk J.: Depozyty mułów węglowych źródłem paliwa energetycznego-informacja o projekcie rozwojowym. Przegląd Górniczy Nr 1-2, str.73-7,.2010,
4. Sobko W., Baic I.: Inwentaryzacja i identyfikacja ilościowa depozytów mułów węglowych. Politechnika Koszalińska. Rocznik Ochrony Środowiska Tom 13. Koszalin 2011,
5. Blaschke W., Baic I., Sobko W., Lutyński A., Szpyrka J.: Analiza ilościowa, jakościowa i potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych, Monografia: Zrównoważona produkcja i konsumpcja surowców mineralnych; Wyd. IGSMiE, PAN, Kraków 2011 r.,
6. Instrukcja obsługi Bazy Danych Osadników – Panel użytkownika, ZUG Sp. z o.o., Jaworzno 2011

Możliwości wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych

Jan Szpyrka, Aleksander Lutyński – Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

W większości powszechnie stosowanych metod wzbogacania grawitacyjnego w zakresie najdrobniejszych frakcji skutecznie rozdziela się ziarna większe od 0,1 mm. Poniżej tej granicy, przy zachowaniu odpowiednich parametrów technologicznych oraz przede wszystkim przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń (wprowadzenie dodatkowo siły odśrodkowej) można prowadzić skuteczny rozdział grawitacyjny dla ziarn mniejszych, ale głównie ziarn różniących się znacznie gęstością. Potwierdzeniem tego jest zestawienie metod wzbogacania grawitacyjnego uwzględniające zakresy wielkości wzbogacanych ziarn przedstawione w tabeli 1.

Najnowsze technologie wzbogacania grawitacyjnego, z zastosowaniem urządzeń umożliwiających uzyskanie dużych sił odśrodkowych znacznie obniżają dolną granicę wielkości skutecznie wzbogacanych ziarn. Są to technologie z zastosowaniem urządzeń firm Mozley, Falcon, Knelson i Kelsey. Technologie te nie są stosowane w Polsce.

W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną wyniki badań wzbogacania mułów węglowych pozyskanych z dwudziestu osadników ziemnych. Fizykochemiczne właściwości tych mułów przedstawione zostały w [3]. Badania wykonano w Hali Technologicznej Katedry Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania”. Projekt ten realizowany jest przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej.

Celem realizowanego projektu jest identyfikacja ilości i jakości mułów nagromadzonych w osadnikach ziemnych na terenach eksploatacji górniczej. Zbiorniki ziemne są efektem wieloletniej działalności zakładów wzbogacania węgla. Zgromadzone w nich zostały odpady mułowe oraz poflotacyjne o ziarnach <1 (0,5) mm. Wynika to z faktu, iż do czasów przemysłowego opanowania flotacji węgli koksowych, a więc do lat trzydziestych ubiegłego wieku z urobku nie można było usunąć znanymi metodami przeróbczymi czystego kamienia, który wydatnie pogarszał jakość koksu. Z tego względu ziarna poniżej 1 mm traktowane były jako odpad. Jako odpad uznawane były także ziarna najdrobniejsze węgli energetycznych, ponieważ niemożliwe było spalanie tych ziarn w kotłach rusztowych.

Muły węglowe nagromadzone w osadnikach ziemnych stanowią jednak pewien potencjał energetyczny, który należy efektywnie wykorzystać. Pozyskanie substancji węglowej przez wzbogacenie tych mułów jest jednym ze sposobów tego wykorzystania.

Zestawienie separatorów grawitacyjnych z zakresami wielkości uziarnienia nadawy skutecznie wzbogacanej

Tabela 1

Typ urządzenia	Uziarnienie nadawy [μm]								
	10	20	50	100	200	500	10^3	10^4	10^5
Osadzarka typu inline			■	■	■	■	■	■	■
Osadzarka membranowa					■	■	■	■	
Separatory cc							■	■	■
Cyklony z cieczą ciężką						■	■	■	■
Bębnowe stoły koncentracyjne MGS		■	■	■	■	■	■		
Spirale			■	■	■	■	■		
Wzbogacalniki strumieniowe wachlarzowe				■	■	■	■	■	■
Stoły koncentracyjne			■	■	■	■	■		
Separatory odśrodkowe		■	■	■	■	■	■	■	
Separatory Falcon		■	■	■	■	■	■	■	
Separatory Knelson			■	■	■	■	■	■	
Osadzarka odśrodkowa Kelsey		■	■	■	■	■	■		
Stożki Reichert'a			■	■	■	■	■		

2. Opis przeprowadzonych badań

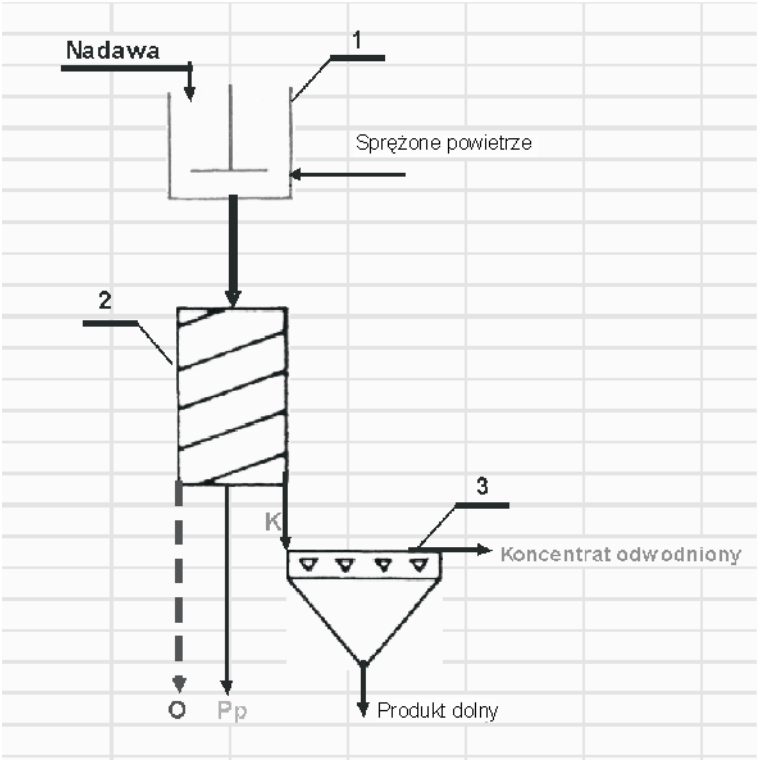
Badania wzbogacania mułów węglowych przeprowadzono w skali laboratoryjnej oraz półtechnicznej. W analizie możliwości wzbogacania mułów wykorzystano trzy różne metody:

- metodę wzbogacania z wykorzystaniem siły odśrodkowej, w której użyty został hydrocyklon klasyfikująco-zagęszczajacy,
- metodę wzbogacania strumieniowego (jeden z procesów wzbogacania grawitacyjnego), w której użyty został wzbogacalnik strumieniowy zwojowy typu Reichert LD4,
- metodę fizykochemiczną – flotację.

Badania możliwości wzbogacania mułów w hydrocyklonie klasyfikująco-zagęszczajacym o średnicy ø150 mm przeprowadzono na instalacji tworzącej stanowisko laboratoryjne w hali technologicznej Katedry. Nadawa o dobranym zagęszczeniu podawana była pompą do hydrocyklonu z przelewem zapewniającym utrzymanie stałego ciśnienia hydrostatycznego. Produkty odbierane były grawitacyjnie do dwóch zbiorników.

Przed przystąpieniem do badań nad właściwymi materiałami wykonano kilkanaście prób na materiałach odpadowych o podobnych parametrach i właściwościach. Celem prób wstępnych było określenie przedziału najkorzystniejszych zagęszczeń nadawy oraz wyregulowanie intensywności podawania nadawy o określonym zagęszczeniu (ciśnienia zasilania). Ustalono, że najkorzystniejszym zagęszczeniem dla wzbogacanego materiału jest 150 g/l. W stanowisku badawczym wykorzystany był przepływomierz elektromagnetyczny FM 300 DN25 SPT. Stanowisko przeznaczone było do rozdziału mułów o górnej granicy uziarnienia 1(2) mm.

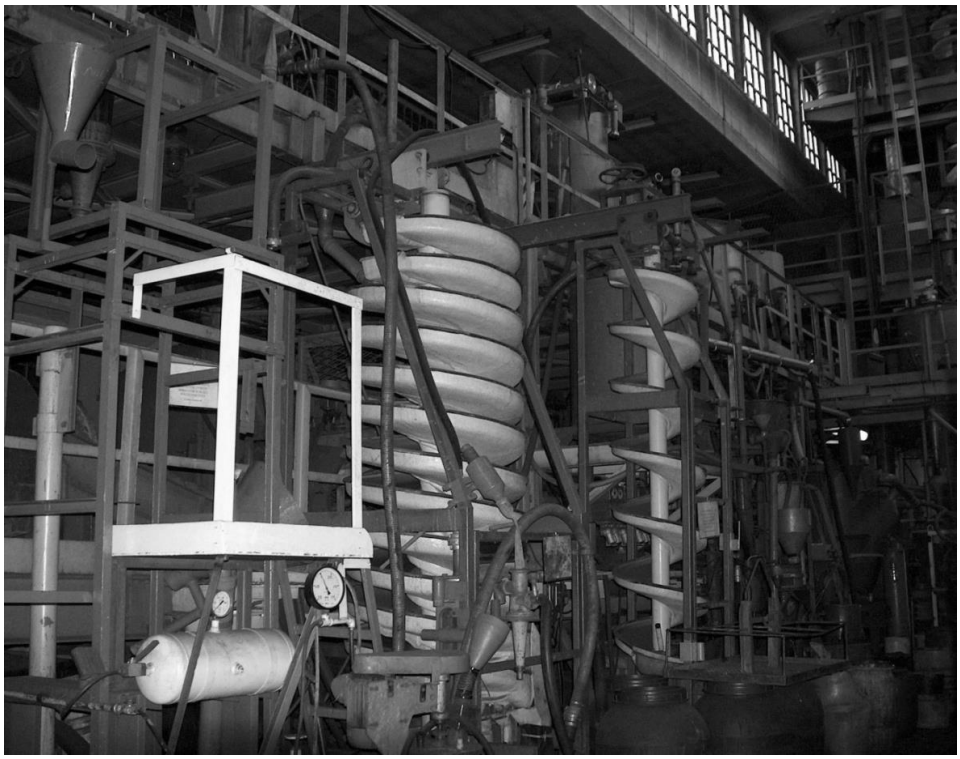
Wyniki badań wzbogacania mułów w hydrocyklonie zamieszczone zostały w tabeli 2 i tabeli 3.



Rys.1. Schemat stanowiska badawczego: *1 - zbiornik zawiesiny, 2 - wzbogacalnik strumieniowy typu Reichert LD4, 3 – przesiewacz odwadniający*

W metodach wzbogacania grawitacyjnego jakość koncentratów jest pogarszana znaczną zawartością niewzbogaconych ziarn najdrobniejszych < 0,1 mm, które w większości trafiają razem z większymi lekkimi ziarnami węglowymi do koncentratów. Poprawę jakości koncentratów można uzyskać odmulając nadawę kierowaną do wzbogacania lub odmulając uzyskane koncentraty. Odmulenia materiału można dokonać w hydrocyklonie.

Materiał uzyskany jako koncentrat w badaniach na stanowisku z hydrocyklonem wykorzystano w badaniu możliwości wzbogacania mułów we wzbogacalniku strumieniowym. Schemat tego stanowiska przedstawiony został na rysunku 1, a jego widok na hali technologicznej na rysunku 2.



Rys.2. Widok wzbogacalnika strumieniowego zwojowego typu Reichert LD4 w Hali Technologicznej Katedry Przeróbki Kopalin i Utylizacji Kopalin

Stanowisko badawcze (rys. 1) składało się ze: zbiornika nadawy (1) wzbogacalnika strumieniowego zwojowego Reichert typu LD4 (2) o układzie 2 koryt po sześć zwojów, przesiewacza odwadniającego (3).

Nadawa była podawana grawitacyjnie ze zbiornika (1) z mieszadłem szybkoobrotowym i dodatkowo mieszana powietrzem ze sprężarki. Ruch mieszadła i strumień powietrza powodowały, że nadawa na spiralę (2) nie osiadała w zbiorniku (1) i miała stałe zagęszczenie.

Przed przystąpieniem do badań wykonano kilkanaście prób celem określenia przedziału najkorzystniejszych zagęszczeń nadawy, wyregulowania intensywności podawania nadawy o określonym zagęszczeniu na rynnę roboczą oraz właściwych ustawień noży kierujących i odbieralników produktów rozdziału.

Badania przeprowadzono na materiałach z siedemnastu i dziewiętnastu osadników dla dwóch zagęszczeń nadawy kierowanej na spiralę – 300 g/l i 400 g/l. Wyniki badań wzbogacania próbek z wybranych osadników zestawiono zbiorczo w tabelach 4 i 5.

Badania laboratoryjne mułów węglowych metodą flotacji przeprowadzone zostały na flotownikach laboratoryjnych o pojemności komory flotacyjnej wynoszącej 1 $dm^{3.}$. Zagęszczenie mieszaniny wodno-węglowej wynosiło 100 g/l.

Doświadczenia pracowników Katedry, którzy prowadzą od lat badania tego typu wskazują na bardzo wysoką zbieżność wyników uzyskiwanych w badaniach laboratoryjnych z wynikami procesu flotacji uzyskiwanymi w warunkach przemysłowych.

W badaniach użyte zostały odczynniki flotacyjne, jako najczęściej stosowane w procesach flotacji w zakładach przeróbczych kopalń węgla kamiennego. W pierwszej kolejności wykonano serię badań wstępnych w celu ustalenia optymalnej dawki odczynnika flotacyjnego. Badania przeprowadzono dla dawki flokulanta: 0,4; 0,5 i 0,6 kg/tonę materiału suchego. Badania wykazały, że dla dawki flokulanta 0,6 kg/tonę materiału suchego uzyskano najlepszy efekt flotacji mułów węglowych.

Badania przeprowadzono dla wszystkich zidentyfikowanych osadników. Za pozytywny wynik badań flotowalności mułów uznano taki, dla którego 80% badanych próbek danego osadnika wykazywało pozytywny efekt flotacji. Za pozytywny wynik flotacji mułów z jednego badanego osadnika uznawano taki, dla którego w 66% badanych prób uzyskano wychód na poziomie większym niż 30%, a zawartość popiołu w koncentracie z tych prób była mniejsza od 25%. Te warunki spełniały próbki z 12 osadników. Uśrednione wyniki badań dla poszczególnych osadników przedstawiono w tabeli 5.

3. Wyniki przeprowadzonych badań

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawione zostały w tabelach od 2 do 5. W tabeli 6 dokonano porównania wybranych wyników wzbogacania mułów węglowych, stanowiących o skuteczności przyjętej metody wzbogacania. W tabeli podane zostały: wychód i wartość opałowa produktu finalnego.

Parametry jakościowe produktów klasyfikacji mułów w hydrocyklonie klasyfikująco-zagęszczającym o średnicy 150 mm. Zagęszczenie nadawy 150 g/l

Tabela 2

Nr osadnika	wylew		przelew		nadawa
	Wychód	Zaw. popiołu	Wychód	Zaw. popiołu	Zaw. popiołu
	γ_k [%]	A^a [%]	γ_o [%]	A^a [%]	A^a [%]
1	47,5	31,64	52,5	35,93	33,89
2	55,58	26,12	44,42	47,53	35,63
3	49,52	39,64	50,48	45,94	42,82
4	50,03	57,45	49,97	68,84	63,14
5	59,66	71,63	40,34	74,01	72,59
6	51,05	42,51	48,95	55,30	48,77
7	77,35	43,87	22,65	53,63	46,08
8	63,4	56,87	36,6	62,17	58,81
9	57,89	25,13	42,11	44,34	33,22
10	44,23	46,22	55,77	61,82	54,92
11	52,08	43,91	47,92	47,96	45,85
12	50,58	32,2	49,42	24,00	28,15
13	59,24	24,21	40,76	34,78	28,52
14	57,43	22,36	42,57	34,88	27,69
15	45,61	30,96	54,39	42,80	37,4
16	47,57	34,88	52,43	38,28	36,66
17	50,5	34,21	49,5	38,07	36,12
18	50,74	35,67	49,26	37,29	36,47
19	43,79	48,63	56,21	62,90	56,65
20	47,50	44,06	52,5	51,77	48,11

Parametry jakościowe koncentratu (wylewu z hydrocyklonu klasyfikująco-zagęszczającego) uzyskanego w wyniku klasyfikacji z ziarnem podziałowym ok. 0,1 mm

Tabela 3

Nr osadnika	KONCENTRAT (wylew z hydrocyklonu)				
	Wychód	Zawartość popiołu	Wilgoć higrosk.	Zawartość siarki	Wartość opałowa
	γ_k	A^a [%]	W^{ex} [%]	S_c^a [%]	Q^a [%]
1	47,5	31,64	6,65	1,34	18121
2	55,58	26,12	6,43	0,76	20362
3	49,52	39,64	5,30	1,02	17281
4	50,03	57,45	4,41	0,58	9295
5	59,66	71,63	4,59	0,66	8576
6	51,05	42,51	5,32	0,96	15990
7	77,35	43,87	1,33	3,42	16277
8	63,4	56,87	1,22	2,04	12027
9	57,89	25,13	2,89	0,70	24234
10	44,23	46,22	4,09	1,09	13444
11	52,08	43,91	1,50	1,05	17972
12	50,58	32,2	2,19	0,35	24363
13	59,24	24,21	1,99	0,61	24,557
14	57,43	22,36	2,02	0,83	25501
15	45,61	30,96	1,88	0,86	21415
16	47,57	34,88	2,21	0,85	21085
17	50,5	34,21	1,69	1,12	21161
18	50,74	35,67	2,22	1,06	21844
19	43,79	48,63	3,30	0,82	12008
20	47,5	44,06	2,12	0,74	18022

Parametry produktów wzbogacania materiału odmulonego, na pięciozwojowej spirali Reicherta typu LD4 przy zagęszczeniu nadawy 300 g/l

Tabela 4

Nr osadnika	Koncentrat				Odpady				Nadawa	Wychód koncentratu w odniesieniu do całości
	Wychód	Zawartość popiołu	Wartość opałowa	Wilgoć higrosk.	Wychód	Zawartość popiołu	Wartość opałowa	Wilgoć higrosk.	Zawartość popiołu	
	γ_o [%]	A^a [%]	Q^a [kJ/kg]	W^{ex} [%]	γ_o [%]	A^a [%]	Q^a [kJ/kg]	W^{ex} [%]	A^a [%]	γ_{kc} [%]
1	37,87	16,43	20142	5,25	62,13	40,91	14353	4,35	31,64	17,99
2	44,51	14,68	22374	5,42	55,49	35,30	16438	5,91	26,12	24,74
3	18,43	15,72	23549	4,37	81,57	45,04	13762	3,93	39,64	9,13
6	9,45	17,62	22237	5,69	90,55	45,11	14154	4,49	42,51	4,82
7	16,12	14,86	28212	1,18	83,88	49,45	13941	1,20	43,87	12,47
9	68,71	15,34	25988	2,52	31,29	46,63	14300	2,14	25,13	25,13
10	8,15	16,12	20410	4,84	91,85	48,89	12143	4,23	46,22	3,60
11	14,82	16,55	26042	1,69	85,18	48,67	14625	1,78	43,91	7,72
12	46,38	15,61	25656	1,88	53,62	46,55	16010	2,46	32,2	30,47
13	66,30	14,73	26728	2,12	33,7	42,86	16438	2,06	24,21	39,28
14	73,62	14,91	27455	2,11	26,38	43,15	15703	2,41	22,36	42,28
15	44,09	15,44	26312	2,36	55,91	43,20	16401	2,43	30,96	20,11
16	41,18	16,72	22603	2,04	58,82	47,59	15014	2,14	34,88	19,59
17	41,51	15,93	25693	2,41	58,49	47,18	15506	2,46	34,21	20,96
18	37,83	16,27	26060	2,30	62,17	47,47	15262	2,20	35,67	19,19
19	7,60	16,34	19899	6,23	92,4	51,29	11945	4,35	48,63	3,33
20	17,43	16,93	26045	2,59	82,57	49,79	15263	2,69	44,06	8,28
średnio	34,94	15,89	24436	3,23	65,05	45,82	14780	3,01	35,66	18,18

Parametry produktów wzbogacania materiału odmulonego, na pięciozwojowej spirali Reicherta typu LD4 przy zagęszczeniu nadawy 400 g/l

Tabela 5

Nr osadnika	Koncentrat				Odpady				Nadawa	Wychód koncentratu w odniesieniu do całości
	Wychód	Zawartość popiołu	Wartość opałowa	Wilgoć higrosk.	Wychód	Zawartość popiołu	Wartość opałowa	Wilgoć higrosk.	Zawartość popiołu	
	γ_o [%]	A^a [%]	Q^a [kJ/kg]	W^{ex} [%]	γ_o [%]	A^a [%]	Q^a [kJ/kg]	W^{ex} [%]	A^a [%]	γ_{kc} [%]
1	61,15	21,10	18825	5,64	38,85	48,23	12680	3,19	31,64	29,05
2	73,12	22,14	20271	5,51	26,88	36,95	15950	6,18	26,12	40,64
3	35,62	21,86	21523	4,40	64,38	49,48	12480	3,79	39,64	17,64
4	8,69	22,07	21042	4,83	91,31	60,82	7114	3,10		4,35
6	28,43	22,81	20760	5,72	71,57	50,34	12581	4,16	42,51	14,51
7	29,14	21,20	25843	1,22	70,86	53,19	12113	1,19	43,87	22,54
8	9,21	23,81	24258	1,13	90,79	60,22	9479	1,59		5,84
9	86,12	20,47	24335	2,36	13,88	54,04	11518	2,65	25,13	49,85
10	19,63	21,45	19136	4,71	80,37	52,27	11272	4,17	46,22	8,68
11	27,47	22,31	24241	1,70	72,53	52,09	13545	1,80	43,91	14,31
12	60,25	20,33	24459	1,90	39,75	50,19	14831	2,63	32,2	30,47
13	84,38	22,52	23763	2,08	15,62	33,34	19879	2,21	24,21	49,99
14	91,33	21,84	24333	2,19	8,67	27,84	21879	2,19	22,36	52,45
15	65,61	23,26	23352	2,10	34,39	45,65	15528	2,97	30,96	29,92
16	57,63	22,27	23666	2,15	42,37	52,03	13192	2,03	34,88	27,41
17	58,73	21,46	24035	2,31	41,27	52,35	13581	2,62	34,21	29,66
18	52,35	21,39	24195	2,25	47,65	51,36	14012	2,23	35,67	26,56
19	16,11	20,82	18756	5,83	83,89	53,97	11486	4,23	48,63	7,05
20	29,42	21,35	24256	2,67	70,58	53,53	14008	2,67	44,06	13,97
średnio	47,07	21,81	22687	3,19	52,93	49,36	13533	2,93	35,66	24,99

Wyniki wzbogacania mułów metodą flotacji

Tabela 6

Nr osadnika	Zawartość popiołu w nadawie A^a, %	Odczynnik	Produkt	Wychód %	Zawartość popiołu w produktach A^a %	Wartość opałowa koncentratu, Q^a kJ/kg
8	50,8	1	K O	51,9 48,1	25,3 75,5	24 150
		2	K O	44,8 55,1	22,7 73,3	24 687
9	60,9	1	K O	41,2 58,8	29,7 83,4	21 450
		2	K O	41,5 58,5	31,2 82,9	20 670
10	27,2	1	K O	70,7 29,3	13,0 62,2	28 350
		2	K O	73,7 26,3	14,5 65,8	27 620
11	28,6	1	K O	77,2 22,8	14,6 77,6	27 600
		2	K O	79,6 20,4	15,9 80,3	27 120
12	28,6	1	K O	77,3 22,7	14,1 78,5	27 780
		2	K O	81,1 18,9	16,4 81,1	26 880
13	48,0	1	K O	60,0 40,0	27,2 80,9	22 760
		2	K O	65,3 34,7	29,4 82,9	21 525

Wyniki wzbogacania mułów metodą flotacji (cd.)

Tabela 6

14	60,9	1	K O	41,2 58,8	29,7 83,4	25 780
		2	K O	41,5 58,5	31,2 82,9	24 520
16	44,3	1	K O	56,2 43,8	21,2 75,4	25475
		2	K O	58,4 41,6	23,6 76,8	24 670
17	36,7	1	K O	68,1 31,9	17,2 78,1	26 580
		2	K O	71,7 28,3	19,2 79,8	25 875
18	36,2	1	K O	67,2 32,8	17,4 75,7	26 460
		2	K O	71,1 28,9	19,5 76,7	25 810
19	37,3	1	K O	67,3 32,7	17,8 75,0	26 275
		2	K O	70,0 30,0	19,3 77,4	25 845
20	36,5	1	K O	65,3 34,7	17,1 74,3	26 595
		2	K O	71,7 28,3	21,3 76,3	25 465

K – koncentrat, O - odpad

Porównanie wybranych wyników wzbogacania mułów węglowych

Tabela 7

Nr osadnika	Hydrocyklon		Spirala Reicherta, 300 g/l		Spirala Reicherta, 400 g/l		Flotacja, odczynnik 1		Flotacja, odczynnik 2	
	Wychód	Wartość opałowa	Wychód	Wartość opałowa	Wychód	Wartość opałowa	Wychód	Wartość opałowa	Wychód	Wartość opałowa
	γ_k [%]	Q^a [%]	γ_k [%]	Q^a [kJ/kg]	γ_k [%]	Q^a [kJ/kg]	γ_k [%]	Q^a [kJ/kg]	γ_k [%]	Q^a [kJ/kg]
1	47,5	18121	17,99	20142	29,05	18825	-	-	-	-
2	55,58	20362	24,74	22374	40,64	20271	-	-	-	-
3	49,52	17281	9,13	23549	17,64	21523	-	-	-	-
4	50,03	9295	-	-	4,35	21042	-	-	-	-
5	59,66	8576	-	-	-		-	-	-	-
6	51,05	15990	4,82	22237	14,51	20760	-	-	-	-
7	77,35	16277	12,47	28212	22,54	25843	-	-	-	-
8	63,4	12027	-	-	5,84	24258	51,9	24 150	44,8	24 687
9	57,89	24234	25,13	25988	49,85	24335	41,2	21 450	41,5	20 670
10	44,23	13444	3,60	20410	8,68	19136	70,7	28 350	73,7	27 620
11	52,08	17972	7,72	26042	14,31	24241	77,2	27 600	79,6	27 120
12	50,58	24363	30,47	25656	30,47	24459	77,3	27 780	81,1	26 880
13	59,24	24,557	39,28	26728	49,99	23763	77,3	22 760	65,3	21 525
14	57,43	25501	42,28	27455	52,45	24333	41,2	25 780	41,5	24 520
15	45,61	21415	20,11	26312	29,92	23352	-	-	-	-
16	47,57	21085	19,59	22603	27,41	23666	56,2	25475	58,4	24 670
17	50,5	21161	20,96	25693	29,66	24035	68,1	26 580	71,7	25 875
18	50,74	21844	19,19	26060	26,56	24195	67,2	26 460	71,1	25 810
19	43,79	12008	3,33	19899	7,05	18756	67,3	26 275	70,0	25 845
20	47,5	18022	8,28	26045	13,97	24256	65,3	26 595	71,7	25 465
średn	53,1	16950	18,2	24436	24,99	22687	63,4	25771	64,2	25057

Podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszym rozdziale monografii wyniki badań nad możliwością wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w okresach wcześniejszych w osadnikach ziemnych wskazują na taką możliwość.

Zaprezentowane trzy tradycyjne metody wzbogacania wykazują istotne różnice w uzyskiwanych efektach. Najlepsze wyniki wzbogacania materiału uzyskano stosując metodę flotacji. Zanotowane wychody koncentratu wyniosły średnio ok. 64%, a wartość opałową tego koncentratu oszacowano średnio na poziomie 25 000 kJ/kg. Notowano też stosunkowo wysoki poziom zawartości popiołu w odpadach. Badania tą metodą wykazały także, że w przypadku użytych w próbach odczynników nie można jej zastosować do wszystkich badanych materiałów. Wynika z tego, że w przypadku zainteresowania wykorzystaniem tej metody w odniesieniu do innych drobnoziarnistych materiałów odpadowych ze wzbogacania węgla kamiennego należy poszukiwać nowych, skuteczniej działających odczynników.

Przeprowadzone badania wzbogacania metodą flotacji na dość szerokim spektrum materiałów odpadowych potwierdziły wyniki wcześniej prowadzonych badań. Przeprowadzono je w Katedrze Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej w części laboratoryjnej, a następnie w części przemysłowej w Zakładzie Wzbogacania Odpadów Poflotacyjnych POLHO [4] na materiale z osadnika o znacznej pojemności, który był inny, niż materiał wzbogacany w tym zakładzie. Materiał ten był w przeszłości poddany procesowi flotacji. Nadawa charakteryzowała się zawartością popiołu w granicach 27,0 do 29,9% i wartością opałową 11 587 do 12 946 kJ/kg. Badania wykonano na próbie 1540 ton, z którego otrzymano łączny koncentrat o masie 634 (41,2%) tony i odpady – 906 ton (58,8%). Uzyskany koncentrat charakteryzował się zawartością popiołu (analizy wykonywano co 60 minut) 7,1 do 11,1 i wartością opałową 21 294 do 23 204 kJ/kg. Jest to jak widać pełnowartościowy produkt handlowy.

Najmniej korzystne wyniki uzyskano dla metody wzbogacania strumieniowego, w której użyty został wzbogacalnik strumieniowy zwojowy typu Reichert LD4. Z materiału tego wydzielono wcześniej w hydrocyklonie ziarna poniżej 0,1 mm. Średni w tym wychód procesie wyniósł ok. 18% (dla zagęszczenia 300 g/l) i ok. 24% (dla zagęszczenia 400 g/l). Uzyskane wartości opałowe wyniosły odpowiednio 24 436 i 22 687 kJ/kg.

W procesie wzbogacania w hydrocyklonie, w wyniku wydzielenia ziarna poniżej 0,1 mm, uzyskano wprawdzie znaczący wychód, lecz kosztem jakości wzbogaconego materiału. Koncentrat charakteryzował się bowiem znaczną zawartością popiołu i niską wartością opałową. Natomiast odpad uzyskany w tym procesie posiadał stosunkowo niską zawartość popiołu i wysoką wartość opałową. Proces rozdziału ziarn drobnych był niestety mało skuteczny. W koncentracie bowiem pozostało ok. 38% ziarn poniżej 0,1 mm, a ziarna te, co wykazano w [3], posiadają wysoką zawartość popiołu.

Podsumowując stwierdzić należy, że istnieje możliwość wzbogacania ziarn drobnych. Jest to zabieg istotny z uwagi na znaczne ilości materiału, który zdeponowany został w osadnikach ziemnych w minionym okresie.

Alternatywą dla wzbogacania materiałów o tak drobnych ziarnach jest ich kierowanie do spalania w piecach fluidalnych. Kotły te projektowane są i wykonywane dla indywidualnego paliwa charakteryzowanego uziarnieniem i parametrami jakościowymi. Niektóre z materiałów, które poddane były badaniom spełniają te kryteria opisane w [1, 2].

Literatura

1. Blaschke W.: Określenie wartości mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska". Politechnika Koszalińska. Koszalin 2005 r.
2. Grudziński Z.: Analiza porównawcza jakości mułów węgla kamiennego pochodzących z bieżącej produkcji i zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska". Politechnika Koszalińska. Koszalin 2005 r.
3. Szpyrka J., Lutyński A.: Właściwości fizykochemiczne mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Rozdział Monografii: Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo – jakość – efektywność. Przyjęto do druku w ITG KOMAG, przew. w 2012 r.
4. Protokół z prób przemysłowego wzbogacania mułu z osadnika MOS. Opracowanie ZWOP Polho i Katedry PKiUO Politechniki Śląskiej. 2004 r. nie publikowane.

Właściwości fizykochemiczne mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych

Aleksander Lutyński, Jan Szpyrka – Politechnika Śląska, **Ireneusz Baic** – Instytut Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Oddział Zamiejscowy w Katowicach

1. Wprowadzenie

Konsekwencją produkcji węgla kamiennego są odpady wydobywcze. Powstają one przy poszukiwaniu surowca, jego wydobywaniu i wzbogacaniu. Wyniki prezentowane w różnych opracowaniach wskazują, że odpady wytworzone w produkcji węgla kamiennego stanowią ok. 40% jego wydobycia. Tak wysoki poziom odpadów w wydobywanej masie urobku wynika ze specyfiki eksploatowanych złóż, technologii stosowanych w procesach wydobywania surowca, polityki gospodarki złożem, technologii wzbogacania surowca oraz zwiększonych wymagań odbiorców produktu końcowego. W odpadach powstałych przy wydobywaniu węgla kamiennego ok. 94% stanowią odpady przeróbcze, które są materiałem skalnym wydobytym w urobku surowym. Materiał ten w procesach wzbogacania kopaliny, a więc w procesach przeróbczych, zostaje wydzielony. W wyniku wzbogacania węgla powstają odpady przeróbcze gruboziarniste (200 – 20 mm), drobnoziarniste (20 – 0,5 mm) i odpady mułowe oraz poflotacyjne o ziarnach <1 (0,5) mm. Zaznaczyć również należy, że do czasów przemysłowego opanowania flotacji węgli koksowych, a więc do lat trzydziestych ubiegłego wieku, znanymi metodami przeróbczymi nie można było z urobku usunąć czystego kamienia, który wydatnie pogarszał właściwości koksu. Wobec powyższego ziarna poniżej 1 mm traktowane były jako odpad. Również w przypadku węgli energetycznych ziarna najdrobniejsze uznawano za odpad, ponieważ spalanie ich w kotłach rusztowych było niemożliwe. Z tego względu wymienione odpady deponowano w środowisku, na ogół w stawach osadowych. Niniejszy rozdział monografii dotyczył będzie odpadów węglowych najdrobniejszych, które zdeponowano w okresach wcześniejszych w stawach osadowych. W pracy przedstawione zostaną wyniki badań materiału z dwudziestu stawów osadowych mułów węgla energetycznego i koksowego, które wykonano w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania” wykonywanego przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej.

2. Badania właściwości fizykochemicznych mułów węglowych

Ze zidentyfikowanych dwudziestu osadników mułów węglowych, według przyjętej zasady próbobrania, pobierano do kilkadziesiąt próbek i dla każdej dostarczonej próbki wykonywano badania w zakresie podstawowej analizy jakościowej, polegającej na oznaczeniu:

- zawartości wilgoci przemijającej W_{ex} i higroskopijnej W_h,
- zawartości popiołu w stanie analitycznym A^a, roboczym A^r i suchym A^d,
- zawartości siarki w stanie analitycznym S_t^a, roboczym S_t^r i suchym S_t^d,
- zawartości części lotnych w stanie analitycznym V^a, roboczym V^r i suchym V^d,
- wartości opałowej w stanie analitycznym Q^a, roboczym Q^r i suchym Q^d.

Metody oznaczeń parametrów fizykochemicznych

Tabela 1

Lp.	Rodzaj oznaczenia	Metoda
1	Przygotowanie prób do analizy	PN-90/G-04502
2	Zawartość wilgoci przemijającej	PN-80/G-04511
3	Zawartość wilgoci całkowitej	PN-80/G-04511
4	Zawartość wilgoci analitycznej	PN-G-04560:1998 PN-80/G-04511
5	Oznaczenie zawartości popiołu	PN-G-04560:1998 PN-80/G-04512
6	Ciepło spalania (wartość opałowa)	PN-81/G-04513
7	Zawartość części lotnych	PN-G-04516:1998 PN-G-04560:1998 PN-ISO 562:2000
8	Zawartość siarki całkowitej analizatorem LECO	PN-90/G-04514/16
9	Skład ziarnowy	PN-G-04532:1958
10	Analizy densymetryczne	metoda własna

Po analizach jakościowych mułów węglowych, dla próbek uśrednionych z wybranych osadników, wykonano analizy granulometryczne i densymetryczne. W analizach tych dla każdej klasy ziarnowej i frakcji gęstościowej oznaczano:

- wychód,
- wilgoć higroskopijną W_h,

- zawartość popiołu w stanie analitycznym A^a i suchym A^d,
- zawartość siarki w stanie analitycznym S_t^a i suchym S_t^d,
- zawartość części lotnych w stanie analitycznym V^a i suchym V^d,
- wartość opałową w stanie analitycznym Q^a i suchym Q^d.

Badania wybranych parametrów fizykochemicznych charakteryzujących właściwości mułów przeprowadzono zgodnie z normami przedstawionymi w tabeli 1.

3. Wyniki przeprowadzonych badań fizykochemicznych właściwości mułów węglowych

Wyniki badań właściwości fizykochemicznych, które przeprowadzono na pozyskanych próbkach mułów węglowych przedstawiono w tabelach 2 do 16.

W tabelach 2 i 3 zaprezentowano przykładowo wyniki badań poszczególnych szesnastu i dwudziestu dwóch próbek, które pobrano z dwóch osadników oznaczonych symbolami KX i KY. Były to próbki z różnych miejsc przedmiotowych osadników i z różnych głębokości zalegania.

W tabelach 4, 5 i 6 przedstawione zostały wyniki zbiorcze właściwości fizykochemicznych mułów jako średnie statystyczne i odchylenia standardowe tych średnich dla poszczególnych osadników mułowych. W tabeli 4 zaprezentowano wyniki zawartości wilgoci przemijającej oraz higroskopijnej mułów, w tabeli 5 parametry jakościowe mułów w stanie analitycznym, a w tabeli 6 parametry jakościowe mułów w stanie roboczym.

W tabelach 7 i 8 przedstawiono wyniki analiz granulometrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych dla uśrednionych próbek mułów pochodzących z dwóch osadników KX i KY przykładowo wybranych do prezentacji.

W tabelach 9 do 14 zaprezentowano wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klas ziarnowych 0,5-0,1 mm, + 0,5 mm i + 0,1 mm dla uśrednionych próbek mułów węglowych pochodzących z osadnika KX i osadnika KY.

W tabeli 15 zaprezentowano wyniki analizy właściwości fizykochemicznych odpadów w klasie ziarnowej <0,1 mm w stanie analitycznym i suchym. Klasa ta ma największy udział w analizowanych mułach węglowych.

W tabeli 16 przedstawione zostały wyniki analizy właściwości fizykochemicznych odpadów w klasie ziarnowej +0,1 mm i frakcji gęstościowej >1,8 g/cm^3 w stanie analitycznym i suchym.

Wyniki oznaczeń właściwości fizykochemicznych próbek pochodzących z osadnika KX

Tabela 2

nr próbki	wilgoć przem.[%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]			zawartość siarki całkowitej [%]			zawartość części lotnych [%]			wartość opałowa [kJ/kg]		
	W_{ex}	W_h	A^a	A^r	A^d	S_t^a	S_t^r	S_t^d	V^a	V^r	V^d	Q^a	Q^r	Q^d
1	24,77	1,31	37,75	28,89	38,25	0,89	0,68	0,90	19,85	15,19	20,11	19062	14590	19315
2	25,35	1,25	37,19	28,23	37,66	0,87	0,66	0,88	20,36	15,45	20,62	19414	14735	19660
3	23,83	1,40	37,87	29,37	38,41	0,85	0,66	0,86	20,43	15,85	20,72	18677	14487	18942
4	23,41	1,44	39,47	30,80	40,05	0,84	0,66	0,85	19,92	15,54	20,21	17223	13440	17475
5	25,81	1,23	35,38	26,68	35,82	1,07	0,81	1,08	21,09	15,91	21,35	20396	15383	20650
6	23,09	1,46	35,59	27,89	36,12	1,01	0,79	1,02	20,97	16,43	21,28	19800	15517	20093
7	24,63	1,33	35,46	27,20	35,94	0,86	0,66	0,87	20,27	15,55	20,54	19761	15157	20027
8	22,16	1,35	43,25	34,25	43,84	0,76	0,60	0,77	19,73	15,62	20,00	17250	13661	17486
9	21,46	1,31	37,90	30,26	38,40	0,76	0,61	0,77	20,87	16,67	21,15	19234	15359	19489
10	24,26	1,28	37,76	29,08	38,25	0,87	0,67	0,88	21,15	16,29	21,42	19546	15055	19799
11	23,20	1,26	36,03	28,13	36,49	0,93	0,73	0,94	21,17	16,53	21,44	19858	15502	20111
12	23,34	1,21	37,44	29,15	37,90	0,89	0,69	0,90	21,19	16,50	21,45	19045	14830	19278
13	20,15	0,74	59,52	47,97	59,96	1,35	1,09	1,36	12,46	10,04	12,55	13099	10556	13197
14	26,18	1,10	34,54	25,88	34,92	0,97	0,73	0,98	21,05	15,77	21,28	21209	15890	21445
15	22,56	1,24	37,79	29,73	38,26	0,91	0,72	0,92	21,14	16,63	21,41	19418	15279	19662
16	24,56	1,11	38,40	29,40	38,83	1,15	0,88	1,16	20,88	15,98	21,11	19207	14703	19423

Wyniki oznaczeń właściwości fizykochemicznych próbek pochodzących z osadnika KY

Tabela 3

nr próbki	wilgoć przem. [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]			zawartość siarki całkowitej [%]			zawartość części lotnych [%]			wartość opałowa [kJ/kg]		
	W_{ex}	W_h	A^a	A^r	A^d	S_t^a	S_t^r	S_t^d	V^a	V^r	V^d	Q^a	Q^r	Q^d
1	22,77	5,80	55,53	46,11	58,95	0,73	0,61	0,77	16,85	13,99	17,89	9842	8172	10448
2	25,86	4,74	53,60	42,28	56,27	0,63	0,50	0,66	18,05	14,24	18,95	10780	8504	11316
3	17,83	7,11	46,74	41,73	50,32	0,90	0,80	0,97	19,11	17,06	20,57	12132	10831	13061
4	22,40	7,42	40,98	34,84	44,26	1,01	0,86	1,09	21,41	18,20	23,13	14112	11999	15243
5	16,45	6,04	48,90	43,81	52,04	0,99	0,89	1,05	18,69	16,75	19,89	13208	11834	14057
6	17,55	6,19	50,12	44,43	53,43	1,04	0,92	1,11	18,24	16,17	19,44	13019	11540	13878
7	27,87	6,09	47,77	37,36	50,87	0,83	0,65	0,88	19,26	15,06	20,51	13331	10427	14196
8	28,05	5,49	52,87	40,94	55,94	0,84	0,65	0,89	17,66	13,68	18,69	12250	9486	12962
9	25,95	6,69	42,73	34,50	45,79	0,72	0,58	0,77	20,93	16,90	22,43	14650	11829	15700
10	15,70	6,09	48,29	43,65	51,42	1,17	1,06	1,25	18,76	16,96	19,98	11993	10841	12771
11	19,92	5,91	50,23	43,19	53,39	0,95	0,82	1,01	18,44	15,86	19,60	12857	11056	13665
12	27,54	6,46	44,59	35,19	47,67	0,73	0,58	0,78	20,49	16,17	21,91	15084	11904	16126
13	27,53	4,82	56,46	43,64	59,32	0,56	0,43	0,59	16,69	12,90	17,54	10702	8272	11244
14	28,47	4,96	56,59	43,28	59,54	0,76	0,58	0,80	16,12	12,33	16,96	11782	9012	12397
15	18,94	5,95	51,05	44,42	54,28	0,76	0,66	0,81	18,40	16,01	19,56	12875	11203	13690
16	25,20	5,29	55,24	44,24	58,33	0,65	0,52	0,69	17,51	14,02	18,49	11326	9071	11959
17	14,29	7,11	40,97	38,03	44,11	1,13	1,05	1,22	21,00	19,49	22,61	16735	15534	18016
18	22,51	5,69	51,08	42,49	54,16	0,91	0,76	0,96	17,99	14,96	19,08	15620	12993	16562
19	15,26	1,39	41,07	35,37	41,65	2,14	1,84	2,17	15,55	13,39	15,77	19715	16980	19993
20	26,26	5,46	58,76	46,54	62,15	0,39	0,31	0,41	15,85	12,55	16,77	10306	8163	10901
21	22,46	5,11	44,64	36,90	47,04	0,90	0,74	0,95	21,61	17,86	22,77	16961	14019	17874
22	28,58	5,93	50,36	38,95	53,53	0,63	0,49	0,67	18,44	14,26	19,60	13250	10249	14085

Zawartość wilgoci przemijającej i higroskopijnej w badanych mułach węglowych

Tabela 4

Nr osadnika	Wilgoć przemijająca [%]	Odchylenie standardowe wilgoć przem. [%]	Wilgoć higroskopijna [%]	Odchylenie standardowe wilgoć higr. [%]
1	24,75	3,94	7,00	0,29
2	27,69	1,32	7,92	0,40
3	23.05	1,79	5,25	0,73
4	20,69	1,99	3,73	0,97
5	19,47	2,42	4,66	2,40
6	22,61	4,86	5,71	1,21
7	27,25	4,19	2,15	0,40
8	11,69	6,79	1,77	1,60
9	17,66	3,58	1,27	0,19
10	18,57	3,66	1,69	0,22
11	18,77	2,46	1,58	0,11
12	17,28	4,72	1,66	0,11
13	25,01	0,92	1,14	0,12
14	24,53	2,57	2,23	0,22
15	34,48	3,85	3,17	0,77
16	22,45	3,98	1,23	0,31
17	24,67	1,58	1,29	0,07
18	25,45	1,36	1,04	0,08
19	24,63	1,07	1,20	0,12
20	23,67	1,60	1,25	0,17
średnio	22,70	-	2,85	-
od. stand.	4,92	-	2,13	-

Wyniki zbiorcze analizy właściwości fizykochemicznych odpadów w stanie analitycznym

Tabela 5

Nr osadnika	zawartość popiołu [%]	odchylenie standardowe zawartości popiołu [%]	zawartość siarki całkowitej [%]	odchylenie standardowe zawartości siarki całkowitej [%]	zawartość części lotnych [%]	odchylenie standardowe zawartości części lotnych [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	odchylenie standardowe wartości opałowej [kJ/kg]
1	27,47	2,99	1,90	0,84	28,50	4,32	15096	1509
2	32,98	2,58	0,72	0,03	23,85	0,41	15646	829
3	41,36	1,41	0,86	0,10	21,31	1,25	14813	581
4	63,96	9,06	0,57	0,16	14,38	2,55	9325	2052
5	63,04	17,76	0,64	0,25	14,39	5,47	10073	2746
6	49,48	5,39	0,88	0,34	18,50	1,76	13297	2413
7	60,43	10,56	0,70	0,20	16,41	3,13	9265	3498
8	45,90	12,59	2,98	1,27	18,01	2,23	14877	5976
9	58,34	8,24	2,26	0,67	14,29	1,17	12304	2803
10	28,41	4,23	0,95	0,11	23,47	1,33	22807	1538
11	26,98	3,46	0,95	0,15	23,77	0,75	23293	1444
12	27,89	0,32	0,97	0,13	23,79	0,71	22941	590
13	47,22	2,55	0,59	0,11	18,89	0,29	15813	937
14	31,84	4,51	0,79	0,13	23,85	1,25	20828	2065
15	53,79	5,17	1,21	0,19	16,99	1,52	12051	1504
16	42,86	13,10	1,09	0,38	16,89	2,30	17802	5351
17	37,59	1,44	0,94	0,08	20,64	0,87	19402	646
18	35,22	1,28	0,97	0,02	21,54	0,40	20351	844
19	37,33	1,29	0,92	0,06	20,72	0,54	19672	767
20	38,83	5,88	0,94	0,15	20,16	2,12	18887	1834
średnio	42,55	-	1,09	-	20,02	-	16427	-
od. st.	12,28	-	0,60	-	3,85	-	4520	-

Wyniki zbiorcze analizy właściwości fizykochemicznych odpadów w stanie roboczym

Tabela 6

Nr osadnika	zawartość popiołu [%]	odchylenie standardowe zawartości popiołu [%]	zawartość siarki całkowitej [%]	odchylenie standardowe zawartości siarki całkowitej [%]	zawartość części lotnych [%]	odchylenie standardowe zawartości części lotnych [%]	wartość opałowa [kJ/kg]	odchylenie standardowe wartości opałowej [kJ/kg]
1	24,31	3,37	1,58	0,73	23,49	4,25	12380	674
2	26,46	1,94	0,58	0,01	19,14	0,61	12552	607
3	34,01	1,69	0,70	0,07	17,53	1,33	12179	568
4	53,11	7,60	0,48	0,14	11,95	2,14	7737	1673
5	53,68	15,08	0,55	0,22	12,26	4,70	8587	2369
6	40,99	3,88	0,74	0,31	15,40	1,94	11087	2324
7	45,46	10,20	0,52	0,13	12,24	1,73	6873	2270
8	41,91	13,53	2,71	1,26	16,22	2,59	13115	4656
9	49,00	8,53	1,91	0,62	11,92	0,71	10213	1975
10	23,55	3,20	0,79	0,10	22,47	1,33	18979	1733
11	22,36	3,05	0,79	0,13	19,69	0,87	19285	1290
12	23,55	1,62	0,81	0,06	20,05	0,70	19353	1062
13	35,95	1,95	0,45	0,09	14,38	0,30	12038	725
14	24,81	4,26	0,61	0,12	18,51	0,78	16155	1394
15	37,00	4,78	0,83	0,16	11,65	1,04	8256	967
16	33,62	11,40	0,86	0,35	13,05	1,58	13649	3628
17	28,79	1,08	0,72	0,06	15,82	0,89	14869	681
18	26,62	0,89	0,73	0,02	16,28	0,57	15385	764
19	28,59	1,25	0,70	0,04	15,87	0,47	15057	464
20	30,18	5,11	0,73	0,12	15,62	1,56	14634	1269
średnio	34,19	-	0,88	-	16,18	-	13119	-
od. st.	10,12	-	0,55	-	3,54	-	3718	-

Wyniki analiz granulometrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych dla próbek mułów pochodzących z osadnika KX

Tabela 7

klasa ziarnowa [mm]	wychód klasy [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
>2,0	0,80	6,55	29,24	31,28	0,61	0,65	20,40	21,83	19688	21068
2,0 - 1,0	0,96	6,88	45,32	48,67	0,77	0,83	15,55	16,70	15867	17039
1,0 - 0,5	14,64	5,96	65,60	69,76	0,68	0,72	11,70	12,44	10463	11126
0,5 - 0,3	14,94	5,39	66,30	70,07	0,73	0,77	11,53	12,19	9318	9849
0,3 - 0,2	3,80	5,04	67,43	71,00	0,86	0,91	11,26	11,86	8950	9425
0,2 - 0,1	10,10	4,97	74,86	78,78	0,80	0,84	9,48	9,98	6859	7218
< 0,1	54,75	2,13	77,23	78,91	0,47	0,48	7,92	8,09	6195	6330
suma/ średnia	100,00	3,66	72,59	75,26	0,59	0,62	9,47	9,87	7660	7987

Wyniki analiz granulometrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych klasach ziarnowych dla próbek mułów pochodzących z osadnika KY

Tabela 8

klasa ziarnowa [mm]	wychód klasy [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
>2,0	3,00	1,59	73,52	74,71	0,44	0,45	15,10	15,34	5863	5958
2,0 - 1,0	0,60	1,86	39,48	40,23	0,69	0,70	19,99	20,37	18171	18515
1,0 - 0,5	3,19	2,24	8,52	8,72	0,71	0,73	29,07	29,74	28365	29014
0,5 - 0,3	4,01	2,28	6,00	6,14	0,67	0,69	30,01	30,71	30276	30982
0,3 - 0,2	6,14	3,19	7,79	8,05	0,75	0,77	29,34	30,31	29628	30605
0,2 - 0,1	10,18	2,22	9,95	10,18	0,80	0,82	28,56	29,21	27847	28480
<0,1	72,87	2,03	44,20	45,12	1,00	1,02	18,00	18,37	15464	15784
suma/ średnia	100,00	2,12	36,66	37,42	0,92	0,94	20,53	20,98	18328	18740

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej 0,5-0,1 mm uśrednionych próbek mułów węglowych pochodzących z osadnika KX

Tabela 9

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	5,08	6,00	2,98	3,17	0,53	0,56	36,00	38,30	26711	28416
1,3 - 1,6	72,30	6,18	11,90	12,68	0,47	0,50	32,63	34,78	24560	26178
1,6 - 1,8	3,79	4,69	37,87	39,73	0,84	0,88	24,59	25,80	16342	17146
> 1,8	18,83	0,83	84,15	84,85	4,42	4,46	8,45	8,52	2618	2640
suma/średnia	100,00	5,11	26,04	26,82	1,23	1,26	27,94	29,67	20226	21517

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej +0,5 mm uśrednionych próbek mułów węglowych pochodzących z osadnika KX

Tabela 10

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	17,24	4,76	3,06	3,21	0,50	0,52	33,98	35,68	26088	27391
1,3 - 1,6	47,66	5,07	10,07	10,61	0,54	0,57	29,69	31,27	24604	25918
1,6 - 1,8	2,85	3,05	28,29	29,18	1,16	1,20	27,72	28,60	18489	19071
> 1,8	32,24	0,94	81,07	81,84	1,34	1,35	10,45	10,55	3503	3536
suma/średnia	100,00	3,63	32,27	32,83	0,81	0,83	24,17	25,27	17882	18760

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej + 0,1 mm uśrednionych próbek mułów węglowych pochodzących z osadnika KX

Tabela 11

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	9,22	5,21	3,03	3,20	0,51	0,54	34,72	36,62	26314	27761
1,3 - 1,6	63,92	5,90	11,44	12,15	0,49	0,52	31,88	33,88	24571	26112
1,6 - 1,8	3,47	4,23	35,19	36,75	0,93	0,97	25,46	26,59	16942	17691
> 1,8	23,39	0,88	82,71	83,44	2,98	3,00	9,39	9,47	3033	3060
suma/średnia	100,00	4,60	28,16	28,86	1,09	1,12	26,66	28,17	19429	20579

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej 0,5-0,1 mm uśrednionych próbek mułów pochodzących z osadnika KY

Tabela 12

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	69,18	2,28	1,92	1,96	0,52	0,53	31,58	32,32	31751	32492
1,3 - 1,6	21,90	2,30	9,74	9,97	1,41	1,44	27,63	28,28	27923	28581
1,6 - 1,8	2,25	1,80	32,66	33,26	1,22	1,24	21,61	22,01	19636	19996
> 1,8	6,67	1,50	72,67	73,78	0,54	0,55	15,16	15,39	6170	6264
suma/średnia	100,00	2,22	9,04	9,21	0,73	0,75	29,39	30,07	28933	29604

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej + 0,5 mm uśrednionych próbek mułów pochodzących z osadnika KY

Tabela 13

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	40,65	2,05	2,28	2,33	0,62	0,63	31,44	32,10	30621	31262
1,3 - 1,6	15,34	1,96	9,16	9,34	0,84	0,86	28,84	29,42	28133	28696
1,6 - 1,8	2,99	1,86	40,83	41,60	1,37	1,40	19,70	20,07	16683	16999
> 1,8	41,02	1,44	82,22	83,42	0,59	0,60	10,70	10,86	3718	3772
suma/średnia	100,00	1,78	37,28	37,85	0,66	0,68	22,18	22,61	18786	19164

Wyniki analiz densymetrycznych wraz z właściwościami fizykochemicznymi w poszczególnych frakcjach klasy ziarnowej + 0,1 mm uśrednionych próbek mułów pochodzących z osadnika KY

Tabela 14

gęstość frakcji [g/cm^3]	wychód frakcji [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
< 1,3	61,28	2,24	1,99	2,03	0,54	0,55	31,55	32,28	31543	32265
1,3 - 1,6	20,09	2,23	9,62	9,84	1,29	1,32	27,89	28,52	27968	28605
1,6 - 1,8	2,46	1,82	35,41	36,07	1,27	1,29	20,97	21,36	18641	18987
> 1,8	16,17	1,46	79,37	80,55	0,58	0,58	12,03	12,21	4449	4515
suma/średnia	100,00	2,10	16,86	17,14	0,71	0,73	27,40	28,01	26126	26715

Wyniki analizy właściwości fizykochemicznych odpadów we wszystkich osadnikach w klasie ziarnowej <0,1 mm w stanie analitycznym i suchym

Tabela 15

Nr osadnika	wychód klasy <0,1 mm [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
1	27,90	4,30	53,00	55,38	1,21	1,26	17,21	17,98	12753	13326
2	60,79	3,97	55,64	57,94	0,66	0,69	12,66	13,19	10185	10606
3	70,16	4,61	53,02	55,58	0,86	0,90	15,20	15,94	11224	11766
4	69,33	2,99	73,49	75,75	0,44	0,45	10,60	10,93	1684	1736
5	54,75	2,13	77,23	78,91	0,47	0,48	7,92	8,09	6195	6330
6	67,87	4,07	58,94	61,44	0,74	0,77	16,25	16,94	10680	11133
7	28,43	1,51	57,73	58,62	4,15	4,21	15,62	15,86	8914	9051
8	48,36	1,38	67,20	68,14	2,49	2,52	13,56	13,75	6791	6886
9	57,23	2,56	52,49	53,87	0,67	0,69	16,21	16,63	12386	12712
10	77,58	2,87	64,43	66,33	1,29	1,33	14,37	14,80	8540	8792
11	65,75	1,57	49,91	50,71	1,36	1,38	16,15	16,40	15272	15515
12	67,76	2,07	37,03	37,81	0,21	0,21	22,27	22,74	18704	19099
13	54,80	1,92	41,19	42,00	0,38	0,39	20,02	20,41	16406	16727
14	57,57	1,83	39,75	40,49	1,36	1,39	19,91	20,29	17271	17593
15	75,76	1,64	45,53	46,29	0,96	0,98	17,83	18,13	15682	15943
16	72,87	2,03	44,20	45,12	1,00	1,02	18,00	18,37	15464	15784
17	68,53	1,24	42,58	43,11	1,05	1,06	17,98	18,21	16055	16257
18	68,12	2,08	43,01	43,92	1,04	1,06	18,42	18,81	18118	18503
19	78,93	2,57	63,13	64,80	0,69	0,71	14,30	14,68	7388	7583
20	72,97	1,33	57,24	58,01	0,61	0,62	16,36	16,58	11855	12015
średnio	62,27	2,43	53,84	55,21	1.09	1,11	16,04	16,44	12078	12368
od. stand.	14,26	1,05	11,31	11,71	0,88	0,89	3,30	3,34	4580	4658

Wyniki analizy właściwości fizykochemicznych odpadów we wszystkich osadnikach w klasie ziarnowej +0,1 mm frakcji >1,8 g/cm^3 stanie analitycznym i suchym

Tabela 16

Nr osadnika	wychód frakcji >1,8 g/cm^3 [%]	wilgoć higr. [%]	zawartość popiołu [%]		zawartość siarki całkowitej [%]		zawartość części lotnych [%]		wartość opałowa [kJ/kg]	
	γ	W_h	A^a	A^d	S_t^a	S_t^d	V^a	V^d	Q^a	Q^d
1	22,88	0,26	85,08	85,30	1,39	1,40	1,85	1,85	5137	5150
2	1,27	1,55	72,60	73,74	2,48	2,52	12,25	12,44	5788	5879
3	20,47	1,18	69,46	70,29	1,46	1,48	10,53	10,66	5771	5840
4	44,16	1,11	78,62	79,50	0,86	0,87	9,19	9,29	1019	1030
5	75,91	1,10	84,63	85,57	0,79	0,80	7,15	7,23	4492	4542
6	23,39	0,88	82,71	83,44	2,98	3,00	9,39	9,47	3033	3060
7	54,79	1,29	69,89	70,80	4,81	4,88	14,28	14,47	4913	4977
8	65,23	1,80	71,19	72,49	2,12	2,15	14,76	15,03	5216	5312
9	3,25	2,06	69,43	70,89	0,54	0,55	10,44	10,66	5604	5722
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	45,11	1,85	73,05	74,42	1,09	1,11	10,46	10,66	7549	7691
12	6,58	1,48	72,73	73,82	0,52	0,53	13,81	14,01	7940	8059
13	10,90	1,75	77,27	78,65	1,69	1,72	12,65	12,87	3697	3763
14	8,13	1,40	70,85	71,85	0,52	0,53	13,72	13,91	4579	4645
15	10,26	1,43	74,51	75,59	2,02	2,04	13,15	13,34	6043	6131
16	16,17	1,46	79,37	80,55	0,58	0,58	12,03	12,21	4449	4515
17	15,52	1,59	87,66	89,08	1,96	1,99	9,81	9,96	2515	2556
18	19,20	1,81	81,67	83,18	2,02	2,05	11,45	11,66	3461	3524
19	31,83	0,49	84,14	84,55	1,41	1,42	9,70	9,74	5965	5994
20	22,04	2,10	75,89	77,51	1,26	1,28	11,45	11,70	6820	6966
średnio	26,16	1,40	76,88	77,96	1,60	1,63	10,95	11,11	4947	5019
od. stand.	21,35	0,49	6,00	5,90	1,05	1,07	2,97	3,03	1712	1742

4. Podsumowanie

Analizując wyniki uzyskane w przeprowadzonych badaniach jakościowych stwierdzić można, że:

- średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 9265 do 23293 kJ/kg, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 581 do 5976 kJ/kg,
- średnia zawartość popiołu w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 26,98 do 63,96%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 1,28 do 17,76%,
- średnia zawartość siarki całkowitej w stanie analitycznym w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 0,57 do 2,98%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,03 do 1,27%,
- średnia zawartość wilgoci przemijającej w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 11,69 do 34,48%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 1,07 do 4,89%,
- średnia zawartość wilgoci higroskopijnej w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 1,04 do 7,92%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,07 do 2,40%,
- średnia zawartość części lotnych w stanie analitycznym w odpadach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach waha się w granicach od 14,29 do 28,50%, a odchylenia standardowe tego parametru zawierają się w granicach od 0,40 do 5,47%,
- analiza granulometryczna mułów węglowych wykazała, że najwięcej ziaren znajduje się w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm. Średnio udział w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm wynosi dla wszystkich osadników 62,27% i waha się dla poszczególnych osadników w granicach 27,90 do 78,93%, przy odchyleniu standardowym 14,26%, a tylko w trzech osadnikach zanotowano udział w tej klasie ziarnowej poniżej 50%,
- średnia wartość opałowa w stanie analitycznym w mułach zdeponowanych w poszczególnych osadnikach w klasie ziarnowej poniżej 0,1 mm waha się w granicach od 1684 do 18704 kJ/kg z odchyleniem standardowym 4580 kJ/kg,
- klasa ziarnowa poniżej 0,1 mm, charakteryzuje się wyższą zawartością popiołu i siarki.

Zaprezentowane wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie jakości mułów zdeponowanych w poszczególnych osadnikach, co jest oczywiste z uwagi na zróżnicowane warunki górniczo-geologiczne poszczególnych kopalń, które

wykorzystywały te osadniki. W samych osadnikach wykazane różnice jakości mułów są na ogół mniejsze, na co wskazują odchylenia standardowe poszczególnych parametrów.

Granulacja mułów węglowych pochodzących z pras komorowych w systemie produkcji ciągłej

Ireneusz Baic - Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego Centrum Gospodarki Odpadami i Zarządzania Środowiskowego Oddział Zamiejscowy w Katowicach, **Andrzej Szymkiewicz, Andrzej Fraś, Rafał Przystaś** – Południowy Koncern Węglowy Spółka Akcyjna, **Jan J. Hycnar** - Ecocoal CC Katowice

1. Wprowadzenie

Przemysłowe wydobycie węgla kamiennego w Polsce prowadzone jest od ponad dwóch wieków. Jego maksymalny rozwój przypadł na lata 70-te XX wieku, gdy wydobycie zbliżyło się do niemal 200 mln Mg rocznie. Wskutek rozpoczętej w 1990 r. restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego, liczba kopalń systematycznie maleje. Maleje także wydobycie węgla kamiennego z 171, 4 mln Mg w 1989 r. do 76,1 mln Mg w 2010 r. Zmniejszające się wydobycie węgla kamiennego nie powoduje jednak proporcjonalnego zmniejszania się ilości wytwarzanych odpadów wydobywczych i przeróbczych. Corocznie ta branża przemysłu wytwarza blisko 30 mln Mg odpadów. Dodatkowo szacuje się, że blisko 600 mln Mg tego rodzaju odpadów jest już zdeponowana w środowisku [1].

Jednym z podstawowych problemów ekologicznych i ekonomicznych w górnictwie węgla kamiennego jest zagospodarowanie drobnoziarnistych odpadów węglowych, w szczególności mułów węglowych. Muły węglowe wydzielane z obiegu wodno-mułowego, w zależności od właściwości wydobywanego węgla i towarzyszących skał oraz metod wzbogacania urobku i sposobów oczyszczania wód procesowych i dołowych, bardzo się różnią swoim składem chemicznym, mineralogicznym i fizycznym.

W zależności od zastosowanego systemu rozwiązania gospodarki wodno-mułowej mamy do czynienia z mułami wydzielanymi z zawiesin zagęszczonych w osadnikach promieniowych lub/i lamelowych, odwadnianych na:

- urządzeniach filtracyjnych (prasy komorowe, bębnowe, filtry taśmowe),
- grawitacyjnie w osadnikach mułowych (w tym osadniki wód dołowych).

Większość powstających mułów węglowych nie znajduje zastosowania, między innymi ze względu na ich konsystencję. Obecność substancji iłowych i wysokie rozdrobnienie zawartego w nich węgla powodują, że muły węglowe, pomimo stosowanych procesów odwadniania zawierają stosunkowo duże ilości wody nawet powyżej 30% oraz zwięzłą strukturę, zbliżoną do pasty. Nie ulegają one samoistnemu rozpadowi i są trudne do rozdrobnienia oraz do ewentualnego mieszania np. z miałem węglowym w celu otrzymania mieszanek energetycznych. Z uwagi na swoją konsystencję powodują one również oble-

pianie urządzeń technologicznych i transportowych, ograniczając ich wydajność i niezawodność. Dodatkowo w przypadku konieczności magazynowania czy składowania stwarzają one potencjalne zagrożenie dla środowiska, poprzez pylenie w okresie letnim oraz wymywanie substancji zanieczyszczających wodę i glebę w okresie jesiennym i zimowym. Z tych między innymi powodów gospodarcze wykorzystanie mułów węglowych z pras filtracyjnych jest minimalne.

Nowe przepisy prawne Unii Europejskiej, w tym głównie Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/21/WE z dnia 15 marca 2006 r. w sprawie gospodarowania odpadami pochodzącymi z przemysłu wydobywczego bardzo ograniczają możliwości składowania tego rodzajów odpadów, narzucając krajom członkowskim konieczność osiągnięcia wysokich poziomów ich odzysku.

Mając powyższe na uwadze prezentowana, nowa technologia rozdrabniania, uszlachetniania i granulowania w sposób ciągły mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania, w celu uzyskania użytecznego produktu handlowego lub półproduktu do produkcji mieszanek energetycznych, wychodzi naprzeciw wymaganiom ochrony środowiska oraz oczekiwaniom wytwórców tych odpadów i producentów energii elektrycznej i cieplnej.

2. Szczegółowy opis technologii [2]

2.1. Cel procesu granulowania (aglomeracji)

Celem procesu granulowania jest zagospodarowanie mułów węglowych, pochodzących bezpośrednio z pras filtracyjnych, w sposób pozwalający na przetworzenie ich na użyteczny produkt handlowy lub półprodukt do produkcji mieszanek energetycznych. Niezagospodarowane muły ze względu na brak nabywców oraz brak innych sposobów ich gospodarczego wykorzystania, stają się odpadem wydobywczym, generującym znaczne koszty związane z deponowaniem ich w obiektach unieszkodliwiania odpadów wydobywczych.

2.2. Analiza fizykochemiczna mułów węglowych z pras filtracyjnych

W celu zdefiniowania właściwości użytkowych mułów węglowych z pras filtracyjnych pod kątem przetworzenia ich na pełnowartościowy produkt lub półprodukt do produkcji mieszanek energetycznych, określono ich skład chemiczny (analiza tlenkowa), przeprowadzono analizę bezpośrednią i analizę ekstraktu wodnego. W tym celu pobrano próbki mułu węglowego odwodnionego (placka filtracyjnego) o uziarnieniu 1-0 mm, pochodzącego z pras filtracyjnych.

Analiza składu chemicznego (analiza tlenkowa) [3]

Tabela 1

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Muł węglowy z pras filtracyjnych	Zawartość pierwiastka
1.	SiO_2	% wag.	40,19	18,76
2.	Al_2O_3	% wag.	16,57	8,77
3.	TiO_2	% wag.	0,70	0,45
4.	Fe_2O_3	% wag.	2,92	2,04
5.	CaO	% wag.	0,25	0,18
6.	MgO	% wag.	1,18	0,71
7.	K_2O	% wag.	2,36	1,96
8.	Na_2O	% wag.	0,14	0,10
9.	P_2O_5	% wag.	0,07	0,03
10.	S_c	% s.m.	0,68	
11.	C	% s.m.	25,1	
12.	SO_3	% s.m.	0,25	
13.	wilgotność W_{tr}	%	30,7	
14.	wartość opałowa Q_{ir}	MJ/kg	8,5	
15.	zawartość popiołu A_r	%	29,6	

Analiza bezpośrednia [3]

Tabela 2

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Muł węglowy z pras filtracyjnych	Wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi – obszar B (Dz. U. Nr 165, poz. 1359) [mg/kg s. m.]
metale				
1.	arsen	mg/kg s.m.	1,78	20
2.	bar	mg/kg s.m.	129	200
3.	chrom	mg/kg s.m.	54,6	150
4.	cyna	mg/kg s.m.	<5,00	20
5.	cynk	mg/kg s.m.	66,3	300
6.	kadm	mg/kg s.m.	<0,0530	4
7.	kobalt	mg/kg s.m.	8,32	20
8.	miedź	mg/kg s.m.	24,6	150
9.	molibden	mg/kg s.m.	6,5	10
10	nikiel	mg/kg s.m.	26,9	100
11.	ołów	mg/kg s.m.	59,3	100
12.	rtęć	mg/kg s.m.	<0,05	2
13.	wanad	mg/kg s.m.	58,4	500

Analiza bezpośrednia [3] (cd.)

Tabela 2

parametry dodatkowe				
14.	ogólny węgiel organiczny	% s. m.	21,48	-
15.	BTEX	mg/kg s.m.	<0,020	0,1
16.	PCB (suma)	mg/kg s.m.	<0,010	0,02
17.	olej mineralny	mg/kg s.m.	17,5	50
18.	WWA (suma)	mg/kg s.m.	0,59	1
19.	cyjanki wolne	mg/kg s.m.	<0,125	1
20.	cyjanki związane	mg/kg s.m.	<0,125	5

Uśrednione wyniki badań dla próbek mułu węglowego odwodnionego z pras filtracyjnych przedstawiono w tabelach 1 – 3.

Analiza składu chemicznego próbek mułu odwodnionego wykazała, że ich głównymi składnikami są: węgiel, który stanowi 25,1% wag., krzem (18,76% wag.) oraz glin (8,77% wag.).

Analiza ekstraktu wodnego [3]

Tabela 3

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Muł węglowy z pras filtracyjnych	Najwyższa dopuszczalna wartość (Dz. U. Nr 137, poz. 984, załącznik 3) [mg/l]
parametry podstawowe				
1.	odczyn	pH	7,8	6,5-9
2.	przewodność	μS/cm	283	-
3.	$ChZT_{Cr}$	mg/l	13	125
4.	BZT_5	mg/l	3,7	25
5.	ogólny węgiel organiczny	mg/l	7,64	30
6.	indeks fenolowy	mg/l	0,005	0,1
7.	azot amonowy	mg/l	<0,20	10
8.	azot azotanowy	mg/l	<0,20	30
9.	azot azotynowy	mg/l	<0,020	1
10.	cyjanki wolne	mg/l	<0,005	0,1
11.	chlorki	mg/l	19,9	1000
12.	siarczany (VI)	mg/l	53	500
13.	siarkowodór i siarczki	mg/l	<0,20	0,2
14.	chrom (VI)	mg/l	<0,010	0,1

Analiza ekstraktu wodnego [3] (cd.)

Tabela 3

metale				
15.	arsen	mg/l	<0,0010	0,1
16.	bar	mg/l	0,038	2
17.	chrom ogólny	mg/l	<0,003	0,5
18.	cyna	mg/l	<0,050	2
19.	cynk	mg/l	<0,005	2
20.	kadm	mg/l	<0,0005	0,4
21.	kobalt	mg/l	0,014	1
22.	miedź	mg/l	<0,004	0,5
23.	molibden	mg/l	0,029	1
24.	nikiel	mg/l	<0,004	0,5
25.	ołów	mg/l	<0,010	0,5
26.	rtęć	mg/l	<0,0005	0,06
27.	wanad	mg/l	<0,005	-

2.3. Przygotowanie mułów węglowych

Produkowane na prasach filtracyjnych (rys. 1) muły węglowe posiadają konsystencję ciastowatą o wilgotności (W_{tr}) od 30 do 35% i kaloryczności (Q_{ir}) od 7 do 10 MJ/kg. Głównym założeniem procesu granulacji mułów jest uzyskanie granulatu o ziarnie nie większym niż 20 mm w produkcji ciągłej nie generującej przestojów przy rozładunku pras filtracyjnych, co w przypadku zakładu przeróbki mechanicznej węgla ma zasadnicze znaczenie dla utrzymania ciągłości produkcji węgla.

Uzyskany na prasach filtracyjnych tzw. „placek mułowy" o wymiarach 1 500 x 1 500 x 50 mm podczas rozładunku grawitacyjnie opada na dozownik prasy i rozpada się na kawałki o wymiarach około 400 x 400 x 50 mm (tzw. rumosz mułowy). Z dozownika prasy rumosz mułowy trafia na przenośnik taśmowy rewersyjny (rys. 2), gdzie w celu dodatkowego rozluźnienia struktury zainstalowano pionowe płaskowniki (rys. 3).

Po przejściu przez płaskowniki rumosz mułowy ma wymiary około 300 x 300 x 50 mm. Muł o takich wymiarach jest nadal zbyt słabo rozluźniony aby mógł trafić do granulatora. Z tego też względu na zsuwni z przenośnika taśmowego zainstalowano wstępny rozdrabniacz mułów. Rozdrabniacz ten składa się z płaskowników tnących, umiejscowionych na obracającym się wale (rys. 4). Muł po przejściu przez wstępny rozdrabniacz ma strukturę rozluźnioną o wielkości bryłek ok. 80 x 80 x 50 mm (rys. 5).

Rys.1. Usuwanie placka mułowego z prasy filtracyjnej

Rys.2. Placek mułowy na przenośniku rewersyjnym

Rys.3. System pionowych płaskowników

Rys.4. Rozdrabniacz

Rys. 5. Muł węglowy po przejściu przez wstępny rozdrabniacz

Tak przygotowany wstępnie muł węglowy trafia na przenośnik taśmowy, którym transportowany jest do granulatora. Zabudowana na przenośniku waga taśmowa pozwala na odmierzanie ilości (masy) mułu transportowanego do granulatora oraz przekazanie sygnału do podajnika celkowego, w celu dozowania odpowiedniej ilości spoiwa, które ma znaczący wpływ na przygotowanie mieszaniny do procesu aglomeracji. Podajnik celkowy wyposażony jest w przemiennik częstotliwości (falownik), którego zadaniem jest dobór prędkości podawania spoiwa w zależności od ilości mułów trafiających do granulatora.

2.4. Dozowanie spoiwa

Ilość dodawanego do mułów spoiwa jest dozowana poprzez automatyczny układ sterowania i uzależniona jest od wilgotności „placków mułowych", trafiających do procesu aglomeracji. Stosunek spoiwa do mułu powinien się mieścić w przedziale 1 – 5% ilości mułu. Spoiwem do procesu aglomeracji jest wapno palone lub inne podobne aktywne materiały (popiół fluidalny lotny, żużle fluidalne, wapno hydratyzowane, inne spoiwa zawierające aktywne związki wapnia) [4].

- Dodatek wapna palonego do mułu węglowego z pras filtracyjnych oddziaływuje wielorako:
- w pierwszej kolejności dochodzi do reakcji tworzenia wodorotlenku wapnia, co praktycznie oznacza odwodnienie mułu i adhezyjne wiązanie ziaren:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

– nastepnie zachodzi reakcja karbonizacji, prowadząca do utwardzenia struktury aglomeratu:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

– natomiast w procesie spalania aglomeratu, zawarte związki wapnia reagują ze związkami siarki i zmniejszają emisję SO2 do atmosfery, w wyniku zachodzących reakcji:

$$CaCO_3 + SO_2 \rightarrow CaSO_3 + CO_2$$

$$2CaSO_3 + O_2 \rightarrow CaSO_4$$

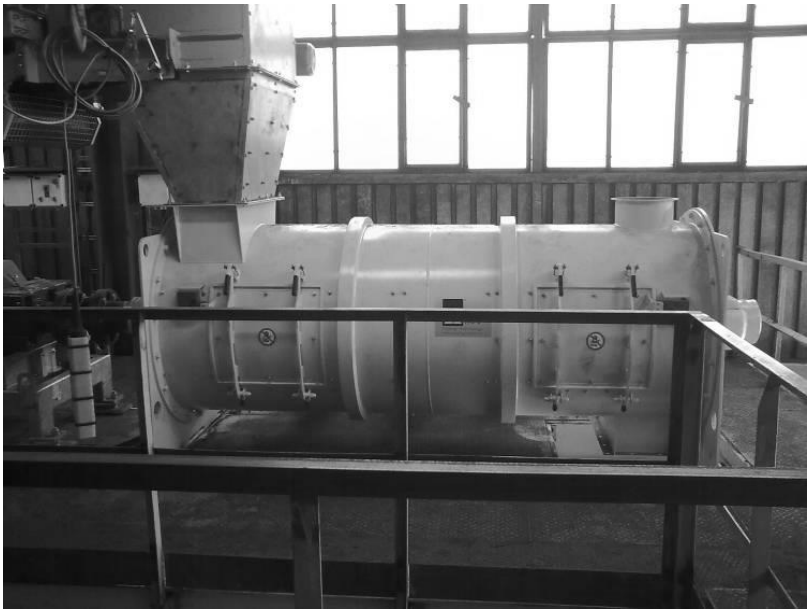
Spoiwo do procesu granulacji przywożone jest w autocysternach i rozładowywane do silosu o pojemności 30 m^3. Napełnianie silosu odbywa się za pomocą instalacji rurowej z autocysterny, metodą pneumatyczną. Z silosu spoiwo podawane jest przez podajnik ślimakowy o średnicy Ø 133 mm, który transportuje spoiwo do zbiornika wyrównawczego o pojemności 0,5 m^3 zainstalowanego nad przenośnikiem taśmowym. Zbiornik wyrównawczy wyposażony jest w sondy poziomu maksymalnego i minimalnego, w celu przekazania sygnału o włączeniu podajnika ślimakowego w przypadku, gdy zostanie osiągnięty minimalny poziom spoiwa w zbiorniku lub wyłączeniu podajnika ślimakowego w przypadku zapełnienia zbiornika wyrównawczego spoiwem. Zbiornik wyrównawczy ma za zadanie zapewnić całkowite wypełnienie spoiwem podajnika celkowego przez cały czas produkcji. Tylko wypełniony podajnik celkowy będzie dozował odpowiednie ilości spoiwa na wstępnie przygotowany muł węglowy. Rozdrobniony rumosz mułowy, obsypany odpowiednią ilością spoiwa trafia do granulatora.

2.5. Aglomeracja mułów

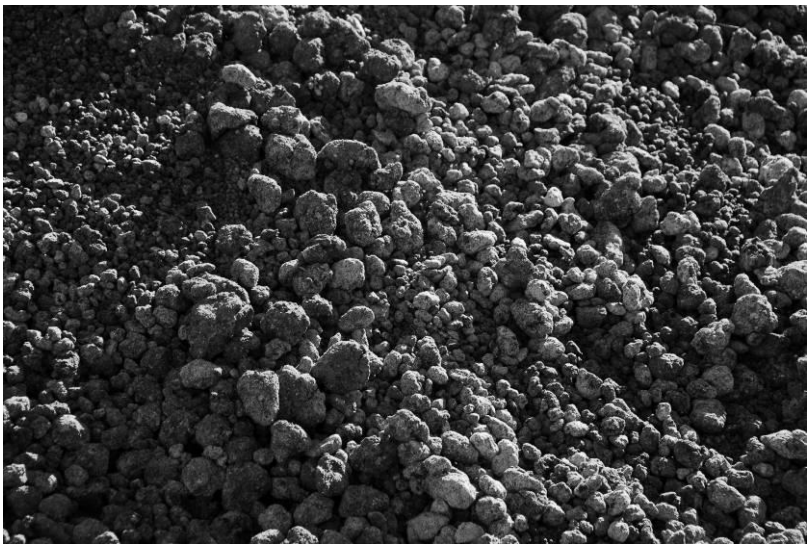
Granulator wyposażony jest w łopaty w kształcie pługa, umiejscowione na wale biegnącym w osi granulatora. Łopaty mają za zadanie posunąć i wstępnie przemieszać obsypany spoiwem muł. Dodatkowo u dołu granulatora zainstalowane są na niezależnych napędach miksery rozdrabniające strukturę mułu, powodujące powstawanie granulatu (rys. 6).

Czas mieszania uzależniony jest od regulacji wysokości wysypu gotowego produktu z granulatora. Im niżej dna granulatora ustawimy blachę wysypową tym czas granulowania jest krótszy. Ułożenie blachy w poziomie wyższym, zmniejszającym szczelinę wysypową, powoduje dłuższy czas pozostawienia aglomeratu w granulatorze, co wiąże się z dokładnością mieszania, lecz również ze zmniejszeniem wydajności.

Proces granulowania (aglomeracji) prowadzony jest w systemie produkcji ciągłej nie powodując przestojów przy rozładunku pras filtracyjnych. Wydajność granulatora wynosi do 80 Mg/h i może być regulowana wysypem. Po przejściu przez granulator muł ma formę sypkiego, aglomeratu o rozluźnionej półsuchej strukturze, o wielkości granul nie przekraczającej 20 mm (rys. 7).



Rys.6. Granulator



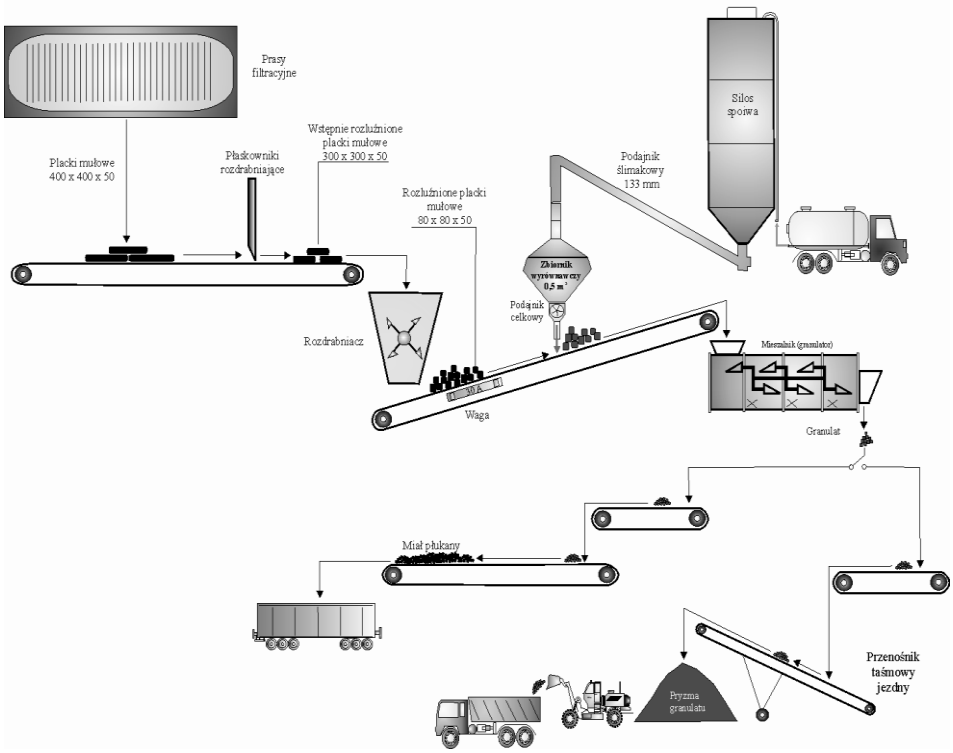
Rys.7. Granulat z mułów węglowych z pras filtracyjnych

2.6. Transport granulatu

Powstający w wyniku granulowania mułu aglomerat, z granulatora trafia – poprzez zsuwnie rozdzielczą sterowaną napędem AUMA - na przenośniki taśmowe, w celu zmieszania go w odpowiednich proporcjach z produkowanym miałem płukanym. Proces wymieszania wyprodukowanego granulatu z miałem

płukanym odbywa się na przesypach przenośników taśmowych. Granulat na przenośnikach tych łączy się z miałem płukanym, stanowiąc jednorodną mieszaninę. Tak przygotowana mieszanina trafia do załadunku na wagony lub na plac magazynowy o pojemności 3000 Mg, skąd za pomocą ładowarki ładowana jest na samochody.

Schemat instalacji do ciągłej produkcji granulatów na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych przedstawiono na rysunku 8.



Rys.8. Schemat instalacji do ciągłej produkcji granulatów na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych

2.7. Parametry techniczne granulatu

Wytworzony z mułów węglowych z pras filtracyjnych produkt handlowy w postaci aglomeratu cechuje się następującymi parametrami [6, 7]:

- sypka, rozluźniona, półsucha struktura,
- wilgotność W_{tr} = 17 - 25 [%],
- wielkość granul max. do 20 mm,
- wartość opałowa produktu Q_{ir} = 8 -11 [MJ/kg],
- zawartość siarki S_{tr} = 0,7 - 1,0 [%],

- zawartość popiołu A_r = 35 - 40 [%],
- odporność na działanie czynników atmosferycznych,
- łatwość mieszania z miałami węglowymi w celu otrzymania mieszanki energetycznej,
- łatwość transportu i magazynowania.

2.8. Ocena ekologiczna granulatu

Otrzymany według prezentowanej technologii aglomerat jest produktem w pełni ekologicznym. Świadczą o tym, zaprezentowane w tabelach 4-6, wyniki przeprowadzonych analiz chemicznych (analiza tlenkowa, analiza bezpośrednia i analiza ekstraktu wodnego).

Analiza składu chemicznego (analiza tlenkowa) [3]

Tabela 4

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Aglomerat	Zawartość pierwiastka
1.	SiO_2	% wag.	24,54	11,45
2.	Al_2O_3	% wag.	11,53	6,10
3.	TiO_2	% wag.	0,44	0,28
4.	Fe_2O_3	% wag.	2,59	2,67
5.	CaO	% wag.	3,74	0,54
6.	MgO	% wag.	0,90	1,08
7.	K_2O	% wag.	1,30	0,07
8.	Na_2O	% wag.	0,09	0,04
9.	P_2O_5	% wag.	0,09	11,45
10.	S_c	% s.m.	0,66	-
11.	C	% s.m.	40,1	-
12.	SO_3	% s.m.	2,60	-
13.	wilgotność W_{tr}	%	25	-
14.	wartość opałowa Q_{ir}	MJ/kg	8,1	-
15.	zawartość popiołu A_r	%	38	-

Analiza bezpośrednia nie wykazała żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnych stężeń w zakresie metali i badanych parametrów dodatkowych.

Również, analiza ekstraktu wodnego w zakresie parametrów podstawowych i metali nie wykazała żadnych przekroczeń najwyższych dopuszczalnych wartości substancji zanieczyszczających środowisko wodne.

Analiza bezpośrednia [3]

Tabela 5

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Aglomerat	Wartości dopuszczalnych stężeń w glebie i ziemi – obszar B (Dz. U. Nr 165, poz. 1359)
metale				
1.	arsen	mg/kg s.m.	2,93	20
2.	bar	mg/kg s.m.	189	200
3.	chrom	mg/kg s.m.	48,6	150
4.	cyna	mg/kg s.m.	<5,00	20
5.	cynk	mg/kg s.m.	104	300
6.	kadm	mg/kg s.m.	<0,050	4
7.	kobalt	mg/kg s.m.	7,75	20
8.	miedź	mg/kg s.m.	31,3	150
9.	molibden	mg/kg s.m.	9,4	10
10	nikiel	mg/kg s.m.	25,5	100
11.	ołów	mg/kg s.m.	11,9	100
12.	rtęć	mg/kg s.m.	<0,05	2
13.	wanad	mg/kg s.m.	64,8	500
parametry dodatkowe				
14.	ogólny węgiel organiczny	% s. m.	31,51	-
15.	BTEX	mg/kg s.m.	<0,020	0,1
16.	PCB (suma)	mg/kg s.m.	<0,010	0,02
17.	olej mineralny	mg/kg s.m.	10,5	50
18.	WWA (suma)	mg/kg s.m.	0,80	1
19.	cyjanki wolne	mg/kg s.m.	0,310	1
20.	cyjanki związane	mg/kg s.m.	<0,125	5

Reasumując należy stwierdzić, że prezentowana technologia ciągłej produkcji granulatu (aglomeratu) na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania, nie powoduje pogorszenia stanu środowiska w miejscu jej przyszłego wdrożenia. Dodatkowo należy podkreślić, że proces produkcji aglomeratu zgodnie z opracowaną technologią nie będzie źródłem wtórnych odpadów.

Analiza ekstraktu wodnego [3]

Tabela 6

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Aglomerat	Najwyższa dopuszczalna wartość (Dz. U. Nr 137, poz. 984, załącznik 3) [mg/l]
parametry podstawowe				
1.	odczyn	pH	8	6,5-9
2.	przewodność	μS/cm	645	-
3.	$ChZT_{Cr}$	mg/l	18	125
4.	BZT_5	mg/l	2,3	25
5.	ogólny węgiel organiczny	mg/l	8,29	30
6.	indeks fenolowy	mg/l	<0,005	0,1
7.	azot amonowy	mg/l	<0,20	10
8.	azot azotanowy	mg/l	<0,20	30
9.	azot azotynowy	mg/l	<0,020	1
10.	cyjanki wolne	mg/l	<0,005	0,1
11.	chlorki	mg/l	19,5	1000
12.	siarczany (VI)	mg/l	220	500
13.	siarkowodór i siarczki	mg/l	0,28	0,2
14.	chrom (VI)	mg/l	<0,010	0,1
metale				
15.	arsen	mg/l	<0,0010	0,1
16.	bar	mg/l	0,038	2
17.	chrom ogólny	mg/l	<0,003	0,5
18.	cyna	mg/l	<0,050	2
19.	cynk	mg/l	<0,005	2
20.	kadm	mg/l	<0,0005	0,4
21.	kobalt	mg/l	0,014	1
22.	miedź	mg/l	<0,004	0,5
23.	molibden	mg/l	0,029	1
24.	nikiel	mg/l	<0,004	0,5
25.	ołów	mg/l	<0,010	0,5
26.	rtęć	mg/l	<0,0005	0,06
27.	wanad	mg/l	<0,005	-

3. Porównanie poziomu naukowo-technicznego technologii z podobnymi rozwiązaniami krajowymi i zagranicznymi

Prace badawczo-rozwojowe nad gospodarczym wykorzystaniem mułów węglowych realizowane są głównie w krajach, posiadających rozwinięty przemysł wydobywczy węgla kamiennego. Dotyczy to głównie Stanów Zjednoczonych, Chin, Australii, Rosji, Ukrainy i Republiki Południowej Afryki oraz Polski.

Wieloletnie i zróżnicowane badania drobnoziarnistych frakcji węglowych (mułów węglowych) wykazały duże możliwości ich pełnego wykorzystania energetycznego i surowcowego, a w szczególności, jako do:

- produkcji mieszanek węglowych i paliw energetycznych,
- produkcji koncentratów węglowych,
- produkcji paliw specjalnych (suspensje węglowo-wodne, brykiety),
- samodzielne paliwo energetyczne i technologiczne dla określonych procesów,
- paliwo do regulowania procesów spalania w palenisku (zmniejszania lub podwyższania kaloryczności, względnie emisyjności paliw podstawowych),
- zabezpieczania przed samozagrzewem, zawilgoceniem i pyleniem zwałowisk węgla,
- uszczelniania gruntów i górotworów,
- melioracji gleb lekkich,
- źródła związków żelaza,
- źródła reduktorów do odzysku miedzi z odpadów hutniczych.

Pomimo znajomości tak wielu możliwości gospodarczego wykorzystania, w dalszym ciągu znaczna ilość mułów węglowych z przyczyn ekonomicznych jest deponowana w środowisku.

Studia zagranicznych wyników badań i wdrożeń jednoznacznie wykazują, że stosowane technologie ukierunkowane są głównie na przeróbkę i gospodarcze wykorzystanie zdeponowanych już w osadnikach ziemnych mułów węglowych.

Jak wynika z powyższych informacji, zaproponowanie ekologicznie i ekonomicznie efektywnego sposobu ciągłej produkcji granulatu na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania jest rozwiązaniem nowatorskim.

4. Innowacyjność i efektywność technologii

Sposób ciągłej produkcji granulatu (aglomeratu) na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania jest innowacyjnym rozwiązaniem.

Innowacyjność technologii polega na [6]:

- produkcji granulatu w systemie gwarantującym ciągłość pracy zakładów przeróbki mechanicznej węgla,
- możliwości aplikacji rozwiązania technologicznego jako elementu ciągu technologicznego zakładu przeróbki mechanicznej węgla,
- eliminacji konieczności tymczasowego gromadzenia mułów węglowych w osadnikach ziemnych,
- bezodpadowym zagospodarowaniu uciążliwych dla środowiska drobnoziarnistych odpadów wydobywczych (mułów węglowych),
- ograniczeniu negatywnego oddziaływania mułów węglowych na środowisko,
- wytworzeniu nowego w pełni ekologicznego produktu (granulatu):
  - mającego zastosowanie jako składnik mieszanki energetycznej,
  - o dobrych właściwościach mieszalnych, transportowych i magazynowych,
  - umożliwiającego, z uwagi na zawartość sorbentu, częściowe odsiarczanie spalin podczas procesu spalania,
- wykorzystaniu w procesie produkcyjnym innowacyjnych prototypów urządzeń.

Produkcja granulatu (aglomeratu) na bazie mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania umożliwia osiągnięcie wymiernych efektów ekonomicznych związanych z:

- eliminacją kosztów deponowania mułów węglowych w środowisku,
- eliminacją kosztów związanych z koniecznością transportu wytworzonych mułów do istniejących poza zakładami wzbogacania instalacji mieszająco-granulujących,
- substytucją nieodnawialnych surowców naturalnych głównie węgli energetycznych.

Dodatkowo, technologia gwarantuje ciągłość pracy zakładów przeróbki mechanicznej węgla.

5. Stan zaawansowania prac wdrożeniowych

Prezentowana technologia została w skali przemysłowej wdrożona w Południowym Koncernie Węglowym S.A. w Jaworznie. Dla potwierdzenia słuszności przyjętych założeń technologicznych przeprowadzono próby przemysłowe produkcji ciągłej granulatu (aglomeratu) z mułów węglowych z pras filtracyjnych na terenie Zakładu Górniczego „Sobieski" w Jaworznie, wchodzącego w skład Południowego Koncernu Węglowego S.A. Wyniki prób przemysłowych potwierdziły przyjęte założenia technologiczne.

Obecnie trwają prace nad wykorzystaniem w procesie aglomeracji jako spoiwa różnego typu odpadów zawierających aktywne związki wapnia takich jak: popioły lotne fluidalne, popioły denne z paleniska fluidalnego, żużle fluidalne oraz wapno hydratyzowane.

Prezentowana technologia produkcji ciągłej granulatu (aglomeratu) z mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania podlega ochronie własności intelektualnej w Urzędzie Patentowym Rzeczpospolitej Polskiej – Zgłoszenie patentowe Nr P 396624 pn. „Sposób otrzymywania granulatu opałowego z wykorzystaniem odpadów powydobywczych" [5].

Technologia ta była również prezentowana na wielu krajowych i międzynarodowych targach, na których zdobyła:

- złoty medal na 60 Światowej Wystawie Innowacji, Badań i Nowych Technologii INNOVA'2011 – Bruksela, listopad 2011 r.
- nagrodę Rumuńskiego Ministerstwa Edukacji, Nauki i Sportu przyznaną na 60. Światowej Wystawie Innowacji, Badań i Nowych Technologii INNOVA'2011 – Bruksela, listopad 2011 r.

6. Podsumowanie

Reasumując przedstawione w niniejszym rozdziale informacje, należy stwierdzić, że zaprezentowana nowa technologia rozdrabniania, uszlachetniania i granulowania w sposób ciągły mułów węglowych z pras filtracyjnych bezpośrednio w miejscu ich powstawania, w celu uzyskania użytecznego produktu handlowego lub półproduktu do produkcji mieszanek energetycznych, wychodzi naprzeciw wymaganiom ochrony środowiska oraz oczekiwaniom wytwórców tych odpadów i producentów energii elektrycznej i cieplnej.

Z punktu widzenia wytwórców tego typu odpadów fundamentalne znaczenie ma prowadzenie produkcji granulatu w sposób ciągły, nie powodujący przestojów przy rozładunku pras filtracyjnych, co gwarantujące utrzymanie ciągłości produkcji węgla.

Natomiast z punktu widzenia odbiorców wytwarzanego produktu zasadnicze znaczenie ma jego sypka, rozluźniona struktura, parametry energetyczne, łatwość mieszania, transportu i magazynowania oraz odporność na działanie czynników atmosferycznych.

Literatura

1. „Ochrona Środowiska 2010, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2010.
2. Dokumentacja technologiczna produkcji granulatów na bazie mułów węglowych w Zakładzie Górniczym „Sobieski" w Jaworznie, Grupa TAURON, Południowy Koncern Węglowy S.A., Jaworzno 2011.

3. Baic I. i in.: Analiza dokumentacji i wykonanie badań niezbędnych do opracowania programu gospodarowania odpadami wydobywczymi (PGOW) dla PKW S.A. w Jaworznie – zakład Górniczy „Sobieski" IMBiGS, Katowice 2011.
4. Hycnar J., Fraś A., Przystaś R., Józefiak T., Baic I.: Zastosowanie popiołów fluidalnych do granulowania mułów węglowych, Popiołu z energetyki, Praca zbiorowa pod redakcją Tomasza Szczygielskiego, Polska Unia Ubocznych Produktów Spalania, Zakopane 2011.
5. Zgłoszenie patentowe Nr P 396624 pn. „Sposób otrzymywania granulatu opałowego z wykorzystaniem odpadów powydobywczych", Warszawa 2011.
6. Materiał informacyjny na 60 Światową Wystawę Innowacji, Badań i Nowych Technologii INNOVA'2011, IMBiGS, Katowice 2011.
7. Wróbel J., Fraś A., Przystaś R.: Wykorzystanie odpadów z przeróbki mechanicznej do produkcji kruszyw i granulatów mułowych w Południowym Koncernie Węglowym S.A., PKW S.A., Bogdanka 2011.

Doświadczenia z użytkowania „instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie <25µm" w KWK „Jas-Mos"

Jan Kot - KWK „Jas-Mos"

1. Wstęp

W roku 2009 minęło 40 lat pracy Zakładu Przeróbczego kopalni „Jastrzębie" obecnie „Jas-Mos" należącej do Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.

Zakład Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK „Jas-Mos" jest zakładem dwusystemowym, charakteryzującym się pełną technologią wzbogacania węgla oraz kompleksowym prowadzeniem wszystkich operacji przeróbczych, którym poddawana jest całość wydobywanego urobku. Ruch zakładu przeróbczego prowadzony jest jednym systemem, zaś drugi system jest w tym czasie kompleksowo remontowany.

W zależności od wielkości klasy ziarnowej wzbogacanie prowadzi się w trzech sekcjach produkcyjnych:

- wzbogacanie w płuczce zawiesinowej - dla klasy ziarnowej powyżej 20 mm,
- wzbogacanie w płuczce osadzarkowej - dla klasy ziarnowej 20-0,5 mm,
- wzbogacanie flotacyjne - dla klasy ziarnowej poniżej 0,5 mm.

Zakład posiada zamknięty obieg wodno-mułowy oraz wydzieloną gospodarkę odpadami poflotacyjnymi.

Wydajność Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla kształtuje się na poziomie 13 200 t/d brutto (dla 16 godzin pracy na dobę).

Wydajności poszczególnych węzłów technologicznych ZPMW wynoszą:

- stacja przygotowania węgla: 1 600 t/h,
- klasyfikacja wstępna: 900 t/h,
- płuczka zawiesinowa: 325 t/h,
- płuczka osadzarkowa: 475 t/h,
- flotacja: 140 t/h,
- załadownia: 1 200 t/h.

Kopalnia „Jas-Mos" jest producentem węgla ortokoksowego typu 35.2B eksploatując obecnie pokłady 505 i 510.

2. Modernizacje węzłów wzbogacania i odwadniania drobnych ziaren

Zakład Przeróbczy przechodził liczne modernizacje mające wpływ tak na zwiększenie wydajności, poprawę warunków pracy, jak w głównej mierze na poprawę jakości produktów wyjściowych.

Jedną z głównych zmian technologicznych była wykonana w latach 1997-1998 przebudowa ciągu odwadniania drobnych ziaren. W miejsce filtrów tarczowych FTPO 144 i FTPO 180 zabudowano 4 sztuki wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych typu Sb 6400 firmy BIRD. Zastosowanie wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych pozwoliło na wyłączenie procesu termicznego suszenia, co ograniczyło koszty wzbogacania oraz wyeliminowało emisję gazowo-pyłową do atmosfery.

Odwadnianie flotokoncentratu po procesie flotacji w wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych typu BIRD prowadzone jest jednostopniowo, a następnie odwodniony produkt łączony jest z koncentratem popłuczkowym.

Rys.1. Widok wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych Sb 6400 [4]

Kolejną istotną zmianą w technologii wzbogacania najdrobniejszych ziaren była wymiana części flotowników komorowych typu IZ-5 na flotowniki wielkogabarytowe typu IF-30W i IF-100 o pojemności cylindrycznej komory odpowiednio 30 m^3 i 100 m^3 produkowane przez IMN Gliwice oraz firmę INNOVATOR.

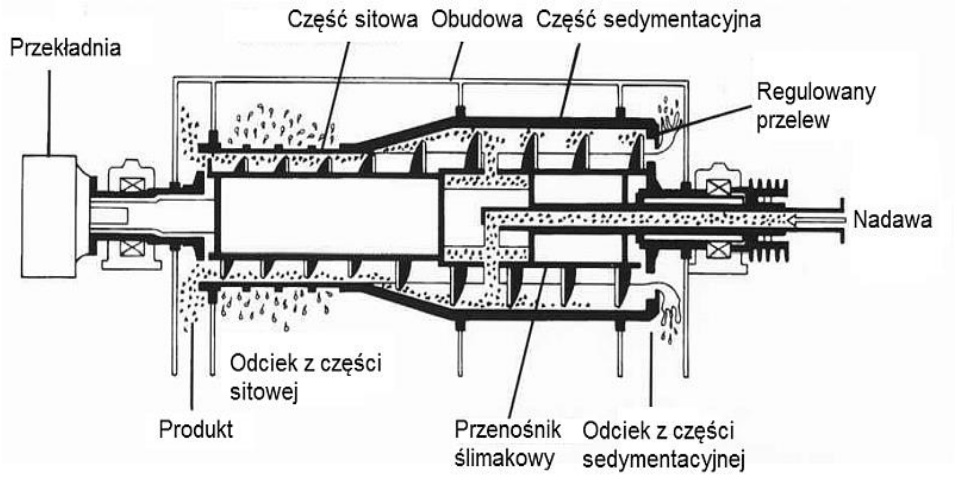
Technologia odwadniania flotokoncentratu w wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych przynosząc ww. korzyści przyniosła jednak produkt uboczny jakim są ziarna węglowe o wielkości <25 μm wydzielone w części sedymentacyjnej wirówki tzw. odciek z części sedymentacyjnej o parametrach węgla

koksującego, lecz zakłócający obieg wodno-mułowy ZPMW, trudny w procesie zagęszczania i trudny do odzyskania.

Rys.2. Widok maszyn flotacyjnych IZ-5 [4]

Rys.3. Widok maszyny flotacyjnej IF-100 [4]

Z tego względu ten produkt uboczny był lokowany wraz z odpadami flotacyjnymi na dole kopalni jako komponent mieszaniny doszczelniającej wykorzystywanej do profilaktyki przeciwpożarowej i uszczelnienia zrobów.



Rys.4. Przekrój poprzeczny wirówki sedymentacyjno-filtracyjnej [1]

3. Budowa instalacji

Pierwsze próby z odwadnianiem odcieku zostały przeprowadzone na Zakładzie Przeróbczym KWK „Jas-Mos" w 2005 r. z wykorzystaniem prasy filtracyjnej taśmowej. Efekty pracy nie były zadawalające, tak ze względów uzyskiwanej wilgoci produktu, jak i wielkości zużycia flokulanta. Prowadzono jednak w dalszym ciągu próby w oparciu o mobilne prasy komorowe.

W 2009 roku podjęto decyzję o odwadnianiu sedymentu w oparciu o prasę komorowo-membranową. W 2010 r. rozpoczęto procedury przetargowe na „budowę instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie poniżej 25 μm.

Ostatecznie 17.02.2011 r. rozpoczęto roboty ziemne przy budowie budynku instalacji zlokalizowanego w rejonie zagęszczacza promieniowego Dorra nr 455.

W budynku jednokondygnacyjnym o wymiarach 18,72 m x 11,72 m i kubaturze 2167 m^3 zabudowano następujące główne urządzenia:

a) Prasę komorowo-membranową GHT 1500 x 4 wraz z myjką ciśnieniową włoskiej firmy DIEMME.
b) Sprężarkę śrubową SSRM 200/250 firmy INGERSOLL RAND.
c) Pompę myjki HP-K-25-56 firmy ABEL.
d) Sprężarkę tłokową ADP 360/4 firmy Airpol.
e) Zbiorniki ciśnieniowe KP 4000 x 25 firmy Komnino.
f) Przenośniki taśmowe B-1200 – 2 szt.

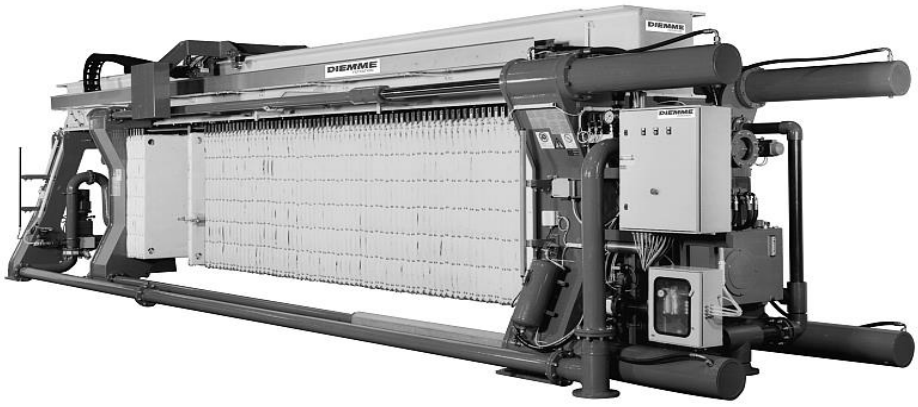
Budynek posiada własny układ wentylacji, ogrzewania i klimatyzacji zabudowany na dachu budynku.

Sumaryczna zainstalowana moc urządzeń elektrycznych wynosi 713 kW.

Rys.5.Widok budynku instalacji z zagęszczacza promieniowego Dorra 455 [4]

Inwestycję w całości realizowaną przez firmę ZARMEN zakończono 28. 10. 2011 r. uzyskując założone w umowie parametry tj:

- wydajność 8 t/h masy suchej – bez wilgoci przemijającej W_{ex},
- wilgoć przemijającą produktu odwodnionego W_{ex} max 28%,
- odzysk części stałych min.98 %.



Rys.6.Prasa komorowo-membranowa GHT 1500 x 4 [1]

Od listopada 2011 r. instalacja odwadniania drobnych ziaren eksploatowana jest w ruchu ciągłym przez ZPMW KWK „Jas-Mos”. Ciągła kontrola poz-

woliła zoptymalizować pracę jej poszczególnych urządzeń, zwłaszcza prasy komorowo-membranowej typu GTH 1500 x 4.

Instalacja odwadniania drobnych ziaren została zbudowana jako zespół urządzeń pracujących w cyklu automatycznym i ręcznym. Główne urządzenie instalacji – prasa GHT 1500 posiada 4-punktowy docisk płyt zawieszonych na górnej centralnej belce.

Zasilanie prasy nadawą jest dwustronne.

Prasa wyposażona jest oprócz głowicy stałej i ruchomej w 41 płyt komorowych i 40 płyt membranowych o wymiarach 1500x 1500 mm.

Powierzchnia filtracji prasy wynosi 300 m^2 przy objętości komór około 4,5 m^3 i głębokości komór 45 mm.

Układ sterowania instalacją oparty jest na sterowniku PLC, kontroluje wszystkie automatyczne fazy pracy urządzeń.

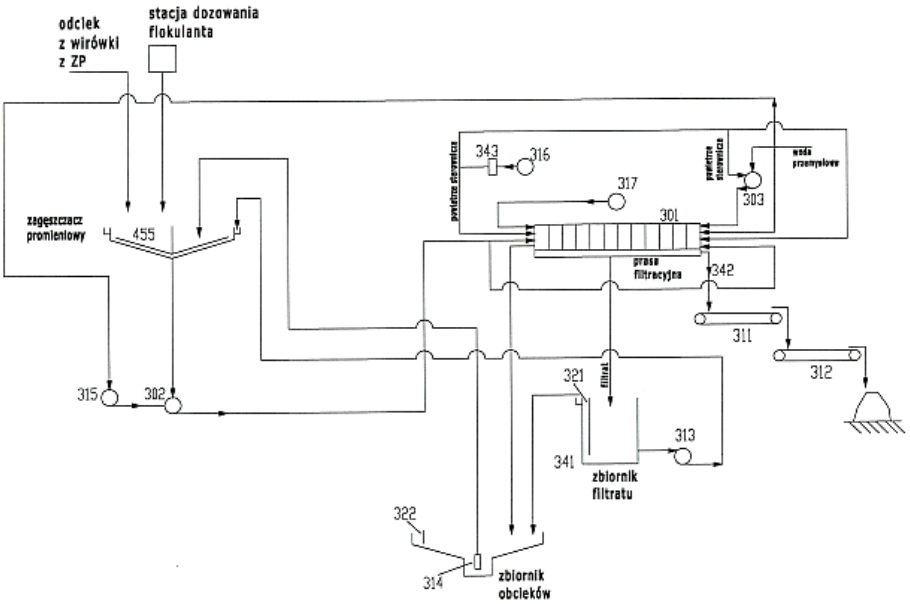
4. Wyniki pracy instalacji

W istniejącym dotychczas układzie technologicznym ZPMW przeprowadzono następujące zmiany:

- Rozdzielono odciek z części sedymentacyjnej od odpadów flotacyjnych. W celu zagęszczania odpady skierowano do zagęszczacza promieniowego Dorra 444, natomiast odciek do zagęszczacza promieniowego Dorra 455.
- Uruchomiono kontrolowane dozowania flokulanta do Dorra 455 w ilości ściśle zależnej od sumarycznego przepływu nadawy skierowanej do odwadniania na wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych, uzyskując optimum przy ok. 95 g/1 t odcieku z części sedymentacyjnej tzn. odpowiednie zagęszczenie wylewu i czysty przelew z Dorra.
- Zagęszczony wylew spod Dorra 455 stanowi nadawę na prasę filtracyjną.
- Wylew spod Dorra 444 jako zagęszczone odpady flotacyjne stanowi komponent mieszaniny doszczelniającej.

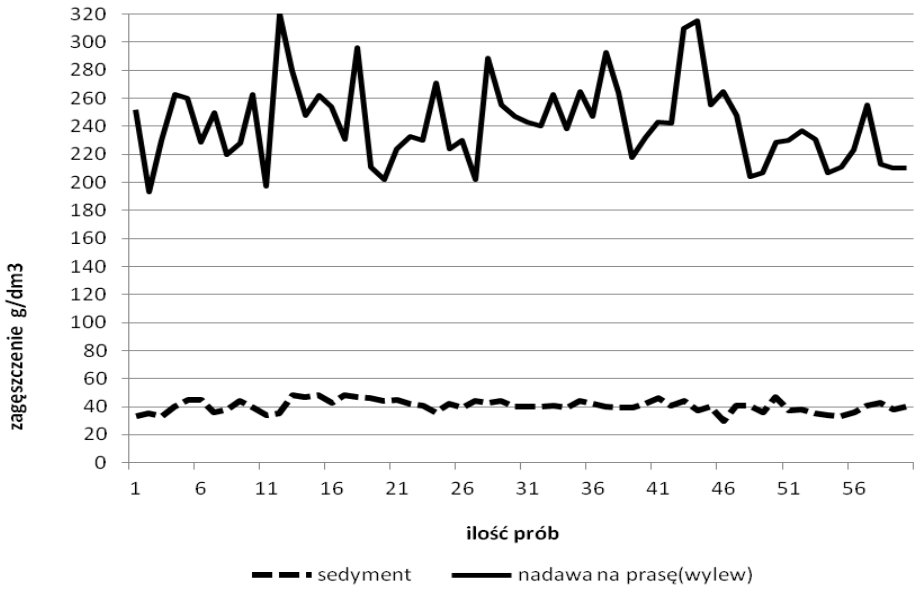
W wyniku włączenia instalacji odwadniania drobnych ziaren do ciągu technologicznego ZPMW uzyskano następujące korzyści:

- zwiększono produkcję węgla koksującego o ok. 150 t/dobę,
- zmniejszono o ok. 50% ilość wytwarzanej w oparciu o odpady flotacyjne i odciek mieszaniny doszczelniającej służącej do profilaktyki ppoż. i doszczelniania zrobów na dole kopalni,
- zwiększono ilość lokowanych na dole kopalni popiołów lotnych służących do profilaktyki ppoż. i doszczelniania zrobów.



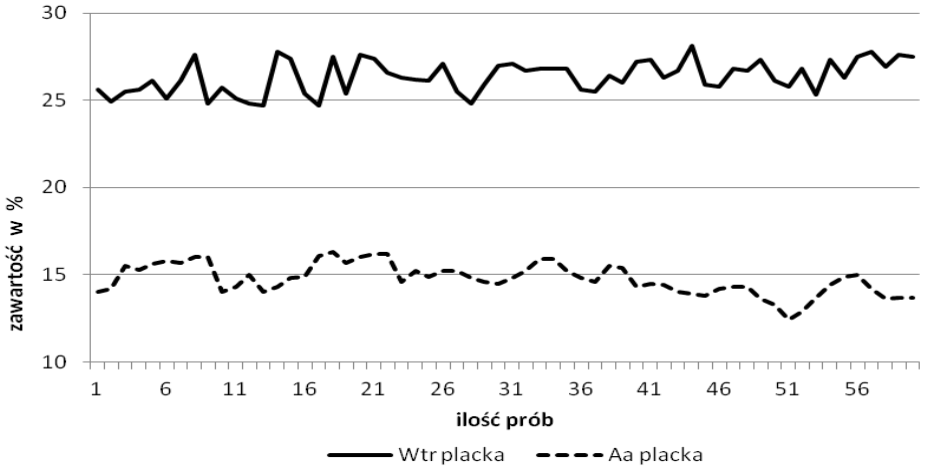
Rys.7. Schemat technologiczny instalacji odwadniania drobnych ziaren [3]

Odciek pochodzący z wirówek sedymentacyjno-filtracyjnych charakteryzuje się średnim zagęszczeniem ok. 40 g/dm^3 przy zapopieleniu A^a śr.14,7%. Kierowany jest do zagęszczacza promieniowego Dorra nr 455, gdzie zagęszczany jest średnio do 242 g/dm^3.



Rys.8. Zmiany zagęszczenia odcieku : z wirówek i zagęszczonego w Dorze 455 [7]

Z poddanego odwadnianiu w prasie komorowo-membranowej materiału uzyskujemy placki filtracyjne o wilgoci całkowitej W_t^r średnio 26,4% i zapopieleniu A^a = 14,7%.



Rys.9. Zmiany zawartości wilgoci W_t^r i popiołu A^a w placku filtracyjnym [5, 6]

Ruch ciągły instalacji odwadniania pozwolił na ustawienie pracy instalacji na parametrach optymalizujących wydajność i ograniczającym koszty produkcji.

Przyjęto następujące nastawy i czasokresy pracy w cyklu odwadniania:

1. ciśnienie tłoczenia nadawy na prasę – 6 bar (wzrost ciśnienia wpływa na zużycie pompy nie zwiększając znacznie ilości materiału odwadnianego w jednym cyklu),
2. czas przedmuchu kolektora nadawy - 1,8 minuty,
3. czas dosuszania placka - 8 minut (wydłużenie czasu pracy sprężarki w niewielkim stopniu obniża wilgoć produktu a zwiększa zużycie energii – moc sprężarki 280 kW),
4. okres mycia tkanin filtracyjnych prasy, co 12-15 cykli gdyż zabrudzona tkanina filtracyjna:
   - wydłuża czas trwania cyklu,
   - zwiększa zawartość wilgoci w placku filtracyjnym,
   - wpływa niekorzystnie na ustawienie głowicy ruchomej.

Ustawienia pracy instalacji pozwalają osiągnąć przy parametrach przedstawionych powyżej wydajność 8,8 - 9,2 t/h w przeliczeniu na masę suchą tj. 11,9 - 12,5 t/h przy wilgoci W_t^r = 26,4%

Odwadnianie odcieku z części sedymentacyjnej w nowo wybudowanej instalacji generuje jednak koszty.

Zestawienie kosztów w przeliczeniu na 1 tonę produktu odwodnionego w powietrzno-suchym [4]

Tabela 1

Wyszczególnienie	Koszt netto zł/t
Obsługa (3 x 1 osoba/zmianę + 1 os. zm A)	8,60
Energia elektryczna bezpośrednio związana z odwadnianiem odcieku	4,35
Energia elektryczna – wartość zmienna - pozostałe urządzenia - ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja	5,32
Flokulant Magnafloc 336/1011	1,22
Koszt transportu samochodowego /samochód 25 t + ładowarka/	2,80
Koszt zwałowania	1,53
Amortyzacja	19,23
Koszt części zamiennych nieobjętych gwarancją	4,30
Koszt usług remontowych oddziałów własnych	2,95
Razem	50,30

5. Wnioski

1. Ilość produkowanego odcieku waha się w granicach 8 - 10% nadawy na wirówki sedymentacyjno-filtracyjne i jest zależna min. od obciążenia danej wirówki, nastawionej wielkości otworów przelewowych, jak i jej stanu technicznego.
2. Przy zakładanej produkcji netto kopalni na poziomie 7000 t/d odzysk drobnych ziaren węglowych pozwoli zwiększyć produkcję do ok. 7150 t/d, co daje wzrost o ok. 38 000 t rocznie.
3. Stopa zyskowności tej inwestycji oceniana była na poziomie 3,04 przy założeniach okresu zwrotu nakładów w okresie 12 miesięcy przy cenie zbytu węgla na poziomie 175 zł/t i całkowitym czasie trwania zadania wynoszącym 84 miesiące.
4. Stopa zyskowności tej inwestycji wyliczona w oparciu o realne parametry wynosi powyżej 20 przy czasie trwania zadania wynoszącym 72 miesiące i cenie zbytu przekraczającej 790 zł/t.
5. Realizacja przedstawionej inwestycji spełniła oczekiwania inwestora, tak w kwestii odzysku najdrobniejszych ziaren węgla, jak i korzyści finansowych związanych z ich sprzedażą.

Literatura

1. Materiały z XVIII konferencji SITG -40 lat ZPMW KWK "Jas-Mos"-Wisła - maj 2010 r.: Myszkowski P. PRO-INDUSTRY Sp. z o.o. Sp.k. Najnowsze rozwiązania stosowane w konstrukcji wirówek odwadniających flotokoncentrat i ich wpływ na osiągane parametry technologiczne; DIEMME Filtration: Prezentacja prasy komorowo-membranowej GTH 150.
2. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa: Instrukcja działania i konserwacji prasy filtracyjnej z belką GHT 4x4 – GHT 1500 firmy Diemme.
3. Dokumentacja projektowa instalacji.
4. Materiały własne.
5. PN-G-04511:1980 – Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości wilgoci.
6. PN-G-04512:1980 – Paliwa stałe – Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową.
7. PN-G-04557:1992 – Zawiesiny wodno-mułowe – Oznaczanie zawartości części stałych metodą filtracyjną.

Automatyzacja systemu sterowania gospodarki wodno-mułowej w ZG Sobieski

Mirosław Cholewa, Artur Dubiel - ZG Sobieski PKW SA Jaworzno, **Tomasz Kardyś, Michał Zając** – Energotest Gliwice Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

W skład kompleksu przeróbczego ZG Sobieski wchodzą trzy węzły technologiczne:

1. Stacja Przygotowania Węgla - odbiór urobku i przygotowanie go do dalszego wzbogacania.
2. Zakład Przeróbki Mechanicznej - wzbogacanie węgla surowego w klasie ziarnowej 30÷200 mm.
3. Zakład Wzbogacania i Odsiarczania Miałów - wzbogacanie miału węglowego o uziarnieniu 0÷30 mm.

Modernizacja przeprowadzona w ZG Sobieski dotyczyła wszystkich opisanych powyżej węzłów.

Rys.1. Schemat ogólny zmodernizowanych węzłów technologicznych

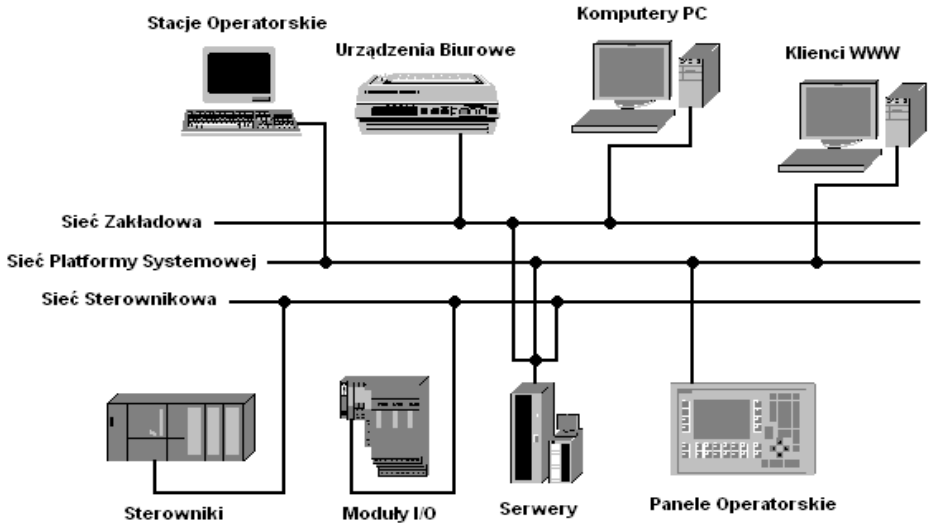
Celem prac wykonanych w ZG Sobieski było uzupełnienie istniejących instalacji o urządzenia wykonawcze tak, aby umożliwić pełną wymianę sygnałów pomiędzy poszczególnymi obiektami oraz zautomatyzować procesy, które zachodziły nie w pełni automatycznie. Wykonano też krok w kierunku ujednolicenia systemów współpracujących na kopalni. Zastosowano, między innymi, sterowniki firmy Siemens, switch-e firmy Cisco zgodnie ze standardami obowiązującymi w ZG Sobieski. Wszystkie użyte urządzenia cieszą się ogólnoświatowym uznaniem, są niezawodne i posiadają zgodność z wszelkimi obowiązującymi normami prawnymi i przepisami bezpieczeństwa.

Modernizacja obejmowała automatyzację procesu granulacji, podłączenie budynków sortowni i kruszarni do platformy systemowej, wizualizację pro-

cesów filtracji w budynkach 5.3 i 501, modernizację zagęszczacza promieniowego Dorra oraz likwidację tablicy synoptycznej „Upadowa 2000". Rozbudowano także sieć światłowodową w oparciu o podział na trzy sieci: zakładową, sterownikową i platformę systemową [4].

2. Modernizacja sieci światłowodowych i Ethernet

Modernizacja sieci światłowodowej polegała na doprowadzeniu światłowodów do wszystkich budynków, w których zachodzą istotne procesy produkcyjne i nadzór nad tymi procesami. Integralną częścią modernizacji był dobór, dostawa, konfiguracja i parametryzacja aktywnych elementów sieci, takich jak switch-e, konwertery, panele światłowodowe, a także elementów pasywnych, takich jak światłowody i innych przewodów połączeniowych. Modernizacja obejmowała budynki sortowni, kruszarni, wagi wagonowej, zagęszczacza Dorra, filtracji 501 i 5.3. Obecnie w ZG Sobieski rozróżniamy trzy rodzaje sieci: zakładową, sterownikową i sieć platformy systemowej. Taki podział zapewnia większe bezpieczeństwo przesyłu danych i ogranicza ryzyko ingerencji osób niepożądanych w procesy sterowania produkcją [5]. Do sieci zakładowej wpięte są wszystkie urządzenia pracowników biurowych – komputery, drukarki sieciowe itp. Sieć sterownikowa zawiera wszystkie sterowniki, moduły rozproszonych wejść/wyjść pracujące w ZG Sobieski i odpowiada za poprawną wymianę danych między nimi. Sieć platformy systemowej obejmuje wszystkie komputery przemysłowe i panele operatorskie odpowiedzialne za sterowanie zdalne i miejscowe procesów produkcyjnych.



Rys.2. Schemat poglądowy sieci światłowodowych i Ethernet w ZG Sobieski

W nowo podłączonych budynkach zamontowano szafy, wyposażone w panele światłowodowe firmy Fibrain, switch-e przemysłowe Cisco, a także wszystkie inne urządzenia wykonawcze (m.in. konwertery) odpowiedzialne za prawidłową funkcjonalność sieci.

W rozdzielni ARS budynku granulacji skonfigurowano sterownik S7-315 firmy Siemens, jako urządzenie „master" dla wewnętrznej sieci Profinet, do której zostały włączone moduły rozproszonych wejść/wyjść zlokalizowane w rozdzielniach budynków Dorra i pras filtracyjnych 5.3. Umożliwiło to wykorzystanie jednego sterownika do sterowania trzema procesami, zachodzącymi w trzech różnych obiektach. W systemie Profinet integracja urządzeń odbywa się bezpośrednio na poziomie sieci Ethernet. W tym celu została zapożyczona metoda dostępu master-slave, znana z systemu Profibus DP [1]. Zadaniem sterownika jest przetworzenie otrzymanych sygnałów a następnie przesłanie danych wyjściowych do rozproszonych urządzeń peryferyjnych – modułów ET200M.

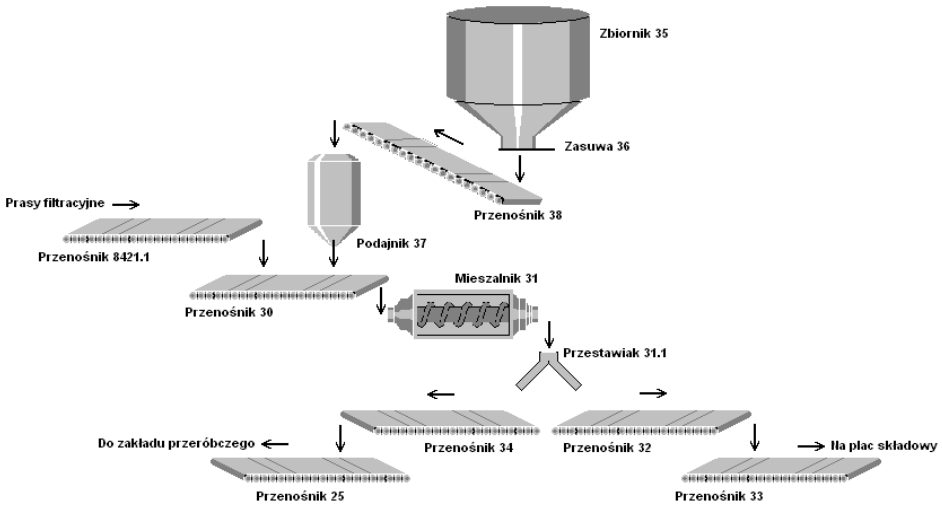
3. Automatyzacja procesu granulacji

Kolejnym etapem modernizacji była automatyzacja procesu granulacji. Proces ten polega na zagospodarowaniu odpadów, powstałych w procesie wzbogacania i odsiarczania miału jak i przeróbki mechanicznej, z uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych oraz bezpieczeństwa i wymogów ochrony środowiska. Do odpadów dodawane jest wapno palone, a następnie całość granulowana jest w mieszalniku. Ilość dodawanego wapna ma znaczący wpływ na przygotowanie odpowiedniej mieszaniny i powinna zawierać się w przedziale 1÷ 5% masy zgranulowanego mułu [5].

Przedstawiony poniżej proces granulacji, zachodzący dotychczas ręcznie, został zmodernizowany w celu zwiększenia niezawodności działania, a także wyeliminowania czynnika błędu operatora nadzorującego produkcję. Modernizacja pozwoliła osiągnąć w pełni zautomatyzowany system, kontrolowany z pomieszczenia obsługi, z możliwością podglądu dla innych osób znajdujących się w dowolnym miejscu w ZG Sobieski.

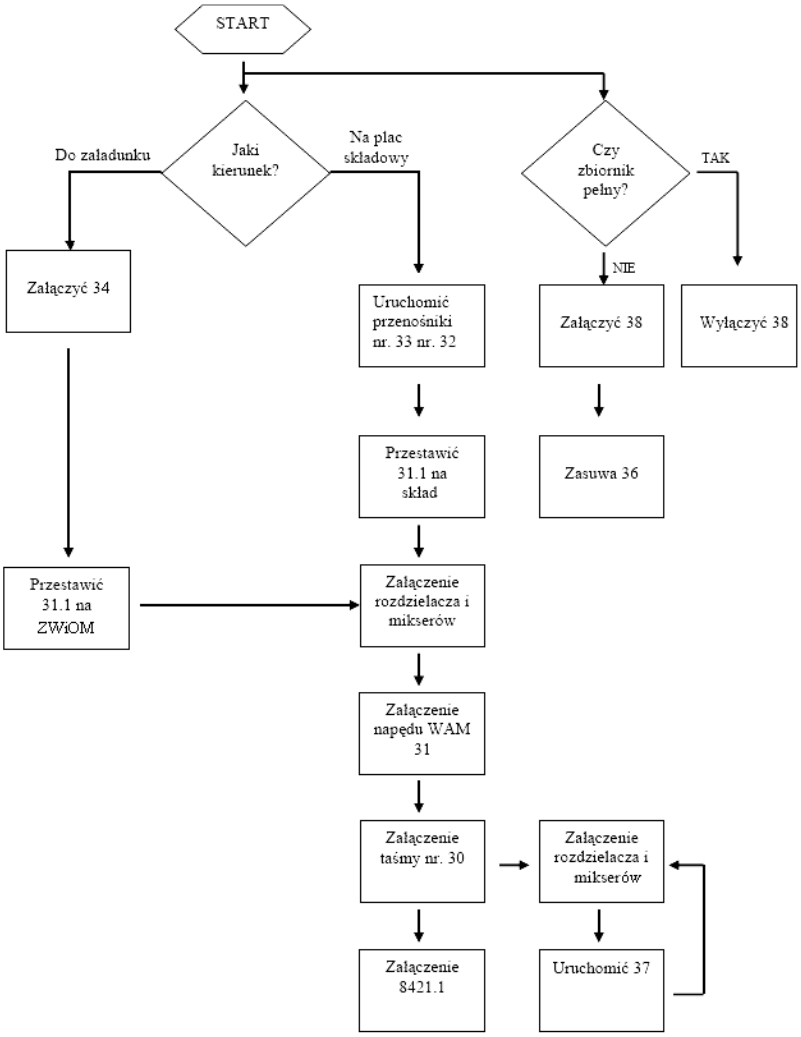
Zmiany dotyczyły głównie samego sposobu sterowania. Wcześniej poszczególne urządzenia były sterowane manualnie przez operatora, za pomocą pulpitu sterowniczego wyposażonego w szereg przycisków, takich jak start, stop, wyłączniki bezpieczeństwa, a także lampki sygnalizacji pracy, awarii czy też położenia urządzeń. Opisany pulpit sterowniczy pozostawiono celem sterowania w trybie ręcznym, natomiast obok niego zamontowano komputer z kolorowym, dotykowym wyświetlaczem w kasecie przemysłowej, komunikujący się

ze sterownikiem firmy Siemens. Zaprojektowana wizualizacja dała możliwość sterowania procesem w trybie automatycznym, poprzez łatwy i przyjazny interfejs. Aplikacja została wykonana za pomocą programu InTouch firmy Wonderware, służącego do wizualizacji procesów przemysłowych. Zawiera ona schemat poglądowy, listę alarmową, przyciski wyboru trybu pracy (automatyczny lub manualny), kierunku transportu zgranulowanych mułów (na plac składowy lub do zakładu przeróbczego), a także wiele innych funkcji, między innymi podgląd sytuacji w pozostałych częściach ZG Sobieski.



Rys.3. Schemat technologiczny instalacji do granulowania mułów

Wapno palone magazynowane jest w zbiorniku nr 35. Wydajnością dozownika celkowego nr 37 steruje przemiennik częstotliwości. Instalacja granulacji wyposażona została w wagę na przenośniku nr 30, która pozwala dynamicznie mierzyć masę mułów i automatycznie regulować ilość dodawanego wapna tak, aby zapewnić wymagania technologicznie 1-5% jego zawartości w zgranulowanym mule [5]. Sygnał prądowy z wagi podłączony jest do karty analogowej sterownika. Sterownik wykonuje niezbędne obliczenia i reguluje wartość wyjścia prądowego, sterując tym samym falownikiem odpowiedzialnym za pracę dozownika celkowego nr 37. Cały system został zabezpieczony na wypadek działań niepożądanych. Wszystkie urządzenia mogą być w dowolnym momencie zatrzymane, za pomocą wyłączników lokalnych awaryjnych, głównego wyłącznika bezpieczeństwa, znajdującego się w pomieszczeniu operatora czy też z poziomu wizualizacji. Po wyłączeniu danego urządzenia zatrzymają się automatycznie wszystkie sąsiednie, mające wpływ na jego pracę, w celu zapobiegnięcia na przykład przesypowi na zablokowany przenośnik lub jakiemukolwiek innemu niepożądanemu działaniu systemu.



Rys.4. Algorytm blokowy sterowania procesem granulacji

4. Podłączenie zakładu przeróbczego do platformy systemowej

Jednym z etapów modernizacji w ZG Sobieski było włączenie obiektów zakładu przeróbczego – sortowni i kruszarni – do sieci sterownikowej, w celu ich integracji w jednym standardzie platformy systemowej. Umożliwiło to ciągły monitoring poprawności działania całego systemu z pomieszczenia dyspozytorni. Dla uzyskania takiego efektu, rozszerzono trzy sterowniki firmy Siemens o karty komunikacyjne CP-343 (dwa sterowniki sortowni oraz jeden sterownik kruszarni). Karty umożliwiły nadanie każdemu sterownikowi odrębnego adresu IP i komunikację za pomocą protokołu Ethernet. Dzięki takiemu

rozszerzeniu uzyskano podgląd pracy wszystkich urządzeń technologicznych, możliwość sterowania, analizy błędów i podejmowania niezwłocznych działań mających na celu utrzymanie ciągłego ruchu całego systemu.

5. Wizualizacja procesów filtracji w budynkach 501 i 5.3

Kolejnym etapem pracy było zastosowanie sterownika firmy Siemens, do gromadzenia danych z nowego budynku pras filtracyjnych 501. Sterownik wyposażono w moduły wejściowe zbierające sygnały dotyczące pracy pras filtracyjnych, a także pracy przenośników odpowiadających za transport mułów. Zgromadzone dane, przesyłane za pomocą protokołu Ethernet do platformy systemowej, są następnie wizualizowane w pomieszczeniu dyspozytorni ZG Sobieski w postaci ekranów synoptycznych i listy alarmowej.

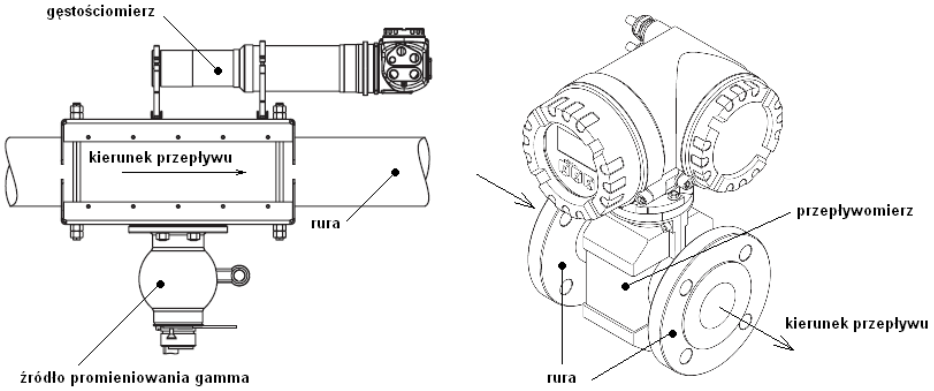
6. Modernizacja zagęszczacza promieniowego Dorra

W zagęszczaczu promieniowym Dorra odbywa się proces klarowania wód technologicznych. Zanieczyszczone wody popłuczkowe z Zakładu Przeróbczego, kierowane są do zagęszczacza Dorra. Oczyszczone wody zawracane są do instalacji płuczki ziarnowej i miałowej [5].

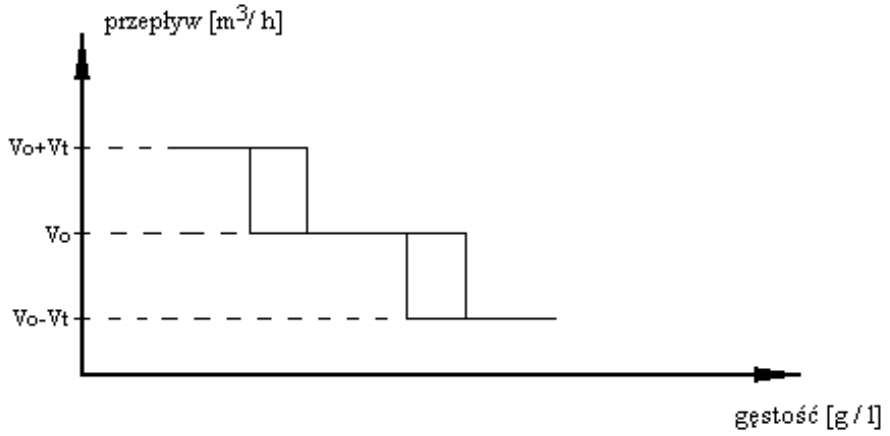
Modernizacja zbiornika osadowego Dorra polegała na wymianie aparatury pomiarowej i sterującej na aparaturę nowego typu oraz przystosowanie obiektu do standardów komunikacji i sterowania zgodnie z ideą panującą w ZG Sobieski. W miejscu uprzednio zainstalowanego przepływomierza i gęstościomierza, znalazły się urządzenia firmy Endress & Hauser – przepływomierz elektromagnetyczny Proline Promag 55 i gęstościomierz radiometryczny Gammapilot M FMG60 z izotopowym źródłem promieniowania gamma do bezkontaktowego pomiaru zawartości ciał stałych, zawiesin i osadów [2]. Obydwa urządzenia posiadają pełną zgodność z obowiązującymi normami bezpieczeństwa. Rolę sterownika zamiast wysłużonego modelu - „weterana” - Simatic S7-200 firmy Siemens przejął moduł wejść/wyjść ET200M połączony poprzez sieć Profinet z nowym sterownikiem Simatic S7-315, znajdującym się w rozdzielni budynku granulacji. Urządzenia pomiarowe uruchomiono i skalibrowano wedle potrzeb klienta. Znajdujące się w przepływomierzu i gęstościomierzu wyjścia prądowe, pozwalają na uzyskanie informacji w module ET200M o aktualnym przepływie w metrach sześciennych na godzinę oraz o gęstości cieczy w gramach na litr.

Sterowanie przepływem odbywa się za pomocą falownika, który reguluje pracą jednej z dwóch pomp mułowych i uzależnione jest od gęstości mułu. Jeżeli przewyższa ona gęstość zadeklarowaną, jako punkt pracy, sterownik wysyła sygnał zwiększający przepływ tak, aby powrócić do zadanego punktu i od-

wrotnie w przypadku zbyt małej gęstości zmniejsza przepływ [5]. Regulacja jest zaprogramowana w oparciu o ideę regulatora trójpołożeniowego z histerezą, aby zapobiec ciągłemu przełączaniu i uszkodzeniu silników napędzających pompy.



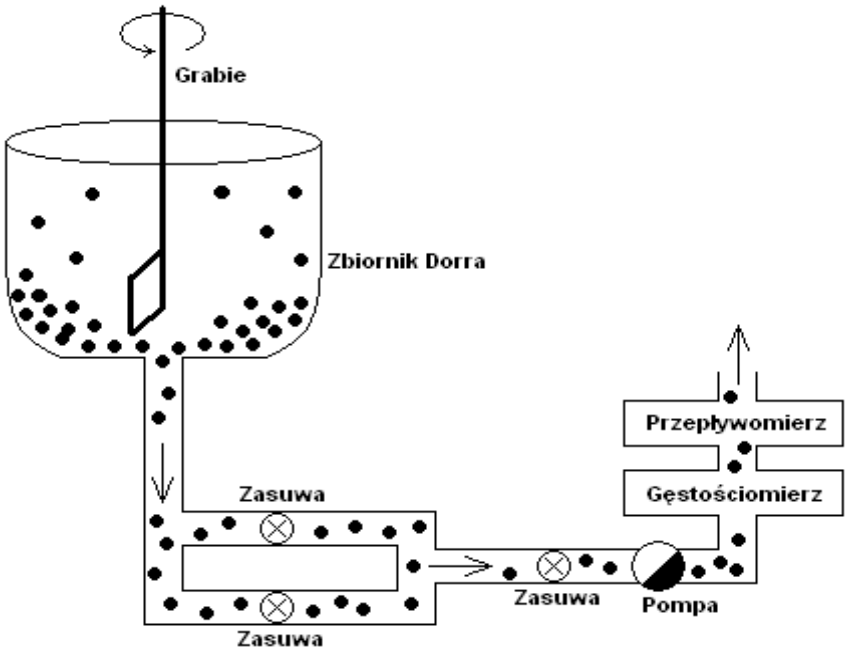
Rys.5. Schematy ogólne pomiaru gęstości i przepływu zainstalowane na obiekcie Dorra [2, 3]



Rys.6. Regulator trójpołożeniowy, sterujący przepływem na zagęszczaczu promieniowym Dorra. *Vo* - przepływ zadany, *Vt* - tolerancja zadana przepływu

Układ monitoruje stany otwarcia i zamknięcia zasuw tak, aby nie dopuścić do załączenia pomp przy braku odpływu, co mogłoby nieść za sobą poważne konsekwencje, a nawet uszkodzenie sieci rurociągów. Sterownik kontroluje pracę samego falownika, a także załączanie styczników pomocniczych. Do kontroli pracy całego systemu służy panel dotykowy KPT600 firmy Siemens, znajdujący się w pomieszczeniu obsługi. Pozwala on uzyskać bieżące informacje na temat całego obiektu Dorra, takie jak aktualny przepływ, gęstość mułu, położenie grabi, stany zasuw, stan falownika, styczników pomocniczych i inne.

Oprócz informacji wyświetlanych na panelu operatorskim, udostępniono również możliwość zdalnego podglądu stanu obiektu Dorra z pomieszczenia dyspozytorni ZG Sobieski.



Rys.7. Schemat technologiczny zbiornika osadowego Dorra

7. Likwidacja starej tablicy synoptycznej - „Upadowa 2000”

Ostatnim etapem modernizacji w ZG Sobieski było zastąpienie starej tablicy synoptycznej „Upadowa 2000”, znajdującej się na dyspozytorni budynku sortowni, modułem rozproszonych wejść/wyjść. Tablica synoptyczna obrazowała aktualny stan przenośników odpowiedzialnych za transport. Zamiast niej zastosowano moduł ET200S firmy Siemens, do którego podłączono sygnały poprzednio realizowane w postaci lampek, przycisków i przełączników dwupołożeniowych. Zebrane sygnały przekazywane są za pomocą sieci Profibus DP do jednego z istniejących sterowników na sortowni, a następnie za pośrednictwem protokołu Ethernet do platformy systemowej. Stara tablica synoptyczna uległa likwidacji, co pozwoliło na wygospodarowanie znacznej powierzchni w pomieszczeniu dyspozytorni. W uzyskanym w ten sposób miejscu zamontowano szafę przemysłową, wyposażoną w panele i switch-e światłowodowe, a także wymieniony wcześniej moduł. Zanim podłączono sygnały do modułu ET200S, zastosowano szereg separatorów sygnałów, aby wyeliminować ryzyko związane z uszkodzeniem kart firmy Siemens i zabezpieczyć obwody przed przepięciami (sygnały wejść/wyjść prądu stałego i zmiennego).

8. Podsumowanie

Automatyzacja systemu sterowania przebiegła szybko, bez konieczności przerywania procesów produkcyjnych czy też innych szkodliwych działań. Wszystkie wykonane prace montażowe, elektryczne oraz testy uruchomieniowe, odbyły się wedle wcześniej ustalonego harmonogramu i zakończyły się pełnym sukcesem. Zmiany tzw. podwyższonego ryzyka, czyli ingerencja w istniejące sterowniki i sieci odbyły się po uprzednim dokładnym zaplanowaniu wszelkich kroków i przeprowadzone zostały podczas planowanych przestojów lub przerw weekendowych.

Jak do tej pory system działał bezawaryjnie i umożliwił czytelny dostęp do danych procesowo-produkcyjnych. Rozbudowano także sieć światłowodową w oparciu o podział na trzy sieci: zakładową, sterownikową i platformę systemową [4]. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano prosty, niezawodny i przejrzysty system dostępu do sieci. Dyrekcja ZG Sobieski była na bieżąco informowana o postępach prac przez kierownika projektu.

Literatura

1. „Profinet – Technologie i aplikacje", Siemens – wersja luty 2005 r. www.profibus.com
2. „Opis funkcji przyrządu Proline Promag 55", BA119D/31/PL/09.06 – www.endress.com
3. „Pojemniki ochronne źródła izotopowego FQG61/FQG62", TI435F/31/PL/10.09 – www.endress.com
4. „Wybrane aspekty migracji systemu sterowania w ZG Sobieski" mgr inż. Artur Dubiel, mgr inż. Łukasz Kalus, mgr inż. Tomasz Kardyś - Komeko 2011.
5. „Dokumentacja technologiczna wzbogacania węgla Zakładu Górniczego Sobieski w Jaworznie" mgr inż. Artur Dubiel 29.01.2010 r.

ROZDZIAŁ 4

MIESZANKI ENERGETYCZNE - WYTWARZANIE I WYKORZYSTANIE PALIW ALTERNATYWNYCH

Zastosowanie drzewa C&RT w klasyfikacji biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych

Marcin Sajdak, Olaf Piotrowski – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

1. Wstęp

Wzrost globalnego ocieplenia związany z emisją CO_2 do atmosfery oraz kurczenie się zasobów paliw kopalnych zmuszają do poszukiwań nowych technologii ukierunkowanych na wykorzystywanie przyjaznych dla środowiska paliw odnawialnych. Jednym z takich źródeł energii może być biomasa cechująca się niewielkimi wymaganiami siedliskowymi, a co za tym idzie łatwą dostępnością. Dodatkowo Unia Europejska forsuje wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych, w tym biomasy.

W obecnym czasie najczęściej spotykanym kierunkiem zastosowania biomasy w celach energetycznych jest jej spalanie i współspalanie z konwencjonalnymi nośnikami energii. Jest to między innymi wynikiem braku odpowiednich narzędzi umożliwiających szybką i prostą klasyfikację biomasy pod względem chemicznym, umożliwiającą szersze spojrzenie na możliwości wykorzystania biomasy w przemyśle energetycznym.

Wieloletnia działalność badawcza Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla w obszarze energetycznego wykorzystania biomasy umożliwiła opracowanie nowatorskiego podejścia (metodologii) do określenia możliwości wykorzystania biomasy w odpowiednich kierunkach, poprzez zastosowanie zintegrowanego modelu bazującego na wykorzystaniu drzew klasyfikacyjnych i regresyjnych (Classification and Regression Trees – C&RT) wraz z zastosowaniem elementów estymacji liniowej. Aby możliwe było odpowiednie działanie modelu C&RT, wykorzystano bazę danych właściwości fizykochemicznych różnych rodzajów biomasy zebranych na przestrzeni lat w IChPW oraz dane literaturowe. Opracowany model może być zastosowany jako narzędzie decyzyjne służące do grupowania biomas pod względem przydatności, w zależności od kierunku ich energetycznego wykorzystania. Ze względu na wspomniany szeroki wachlarz możliwości wykorzystania modelu C&RT, w rozdziale opisano jedną z możliwych dróg zastosowań biomasy do produkcji bio-olejów, a następnie do produkcji węglowodorowych związków organicznych.

Zainteresowanie biopaliwami jest spowodowane w ostatnim czasie wzrostem cen ropy naftowej na rynkach światowych. Badania nad produkcją biopaliw skupiały się na znalezieniu najlepszej technologii oraz wysokoenergetycznego surowca. Bio-olej może być produkowany z różnych gatunków drzew oraz odpadów rolniczych. Dobrymi surowcami biomasowymi o wysokiej zawartości składników energetycznych są wytłoki z trzciny cuk-

rowej, łuski i ziarna ryżu, łupiny orzeszków ziemnych, łuski owsa, wiklina, słomy i drewna. W Ameryce Północnej i Europie, bio-olej produkowany jest z odpadów leśnych (trociny, kora, wióry). W Ameryce Środkowej i Południowej, na Karaibach i południowym Pacyfiku, Australii, Azji i Afryce, jest on wytwarzany z wytłoków trzciny cukrowej i innych odpadów rolniczych. Inne potencjalne surowce stanowi słoma pszeniczna i słoma innych zbóż, włókno kokosowe itp.

Jedną z nowych technologii produkcji bio-olejów jest szybka piroliza, w której uzyskuje się wysokiej jakości produkt zawierający do 70% początkowej energii biomasy [3]. Jednakże niektóre właściwości bio-oleju, takie jak niska wartość opałowa, kwasowość, niestabilności, oraz niezgodność produktów fizykochemicznych ze standardowymi paliw ropopochodnych znacząco ogranicza jego zastosowanie [2].

Bio-oleje otrzymywane w procesie pirolizy mogą mieć następujące zastosowania przemysłowe:

- surowce w produkcji związków chemicznych i żywic,
- surowce w produkcji anhydrocukrów oraz lewoglukozanu, używanego jako wskaźnika do identyfikacji pyłów pochodzących z pożarów lasów,
- jako spoiwa do peletyzacji oraz brykietowania odpadów materiałów organicznych,
- mogą być używane jako środki konserwujące, np. do konserwacji drewna,
- odpowiednie połączenie oleju pirolitycznego z olejem napędowym może być wykorzystane jako paliwo silników Diesla,
- mogą być wykorzystane do produkcji klejów.

Ważną cechą bio-olejów jest to, że mogą być przechowywane i transportowane, a więc nie muszą być stosowane w miejscu produkcji.

Ze względu na otrzymywane w procesie pirolizy biomasy jakościowo różne bio-oleje (ilość i rodzaj związków organicznych, ilość wody poreakcyjnej, kwasowość), niezbędne jest opracowanie odpowiedniego algorytmu doboru biomasy do pirolizy, tak aby otrzymany produkt charakteryzował się jak najwyższą jakością oraz nie wymagał dalszego oczyszczania.

2. Drzewa klasyfikacyjne

Idea drzewa klasyfikacyjnego polega na stopniowym podziale zbioru obiektów na podzbiory, aż zostanie osiągnięta ich jednorodność ze względu na przynależność do odpowiednich klas. Wygląd drzewa jest zbliżony do grafu składającego się z węzła macierzystego (korzenia, ang. root), z którego wychodzą co najmniej dwie krawędzie do węzłów leżących na niższym poziomie (węzły potomne). Każdemu węzłowi, przyporządkowane jest oznaczenie

klasy, a każdej z gałęzi reguła decyzyjna, czyli warunek odnoszący się do wartości zmiennych w zbiorze wejściowym i mówiący w jakim przypadku należy podążać daną gałęzią. Węzły potomne w pierwszym etapie podziału stają się węzłami macierzystymi dla kolejnych cech (parametrów). W większości algorytmów warunki dla gałęzi wychodzących z jednego węzła muszą się uzupełniać. Węzły, z których nie wychodzą krawędzie, są określane jako liście reprezentujące klasy. W formalnym ujęciu, drzewo jest grafem bez cykli (pętli), w którym istnieje tylko jedna ścieżka między dwoma różnymi węzłami [6].

Do głównych zalety drzew decyzyjnych można zaliczyć:

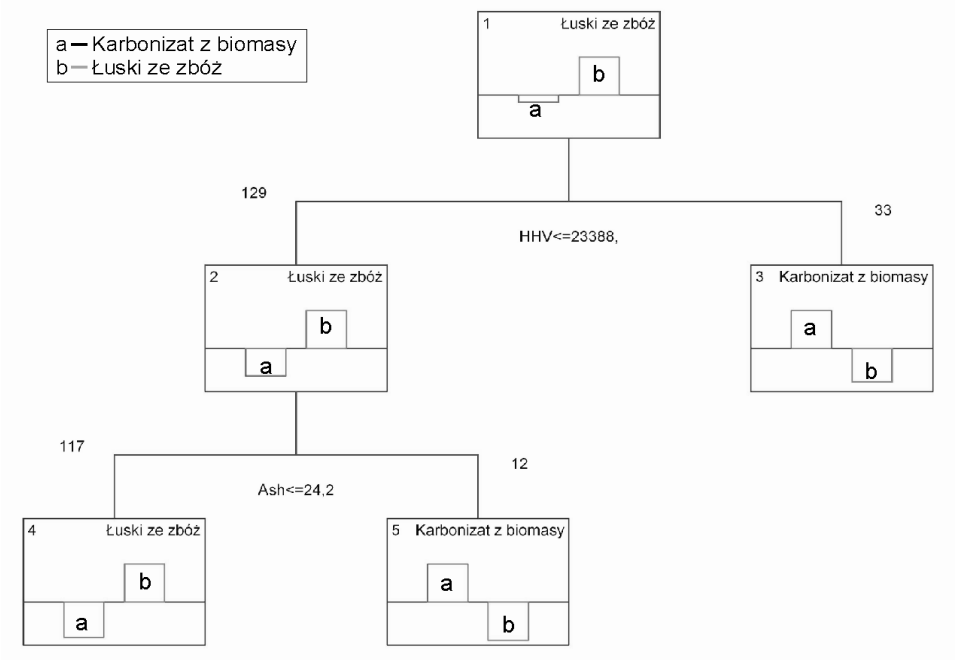
- możliwość reprezentowania dowolnie złożonych problemów,
- odporność na nietypowe wartości cech,
- odporność na dużą liczbę cech nie wpływających na zmienną wyjściową.

Główne wady metody: C&RT to:

- algorytm budowy drzewa testuje wartość jednego atrybutu w jednym czasie, co powoduje duży rozrost drzewa,
- niestabilność drzew, nawet niewielka zmiana przypadków uczących może skutkować istotną zmianą struktury drzewa.

Drzewa klasyfikacyjne w prosty sposób generują reguły przynależności obiektów do każdej klasy. Mogą być postrzegane jako zbiór reguł klasyfikacji pozwalającej na łączenie w te same klasy rozłącznych zbiorów obiektów. Ścieżka prowadząca od korzenia do liścia reprezentuje koniunkcję testów (kompleks). Wykorzystanie stworzonego drzewa do sklasyfikowania nowego obiektu polega na tym, że poczynając od korzenia przechodzi się od wierzchołka do wierzchołka wzdłuż krawędzi odpowiadających wartościom cech klasyfikowanego obiektu. Jako przykład można przytoczyć podstawowy model drzewa, za pomocą którego w prosty sposób można przypisać szacowaną klasę energetyczności badanej biomasie (rysunek 1). W takim ujęciu często nie jest wymagana znajomość wszystkich cech obiektu, co znacznie podnosi praktyczne wykorzystanie tej metody klasyfikacji. Dotyczy to w szczególności klasyfikacji biomas, dla których nie dysponujemy kompletem informacji o ich charakterze jakościowo-ilościowym.

Drzewa klasyfikacyjne wykorzystuje się do wyznaczania przynależności przypadków lub obiektów do odpowiednich klas jakościowych zmiennej zależnej na podstawie pomiarów jednej lub większej liczby zmiennych objaśniających (predyktorów). Analiza drzew klasyfikacyjnych jest jedną z podstawowych technik wykorzystywanych w tzw. zgłębianiu danych (Data Mining) [1].



Rys.1. Przykładowy schemat drzewa regresyjno – decyzyjnego, HHV – ciepło spalania [J/kg $_{s.m.}$], Ash – zawartość popiołu w próbce [%]
[Źródło: opracowanie własne]

Celem analizy opartej na drzewach klasyfikacyjnych jest przewidywanie lub wyjaśnianie odpowiedzi (reakcji) zakodowanych w jakościowej zmiennej zależnej i dlatego techniki wykorzystywane w tym module mają wiele wspólnego z technikami stosowanymi w tradycyjnych metodach tj.: analizie dyskryminacyjnej, analizie skupień, statystykach nieparametrycznych i estymacji nieliniowej.

3. Metodyka prowadzenia badań

Tworzenie drzew klasyfikacyjnych odbywa się poprzez rekurencyjny podział „zbioru uczącego" na podzbiory do momentu, w którym uzyskuje się ich jednorodność ze względu na przynależność obiektów do klas (odwoływanie się funkcji do samej siebie). Głównym celem tworzenia podzbiorów jest uzyskanie maksymalnie jednorodnych podzbiorów obiektów z punktu widzenia zmiennej zależnej [2]. W trakcie ich konstruowania należy starać się, aby drzewo było jak najmniejsze, a reguły klasyfikacji jak najprostsze. Większość znanych metod tworzenia drzew klasyfikacyjnych ma podobną konstrukcję, gdyż wywodzi się z trzech klasycznych algorytmów, do których zalicza się algorytmy CLS i ID3 oraz C&RT (Classification and Regression Trees). Na podstawie powyższych algorytmów wyróżnia się metody budowy drzew jed-

nowymiarowych (podział zbioru obiektów następuje na podstawie pojedynczych cech) oraz wielowymiarowych, gdzie podział zbioru obiektów następuje na podstawie kombinacji liniowych analizowanych cech [4].

W niniejszym rozdziale zastosowano model drzew klasyfikacyjno regresyjnych C&RT do podziału i klasyfikacji biomas pod względem doboru ich najlepszej charakterystyki jakościowej dla wytworzenia bio-olejów. Zbudowany algorytm umożliwi odpowiedni dobór surowców do produkcji wysokiej jakości bio-olejów.

Ogólną procedurę można opisać w następujący sposób:

1. Sprawdzenie zbioru obiektów macierzy danych A pod względem jednorodności (analiza wariancyjna, analiza PCA). Jeśli na tym etapie okaże się, że nie wykazuje ona niejednorodności, to kończy się pracę – w przeciwnym razie można przejść do kolejnego punktu.
2. Określenie wszelkich możliwych podziałów zbioru A na podzbiory B_1 -B_n, tak aby podzbiory te były jak najbardziej jednorodne.
3. Przeprowadzenie oceny jakościowej każdego z otrzymanych w ten sposób podzbiorów zgodnie z przyjętym kryterium i wybór najlepszego z nich.
4. Dokonanie podziału zbioru A w wybrany sposób.

Podział zbioru A dokonywany w ostatnim kroku przeprowadzany jest w oparciu o wartości cech charakteryzujących obiekty. Cechy te nie mogą być wybierane losowo, ponieważ mogłoby to doprowadzić do sytuacji, w której liczba liści drzewa klasyfikacyjnego równałaby się liczbie obiektów [7]. Stąd też przy wyborze cech będących podstawą podziału stosowane są różne miary statystyczne lub metody oparte na teorii informacji. W niniejszym opracowaniu jako metodę doboru cech zastosowano analizę ważności zmiennych i analizę diagramu Paretto, które przedstawiają statystycznie istotne zmienne mające wpływ na badany parametr jakościowy [5].

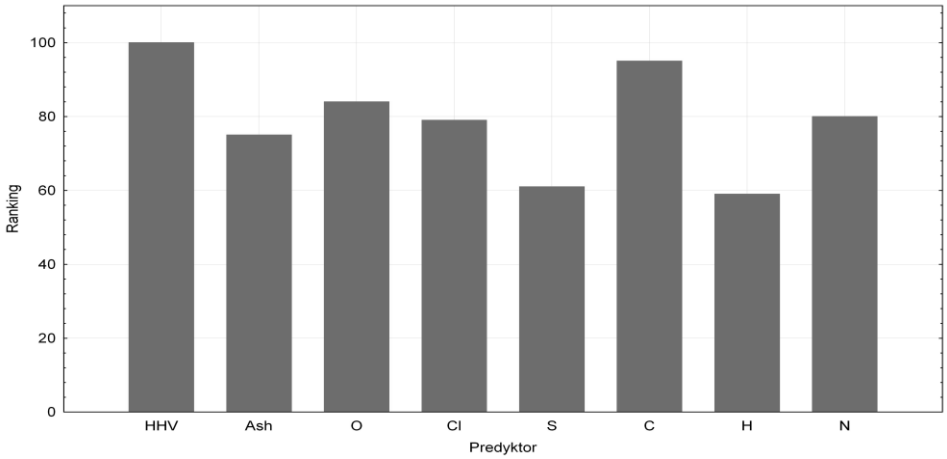
Podczas budowania drzewa klasyfikacyjnego można pominąć fragmenty, które mają niewielkie znaczenie dla jakości rezultatów klasyfikacji (porządkowanie drzewa). W algorytmie C&RT najpierw tworzy się pełne drzewo klasyfikacyjne, niezależnie od rozmiarów. Następnie dokonuje się porządkowania, czyli usuwania fragmentów drzewa (zgodnie z wiedzą ekspercką), w taki sposób, aby wraz ze zmniejszaniem się jednorodności klas nie wzrastał błąd klasyfikacji.

Przed ewentualnym odrzuceniem zmiennych (cech klasyfikujących) należy określić:

– ilość cech, w oparciu o które nastąpi podział zbioru obiektów na klasy,
– moment, w którym należy zakończyć dalszy podział podzbiorów, tak aby uzyskać drzewo o minimalnej liczbie węzłów, nie obniżając przy tym jakości klasyfikacji,

– sposób przydziału obiektów znajdujących się w węźle drzewa na podklasy.

Po uwzględnieniu powyższych kwestii powstałe drzewo klasyfikacyjne powinno charakteryzować się maksymalną jednorodnością uzyskanych podzbiorów (klas) obiektów i minimalną liczbą węzłów prowadzących do zbioru możliwie prostych reguł klasyfikacji.



Rys.2. Przykładowy wykres Paretto dla wybranych zmiennych HHV – ciepło spalania [J/$kg_{s.m.}$], Ash – zawartość popiołu w próbce [%]
[Źródło: opracowanie własne]

4. Materiały, metody i przebieg badań

Przedmiotem klasyfikacji są wyniki analiz biomas w postaci bazy danych zebranych dzięki wieloletniej pracy Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla oraz wyniki literaturowe. Zasób bazy danych IChPW obejmuje biomasę, karbonizaty z biomas, bio-oleje oraz paliwa kopalne jak węgiel kamienny, brunatny, torf, a także koks. Składa się ona z 930 obiektów charakteryzujących badaną populację i są one opisane następującymi parametrami:

- zawartość popiołu,
- ciepło spalania i wartość opałową,
- zawartość procentową:
  - węgla,
  - wodoru,
  - azotu,
  - tlenu,
  - siarki,
  - chloru.

Celem procedury klasyfikacji jest wydzielenie możliwie najbardziej jednorodnych klas badanych biomas z uwzględnieniem istotnych kryteriów z punktu widzenia wykorzystania ich do produkcji bio-oleju w procesie pirolizy.

Pierwszym etapem badań było dobranie odpowiednich parametrów diagnostycznych niezbędne do klasyfikacji biomas do procesu pirolizy. Wybierając parametry opisujące biomasy, brano pod uwagę: cel klasyfikacji, charakterystykę procesu technologicznego, ocenę statystyczną zmiennych oraz kompletność danych. W efekcie do oceny przydatności biomasy na cele produkcji bio-oleju wybrano następujące zmienne:

- zawartość popiołu – Ash,
- ciepło spalania – HHV,
- zawartość chloru – Cl,
- zawartość siarki – S,
- wartość proporcji tlenu do węgla – O/C.
- zawartość azotu – N,
- zawartość tlenu – O,
- rodzaj biomasy.

Opis statystyczny wytypowanych zmiennych wejściowych i wyjściowych przedstawiono w tabeli 1.

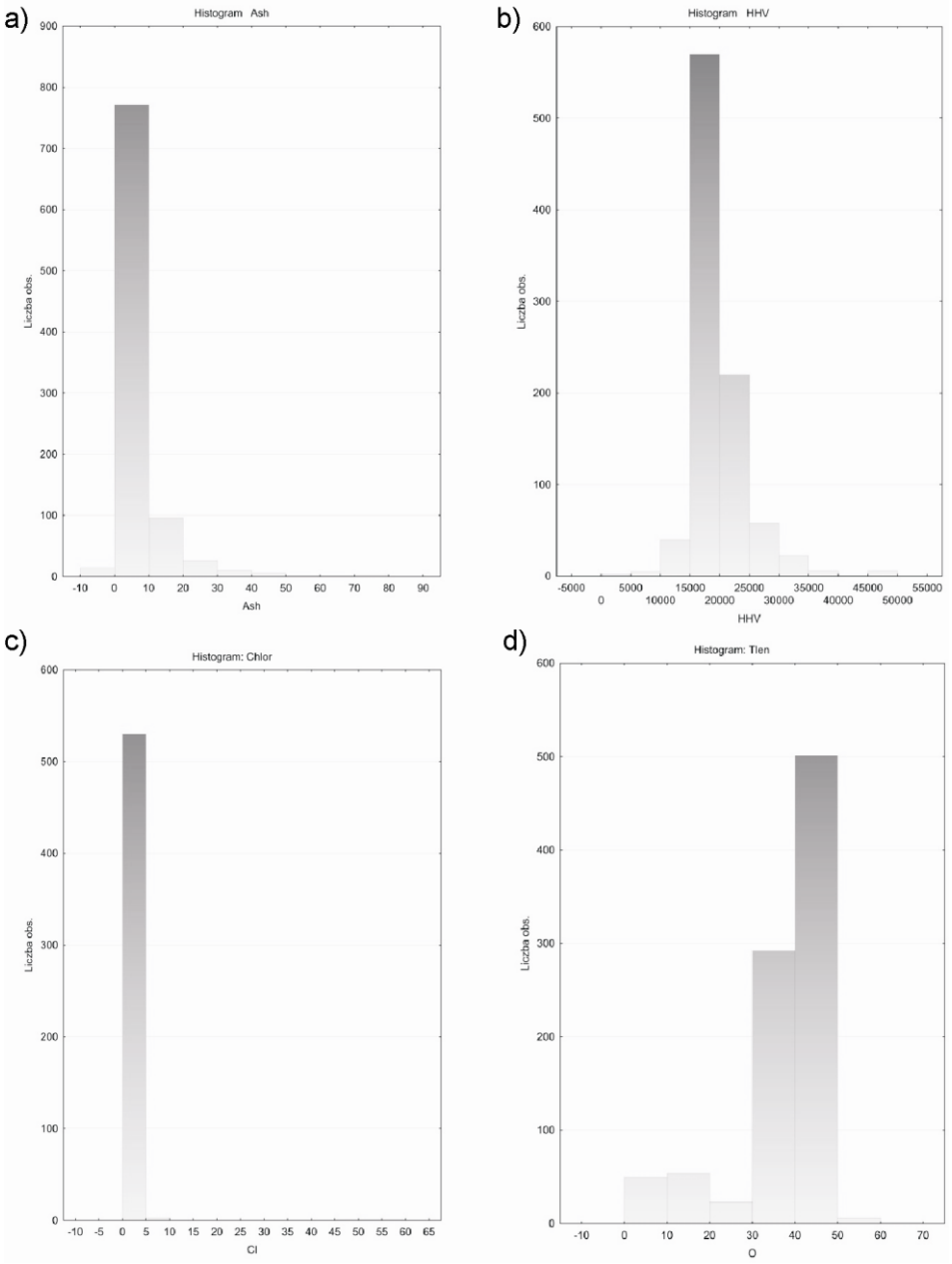
Wyniki analizy statystycznej wybranych zmiennych losowych na badanym zbiorze populacji [Źródło: opracowanie własne]

Tabela 1

	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch.std	Skośność
Ash	5,91	0,00	79,70	8,77	3,95
HHV	20058,75	506,00	48108,00	4532,51	2,18
Cl	0,56	0,00	56,00	3,96	12,89
S	0,20	0,00	8,90	0,56	9,38
O/C	0,77	0,00	3,99	0,27	0,64
N	0,84	0,01	38,20	1,47	18,63
O	36,93	0,20	63,50	10,57	-1,94

Z uwagi na to, że na podstawie tabeli 1 nie można wyciągnąć jednoznacznych wniosków na temat rozkładów statystycznych poszczególnych parametrów, na rysunku 3 zaprezentowano histogramy wybranych zmiennych.

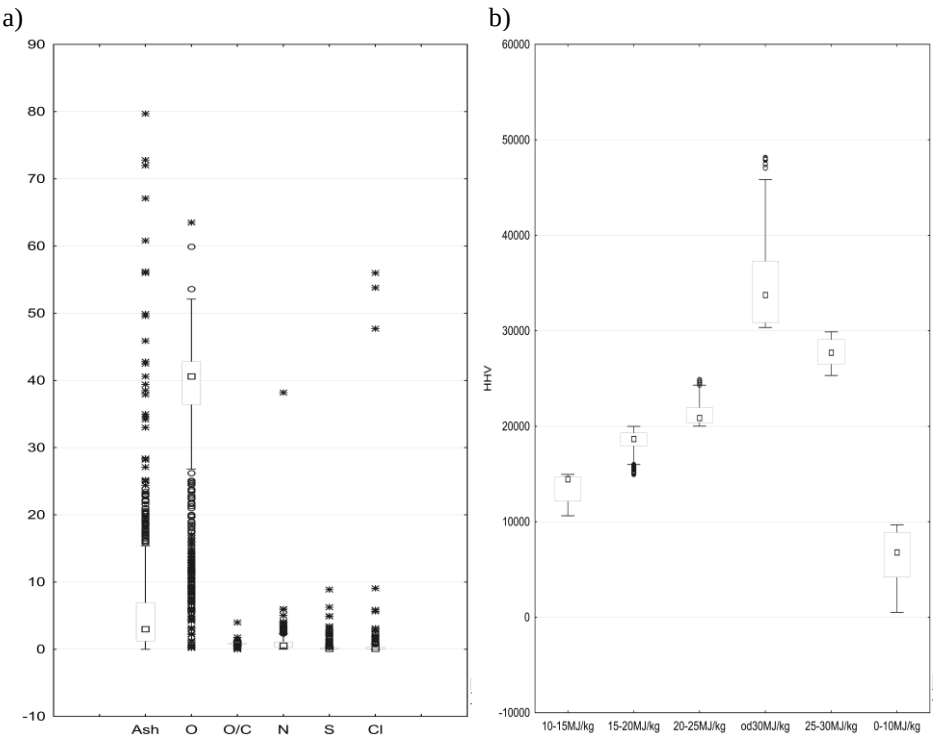
Na rysunku 4 przedstawiono w postaci wykresów jednowymiarowych, kilka wybranych zmiennych, obrazując tym samym stopień rozproszenia danych i odstępstwa od średniej.



Rys.3. Histogramy wybranych zmiennych: *a) popiół, b) tlen, c) chlor, d) HHV*
[Źródło: opracowanie własne]

Przedstawione zestawienia pokazują, że badane zmienne charakteryzują się niesymetrycznym rozkładem (daleko odbiegających od rozkładu normalnego). Także ich wariancje są bardzo duże oraz występuje wiele tzw. wartości odstających.

Ze względu na rozkład analizowanych zmiennych występują duże trudności w bezpośredniej klasyfikacji badanych przypadków, dlatego też zdecydowano się zastosować metody inteligencji obliczeniowej typu C&RT.



Rys.4. Przykładowe wykresy rozrzutu zmiennych wybranych do analizy [Źródło: opracowanie własne]

Na podstawie powyższych analiz przyjęto, że cecha HHV będzie opisywana sześcioma kategoriami:

- do 10 MJ/kg s.m.,
- od 10 do 15 MJ/kg s.m.,
- od 15 do 20 MJ/kg s.m.,
- od 20 do 25 MJ/kg s.m.,
- od 25 do 30 MJ/kg s.m.,
- powyżej 30 MJ/kg s.m..

Parametr ten jest najważniejszą i kluczową zmienną klasyfikacyjną, ponieważ od niego w największym stopniu zależy energetyczność otrzymanego podczas pirolizy bio-oleju. Zawartość popiołu w biomasie podzielono na dwie wartości: poniżej 5% s.m. oraz powyżej 5% s.m. Dzieląc na tej podstawie biomasy otrzymano grupę zawierającą najmniejszą ilość balastu nieorganicznego, który przechodzi w procesie pirolizy do karbonizatu.

Z punktu widzenia samej charakterystyki procesu pirolizy ważnymi parametrami są: zawartość tlenu oraz stosunek O/C. Im więcej tlenu, a tym samym im wyższy współczynnik O/C, tym otrzymany produkt (bio–olej) będzie charakteryzować się wyższą zawartością wody poreakcyjnej i kwasowością, co powodować będzie korozję aparatury oraz będzie wymagać dodatkowego przetworzenia wytworzonego produktu

Ostatnią uwzględnianą cechą jest rodzaj biomasy, która może przyjmować od kilku do kilkunastu poziomów wartości w całej populacji: X_1-X_n. Jest to parametr istotny z punktu widzenia ekonomicznego i siedliskowego. W zależności od występowania biomasy (rodzajów) na danym terenie, jak również cen skupu lub cen importu, mogą zostać zakwalifikowane jako produkt wejściowy do procesu pirolizy.

Po odpowiedniej weryfikacji parametrów klasyfikacyjnych kolejnym etapem było przeprowadzenie właściwej klasyfikacji badanych biomas tworząc w tym celu odpowiednie drzewo klasyfikacyjne z automatycznymi procedurami algorytmu C&RT, co wyczerpuje tym samym poszukiwania podziałów jednowymiarowych. W trakcie tworzenia drzewa decyzyjnego może nastąpić przeuczenie, czyli zbyt dobre dopasowanie do przykładów uczących. Drzewo takie jest zbyt złożone i nie zapewnia odpowiedniej generalizacji. Dlatego po zakończeniu podziałów przestrzeni decyzyjnej dokonano właściwej optymalizacji wielkości, stosując walidację krzyżową i przycinanie drzewa. Zatrzymanie rozrostu drzew następuje, gdy błąd na zbiorze walidacyjnym osiąga minimum.

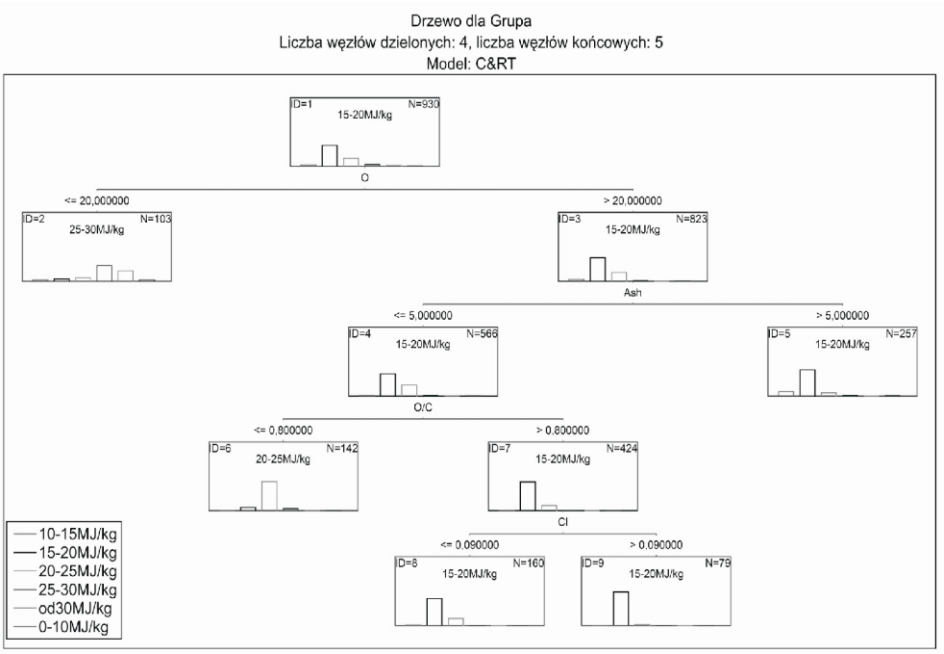
Wykorzystując proces budowy i uporządkowania drzewa klasyfikacyjnego, uzyskano maksymalnie jednorodne podzbiory biomas z punktu widzenia przyjętych kryteriów podziału. Stworzony diagram umożliwia opracowanie w łatwy sposób zbioru możliwie prostych reguł klasyfikacji w postaci koniunkcji kilku warunków logicznych.

5. Wyniki badań i dyskusja

Dzięki zastosowaniu odpowiednich metod i procedur chemometrycznych oraz metod zgłębiania danych uzyskano jednorodne drzewo decyzyjne opisujące tok postępowania podczas klasyfikacji nieznanej biomasy. Zbudowany diagram jest typowym diagramem binarnym, tj. każdy węzeł macierzysty posiada maksymalnie dwa węzły potomne. Jak wspomniano składa się on z jednego węzła macierzystego oraz dziesięciu węzłów końcowych (liści), jak zostało zaprezentowane na rysunku 5 (suma liczebności obiektów w węzłach potomnych nie musi równać się liczebności obiektów w węźle macierzystym). Węzeł źródłowy (macierzysty) liczący 930 obiektów podzielił badaną populację ze względu na zawartość procentową tlenu na dwa węzły potomne,

z których lewy (nr 2) reprezentuje podzbiór opisujący próbki wysokoenergetyczne (węgiel kamienny i brunatny, koks, torf, polimery – 103 obiekty), a prawy podzbiór (nr 3) głównie biomasę – 823 obiektów. W następnym kroku węzeł nr 3 został podzielony ze względu na zawartość popiołu na kolejne podzbiory nr 4 (566 obiektów) i nr 5 (257 obiektów), wyodrębniając tym samym podgrupy o różnym charakterze energetycznym. Grupę nr 4 charakteryzującą się większym ciepłem spalania podzielono ze względu na wielkość współczynnika tlenu do węgla na dwie końcowe gruby nr 6 i nr 7. Grupa nr 6 to grupa składająca się z biomas, które można zakwalifikować jako materiały o potencjalnym zastosowaniu do produkcji bio-oleju.

Ze schematu drzewa klasyfikacyjnego wynika, że spośród 930 obiektów podlegających analizie, 142 biomas (trzy grupy) – a więc ponad 15% stanowią biomasy nadające się bezpośrednio do procesu pirolizy. Biomasy te zaliczają się do stosunkowo wysokoenergetycznej grupy cechującej się wartościami ciepła spalania z przedziału od 20 do 25 MJ/kg i niską zawartością popiołu. Drugą dosyć liczną grupą składającą się ze 160 obiektów (17%), stanowią surowce o niskiej zawartości chloru oraz o cieple spalania z przedziału od 15 do 20 MJ/kg. Są to biomasy które mogłyby zostać poddane procesowi pirolizy, przy akceptacji gorszej jakości bio-oleju lub wykorzystane do termicznego przetworzenia np. w procesie toryfikacji, celem zwiększenia gęstości energetycznej produktu końcowego.



Rys.5. Finalna postać drzewa decyzyjnego dla analizowanych prób
[Źródło: opracowanie własne]

6. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że zastosowanie metod zgłębiania danych z wykorzystaniem metodyki tworzenia drzew klasyfikacyjnych dostarcza efektywnych narzędzi do hierarchicznego podziału złożonych grup obiektów. Cechą charakterystyczną tej metody jest jednoczesny podział zbioru obiektów na podgrupy (klasy) oraz określenie charakterystyki wydzielonych klas za pomocą bardzo prostych reguł przynależności. Stosując równolegle statystykę opisową utworzonych grup otrzymuje się kompletną ich charakterystykę, co znacznie pomaga w klasyfikacji obiektów oraz w procesie wnioskowania. Dzięki tej metodzie w praktyce możliwe jest szybkie sklasyfikowanie nowych obiektów, co jest szczególnie pomocne w momencie, gdy nie dysponujemy szczegółową wiedzą na ich temat.

Do zalet drzew typu C&RT można zaliczyć łatwość interpretacji uzyskanych wyników i ich hierarchiczną naturę, a także elastyczność techniki postępowania, która umożliwia badanie wpływu różnych zmiennych wyjściowych (kryteriów) na wyniki klasyfikacji.

Wyniki badań umożliwiają sformułowanie następujących wniosków empirycznych:

1. Zastosowanie drzewa C&RT, jako narzędzia hierarchicznego podziału wielocechowych obiektów dowodzą, że konstrukcje tego typu mogą być z powodzeniem stosowane do rozwiązywania zadań klasyfikacji biomas z uwzględnieniem kryteriów istotnych z punktu widzenia racjonalnej gospodarki biomasą.
2. W badanej populacji zdecydowanie dominują biomasy charakteryzujące się ciepłem spalania na poziomie 15-20 MJ/kg s.m. Pozwala to na wyznaczenie kierunku przetwórstwa biomas.
3. Dzięki zastosowaniu tego typu hierarchizacji można w prosty sposób podać skład gatunkowy biomasy dla poszczególnych typów jej przetwórstwa, co może radykalnie zwiększyć efektywność prowadzenia procesów, np. pirolizy.
4. Łącząc metodę drzew interakcyjnych z metodami budowy modeli regresyjnych można wyznaczyć model predykcyjny właściwości bio–oleju w funkcji zmiennych charakteryzujących biomasę wytypowana metodą C&RT.

„Opisane badania były finansowane z budżetu Zadania Badawczego nr 4 pt. „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Zaawansowane technologie pozyskania energii" realizowanego ze środków NCBiR.

Literatura

1. Biecka P.: „Drzewa decyzyjne z użyciem pakietu R. Zastosowanie w badaniach występowania nawrotu choroby u pacjentek z nowotworem piersi", Uniwersytet Warszawski 2011.
2. Czernik S., BridgwaterA.V.: Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil, Energy & Fuels 18 (2004) 590–598.
3. Elliott D.C.: Historical developments in hydroprocessing bio-oils, Energy & Fuels 21 (2007) 792–1815.
4. Łapczyński M.: „Drzewa klasyfikacyjne w badaniach satysfakcji i lojalności klientów", Materiały szkoleniowe firmy StatSoft, Warszawa-Kraków.
5. Kozielski S., Małysiak B., Kasprowski P., Mrozek D.: „Wykorzystanie algorytmu CART do automatycznego tworzenia bazy wiedzy systemu ekspertowego", Bazy Danych: Rozwój metod i technologii 2008.
6. Nisbet R., Elder J., Miner G.: „Handbook of statistical analysis and data mining applications", 2009.
7. Mroczko J.: „Wybrane metody eksploatacji danych i wspomagania procesów decyzyjnych", StatSoft Polska, 2003.
8. Muczyński A.: „Podział zasobu nieruchomości wspólnot mieszkaniowych z wykorzystaniem drzewa klasyfikacyjnego", Acta Sci. Pol., Administratio Locorum 9(4) 2010, 73–84.

Wykorzystanie energii z osadów ściekowych w procesie współspalania z węglem kamiennym

Sławomir Stelmach, Ryszard Wasielewski, Krzysztof Słowik - Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla

1. Wstęp

Zagospodarowanie osadów ściekowych jest jednym z najpoważniejszych problemów ekologicznych w kraju, ponieważ możliwości związane z rolniczym wykorzystaniem tych odpadów oraz ich składowaniem są coraz bardziej ograniczone. Dlatego coraz częściej rozważa się możliwość ich energetycznego wykorzystania, co w świetle aktualnych problemów związanych z gospodarką osadami ściekowymi, wydaje się rozwiązaniem jak najbardziej racjonalnym. Krajowy Plan Gospodarki Odpadami [1] przewiduje, że w roku 2022 w Polsce będzie wytwarzane około 750 tys. Mg s.m. komunalnych osadów ściekowych, zatem ich termiczne unieszkodliwianie staje się oczywistą koniecznością.

Wartość opałowa osadów ściekowych - ze względu na bardzo dużą zawartość wody - jest niestety niska, a jednocześnie zmienna w czasie [2]. Z powodu wysokiej zawartości wody w osadach odwodnionych mechanicznie przed spaleniem podsusza się je zwykle dla obniżenia zawartości wilgoci. Suszenie osadów ściekowych pozwala na znaczną redukcję ich objętości oraz uzyskanie produktu o zdecydowanie lepszych parametrach użytkowych w porównaniu do materiału wyjściowego.

Energię chemiczną osadów ściekowych można wykorzystać na drodze ich termicznego przekształcania w procesach spalania, pirolizy lub zgazowania, przy czym jako surowiec stosować można osady ściekowe świeże lub przefermentowane, zarówno bez, jak i z ich wstępną przeróbką (zwykle suszeniem). Celem wstępnej przeróbki osadów jest w tym wypadku poprawa ich własności paliwowych i dostosowanie ich formy fizycznej do możliwości technicznych urządzeń/instalacji, w których odzysk energii będzie realizowany.

Jedną z racjonalnych, niskonakładowych alternatyw wykorzystania komunalnych osadów ściekowych jest wykorzystanie energii na drodze ich współspalania z węglem w istniejących obiektach energetycznych. Współspalanie osadów ściekowych prowadzone jest w krajach Europy Zachodniej w wielu elektrowniach – przede wszystkim w Niemczech, ale również na terenie Belgii, Holandii, czy Austrii [3, 4]. Wśród niemieckich elektrowni współspalających osady ściekowe z węglem można wymienić np. elektrownie zlokalizowane w miejscowościach Duisburg, Heilbronn i Weiher (węgiel kamienny) oraz Berrenrath, Boxberg i Lippendorf (węgiel brunatny) [5, 6]. Ogółem w Niem-

czech współspalanie osadów w energetyce prowadzone jest w osiemnastu elektrowniach opalanych węglem kamiennym i ośmiu – węglem brunatnym [6]. Udział masowy osadów ściekowych w spalanej mieszance węgiel–osady z reguły nie przekracza 10%. Analizując dostępne dane eksploatacyjno-ruchowe w zakresie parametrów energetycznych i emisyjnych można stwierdzić, że nie odnotowano w tych obiektach istotnych odchyleń w funkcjonowaniu instalacji kotłów w porównaniu do ich eksploatacji z wykorzystaniem samego węgla. Zauważono nieznaczny wzrost wskaźników emisji niektórych substancji gazowych oraz wzrost zawartości metali ciężkich w popiołach lotnych.

W Polsce, jak dotychczas nie współspala się osadów ściekowych w kotłach energetycznych, chociaż podejmowane są wstępne próby mające pozwolić na dokonanie technicznej oceny takiego rozwiązania. Jedną z nich były testy współspalania osadów ściekowych z węglem kamiennym przeprowadzone przez pracowników IChPW w Elektrociepłowni Wybrzeże SA w Gdańsku [7].

2. Podstawowe wymagania techniczne przy współspalaniu osadów ściekowych

Najważniejsze wymagania techniczne konieczne do dotrzymania przy współspalaniu z węglem osadów ściekowych, wynikają z obowiązujących przy takiej działalności aktów prawnych. Proces współspalania ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych z węglem kamiennym jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której proces ten zachodzi jest instalacją współspalania odpadów, co rodzi określone konsekwencje prawne. Współspalanie osadów ściekowych musi być prowadzone zgodnie z wymaganiami rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów [8]. Oznacza to, że proces współspalania odpadów powinien być prowadzony w taki sposób, aby temperatura gazów powstających w wyniku spalania, zmierzona w pobliżu wewnętrznej ściany lub w innym reprezentatywnym punkcie komory spalania lub dopalania, wynikającym ze specyfikacji technicznej instalacji, po ostatnim doprowadzeniu powietrza, nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach, utrzymywana była przez co najmniej 2 sekundy na poziomie nie niższym niż 850^{o}C - dla odpadów zawierających poniżej 1% związków chlorowcoorganicznych przeliczonych na chlor (zawartość chloru w komunalnych osadach ściekowych jest niższa niż 1%, wobec tego warunek utrzymania spalin w temperaturze >1100^{o}C przez co najmniej 2 sekundy, współspalania osadów ściekowych nie dotyczy).

Całkowita zawartość węgla organicznego w żużlach i popiołach paleniskowych nie powinna przekraczać 3% lub udział części palnych w żużlach i popiołach paleniskowych nie powinien przekraczać 5%. Ponadto instalacja współ-

spalania musi być wyposażona w automatyczny system podawania odpadów pozwalający na zatrzymanie ich dozowania podczas:

– rozruchu - do czasu osiągnięcia wymaganej temperatury,

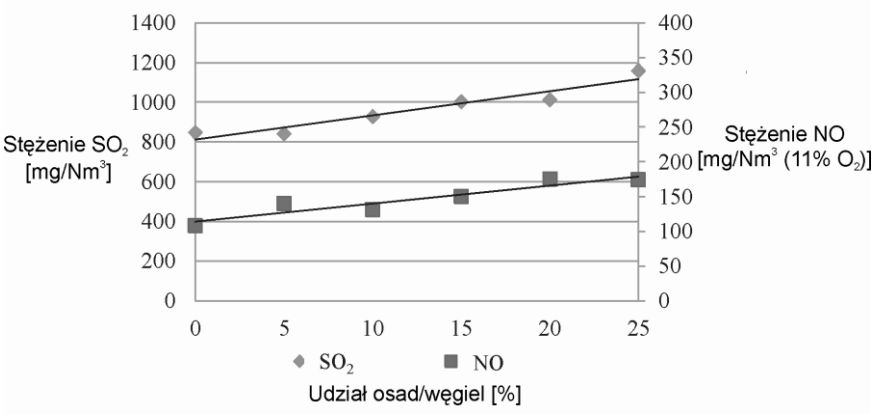
– procesu - w razie nieosiągnięcia wymaganej temperatury lub przekroczenia dopuszczalnych wartości emisji.

Instalacja powinna posiadać ponadto układ ciągłego pomiaru temperatury, zawartości tlenu oraz ciśnienia gazów spalinowych w komorze spalania lub komorze dopalania.

Na podmiocie współspalającym osady ściekowe z węglem spoczywa obowiązek prowadzenia pomiarów emisji zgodnie z wymogami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody [9]. Zakres i metodyki referencyjne wykonywania ciągłych i okresowych pomiarów emisji do powietrza z instalacji współspalania odpadów zawiera załącznik nr 3 do tego rozporządzenia. Zgodnie z nim ciągłe pomiary emisji przy współspalaniu odpadów, a więc i osadów ściekowych (dotyczy instalacji spalania paliw o łącznej nominalnej mocy cieplnej nie mniejszej niż 100 MW) powinny obejmować: pył ogółem, SO_2, NO_x (w przeliczeniu na NO_2), CO, HCl, substancje organiczne w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel organiczny, HF, O_2, a ponadto prędkość przepływu lub ciśnienie dynamiczne spalin, ich temperaturę, ciśnienie statyczne lub bezwzględne oraz wilgotność bezwzględną lub stopień zawilżenia. Pomiary okresowe powinny obejmować emisję Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, As, Cd, Hg, Tl, Sb, V, Co oraz dioksyny i furany.

Ważną rolę, z punktu widzenia podmiotów prowadzących instalacje współspalania odpadów, odgrywa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 kwietnia 2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji [10]. W rozporządzeniu tym, w rozdziale 3, §16 ustęp 2 zapisano, że jeżeli w instalacji wraz z paliwami spalane są odpady inne niż niebezpieczne w ilości nie większej niż 1% masy tych paliw, to do instalacji tej nie stosuje się przepisów dotyczących niniejszego rozdziału. Oznacza to w praktyce konieczność stosowania dla takich instalacji dotychczas stosowanych standardów emisyjnych dla paliw, jakie w niej spalano. W przypadku przekroczenia 1% masowego udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej, obowiązują znacznie ostrzejsze standardy emisyjne, wyznaczane według tzw. „reguły mieszania" opisanej w załączniku nr 6 do powyższego rozporządzenia. Standardy emisyjne wyznaczone według załącznika nr 6 są trudne do dotrzymania dla wielu istniejących instalacji energetycznych. Jednocześnie zapis dotyczący współspalania odpadów w ilości do 1% udziału absolutnie nie zwalnia z obowiązku zachowania innych przepisów, w tym szczególnie dotyczących czasu przebywania spalin w określonej temperaturze i zawartości części palnych w popiele. Przykładowe

dane odnośnie tego, jak współspalanie osadów z węglem możne wpływać na wzrost emisji SO_2 i NO_x zaprezentowano na rysunku 1 [2].



Rys.1. Wzrost emisji SO_2 i NO w funkcji udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej z węglem [2]

Podmiot podejmujący współspalanie osadów ściekowych - obok wymagań emisyjnych i wymagań procesowych - musi się liczyć z wieloma uwarunkowaniami eksploatacyjnymi, wśród których najważniejszymi są szlakowanie powierzchni ogrzewalnych kotła oraz zmiana charakterystyki popiołów, które często stanowią produkt sprzedażny. Biorąc pod uwagę, że zawartość frakcji mineralnej w osadach jest zdecydowanie większa niż w paliwie węglowym, udział popiołów z osadów może mieć istotny wpływ na ilość oraz ogólny skład popiołów ze spalania mieszanki paliwowej węgiel-osady komunalne [11, 12]. Tabela 1 prezentuje zmiany ilości popiołu wydzielanego w cyklonie i filtrze podczas współspalania osadów z węglem przy rosnącym udziale osadów ściekowych w mieszance paliwowej [4].

Zmiany ilości popiołu dla różnych udziałów energetycznych osadów ściekowych w paliwowej mieszance z węglem

Tabela 1

Udział energetyczny (węgiel/osad ściekowy)	Popiół w cyklonie [kg/h]	Popiół w filtrze [kg/h]	Suma
100/0	0,7	0,05	0,75
85/15	4,6	0,3	4,9
75/25	5,8	0,4	6,2

Zasadniczy wpływ na zachowanie się substancji mineralnej przy spalaniu osadów ściekowych mają metale alkaliczne - Na, K, Ca oraz niemetale - chlor, siarka i fosfor. Sód i potas w wysokich temperaturach spalania odparowują, a w wyższych partiach kotła pyłowego wchodzą w reakcję z innymi składnikami spalin (proces ten przebiega nieco inaczej w złożu fluidalnym), tworząc związki niskotopliwe, które osadzają się na powierzchniach przegrzewaczy. Rodzaj

osadów, ich kształt i grubość zależą w dużej mierze od stosunku S/Cl w paliwie. Proces tworzenia się osadów w obecności siarczanów, a zwłaszcza związków chloru, znacznie przyspiesza korozję wysokotemperaturową.

W przypadku podjęcia współspalania osadów ściekowych z węglem należy liczyć się ze zmianą składu chemicznego i wielkości strumienia spalin, a w konsekwencji ze zmianą ich właściwości radiacyjnych (takich jak emisyjność, czy absorpcyjność) oraz zmianą prędkości i lepkości, co ma bezpośredni wpływ na intensywność konwekcyjnej wymiany ciepła. Zmiana ilości i właściwości cząstek stałych unoszonych przez spaliny spowodowana współspalaniem również powoduje zmianę emisyjności spalin, a ponadto zmianę intensywności zanieczyszczania popiołem powierzchni ogrzewalnych. Spalanie paliw o innej niż projektowa charakterystyce może powodować istotne zmiany charakteru i rozmiarów zanieczyszczeń powierzchni ogrzewalnych, co z kolei silnie oddziałuje na ilość ciepła przejętego przez poszczególne powierzchnie. W efekcie następuje zmiana rozkładów temperatur spalin i czynników ogrzewanych w kotle, mogąca spowodować wzrost wymaganych strumieni wody wtryskowej lub niedotrzymanie nominalnych temperatur czynników oraz zmiany temperatury materiału w poszczególnych elementach kotła.

Alkalia zawarte w paliwie mogą potęgować tworzenie się osadów i korozję powierzchni ogrzewalnych kotła. Powstające osady zmniejszają skuteczność wymiany ciepła, a związana z nimi korozja może spowodować uszkodzenie przegrzewaczy pary, prowadząc do awarii i nieplanowanych przestojów. Sole metali alkalicznych zawarte w popiele lotnym są szczególnie uciążliwe, gdyż powodują zmniejszenie temperatury topnienia popiołu i zwiększenie jego „lepkości", co powoduje nasilenie się powstawania osadów. Wysokie szybkości korozji wiążą się zaś z występowaniem ciekłych składników na powierzchni rur. Stąd pojawienie się żużlowania (lub jego intensyfikacja w porównaniu do stanu sprzed współspalania) niesie ze sobą ryzyko uszkodzeń ekranów kotła.

Skład chemiczny popiołów z osadów ściekowych pochodzenia komunalnego każe stwierdzić, że spalanie lub współspalanie osadów ściekowych wiąże się zwykle z wystąpieniem (bądź nasileniem) procesów żużlowania i zanieczyszczania powierzchni ogrzewalnych kotła. W celu wstępnej oceny możliwości wystąpienia tych zjawisk niezbędne jest zbadanie charakterystyki popiołu z konkretnych osadów, zarówno pod kątem składu chemicznego (tlenkowego), jak i charakterystycznych temperatur topliwości. Trzeba jednak pamiętać o tym, że dopiero testy ruchowe spalania, bądź współspalania osadów ściekowych przeprowadzone na konkretnym obiekcie energetycznym, są w stanie dać wiarygodną odpowiedź w kwestii możliwości wystąpienia oraz poziomu nasilenia tych niekorzystnych zjawisk.

3. Osady ściekowe jako biomasa

Możliwość potraktowania osadów ściekowych jako biomasy, ma niezwykle istotne znaczenie dla popularyzacji termicznych metod ich zagospodarowania, w tym również współspalania. Przedstawione w tabeli 2 dane wyraźnie wykazują, że osady ściekowe są materiałem biodegradowalnym, a w świetle analizy przytoczonych poniżej aktów prawnych mogą być również uważane za biomasę.

Zmiany ilości popiołu dla różnych udziałów energetycznych osadów ściekowych w paliwowej mieszance z węglem

Tabela 2

Oznaczenie	Komunalny osad ściekowy		
	Próbka nr 1	Próbka nr 2	Próbka nr 3
zaw. frakcji biodegradowalnej X_B^d, %	58,1	70,9	73,4
zaw. frakcji niebiodegradowalnej X_{NB}^d, %	7,7	5,0	4,4
zawartość popiołu A^d, %	34,2	24,1	22,2

W rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 r. (Dz. U. Nr 34, poz. 182, 2010 r.) zmieniającym rozporządzenie 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 elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, przedstawiono następującą definicję biomasy (dla celów związanych z rozliczaniem energii z odnawialnych źródeł energii - OZE):

„Biomasa — stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, oraz ziarna zbóż niespełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE) nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury przejęcia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UE L 192 z 19.07.2008, str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu”.

Zawarta w rozporządzeniu MG definicja biomasy - wskazująca odpady ulegające biodegradacji, jako jedne z jej przedstawicieli - pozwala także zaliczyć do tej grupy wszelkie inne rodzaje odpadów ulegających biodegradacji, takie jak np. komunalne osady ściekowe.

Podstawowym warunkiem odzysku energii zawartej w takich odpadach (zaliczanej do energii z OZE) jest jednak wymóg, aby proces ich termicznego przekształcania odbywał się w spalarniach bądź współspalarniach, zgodnie

z przepisami wynikającymi z dyrektywy 2000/76/WE w sprawie spalania odpadów, gdyż procesom tym poddawane są odpady, a nie paliwa konwencjonalne [13, 14].

Z kolei, w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 r. (Dz. U. Nr 183, poz. 1142, 2008 r.) w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji przedstawiono następującą definicję biomasy:

„Biomasą jest niekopalny materiał organiczny ulegający biodegradacji, pochodzący z roślin, zwierząt i mikroorganizmów, a także produkty, produkty uboczne, pozostałości i odpady z działalności w rolnictwie, leśnictwie i z pokrewnych kategorii działalności przemysłowej, niekopalne i ulegające biodegradacji frakcje organiczne odpadów przemysłowych i komunalnych, w tym gazy i płyny odzyskiwane w procesie rozkładu niekopalnego i ulegającego biodegradacji materiału organicznego; wykaz materiałów uznawanych za biomasę jest określony w części F załącznika nr 1 do rozporządzenia; wskaźnik emisji biomasy wynosi zero [Mg CO_2/TJ lub Mg lub m^3]”.

W części F załącznika nr 1 do wymienionego powyżej rozporządzenia, zawierającej wykaz materiałów uznawanych za biomasę neutralną pod względem CO_2 wymieniono (w grupie 2) osady ściekowe:

„Grupa 2: Odpady biomasy, produkty i produkty uboczne z biomasy między innymi: odpady przemysłowe drewna, w tym odpady z obróbki i przetwórstwa drewna, wytwarzanie przedmiotów i konstrukcji drewnianych oraz powstające przy wytwarzaniu materiałów drewnopochodnych, drewno poużytkowe, w tym produkty i materiały drewniane oraz poużytkowe produkty finalne i półprodukty przetwórstwa drzewnego, odpady na bazie drewna z przemysłu celulozowego, drzewne i drewnopochodne odpady przemysłu papierniczego, np. ług czarny, surowy olej talowy, olej talowy oraz olej smołowy z produkcji celulozy, pozostałości z leśnictwa, lignina z przetwarzania roślin zawierających lignocelulozę, mączka zwierzęca, rybna i spożywcza, tłuszcze, oleje i łój zwierzęcy, rybne i spożywcze, pierwotne (biomasowe) pozostałości przy produkcji żywności i napojów, oleje i tłuszcze jadalne; nawóz zwierzęcy, pozostałości roślin uprawnych, ***osady ściekowe****, biogaz wytwarzany podczas procesów gnilnych, fermentacji lub gazyfikacji biomasy, szlam portowy i inne szlamy i osady wodne, gaz składowiskowy; węgiel drzewny”.*

Przedstawione akty prawne nie pozostawiają wątpliwości, że obecnie osady ściekowe mogą być już uznawane za biomasę dla celów związanych z rozliczaniem energii z odnawialnych źródeł energii i uwzględniane w systemie handlu uprawnieniami do emisji.

4. Podsumowanie

Współspalanie osadów ściekowych z węglem kamiennym lub brunatnym w istniejących obiektach energetycznych jest atrakcyjnym wariantem ich zagospodarowania, cechującym się koniecznością poniesienia relatywnie niskich nakładów inwestycyjnych na uruchomienie procesu. Współspalanie osadów ściekowych z węglem w odpowiednio dobranych proporcjach (konieczne testy ruchowe) nie stwarza nadmiernych zagrożeń środowiskowych wynikających z podwyższenia emisji zanieczyszczeń, a może nawet mieć pozytywny efekt, zarówno na emisję z kotła, jak i jego parametry operacyjne [6]. Zaliczenie energii wytwarzanej z udziałem osadów ściekowych do energii odnawialnej – przy obecnym stanie regulacji prawnych – jest możliwe, wymaga jednak stosowania jasnych i precyzyjnych zasad określania i ewidencjonowania ilości energii wytworzonej na bazie biodegradowalnej frakcji tych odpadów. Przeszkodą w upowszechnieniu się współspalania osadów ściekowych w energetyce może być jednak fakt, iż proces ten jest procesem przekształcania termicznego odpadów, a instalacja przemysłowa, w której jest on realizowany jest instalacją współspalania odpadów, co rodzi określone konsekwencje prawne, techniczne i kosztowe. Poważną barierę stanowić może również coraz intensywniejszy rozwój dedykowanych instalacji spalania osadów, które już w roku 2012 powinny umożliwiać w naszym kraju spalenie blisko 160 tys. Mg s.m. osadów ściekowych [15].

Trzeba pamiętać, iż proces współspalania osadów ściekowych w kotłach węglowych powinien być realizowany tylko w instalacjach kotłowych umożliwiających dotrzymanie formalnych wymagań technicznych odnośnie współspalania odpadów. Szczególnie trudny do dotrzymania jest warunek zapewnienia minimalnego czasu 2 s przebywania spalin w obszarze temperatury powyżej 850^{o}C w konstrukcjach kotłowych do tego celu specjalnie nie przygotowanych. Z kolei przekroczenie 1% udziału osadów ściekowych w mieszance paliwowej, przy aktualnej konfiguracji układów oczyszczania spalin w większości instalacji krajowej energetyki, może powodować problemy z dotrzymaniem legislacyjnych wymagań w zakresie standardów emisyjnych dla współspalania odpadów.

Literatura

1. Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. w sprawie "Krajowego planu gospodarki odpadami 2014" (M.P. Nr 101, poz. 1183).
2. Nadziakiewicz J., Kozioł M.: Co-ombustion of sludge with coal. Applied Energy, 75 (2003) 239-248.
3. Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge. Scientific and technical sub-component report, European Commission, 23 October, 2001.

4. Werther J., Ogada T.: Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 25 (1999) 55÷116.
5. Richers U., Scheurer W., Seifert H., Hein K.R.G.: Present Status and Perspectives of Co-combustion in German Power Plants, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruche, 2002.
6. Werther J.: Potentials of biomass co-combustion In coal fired boilers. Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion (Editors: G.Yue, H.Zhang, Ch. Zhao, Z. Luo), Tsinghua University Press, Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
7. Stelmach S., Zuwała J., Wasielewski R., Hrycko P.: Analiza energetyczno-emisyjna współspalania komunalnych osadów ściekowych na przykładzie testów przemysłowych kotła pyłowego OP-230 w Elektrociepłowni „Wybrzeże" - Gdańsk, Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce, Praca zbior. pod red. M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis, Wyd. IChPW Zabrze, 2007, s. 295÷309.
8. Dz. U. z 2002 r., Nr 37, poz. 339 wraz z późn. zm.
9. Dz.U. 2008 nr 206 poz. 1291.
10. Dz.U. 2011 nr 95 poz. 558.
11. Pająk T.: „Wybrane zagadnienia spalania i współspalania komunalnych osadów ściekowych", Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1, 2007, s. 26-29.
12. Pronobis M.: Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations, Biomass&Bioenergy, 28, 2005, s. 375-383.
13. Pająk T.: Odpady jako biomasa i odnawialne źródło energii w świetle obowiązującego prawa, Czysta Energia, 11, 2008, s. 10-11.
14. Stelmach S., Wasielewski R.: Formalno-prawne uwarunkowania odzysku energii ze współspalania komunalnych osadów ściekowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 9, 2008, s. 59 68.
15. Pająk T.: Osady ściekowe jako odpady palne oraz składnik paliwa alternatywnego. V Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Suszenie i termiczne przekształcanie osadów ściekowych". 14-16 września 2011, Kielce.

Efektywność odzysku metanu z wysypiska komunalnego na przykładzie wysypiska Barycz

Barbara Tora, Maciej Michałowski – Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wstęp

W kraju istnieją setki wieloletnich wysypisk odpadów oraz wiele zbiorników odchodów i zlewisk gnojowicy, w których w wyniku zachodzących procesów fermentacyjnych wytwarza się energetyczny biogaz [11]. Biogaz zawiera metan, dwutlenek węgla, wodór i inne, migrujące do atmosfery, gazy. Z każdej tony zgromadzonych na wysypisku odpadów w okresie dziesięciu lat można odzyskać do 250 m^3 biogazu, przy czym każdy 1 m^3 odpowiada wartości 0,8 l oleju opałowego [3]. Ze względów ekonomicznych, jak również ekologicznych wytwarzany biogaz jest odzyskiwany. Dla umożliwienia odzysku gazu z wysypisk śmieci zakłada się specjalną, stosunkowo prostą instalację odgazowującą. Instalacja taka składa się z rozmieszczonych w odległości co 50 -100 m "studni" odgazowujących wykonanych z perforowanych kręgów betonowych lub blaszanych wypełnionych żużlem, od góry szczelnie zakrytych. Z tych "studni" są promieniście wyprowadzane-wbite poziomo perforowane rury pozwalające na odgazowanie w miarę możliwości całego wysypiska. Z poszczególnych studni gaz jest wyprowadzony za pomocą przewodów ciśnieniowych (mogą być elastyczne) połączonych z kolektorem głównym i pompownią odsysającą biogaz z jego ujęć. Takie urządzenia można również instalować jeszcze przed nagromadzeniem odpadów tzn. na części wysypiska, które dopiero będzie eksploatowane.

Należy podkreślić, że bez względu na przyjętą technologię unieszkodliwiania odpadów komunalnych, składowanie na wysypisku występuje zawsze albo jako metoda uzupełniająca, albo jako końcowy moment procesu zagospodarowania z uwagi na występowanie odpadów technologicznych. Na przykład z procesu kompostowania pozostaje ok. 40-50% (wagowo) odpadu technologicznego, a z procesu spalania ok. 10-20% odpadu, wymagającego składowania na wysypisku.

2. Cel badań

Celem badań przedstawionych w rozdziale było określenie produktywności składowiska odpadów komunalnych Barycz. Wielkość produktywności określono za pomocą dwu modelu; *modelu landfill* oraz *modelu belgijskiego*.

3. Charakterystyka składowiska Barycz

Składowisko odpadów komunalnych Barycz składa się z trzech części odpowiadających trzem etapom eksploatacji [2, 3]:

- etap I o powierzchni około 12,5 ha zrekultywowany w latach 1992-1995,
- etap II o powierzchni około 13,5 ha, został zamknięty i zrekultywowany po roku 2005,
- etap III składowiska o powierzchni około 11 ha oddane do eksploatacji w I kwartale 2005 r.

Docelowa rzędna składowania wynosi 295 m n.p.m.

Pierwszy etap eksploatacji składowiska to zapadlisko poeksploatacyjne „Kopalni Soli Wieliczka" o pojemności około 1.200.000 m³ wypełnione odpadami. Całość terenu została ukształtowana poprzez dowiezienie i rozplantowanie warstwy ziemi o grubości od 0,6 do 1,0 m. Na tym terenie zabudowano 49 studni odgazowujących doszczelnionych od góry folią PEHD oraz stacja przesyłowa biogazu i komora spalania biogazu. Powierzchnia terenu obsiana jest trawą, wzdłuż granicy wschodniej tej części po wcześniejszym nawiezieniu dodatkowej warstwy ziemi o grubości około 1,5 m założony został pas nasadzeń krzewów i drzew o szerokości około 40 m. Prace rekultywacyjne na tym terenie prowadzone były w latach 1992-1997. Na czaszy tego etapu wybudowana została sieć rowów sprowadzających wody opadowe z terenu powyżej składowiska oraz z części zrekultywowanej.

W II etapie eksploatacji składowiska o powierzchni około 13,5 ha odpady nie tylko wypełniły istniejące zagłębie terenu, ale były również deponowane nadpoziomowo, tworząc wzniesienie. Eksploatacja prowadzona była tarasowo poprzez usypywanie kolejnych obwałowań ziemnych o średniej wysokości około 2 m wokół eksploatowanej części i wypełnianie uzyskanej niecki odpadami. Drugi etap jest eksploatowany od roku 1992. Łączną pojemność tego etapu określa się na około 2.200.000 m³. Część terenu II etapu składowiska odpadów komunalnych Barycz po stronie zachodniej u podnóża części ponadpoziomowej składowanych odpadów przeznaczona została pod zabudowę kontenerowej kompostowni odpadów zielonych i wykonane zostały prace budowlano-instalacyjne dla jej zabudowy. Po oddaniu do eksploatacji III etapu składowiska II etap składowiska poddany został procesowi rekultywacji i zamknięciu zgodnie z harmonogramem zamknięcia i decyzją o zamknięciu. W ramach rekultywacji wierzchowina i skarpy przykryte zostały warstwą ziemi o grubości około 1 m (na czaszy) i około 20 cm (na skarpach) i obsiane trawą. Wykonana zostanie kanalizacja odprowadzająca odcieki i sieć rowów opaskowych dla sprowadzenia wód opadowych z czaszy.

Trzeci etap eksploatacji składowiska pokrywa się z trzecim etapem składowiska odpadów komunalnych Barycz, zajmując powierzchnię około 11 ha

i ukształtowany został jako niecka zagłębiona o nachyleniu skarp 1:3 z zabudowaniem półek pośrednich, zapewniających lepszą stateczność skarp. Pojemność III etapu składowiska określa się na 2.000.000 m³. Złoże odpadów na terenie III etapu składowiska zostanie ukształtowane jako ponadpoziomowe do zrównania i złączenia z II etapem składowiska. Dla III etapu składowiska zaprojektowano system odgazowania złoża pionowo-poziomy przy wykorzystaniu pionowych studni gazowych, budowanych sukcesywnie wraz z formowaniem nowych warstw odpadów, oraz poziomych rurociągów zbierających. Zaprojektowany układ umożliwia elastyczną pracę całego systemu ujęcia i wykorzystania gazu.

Biogaz do zbiorczej stacji gazowej IGNIG ST Z2 doprowadzany jest rurociągami z trzech części składowiska: I, II, III etapu składowania odpadów. W stacji gaz jest mieszany, a następnie przesyłany do bloków energetycznych. Odbiór biogazu z I etapu składowania pomimo niskiej zawartości metanu jest celowy ze względu na konieczność odgazowania tego terenu i zmniejszenie migracji poza granice składowiska. W I kwartale 2010 roku stężenie metanu w biogazie dostarczanym do bloków energetycznych wahało się w granicach 60,6-62,00 % v/v i nie powodowało zakłóceń w procesie produkcji energii. Podłączenie rurociągów odbierających gaz ze studni zlokalizowanych na III etapie składowiska do stacji zbiorczej ST-Z2 umożliwiło eksploatowanie wszystkich bloków energetycznych o pełnej mocy równocześnie. Gaz z III etapu mieszany jest w stacji z gazem z etapu II. Takie rozwiązanie pozwala na zmniejszenie zagrożeń powodowanych zmniejszającą się produkcją gazu na terenie II etapu. W celu osiągnięcia odpowiedniego strumienia objętości gazu odbieranego z III etapu w obecnej konfiguracji instalacji konieczne jest zastosowanie podciśnienia o wartości mieszczącej się w granicach 6,5 do 18,0 kPa. Należy jednak stale monitorować prace instalacji odgazowania składowiska i na bieżąco regulować dostawy gazu, aby zapewnić w optymalny sposób stabilną pracę bloków energetycznych.

W tabeli 1 przedstawiono średni skład morfologiczny odpadów zdeponowanych na składowisku Barycz.

Skład morfologiczny odpadów na składowisku Barycz [2]

Tabela 1

Składnik	Udział [%]
Odpady spożywcze pochodzenia roślinnego i zwierzęcego	33
Papier	20,1
Tworzywa sztuczne	13,5
Szkło	11,1
Metal	3,4
Opakowania wielomateriałowe	1,3
Pozostałe	18,0

Masa odpadów przyjętych na składowisko w roku 2011 wyniosła 185230 Mg.

Skład pozyskiwanego gazu (wartości średnie): CH_4 - 61,9%, CO_2 - 37,7%; O_2 - 0%; N_2 - 0,1-1,8%, przepływ gazu 435-510 m^3/h.

4. Produkcja energii z biogazu

Na składowisku zabudowane są cztery kontenerowe bloki energetyczne (zespoły prądotwórcze): dwa o mocy 250 kWh każdy, jeden o mocy 375 kWh i jeden o mocy 469 kWh. W przypadku awarii bloków biogaz kierowany jest do komory spalania. Oddane do eksploatacji kontenerowe bloki energetyczne są instalacjami całkowicie zautomatyzowanymi, bezobsługowymi. Produkowana w nich energia elektryczna po zaspokojeniu potrzeb własnych składowiska jest sprzedawana do sieci energetycznej. Pozyskiwane przy produkcji energii elektrycznej z biogazu ciepło służy do ogrzewania obiektów zaplecza składowiska i potrzeb ciepłej wody użytkowej.

5. Prognoza produktywności gazowej składowiska

Na podstawie danych literaturowych przyjęto masę odpadów przyjętych w latach 1992-1996, z danych pozyskanych na wysypisku oraz prognoz masy odpadów do roku 2020.

Natomiast masę odpadów zdeponowanych w latach wcześniejszych (1974-1991) przyjęto jako wartość teoretyczną obliczoną na podstawie masy wszystkich odpadów przyjętych do roku 1991 (etap 1). Szczegółowe dane na temat masy odpadów istnieją dopiero od 1992 roku.

W związku z traktatem akcesyjnym, który nakłada na Polskę obowiązek ograniczenia do 2020 roku ilości składowanych odpadów biodegradowalnych o 65% w porównaniu do ilości tej frakcji wytworzonej w 1995 roku, od roku 2013 wymaga się ograniczenia o 50% ilości odpadów biodegradowalnych na składowiskach w stosunku do ilości tej frakcji wytworzonej w 1995 roku. W związku z tym w obliczeniach założono, że od 2013 roku pozyskiwanie biogazu będzie prowadzone już tylko z odpadów zdeponowanych na wysypisku w latach poprzednich.

6. Prognoza produktywności gazowej modelem Landfill

Model *Landfill* został opracowany przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska w 1996 roku. Pozwala on na oszacowanie emisji metanu, dwutlenku węgla oraz nie metanowych, organicznych składników biogazu.

Podstawowe parametry zastosowane do modelu to:

Stała szybkość rozkładu k - k = 0,05[1/rok]

k – jest funkcją zawartości wilgoci w odpadach, podaży pożywki dla metanogenów, pH i temperatury

L_o - całkowita jednostkowa produkcja potencjalna metanu – przyjęto, że L_o zależy od ilości celulozy zawartej w odpadach i wynosi L_o = 1,169 m^3 /tonę lub L_o = 1,124 m^3/tonę.

Model ten opisuje formuła:

$$G_{CH4} = L_O \cdot M_i \cdot \rho \cdot k \cdot \exp(-kt_i) \ \left[ton/rok\right] \quad (1)$$

gdzie:

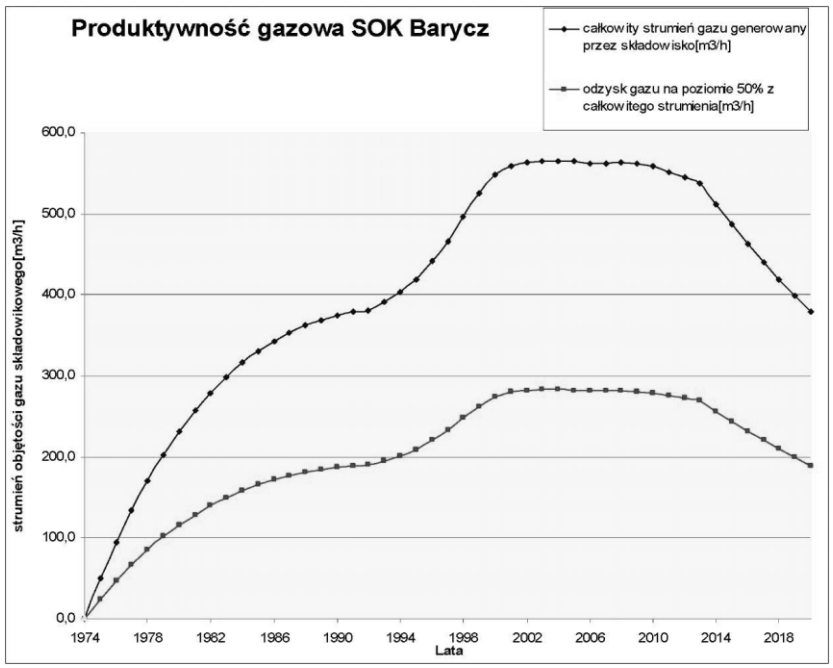
G_{CH4} – ilość generowanego metanu [tony/rok]

M_i – masa zdeponowanych odpadów w roku t_i [tony]

ρ – gęstość składnika biogazu w temperaturze 293K [ton/m^3] = 0,00076 [Mg/m^3]

t_i – kolejny rok bilansowy, t_i = 0 do t_k

Wyniki obliczeń produktywności gazowej Składowiska Odpadów Komunalnych dla modelu *Landfill* dla k = 0,05 [1/rok] i dla L_o = 169,9 [m^3/Mg] w latach 1974-2020 przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Wyniki obliczeń dla modelu *Landfill* dla k = 0,04 [1/rok] i dla L_o = 124,91 [m^3/Mg]

7. Obliczenia dla *modelu belgijskiego*

Model belgijski jest to model rozkładu pierwszego rzędu z podejściem IPCC. Model uwzględnia rozmaite czynniki, mające wpływ na tempo i zakres wytwarzania metanu oraz jego uwalnianie się ze składowiska odpadów.

Postać modelu:

$$S_{p,y} = Q_y \cdot DOC \cdot k \cdot C \cdot \exp\left(-k \cdot Dt\right) \tag{2}$$

gdzie:

$S_{p,y}$ – roczny wskaźnik powstawania biogazu P [m^3]

Q_y – roczna ilość odpadów składowanych Y [Mg]

DOC – początkowy węgiel organiczny ulegający degradacji [kg/Mg]

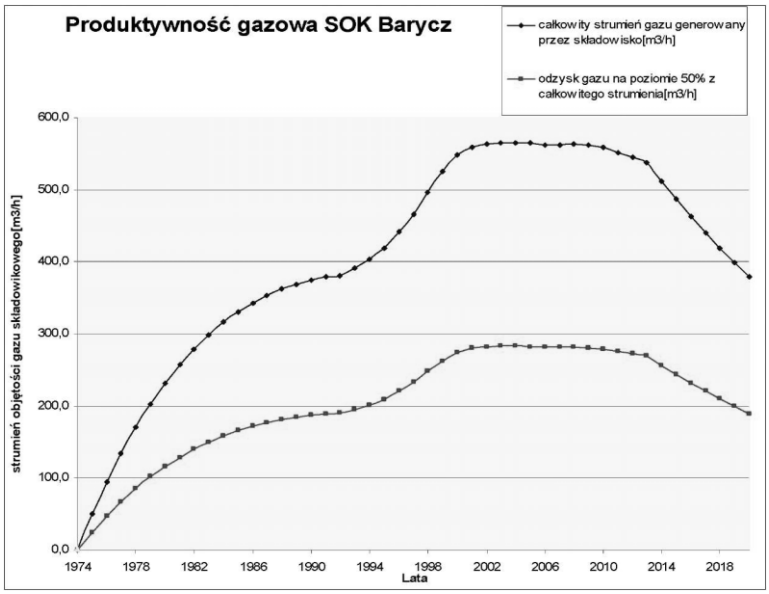
k – stały wskaźnik biodegradacji [%/rok]

Dt – okres od pierwotnego składowania (*Y-P*) [rocznie]

C – % *DOC*, który uległ faktycznej degradacji [%]

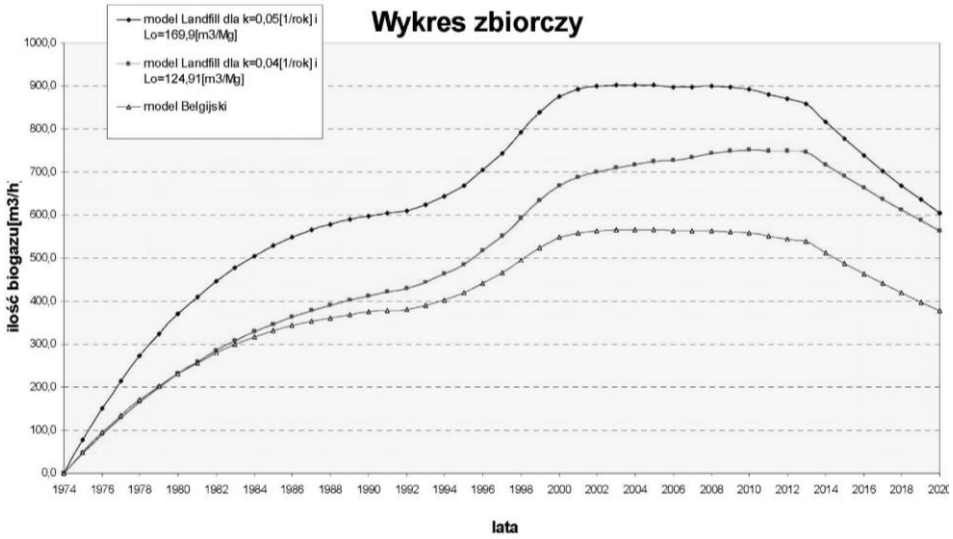
W modelu założono, że:

- odpady ulęgają rozkładowi w ciągu 25 lat,
- obniżenie DOC jest wynikiem zwiększonego sortowania odpadów komunalnych i przemysłowych,
- w wyniku działania bakterii tlenowych przez jeden rok nie dochodzi do powstawania metanu,
- gaz pochodzący ze składowiska zawiera 55% metanu i 45% CO_2.



Rys.2. Wyniki obliczeń dla *modelu belgijskiego*

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń dla wszystkich modeli.



Rys.3. Graficzne przedstawienie obliczeń wszystkich modeli

W tabeli 2 przedstawiono relację ilości energii elektrycznej wyprodukowanej w blokach energetycznych w 2010 roku do ilości energii wykorzystywanej na potrzeby własne zakładu. Różnica tych dwóch wielkości to energia elektryczna sprzedana do sieci, z której składowisko odpadów komunalnych Barycz czerpie korzyści materialne.

Produkcja i wykorzystanie energii elektrycznej z biogazu [2]

Tabela 2

Miesiąc 2010 r.	Ilość energii wyprodukowanej [kWh]	Ilość energii na potrzeby własne [kWh]	Ilość energii przekazanej do Enion [kWh]
Styczeń	672.551	110.299	562.252
Luty	646.479	94173	552.306
Marzec	697.863	100.203	597.660
Kwiecień	743.909	94632	649.277
Maj	677.652	90543	587.109
Czerwiec	728.527	92127	636.400
Lipiec	718.582	94233	624.349
Sierpień	740.412	94403	646.009
Wrzesień	771.488	100.396	671.092
Październik	771.328	112.322	659.626
Listopad	731.948	105.193	626.702
Grudzień	737.895	117861	620.034
SUMA	8.638.629	1.206.385	7.432.244

8. Analiza produktywności gazowej wysypiska

Analizując modele matematyczne służące do prognozowania produktywności gazowej i sposób prognozowania według tych modeli stwierdzono, że do wyznaczenia dokładnej prognozy potrzebne są bardzo szczegółowe dane. Zakres zebranych danych pozwolił na przeprowadzenie dosyć trafnej analizy i prognozy. Produktywność gazowa rosła systematycznie by osiągnąć swoje maksimum w latach 2000-2010. Wyniki są zgodne z informacjami pozyskanymi na składowisku. Błąd obliczeniowy wynika z braku możliwości określenia dokładnej masy odpadów zdeponowanej na składowisku w latach 1974-1991.

Na składowisku pozyskano dokładne informacje na temat ilości pozyskanego biogazu w latach 2004-2010, a także dane o ilości energii wytworzonej z bloków energetycznych.

W tabeli 2 przedstawiono produktywność gazową wysypiska Barycz koło Krakowa. Dane są efektem badań wykonanych na składowisku. Można z nich wyciągnąć następujące wnioski.

Znając skład biogazu i jego ilość możemy policzyć ilość energii elektrycznej jaką uzyskamy po jego przetworzeniu w bloku energetycznym. W przypadku gazu o zawartości metanu 50%, z 60 m^3 biogazu można otrzymać około 100 kW energii elektrycznej. W przypadku gazu o zawartości metanu 60%, z 50 m^3 biogazu można otrzymać ok. 90-100 kW energii elektrycznej.

Analizując produktywność gazową składowiska podjęto decyzję o stworzeniu czwartego bloku energetycznego, który został oddany do użytku w 2009 roku. Na początku roku 2011 powstała na składowisku stacja sprężania gazu. Dzięki tej instalacji poprawiła się sprawność odsysania biogazu, a przy okazji produktywność gazu na wysypisku.

W trakcie pracy silników w blokach energetycznych wykorzystując ciepło ich pracy powstaje energia cieplna w układzie skojarzonym, która zostaje wykorzystana na potrzeby własne zakładu. Wysypisko Barycz jest zaopatrzone w pochodnię biogazową, jednak korzysta z niej bardzo rzadko. Z reguły cały biogaz kierowany jest na bloki energetyczne w celu jego energetycznego odzysku. Wynik 7.432.244 kWh energii elektrycznej oddanej i sprzedanej do sieci można określić jako dobry wynik ekonomiczny, zaś odzysk biogazu na poziomie 4.309.394 za efektywny.

Prognozowanie ilości gazu powstającego na składowiskach odpadów komunalnych jest głównym problemem projektantów i inwestorów. Prognozę należy wykonać przed rozpoczęciem eksploatacji składowiska, przewidując ilość i jakość odpadów, jakie będą składowane. Chcąc podjąć decyzje o sposobie odgazowywania i utylizacji gazu wysypiskowego, trzeba znać możliwości wysypiska w kwestii odbioru biogazu.

Dokładność oszacowania zależy od wielu danych wejściowych. Najważniejsze z nich to:

- rok rozpoczęcia składowania odpadów,
- rzeczywisty lub planowany rok zakończenia składowania,
- masa całkowita zdeponowanych odpadów,
- masa odpadów składowanych w jednostce czasu,
- skład morfologiczny odpadów.

Główny cel prowadzenia prognoz to określenie ilości biogazu, jaka jest możliwa do odebrania ze składowiska, w celu jego energetycznego wykorzystania. Niestety ilość gazu oszacowana przy użyciu modeli matematycznych nie jest równoznaczna z ilością biogazu jaki faktycznie można odebrać ze składowiska. W celu uwierzytelnienia prognozy, konieczne są próby dynamicznego poboru gazu na składowisku. Próby przeprowadzane są w celu określenia procentowej zależności między ilością gazu określoną przez prognozę, a ilością w rzeczywistości odebraną ze składowiska. Prawidłowo zamontowana instalacja pozwala na odzysk biogazu na poziomie 60-70% wartości prognozowanej.

9. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale przedstawiono prognozę produktywności gazowej składowiska Barycz koło Krakowa. Prognozę przeprowadzono przy użyciu modeli matematycznych. Wyniki prognozy okazały się bardzo bliskie faktycznemu poborowi gazu. Możliwość porównania wyników w ograniczonym stopniu, ze względu na trudny dostęp lub brak prowadzonej dokumentacji poboru biogazu z lat wcześniejszych. Składowisko odpadów komunalnych Barycz zaledwie 14% energii elektrycznej uzyskanej z biogazu wykorzystuje na potrzeby własne zakładu. Reszta energii sprzedawana jest do sieci Enion, dzięki czemu „Barycz" uzyskuje niemałe korzyści materialne. Prawdopodobnie taki stan rzeczy będzie się utrzymywał przez najbliższe lata, ponieważ na składowisku istnieje instalacja zaopatrzona w bloki o dużej mocy. Na początku 2011 roku powstała stacja sprężarek gazu, co również będzie miało wpływ na sprawność procesu. Wprawdzie prognoza (związana z wymaganiami Unii Europejskiej co do składu odpadów komunalnych na wysypiskach) sugeruje stopniowy spadek ilości wytwarzanego biogazu, aczkolwiek pozostaje on przez najbliższe lata nadal na wysokim poziomie.

Literatura

1. Dudek J. i in.: Energetyczne wykorzystanie gazu wysypiskowego – kryteria efektywności technicznej i ekonomicznej" – Opracowanie IGNiG, Kraków 1999.

2. Dudek J. i in.: Instalacja do odgazowania wysypiska odpadów komunalnych w Baryczy – opracowanie IGNiG Kraków 1999, uzupełnione przez informacje uzyskane na składowisku w roku 2011.
3. Jakubczyk Zb., Lichtoń L., Pastusiak A.: Regionalna gospodarka odpadami, Przedsiębiorstwo Ekologiczne INTEREKO Sp. z o.o. Opole, Fundusz Współpracy, Warszawa 1998 r.
4. Mikucki O.: Energochłonność jako czynnik nowoczesnej gospodarki, „Czysta Energia", sierpień 2005.
5. Nowa energia – wyd. D.Kubek, M.Marchwiak, wydanie nr 1(19)/2011.
6. Oleszkiewicz J.: Eksploatacja składowiska odpadów. Poradnik decydenta.
7. Odnawialne źródła energii jako element rozwoju lokalnego. Przewodnik. EC BREC 2003.
8. Laszczak K., Plewińska A., Helak A., Wacławik B., Witkowska-Kita B., i in.: Plan gospodarki odpadami woj. małopolskiego (część druga programu ochrony środowiska woj. Małopolskiego na lata 2007 - 2014).
9. Przewodnik dla inwestorów w dziedzinie wykorzystania gazu wysypiskowego, Inule – Thermie Programme – European Commission 1999.
10. Rosik-Dulewska Cz.: Podstawy gospodarki odpadami, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2002.
11. Technologie energetycznego wykorzystania gazu składowiskowego, Warsztaty INiG, Warszawa, 2010.
12. Wandrasz J. W., Landrat M., Prognozowanie zasobności gazowej składowisk odpadów komunalnych w oparciu o teoretyczny model matematyczny, Archiwum Gospodarki Odpadami vo. 2(2005).
13. Wojciechowski A.: Zintegrowane systemy gospodarki odpadami komunalnymi, Fundusz Współpracy, Warszawa 1998 r.

Praca została zrealizowana w ramach prac statutowych AGH - Akademii Górniczo-Hutniczej

ROZDZIAŁ 5

OCHRONA ŚRODOWISKA – MONITOROWANIE CZYNNIKÓW, ZAPOBIEGANIE ZAGROŻENIOM

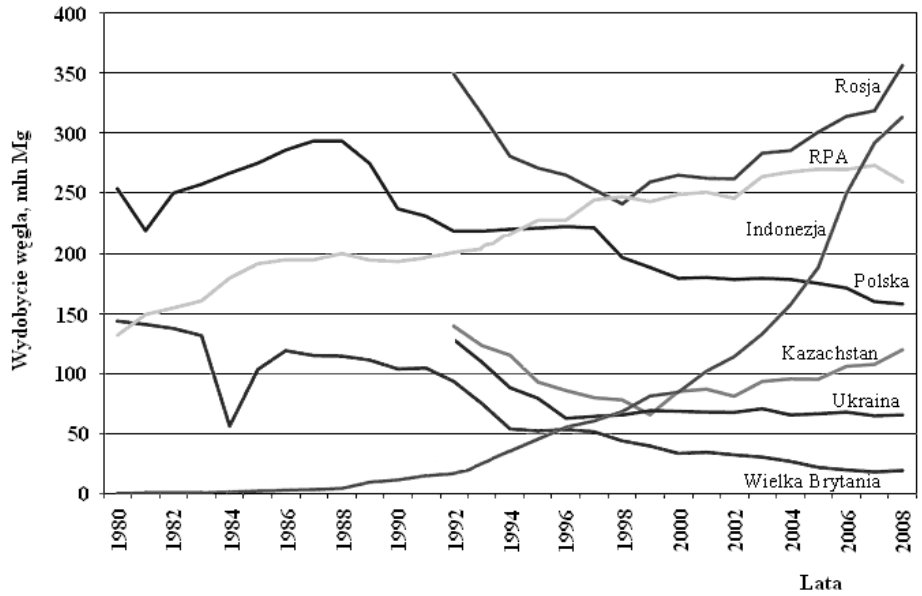
Stosowanie systemów elektronicznych w procesach wydobywczych – przegląd nowoczesnych metod

Jolanta Biegańska – Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

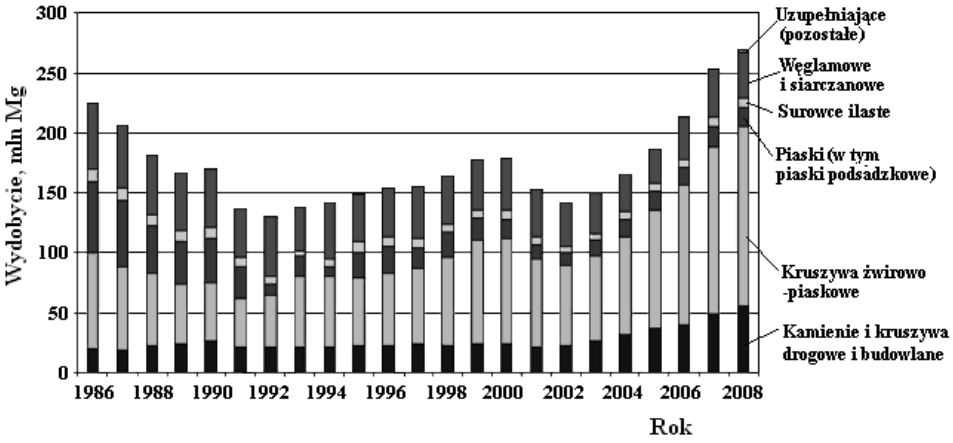
Zmiany wprowadzone w polskim górnictwie, w ostatnich latach, to m. in. efekt dostosowania się do wymagań Unii Europejskiej. Olbrzymi postęp w technice i technologii pozyskiwania surowców skalnych oraz wydobycia węgla kamiennego przyczynił się do poprawy bezpieczeństwa pracy i ochrony środowiska naturalnego. Udało się również wprowadzić nowoczesne, ekologiczne i bezpieczne materiały wybuchowe. Uzyskano poprawę bezpieczeństwa przy stosowaniu środków strzałowych, które są powszechnie stosowane w przemyśle wydobywczym. Wykonywanie robot strzałowych jest podstawową metodą urabiania złoża w podziemnych, niewęglowych zakładach górniczych oraz odkrywkowych zakładach górniczych.

Analiza ponad dwudziestoletniej produkcji światowej węgla (rys. 1) wskazuje, że Polska jest krajem liczącym się na arenie międzynarodowej, mimo występującej tendencji spadkowej w analizowanym okresie czasu. Węgiel jest nadal głównym surowcem energetycznym w naszym kraju i dlatego wszelkie działania zmierzające do unowocześnienia w tym przemyśle nie powinny budzić wątpliwości.



Rys.1. Produkcja węgla na świecie (100-400 mln Mg rocznie) [5]

Światowa produkcja kruszyw (rys. 2) szacowana jest na około 20 mld Mg. W Unii Europejskiej produkuje się ponad 3,5 mld Mg kruszyw [8].



Rys.2. Wydobycie surowców skalnych w latach 1986 – 2008 (mln Mg) [8]

Najwięcej kruszyw mineralnych w Unii Europejskiej, w skali roku, produkują: Niemcy (470 mln Mg), Hiszpania (430 mln Mg), Francja (ok. 400 mln Mg), Włochy (350 mln Mg), Wielka Brytania (200 mln Mg) oraz Polska (200 mln Mg).

Analiza rynku światowego omawianych surowców [16] i zauważalny wzrost wydobycia wskazuje na konieczność wprowadzania postępu technicznego, by sprostać wymaganiom współczesnego rynku. Najstarszym i najczęstszym sposobem pozyskiwania surowców stosowanym w górnictwie jest metoda odkrywkowa, która stosowana jest przy wydobywaniu węgla brunatnego, torfu oraz surowców skalnych, tam gdzie złoża zalegają płytko.

W ostatnich latach widoczny jest duży postęp w rozwoju tej metody. Osiągnięto, w stosunku do eksploatacji podziemnej, większą wydajność przy niższych kosztach. Postęp wiąże się z rozwojem technologicznym współczesnego świata. Uzyskano większą wydajność pracy koparek, przenośników oraz samochodów, używanych w kopalniach odkrywkowych. Zwiększono bezpieczeństwo pracy, uzyskano poprawę efektywności i sprawności maszyn oraz zmniejszono koszty eksploatacji.

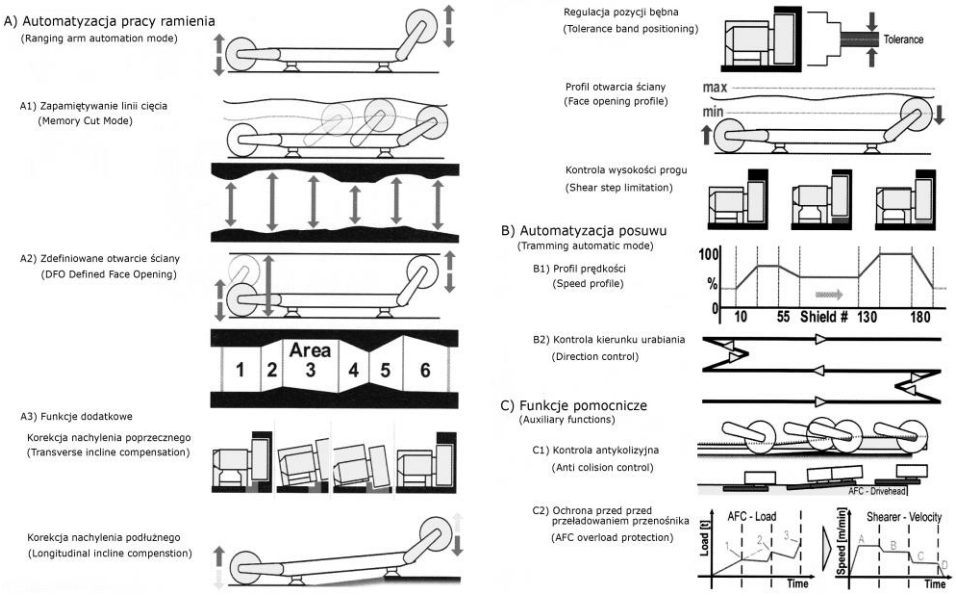
Podobne wyzwania stanęły przed górnictwem podziemnym. Węgiel kamienny i rudy metali, wydobywane metodą podziemną, są położone głęboko, w coraz trudniejszych warunkach. Wymaga to stosowania bardziej „wyrafinowanych" metod eksploatacji i wymusiło modernizację parku maszynowego oraz zintensyfikowania mechanizacji i automatyzacji w eksploatacji podziemnej. Zauważalne tendencje zmuszają do dalszego doskonalenia i unowocześnienia procesów wydobywczych. Producenci środków strzałowych na świecie

i w Europie opracowują nowe technologie, których zastosowanie w zakładach górniczych pozwoli poprawić wydajność i bezpieczeństwo wykonywania robót strzałowych. Jedną z najnowszych technologii jest opracowanie i wdrożenie kilku grup systemów zapalników elektronicznych do inicjowania materiałów wybuchowych. Pomimo iż są one droższe od zapalników klasycznych (elektrycznych czy nieelektrycznych) – mają istotne zalety, które doceniono podczas ich używania.

2. Rozwój technik wydobywczych

W ostatnim czasie można zaobserwować znaczny postęp techniczny w górnictwie związany z automatyzacją procesów wydobywczych, w których największą rolę odgrywają urządzenia i systemy elektryczne, elektroniczne oraz teleinformatyczne [9]. W przeciągu minionych 15 lat wprowadzono:

- kombajny z napędem elektrycznym,
- radiowe układy sterowania – standardowe wyposażenie kombajnu,
- elektroniczno-hydrauliczne sterowanie oraz znakowanie transponderami RFID w ścianowych obudowach zmechanizowanych,
- elektroniczne układy sterowania – standardowe wyposażenie kolejek podwieszanych,
- układy głośnomówiące zintegrowane z układami sterowania, monitorowania i wizualizacji (sieci przewodowe i światłowodowe).



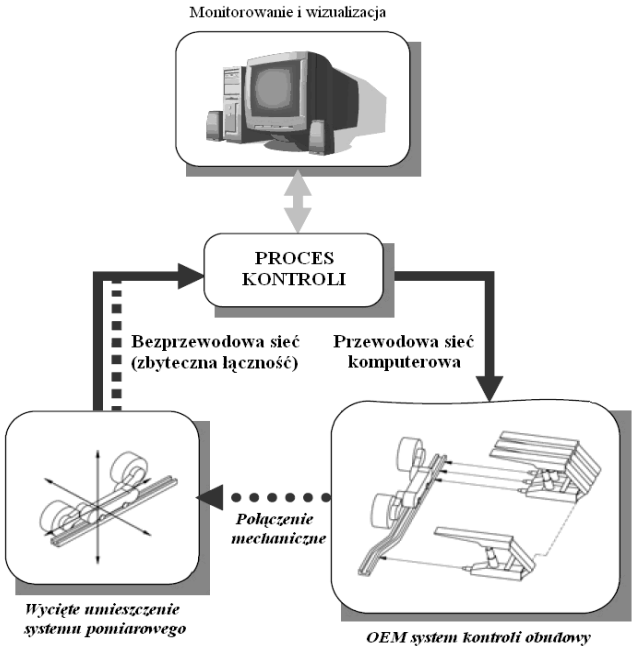
Rys.3. Funkcje systemu EiControl [4]

Wprowadza się też bezprzewodowe systemy lokalizacji i łączności. Najnowocześniejsze kombajny posiadają systemy, które pozwalają na automatyzację ww. czynności. Do najbardziej zaawansowanych należy EiControl przedstawiony [4] na rysunku 3.

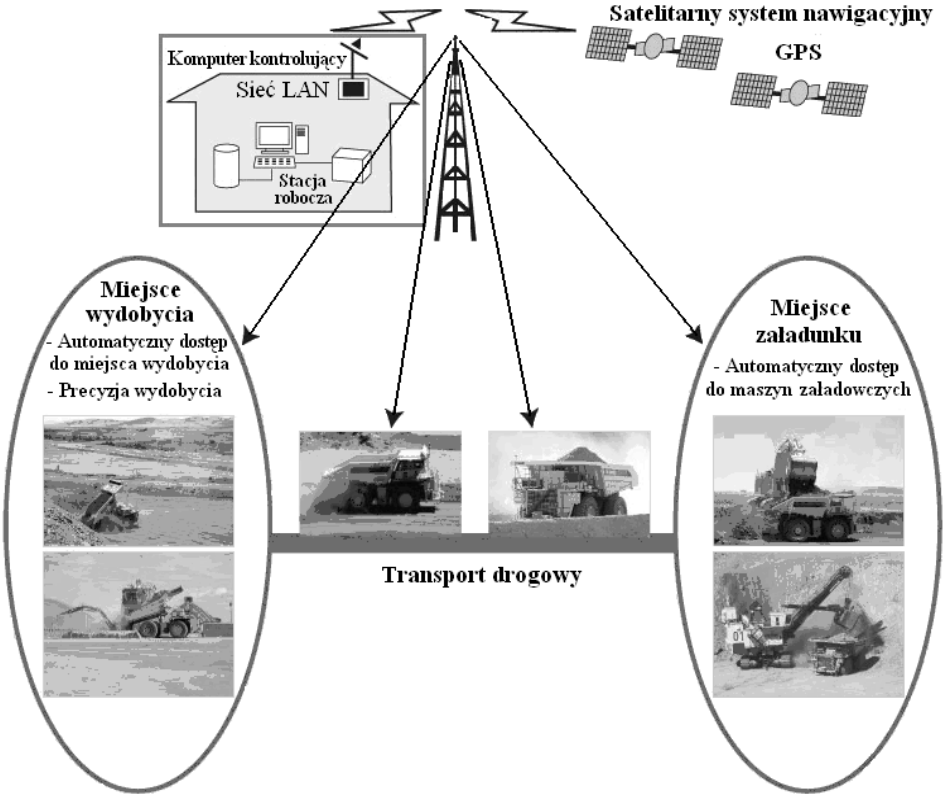
Dzięki połączeniu z kontrolerami np. poprzez sieć Ethernet (rys. 4) można optymalizować pracę całego kompleksu ścianowego oraz wyświetlać różnego typu dane na ekranie komputerów znajdujących się nawet na powierzchni kopalni.

Na potrzeby górnictwa odkrywkowego opracowano [13] tzw. niezależny system przewozu AHS (rys. 5). Samochody ciężarowe są wyposażone w system kontroli (GPS). Cały układ sieci zaopatrzony jest w system radiowy kierowany przez nadzorczy komputer. Umożliwia to przekazanie dokładnej informacji o kursie i szybkości poruszania się samochodów ciężarowych. GPS jest używany do ustalenia ich pozycji. Po załadowaniu samochodów ciężarowych w urobek, automatycznie jest ustalana ich pozycja; komputer nadzorczy przesyła informację o specjalnym kursie.

System AHS „dba" również o bezpieczeństwo w czasie transportu; umożliwia kontrolę i zapobiega zderzeniu z innymi samochodami ciężarowymi. W sytuacji, gdy pojawia się przeszkoda system AHS wykrywa to, rejestruje i natychmiast przekazuje do stacji roboczej. Sygnał o przeszkodzie wymusza zmniejszenie szybkości samochodów albo zatrzymuje ruch środków transportu.



Rys.4. Przepływ danych w kopalni poprzez sieć Ethernet [6]



Rys.5. Niezależny system przewozu AHS [13]

3. Systemy elektroniczne inicjacji wybuchu

Nieodłącznym elementem procesów wydobywczych jest stosowanie środków strzałowych:

- materiałów wybuchowych,
- zapalników (elektrycznych i nieelektrycznych),
- lontów detonujących, oraz
- specjalistycznych ładunków i środków inicjujących.

Wprowadzono [1, 2] ekologiczne i bezpieczne materiały wybuchowe (MW) typu: materiały wybuchowe emulsyjne (MWE), saletrowe (ANFO) i Heavy ANFO, do produkcji których zastosowano tzw. ruchome jednostki. Dzięki komputerowemu systemowi sterowania możliwe jest programowanie pracy urządzenia oraz dokładne dozowanie MW do poszczególnych otworów strzałowych. Zaczęto stosować zapalniki nieelektryczne, a także pobudzacze wybuchowe (dawna nazwa: detonatory) – efektywne inicjatory pośrednie przy mechanicznym załadunku materiałów wybuchowych.

W połowie lat 80. po raz pierwszy użyto zapalniki elektroniczne w Australii i aż do roku 1999 były stosowane przez Orica Mining Services nie przynosząc zysku [12]. Prace badawczo-rozwojowe nad opracowaniem zapalników elektronicznych prowadziły firmy [11]: Altech, Plessey, AEL, ICI Explosives i Orica. Efektem badań było rozpowszechnienie tego rodzaju zapalników. Obecnie coraz więcej firm posiada w ofercie zapalniki elektroniczne, a oferowane produkty są nieustannie doskonalone. Zapalniki elektroniczne stosowane są w największej skali w Ameryce Pn., Afryce i Australii. Wiodące firmy wytwarzające tego rodzaju zapalniki planują ekspansję na rynki uznane za perspektywiczne tj. rynki: Rosji, Chin i Europy Wschodniej. Wśród wielu zalet zapalników elektronicznych wymienia się:

- pełną programowalność,
- precyzyjny systemem inicjacji (możliwość opóźnień od 1 – 20 000 ms z dokładnością do 1 ms),
- możliwość stosowania przy niepożądanych źródłach elektryczności statycznej, prądach błądzących i falach elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości.

Przewody zapalników elektronicznych mają odpowiednią wytrzymałość na rozciąganie a zakończenie plastikowym konektorem umożliwia szybkie i łatwe łączenie z obwodem. Zestawienie podstawowych parametrów i rodzajów zapalników elektronicznych posiadających dopuszczenie WUG do stosowania w Zakładach Górniczych na terytorium Polski, zamieszono w tabeli 1.

Zapalniki elektroniczne dopuszczone do stosowania w Polsce

Tabela 1

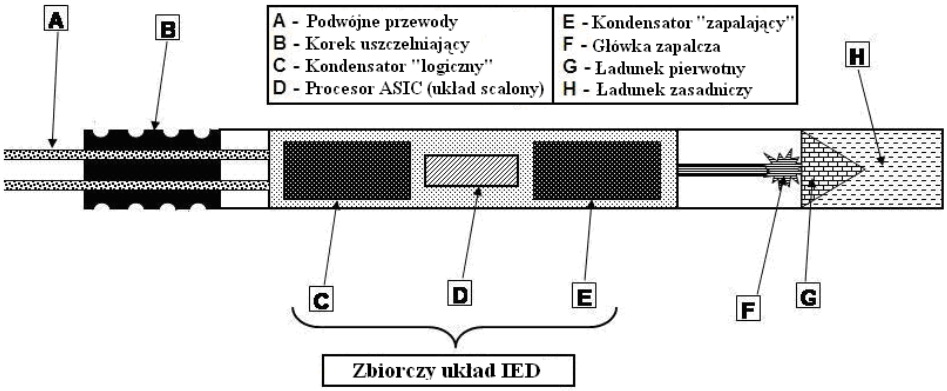
Lp.	Nazwa środka strzałowego	Rodzaj	Nazwa producenta	Zakres stosowania
1	ERGONIC	Zapalnik elektroniczny skalny, programowalny o czasie opóźnienia od 0 do 2 000 ms	NITROERG S.A.	– zakłady górnicze podziemne niewęglowe i niemetanowe, – zakłady górnicze odkrywkowe, – środek inicjujący (dla materiałów wybuchowych ładowanych mechanicznie). ERGONIC może być używany w temperaturze od -20 °C do +50 °C. Nie może być używany w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu.
2	NITRONIC	Zapalnik elektroniczny skalny, programowalny o czasie opóźnienia od 0 do 6 000 ms	NITROERG S.A.	– zakłady górnicze podziemne niewęglowe i niemetanowe, – zakłady górnicze odkrywkowe, – inne prace strzałowe, – środek inicjujący (dla materiałów wybuchowych ładowanych mechanicznie). NITRONIC może być używany w temperaturze od -25 °C do +50 °C. Nie może być stosowany w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu.
3	HotShot 3G	Zapalnik elektroniczny skalny, programowalny o czasie opóźnienia od 0 do 20 000 ms	DetNet South Afrca (Pty) Ltd.	– zakłady górnicze podziemne niewęglowe i niemetanowe, – zakłady górnicze odkrywkowe, – środek inicjujący (dla materiałów wybuchowych ładowanych mechanicznie). HotShot 3G może być używany: – w temp. od -10 °C do +70 °C (przewody koloru czerwonego z paskiem czarnym), – w temp. od -30 °C do +50 °C (przewody koloru czerwonego z paskiem białym). Nie może być stosowany w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu.

Zapalniki elektroniczne dopuszczone do stosowania w Polsce (cd.)

Tabela 1

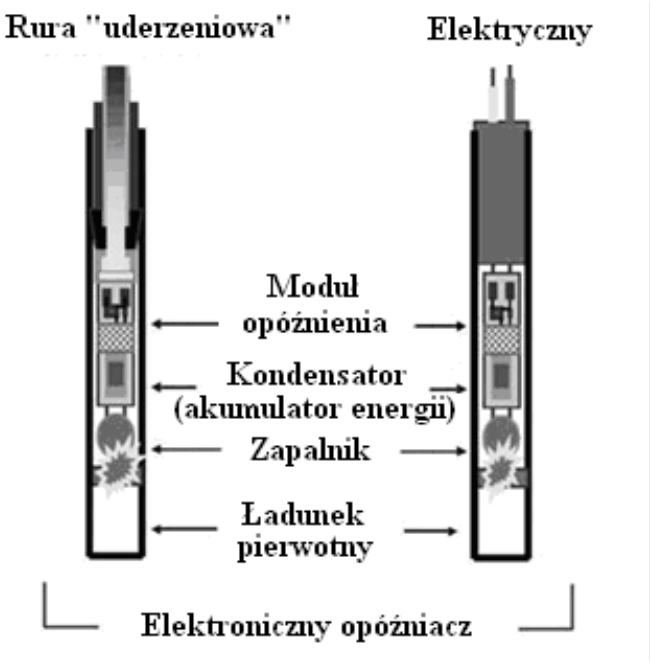
4	Zapalnik i-konVS	Zapalnik elektroniczny skalny, programowalny o czasie opóźnienia od 0 do 8 000 ms	1. ORICA GERMANY GmbH 2. ORICA CANADA	– zakłady górnicze podziemne niewęglowe, – zakłady górnicze odkrywkowe, – poza terenem zakładów górniczych (roboty wyburzeniowe). I-kon VS może być używany w temperaturze od -20 °C do +60 °C. Nie może być stosowany w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu.
5	Zapalnik i-kon	Zapalnik elektroniczny skalny, programowalny o czasie opóźnienia od 0 do 15 000 ms	1. ORICA GERMANY GmbH 2. Orica Canada	– zakłady górnicze odkrywkowe, – zakłady górnicze podziemne niewęglowe, – poza terenem zakładów górniczych (roboty wyburzeniowe), – środek inicjując (dla materiałów wybuchowych ładowanych mechanicznie). I-kon może być używany w temperaturze od -20 °C do +60 °C. Nie może być stosowany w warunkach zagrożenia wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu.

Detonator elektroniczny (rys. 6) wykorzystuje standardowy przewód jako sygnał wejściowy, który zostaje przekształcony w impuls elektryczny, co powoduje przepływ prądu przez diodę ładowania kondensatora. Wszystkie elektroniczne detonatory posiadają system do „przechowywania" energii elektrycznej wewnątrz detonatora; zapewniony jest czas opóźnienia i energia inicjacji.

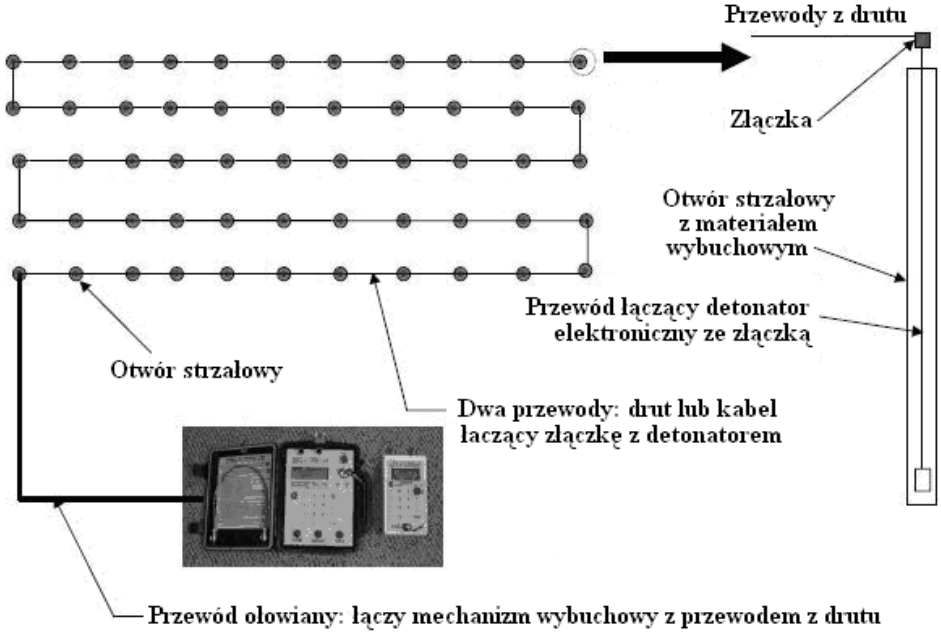


Rys.6. Przekrój poprzeczny detonatora elektronicznego [7]

Regulator napięcia zapewnia kontrolę częstotliwości stałego źródła napięcia. Czas opóźnienia jest sterowany za pomocą systemu elektronicznego (rys. 7).



Rys.7. System z elektronicznym opóźnieniem [17]



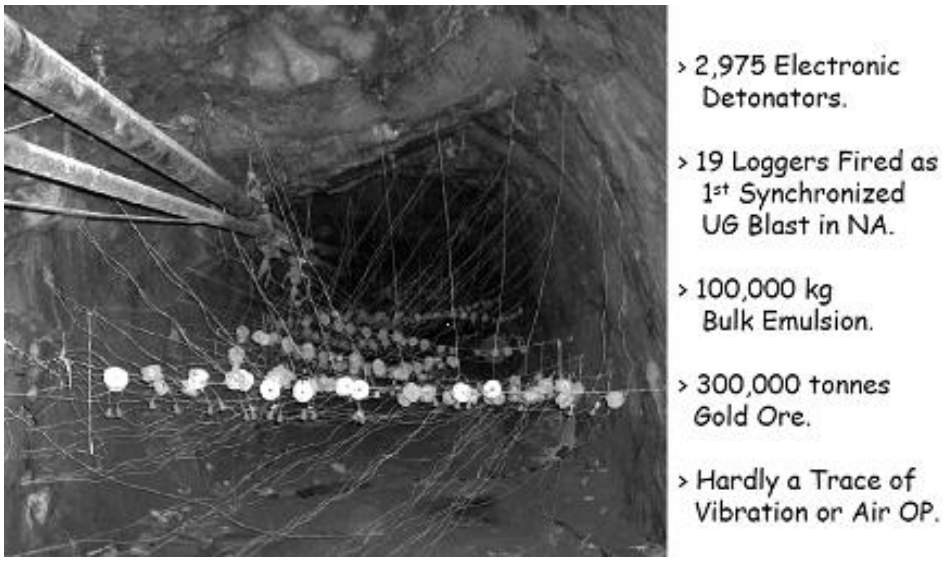
Rys.8. Elektroniczny system wybuchowy używający elektronicznego detonatora [7]

Opracowano technologię zdalnego programowania i inicjacji [7] dla zredukowania niekorzystnych skutków stosowania materiałów wybuchowych.

System wykorzystuje technologię elektronicznego zaprogramowania opóźnienia "na miejscu" (nie ma stałych czasów opóźnienia). W wyniku bezpośredniej komunikacji z zapalnikami możliwe jest ustalanie właściwego czasu opóźnienia dla projektowanego wybuchu, albo przed załadunkiem, po załadunku lub tuż przed odpaleniem. W rzeczywistości, system wykorzystuje pewien rodzaj pamięci elektronicznej, która pozwala być programowana w dowolnym czasie. Po połączeniu przewodów cyfrowy rejestrator podłączony zostaje do obwodu strzałowego. Po sprawdzeniu funkcjonalności rejestrator połączony zostaje z cyfrową jednostką strzelniczą – blasterem (rys. 8).

Informacja o poprawności jest wyświetlana na ekranie urządzenia. Następnie blaster może „odpalić" ładunki materiałów wybuchowych. System elektronicznego wybuchu (DigiShot Plus) zastosowany został na wielką skalę w kopalni węgla w RPA [14].

Rekord „strzelania" podziemnego [15] z użyciem zapalników elektronicznych został ustanowiony 24.10.2008 r. w GoldCorp Mine w Timmins, w Kanadzie – odpalono 2 975 zapalników, po raz pierwszy zsynchronizowano 19 logerów (rys. 9).



Rys.9. Zdjęcie z elektronicznym systemem wybuchowym w GoldCorp Mine w Timmins, w Kanadzie [15]

W górnictwie odkrywkowym, rekordową ilość zapalników elektronicznych typu i-kon zastosowano [10] w kopalni odkrywkowej Dawson Coal Mine w Australii, w dniu 24.11.2009 r. Odpalono 3375 zapalników elektronicznych i-kon^{TM}, za pomocą dwóch blasterów 2400S i 22 zsynchronizowanych logerów.

Miało już miejsce [3] pierwsze zdalne odpalenie zapalników elektronicznych za pomocą systemu SURBS (Surface Remote Blasting System), w Argentynie w kopalni Alumbrera, w czerwcu 2009 roku.

4. Podsumowanie

Przekształcenia restrukturyzacyjne gospodarki w ostatnich latach przyczyniły się do dynamicznych zmian w górnictwie polskim. Postęp zauważono w górnictwie odkrywkowym, a wyniki opracowań dotyczących dalszych jego perspektyw wskazują, że w najbliższych latach ta gałąź przemysłu będzie się szybko rozwijać. Wzrost ten związany jest ściśle z wdrażaniem nowoczesnych technologii z zakresu urabiania, załadunku i przeróbki mechanicznej.

Górnictwo podziemne również dysponuje unowocześnionym sprzętem (stosuje się coraz więcej złożonych systemów elektrycznych i elektronicznych), których poprawność działania bezpośrednio wpływa na bezpieczeństwo pracy pod ziemią.

Znaczącym wynikiem wdrażania postępu jest przejęcie wykonawstwa części prac przez wyspecjalizowane firmy dysponujące fachowcami, nowoczesnym sprzętem oraz cechujące się pełną logistyką (np. roboty wiertniczo-strzelnicze, zdejmowanie nadkładu, transport urobku).

Literatura

1. Biegańska J.: Przegląd bezpiecznych środków strzałowych stosowanych w górnictwie, „Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość – Efektywność" Monografia, Wydawca Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011, 301-314.
2. Biegańska J.: Wpływ wprowadzonych zmian w stosowaniu materiałów wybuchowych w górnictwie podziemnym na bezpieczeństwo pracy, "Paliwa – Bezpieczeństwo - Środowisko. Innowacyjne Techniki i Technologie" Monografia Wydawca Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2010, 195-205.
3. Blasting by Remote Control: http://www.orica.com
4. Hackelbörger B., Hölling B., Nienhaus K., Winkel R.: Automatisierung der Walzenladertechnik – ein Überblick. Glückauf 2007, 9 (143).
5. International Energy Outlook 2011, U.S. Energy Information Administration, September 19, 2011: Report Number: DOE/EIA-0484(2011).
6. Kelly M.S., Hainsworth D.W.: Outcomes of the landmark longwall automation project with reference to ground control issues, 24th International

Conference on Ground Control in Mining, Lakeview Scanticon Resort and Conference Center Morgantown, WV, August 2-4, 2005.

7. Kortnik J., Bratun J.: Use of electronic initiation systems in mining industry. RMZ – Materials and Geoenvironment, 2010, Vol. 57, No. 3, 403–414.
8. Kozioł W., Czaja P.: Górnictwo skalne w Polsce – stan obecny, perspektywy i uwarunkowania rozwoju, Górnictwo i geologia, 2010, Tom 5, Zeszyt 3, 41-58.
9. Krzystolik M.: Kompatybilność elektromagnetyczna i bezpieczeństwo funkcjonalne w górnictwie – wprowadzenie. www.wug.gov.pl
10. Mansfield S.: i-kon™ Record Blast Dawson Coal Mine: http://www.orica-miningservices.com
11. McDowell M.: SA electronics companies profile: DetNet International. 23.02.2005.
12. Miller D., Drew M.: A review of the benefits being delivered using electronic delay detonators In the quarry industry, Orica Quarry Services, 2008.
13. Mining and Blasting: http://miningandblasting.wordpress.com
14. Modern Mining, AEL Mining Service: www.aelminingservice.com. 01.11. 2011.
15. Scovira D.S.: Electronic Initiation in Underground Development, Orica USA, Denver 2009.
16. Strzelec-Łobodzińska J.: Wybrane aspekty funkcjonowania górnictwa w Polsce, Górnictwo i Geologia, 2010, Tom 5 Zeszyt 3, 101-111.
17. Watson J.T.: Developments with Electronic Detonators: http://www.dyno-nobel.com. 2000

Problemy projektowania systemów aktywnej redukcji hałasu

Mariusz Latos, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz, Jerzy Jagoda – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wstęp

Dźwięki są ważną częścią środowiska życia i pracy, pozwalają na komunikację, ostrzegają o zagrożeniach, stymulują itp. Niepożądane lub nieprzyjemne dźwięki są nazywane hałasem [2]. Ekspozycja na hałas o wysokim poziomie ciśnienia akustycznego ma bezpośredni wpływ zarówno na człowieka, jak i na otaczające go środowisko. Stale podnoszący się poziom hałasu środowiskowego jest spowodowany głównie poprzez rozwój technologiczny. W zależności od charakterystyki widma można zgrubnie podzielić hałas na 2 kategorie: hałas wąskopasmowy i szerokopasmowy [8]. Energia hałasu szerokopasmowego nie jest rozłożona równomiernie w analizowanym zakresie częstotliwości, natomiast większość energii hałasu wąskopasmowego jest dystrybuowana przy określonej częstotliwości. Znane są wytyczne dotyczące ograniczania hałasu. Pracujące urządzenia musiałyby zostać wyłączone lub musiałaby zostać zmieniona ich konfiguracja w celu obniżenia poziomu generowanego hałasu, ewentualnie powinna zostać zablokowana ścieżka rozchodzenia się dźwięku [1]. Skonstruowanie urządzeń, które nie generowałyby hałasu jest praktycznie niemożliwe. Używanie narzędzi i metod, które zapewniają akustyczną izolację źródeł hałasu jest nazywane pasywną ochroną przed hałasem [8]. Doświadczenie specjalistów ITG KOMAG w dziedzinie projektowania i wdrażania barier pasywnych wskazuje, że w niektórych przypadkach bariery pasywne mogą nie spełniać swoich celów lub być niepraktyczne, np. uwzględniając konieczność chłodzenia urządzeń lub ich serwisowania. Bierne środki redukcji nie sprawdzają się przy tłumieniu hałasów niskoczęstotliwościowych, głównie ze względu na gabaryty koniecznych do zastosowania osłon, obudów, itp.

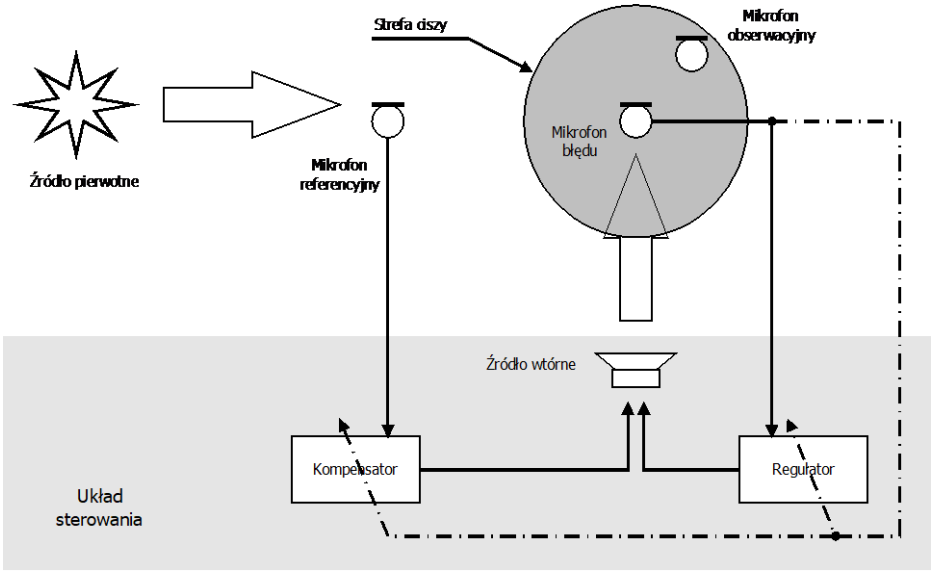
Aktywne środki redukcji mogą być z powodzeniem wykorzystane do ograniczania hałasu, najczęściej do redukcji hałasu niskoczęstotliwościowego, jako uzupełnienie metod pasywnych [5, 6]. Główną trudnością podczas wdrażania metod aktywnych jest dynamika ośrodka (sprężystość, opóźnienie). Można aktywnie redukować również hałas wysokoczęstotliwościowy, ale należy się liczyć z brakiem możliwości uzyskania strefy ciszy o satysfakcjonujących rozmiarach oraz z dużymi nakładami finansowymi [12]. Na rynku istnieje coraz większe zapotrzebowanie na aplikacje redukcji hałasu z wykorzystaniem systemów aktywnych. Biorąc pod uwagę ograniczenia związane z pasywnymi metodami ochrony przed hałasem, możliwość uzupełnienia ich o metody aktywne redukcji hałasu pozwoliłoby na kompleksową redukcję hałasu, nie zakłócając

jednocześnie procesu technologicznego i nie pogarszając funkcjonalności danej maszyny, czy też urządzenia.

W KOMAG-u podjęto prace w kierunku opracowania systemów aktywnej redukcji hałasu, dedykowanych do obiektów przemysłowych, m.in. zakładów przeróbczych węgla kamiennego.

2. Struktura i zasada działania systemu aktywnej redukcji hałasu

Ideę działania układu Aktywnej Redukcji Hałasu (ARH) przedstawiono na rysunku 1. Strefa ciszy jest tworzona wokół wybranego punktu przestrzeni i może być monitorowana w jej różnych punktach za pomocą sensora obserwacyjnego. Hałas jest zredukowany poprzez superpozycję fal akustycznych dobranych tak, aby następowała destruktywna interferencja [4, 14]. Zwykle strefa ciszy tworzona jest wokół mikrofonu błędu, współpracującego z układem regulacji i służącego do rejestracji danych do procedury identyfikacji modeli torów elektroakustycznych w układach kompensacji. Mikrofon referencyjny służy do pozyskania informacji o charakterystyce hałasu zanim dotrze on do miejsca, w którym powinien zostać zredukowany. Jest on niezbędny w układach kompensacji hałasu, natomiast można go pominąć w typowych układach regulacji.



Rys.1. Idea jednowymiarowego systemu ARH z różnymi strategiami sterowania [źródło: opracowanie własne]

Warunkiem aktywnej redukcji hałasu jest generowanie przez wtórne źródło dźwięku fal koherentnych i przeciwnych w fazie względem fali akustycznych ze źródła pierwotnego (źródła hałasu). Fale koherentne mają przesu-

nięcie fazowe jednakowe dla wszystkich częstotliwości. W torze sterowania musiałby zatem znajdować się wzmacniacz o stałym przesunięciu fazowym i stałym wzmocnieniu dla wszystkich częstotliwości – a tak nie jest. Brak koherencji powoduje konstruktywną interferencję i możliwość powstania lokalnego wzmacniania dźwięku.

Układy aktywnej redukcji hałasu mogą być projektowane jako jednowymiarowe lub zestaw układów jednowymiarowych, pracujących nad wspólnym celem oraz układy wielowymiarowe.

3. Wymagania w zakresie opracowywania systemu ARH

Instytut Techniki Górniczej KOMAG prowadzi prace z zakresu poprawy bezpieczeństwa pracy oraz eliminowania zagrożeń występujących na stanowisku pracy. Jednym z takich zagrożeń jest hałas. Mając na uwadze rozwój w dziedzinie aktywnych systemów redukcji hałasu jaki dokonuje się w ostatnich latach oraz doświadczenie w zakresie systemów pasywnych, zdecydowano o podjęciu prac związanych z utworzeniem systemów ARH przeznaczonych do zastosowań w przemyśle, w tym w górnictwie.

Ze względu na konieczność zapewnienia pracownikom ochrony przed hałasem i uwzględnienia aspektów ochrony środowiskowej, badania nad systemami aktywnymi skoncentrowane są na dużych obiektach akustycznych, tj. tworzeniu przestrzennych stref ciszy w halach/pomieszczeniach przemysłowych, np. wydzielone strefy zakładów przeróbki węgla kamiennego. Nie wyklucza się również opracowania dt. kompaktowych obiektów akustycznych, np. udoskonalania ochronników słuchu [10, 13].

Sterowanie w systemie ARH będzie realizowane cyfrowo, tak, aby dysponując wybraną mikroprocesorową platformą obliczeniową można było w stosunkowo łatwy sposób, poprzez zmianę oprogramowania, realizować różne struktury sterowania, przy różnej wymiarowości. Poszczególne rozwiązania będą się różnić w zależności od specyfiki docelowych przestrzeni akustycznych, wymagań odbiorcy i charakterystyki hałasu.

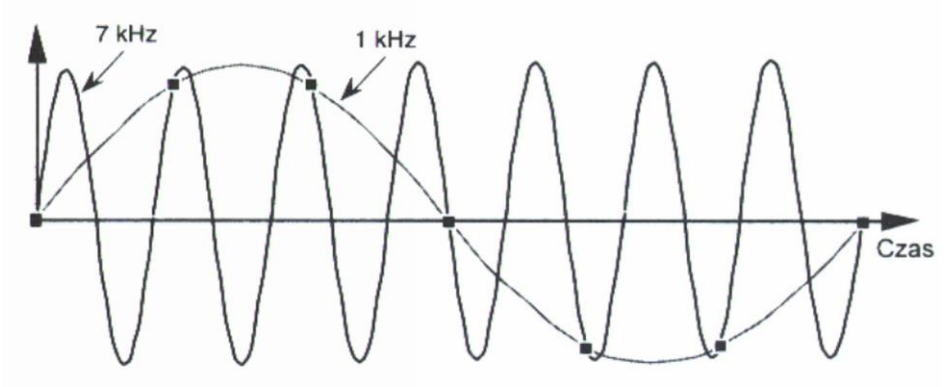
W celu opracowania efektywnego rozwiązania systemu ARH konieczne jest prowadzenie badań laboratoryjnych uwzględniających wszystkie zjawiska fizyczne oraz badań in-situ pozwalających na dopasowanie systemu do konkretnych przestrzeni akustycznych i otoczenia. Wymaga to wyposażenia laboratorium w przenośne zestawy procesorów sygnałowych i przystawek konwertujących sygnały, a także zintegrowane zestawy do szybkiego prototypowania. Pozwoli to na minimalizację czasu rozwoju i testowania wybranych rozwiązań. Niezbędne są oczywiście odpowiednio dobrane sensory pomiarowe, elementy aktywne, okablowanie, stojaki, mierniki poziomu dźwięku itp.

4. Przetwarzanie sygnałów w systemach aktywnej redukcji hałasu

Problemy jakie należy rozwiązać projektując układy aktywnej redukcji hałasu obejmują następujące zagadnienia:

– *Przetwarzanie cyfrowe*.

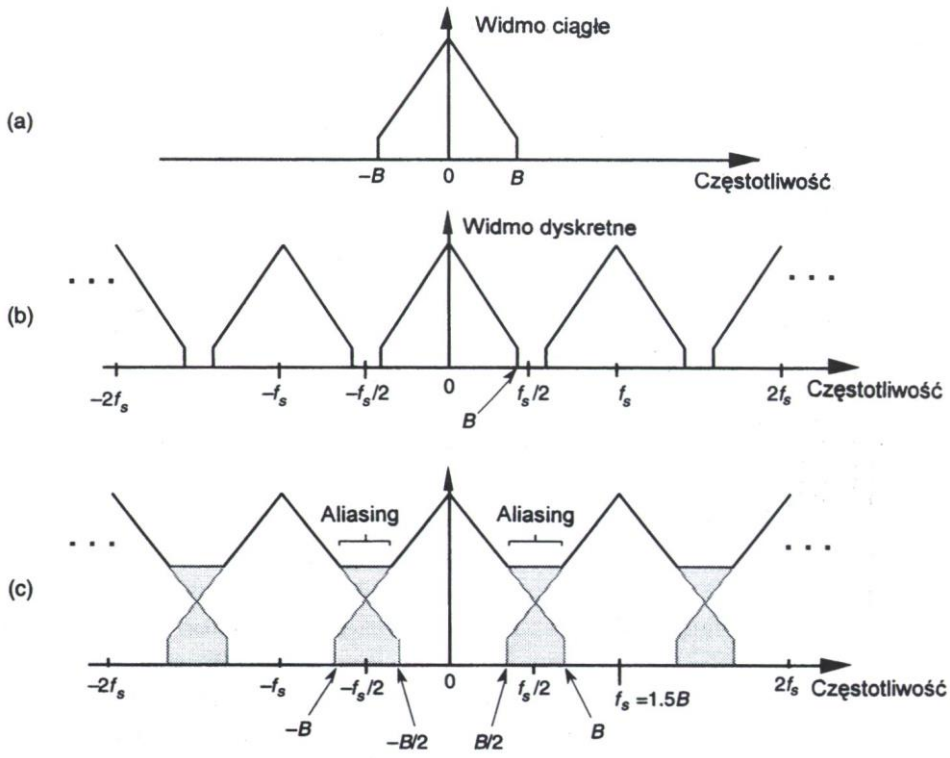
Aktywna redukcja hałasu jest dokonywana w dziedzinie czasu ciągłego, natomiast uzyskiwane sterowanie z kontrolera ma postać dyskretną. Pociąga to za sobą potrzebę przetwarzania sygnałów cyfrowych. Zaletą jest możliwość projektowania układów o dowolnym stopniu skomplikowania przy niezmiennej infrastrukturze sprzętowej [3]. Przed próbkowaniem wybranego sygnału powinna zostać dokonana filtracja analogowym filtrem dolnoprzepustowym (antyaliasingowym) o częstotliwości odcięcia mniejszej od częstotliwości Nyquista (połowy częstotliwości próbkowania). Filtracja ta pozwala ograniczyć wpływ zjawiska aliasingowego, które może spowodować, że składowe sygnału o wysokich częstotliwościach będą widziane przez układ sterowania jako (fizycznie nieistniejące!) składowe o częstotliwościach leżących w zakresie przetwarzania (rys. 2 i 3). Zjawisko to wynika z faktu, że na podstawie sygnału cyfrowego nie można w jednoznaczny sposób odtworzyć sygnału analogowego. Filtr antyaliasingowy musi być zatem filtrem analogowym (filtr cyfrowy ma okresową charakterystykę widmową, która jest powielana dla każdej wielokrotności częstotliwości próbkowania), zwykle projektowanym jako filtr Butterwortha o rzędzie nie większym niż 8.



Rys.2. Próbkowanie przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości 7 kHz z częstotliwością próbkowania $f_S = 6$ kHz [11]

Jeżeli układ sterowania realizuje sterowanie cyfrowe, to po konwersji cyfrowo-analogowej (zwykle uwzględniającej dodanie układów podtrzymujących zerowego rzędu) sygnał musi być przefiltrowany przez analogowy filtr rekonstrukcyjny. Zarówno filtry antyaliasingowe, jak i rekonstrukcyjne, wprowadzają opóźnienie grupowe w torze przetwarzania. Jako filtr rekonstrukcyjny można wykorzystać sam głośnik, jeżeli ma odpowiednią charakterystykę przenoszenia,

natomiast wyeliminowanie filtrów antyaliasingowych wymaga próbkowania i przetwarzania sygnałów z wysoką częstotliwością próbkowania, taką, aby zmiany widma hałasu powyżej częstotliwości Nyquista były marginalne.



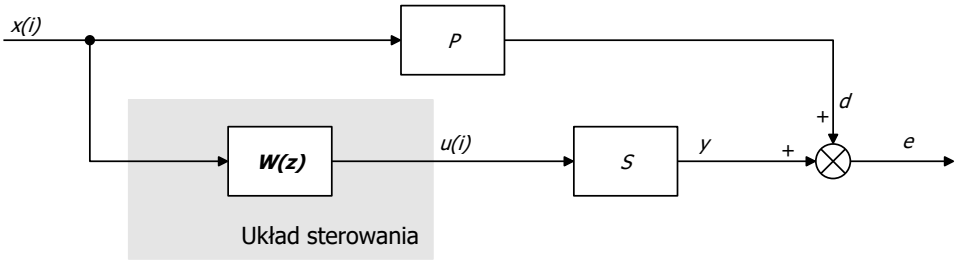
Rys.3. Powielenia widmowe: *a) oryginalne ciągłe widmo sygnału; b) powielenia widmowe sygnału spróbkowanego przy fs/2 > B; c) powielenia widmowe sygnału spróbkowanego przy fs/2 < B (aliasing)* [11]

– *Akwizycja danych i opis przestrzeni akustycznej*.

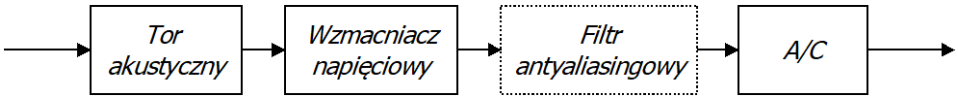
Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy typowego, jednokanałowego, nieadaptacyjnego systemu kompensacji do aktywnej redukcji hałasu, gdzie: *P* – tor elektroakustyczny pierwotny, *S* – tor elektroakustyczny wtórny, *W* – filtr sterujący, *x(i)* – sygnał referencyjny, *u(i)* – sterowanie, *y* – sygnał wtórny w punkcie redukcji, *d* – zakłócenie w punkcie redukcji, *e* – hałas po redukcji (sygnał błędu). Tor pierwotny opisuje funkcja przejścia pomiędzy mikrofonem referencyjnym, a geometrycznym punktem redukcji, tor wtórny – funkcja przejścia pomiędzy głośnikiem wtórnym a geometrycznym punktem redukcji.

Schematy blokowe torów pierwotnego i wtórnego przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Przez tor akustyczny, przedstawiony na rysunku 5, rozumie się przestrzeń akustyczną pomiędzy sensorem referencyjnym a sensorem błędu.

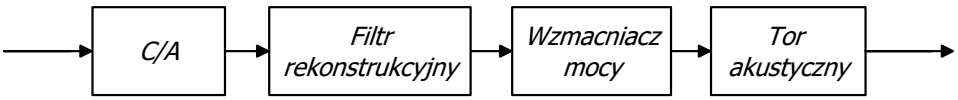
Podobnie, na rysunku 6, jest to przestrzeń akustyczna pomiędzy źródłem wtórnym a sensorem błędu. Na rysunku 7 przedstawiono obrazowo sytuację, w której uwzględniono sposób doprowadzania i odprowadzania sygnałów z układu sterowania.



Rys.4. Nieadaptacyjny jednokanałowy system ARH [źródło: opracowanie własne]



Rys.5. Tor elektroakustyczny pierwotny [źródło: opracowanie własne]



Rys.6. Tor elektroakustyczny wtórny [Źródło: opracowanie własne]

Aby poprawnie zaprojektować filtr sterujący, modele dynamiczne torów pierwotnego i wtórnego powinny być znane. Dynamika akustycznych i elektrycznych zjawisk jest na tyle skomplikowana i trudna do opisania za pomocą modeli fizycznych, że jedyną praktyczną metodą uzyskania dynamicznych modeli elektroakustycznych jest identyfikacja wejściowo-wyjściowa.

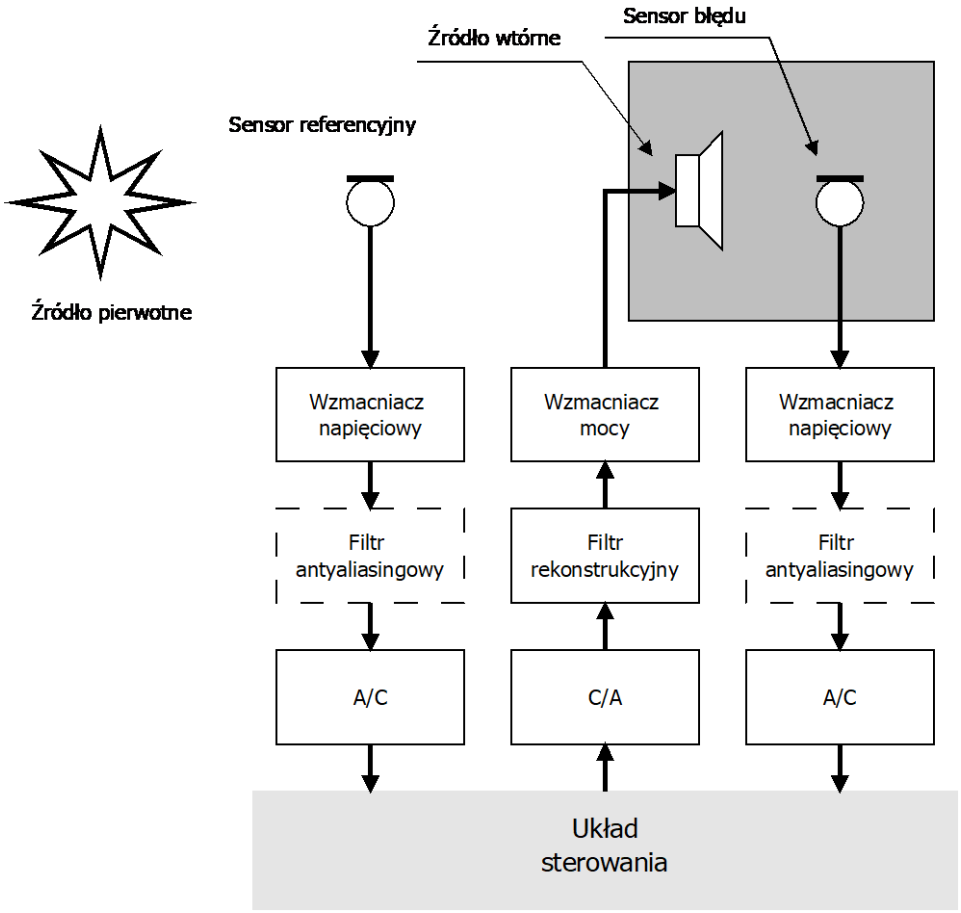
– *Identyfikacja wejściowo-wyjściowa.*

Podczas identyfikacji nie jest możliwe oddzielenie torów akustycznych od innych torów przetwarzania, ponieważ procedury zbierania i konwersji danych wymagają obwodów elektrycznych. Najczęściej identyfikowanymi modelami obiektów są modele o jednym wejściu i jednym wyjściu (SISO), (rys. 8). Składowymi zakłócenia *d(i)*, sprowadzonego na wyjście obiektu, są m.in. zakłócenia pomiarowe i hałas tła.

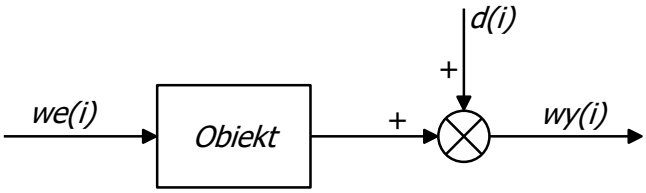
Identyfikacja modeli obiektów jest sama w sobie wieloetapowym złożonym procesem obejmującym:

– przygotowanie i przeprowadzenie eksperymentu identyfikacyjnego (dobór częstotliwości próbkowania, zapewnienie warunków do rejestracji danych, dobór sygnału pobudzającego itp.),
– rejestrację danych i ich przetwarzanie (pozbycie się defektów danych, takich jak wartości próbek poza zakresem zmian, „pływanie” sygnału, zmien-

ność poziomu odniesienia, dodatkowe zakłócenia wysokoczęstotliwościowe),
- dobór typu struktury modelu (identyfikacja parametryczna),
- estymacja parametrów modelu (identyfikacja parametryczna),
- weryfikacja.

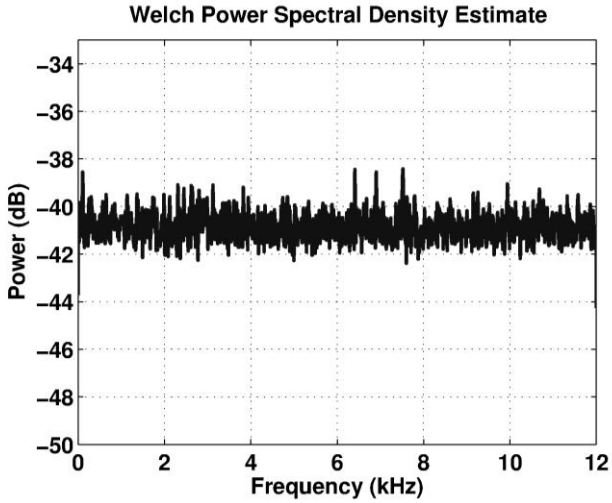


Rys.7. Schemat przetworzenia sygnałów wejściowych i wyjściowych do/z układu sterowania w jednokanałowym systemie aktywnej redukcji hałasu [Źródło: opracowanie własne]



Rys.8. Wejściowo-wyjściowy obiekt SISO z zakłóceniem sprowadzonym na wyjście [Źródło: opracowanie własne]

W praktyce dąży się do tego, aby sygnał pobudzający miał jak najbardziej płaską charakterystykę widmową w zakresie pobudzanych częstotliwości (rys. 9). Przez to spełnione jest założenie o „wystarczającym pobudzeniu" [7].



Rys.9. Gęstość widmowa mocy przykładowego przebiegu pobudzającego przy częstotliwości próbkowania *fs = 24* kHz [10]

Identyfikacja może być parametryczna i nieparametryczna. Nieparametryczna identyfikacja nie wymaga zakładania typu i struktury modelu, ponieważ celem jest tutaj wyznaczenie punktów charakterystyki modelu obiektu. Punkty te nie mają symbolicznej parametrycznej reprezentacji, ale mogą być interpolowane poprzez wybrane funkcje w celu poprawienia czytelności modelu. W praktyce, identyfikację nieparametryczną przeprowadza się głównie poprzez analizę funkcji korelacji lub funkcji gęstości widmowych mocy sygnałów. Identyfikacja parametryczna pozwala na wyznaczenie wartości parametrów przy założonych strukturach modelowych. Najczęściej stosowaną metodą estymacji parametrów jest metoda najmniejszych kwadratów (Least Squares) i jej modyfikacje oraz metoda gradientowa LMS (Least Mean Squares) [7].

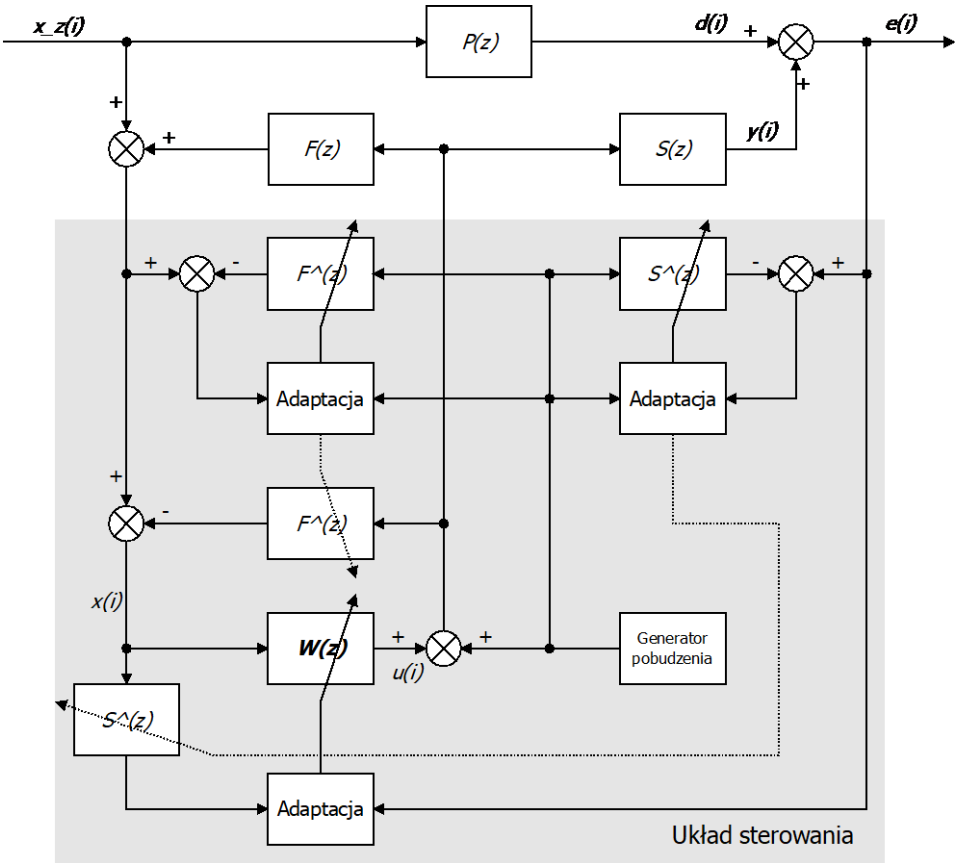
– *Sterowanie.*

Aby zapewnić przyczynowość sterowania, opóźnienie w torze sterowania nie może być większe niż opóźnienie wprowadzane przez tor pierwotny. System powinien być stabilny. Należy zatem projektować filtry sterujące (przy założeniu ich konkretnej struktury) i dobierać infrastrukturę sprzętową tak, aby przy odpowiednich wymaganiach programowych spełniać założenia.

Zwykle przestrzeń akustyczna jest zakłócana przez poruszające się obiekty, np. ludzi, lub zewnętrzne, dodatkowe dźwięki. Stąd należy aktualizować filtry sterujące lub projektować je w specjalny sposób tak, aby redukcja hałasu nadal była możliwa [9]. Realizowane jest to np. poprzez adaptacyjne układy

sterowania. Przykładem jest układ pokazany na rysunku 10. Do adaptacji torów elektroakustycznych w układach aktywnej redukcji hałasu najczęściej wykorzystuje się algorytm LMS. Algorytm ten gwarantuje zbieżność podczas adaptacji cyfrowych filtrów o skończonej odpowiedzi impulsowej (FIR) i jest chętnie wykorzystywany w budowie adaptacyjnych systemów aktywnych.

Analizowany przypadek przedstawia złożoność układów sterowania i skalę problemów implementacyjnych w rzeczywistym systemie aktywnej redukcji hałasu. Akustyczne sprzężenie zwrotne, reprezentowane przez filtr *F*, musi być niwelowane z użyciem jego modelu (o ile zmienia się położenie elementów pomiarowych i aktywnych). Model toru wtórnego jest użyty w torze referencyjnym do niwelowania problemów z adaptacją filtra sterującego. Trzy tory elektroakustyczne są adaptowane jednocześnie, co zwykle nie prowadzi do dobrych rezultatów i pogarsza poziom redukcji. Konieczne jest zatem wprowadzenie dodatkowego sygnału pobudzającego tak, aby nie zdestabilizować systemu, co dodatkowo przekłada się na zmniejszenie poziomu redukcji hałasu.



Rys.10. Adaptacyjny układ w strukturze kompensacji FxLMS do aktywnej redukcji hałasu [Źródło: opracowanie własne]

5. Podsumowanie

Jednym z istotnych zagrożeń występujących na stanowiskach pracy i wpływających na bezpieczeństwo pracy jest hałas. Rozwój w dziedzinie aktywnych systemów redukcji hałasu jaki dokonuje się w ostatnich latach oraz doświadczenie w zakresie systemów pasywnych umożliwia budowę aktywnych systemów redukcji hałasu, eliminujących ograniczenia związane z wdrażaniem metod pasywnych. Ich uzupełnienie o metody aktywne redukcji hałasu pozwala na kompleksową redukcję hałasu, nie zakłócając procesu technologicznego i nie pogarszając funkcjonalności danej maszyny, czy też urządzenia.

Priorytetem w początkowej fazie rozwoju systemów ARH w ITG KOMAG będzie prowadzenie badań i proponowanie rozwiązań z zakresu redukcji hałasu w dużych obiektach akustycznych, np. tworzeniu przestrzennych stref ciszy w halach/pomieszczeniach przemysłowych. Realizacja wyżej wymienionych prac wymaga zbudowania od podstaw laboratorium aktywnych metod redukcji hałasu, które z czasem może być rozbudowywane o dodatkowe elementy, w zależności od aktualnie prowadzonych w tej tematyce prac.

Literatura

1. Brüel and Kjær: Sound & Vibration Measurement A/S: Environmental Noise. Brüel and Kjær, Denmark, 2001.
2. Crocker M. J. E.: Encyclopedia of Acoustics. J. Wiley & Sons, 1997.
3. Elliott S. J.: Signal processing for active control, London: Academic Press, 2001.
4. Elliott S. J., Nelson, P.: Active noise control. IEEE Signal Processing Magazine, 1993.
5. Engel Z., Kowal J.: Sterowanie procesami wibroakustycznymi. Kraków: Wydawnictwo AGH, 1995.
6. Engel Z., Makarewicz G., Zawieska W.M., Morzynski L.: Metody aktywne redukcji hałasu, Warszawa: CIOP Press, 2001.
7. Kasprzyk J. i inni: Identyfikacja procesów, Gliwice: Politechnika Śląska, 2002.
8. Kuo M., Morgan D.: Active noise control systems. Algorithms and DSP implementations. New Jersey: J. Wiley & Sons, 1996.
9. Latos M., Pawelczyk M.: Feedforward vs feedback fixed-parameter H2 control of non-stationary noise. Archives of Acoustics, 4, 34, 2009, s. 521–535.
10. Latos M.: Active Noise Reducing Earplug with Speech Signal Processing, Rozprawa doktorska, Gliwice: Politechnika Śląska, 2011.
11. Lyons R.G.: Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, Warszawa:WKŁ, 2010.

12. Michalczyk M.: Adaptive Control Algorithms for Three-Dimensional Zones of Quiet, Gliwice: Jacek Skalmierski Computer Studio, 2004.
13. Pawelczyk M.: Active Noise Control for Compact Acoustic Plants, Gliwice: Jacek Skalmierski Computer Studio, 1999.
14. Pawełczyk M.: Feedback Control of Acoustic Noise at Desired Locations. Gliwice: Automatyka 141, Wyd. Politechniki Slaskiej, 2005.

Zintegrowany system monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych zwiększający bezpieczeństwo eksploatacyjne - wyniki analiz

Krzysztof Stankiewicz, Dariusz Jasiulek, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Joanna Rogala-Rojek – Instytut Techniki Górniczej KOMAG

1. Wstęp

Wymagania stawiane obiektom wielkopowierzchniowym w zakresie bezpieczeństwa użytkowania wymuszają stosowanie systemów monitoringu konstrukcji, w tym połaci dachów. Standardem staje się przygotowanie (już na etapie projektu budowlanego) montażu systemów monitoringu konstrukcji w nowo budowanych obiektach wielkopowierzchniowych. Wynika to z rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki: „Budynki użyteczności publicznej z pomieszczeniami przeznaczonymi do przebywania znacznej liczby osób, takie jak: hale widowiskowe, sportowe, wystawowe, targowe, handlowe, dworcowe powinny być wyposażone, w zależności od potrzeb, w urządzenia do stałej kontroli parametrów istotnych dla bezpieczeństwa konstrukcji, takich jak: przemieszczenia, odkształcenia i naprężenia konstrukcji".

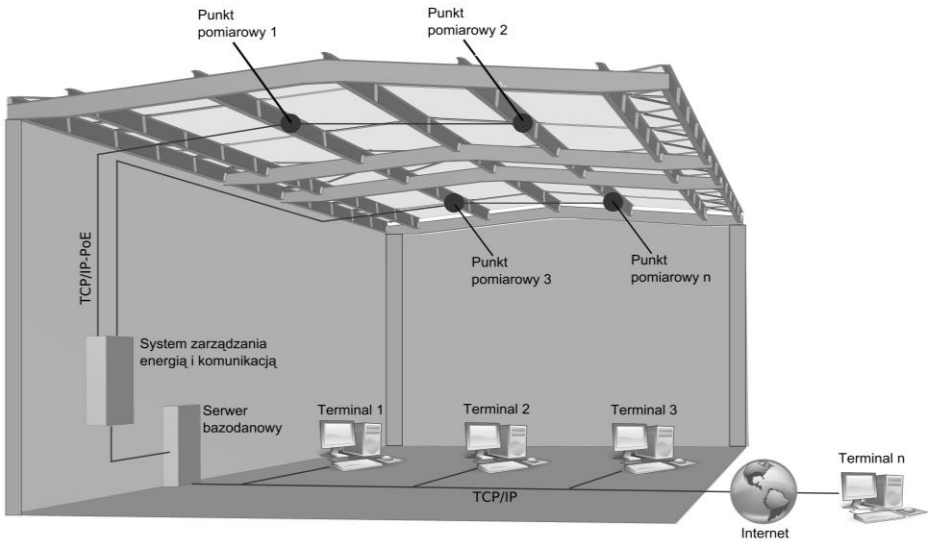
W wyniku analiz wymagań rynkowych opracowano w instytucie KOMAG system monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych, który zaimplementowano blisko 3 lata temu w hali badawczej ITG KOMAG. System jest od tego czasu testowany oraz rozwijany. System bazuje na autorskich rozwiązaniach sprzętowych, zarówno w zakresie jednostki centralnej, jak i czujników pomiarowych. Eksploatacja systemu w okresie ostatnich 3 lat w pełni potwierdziła jego użyteczność.

Analiza zapotrzebowania na systemy monitoringu w odniesieniu do rynku polskiego wskazuje, że wymagania inwestorów formułowane są niejednokrotnie w sposób odnoszący się do konkretnych typów czujników, które należy zastosować w projektowanym systemie. System powinien zatem posiadać elastyczną strukturę, gdyż realizacja konkretnych wymagań rynkowych wymaga niejednokrotnie sporych modyfikacji. Prowadzone obecnie prace badawcze zmierzają w kierunku integracji bazowego systemu monitoringu z elementami oczujnikowania, najczęściej wymaganymi przez inwestorów budowlanych. Prowadzone są zatem analizy możliwości implementacji rynkowych elementów pomiarowych do systemu oferowanego przez KOMAG.

Przedstawione doświadczenia wynikające z implementacji i użytkowania systemu ukierunkowują rozwój systemu monitoringu elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych.

2. Opis systemu

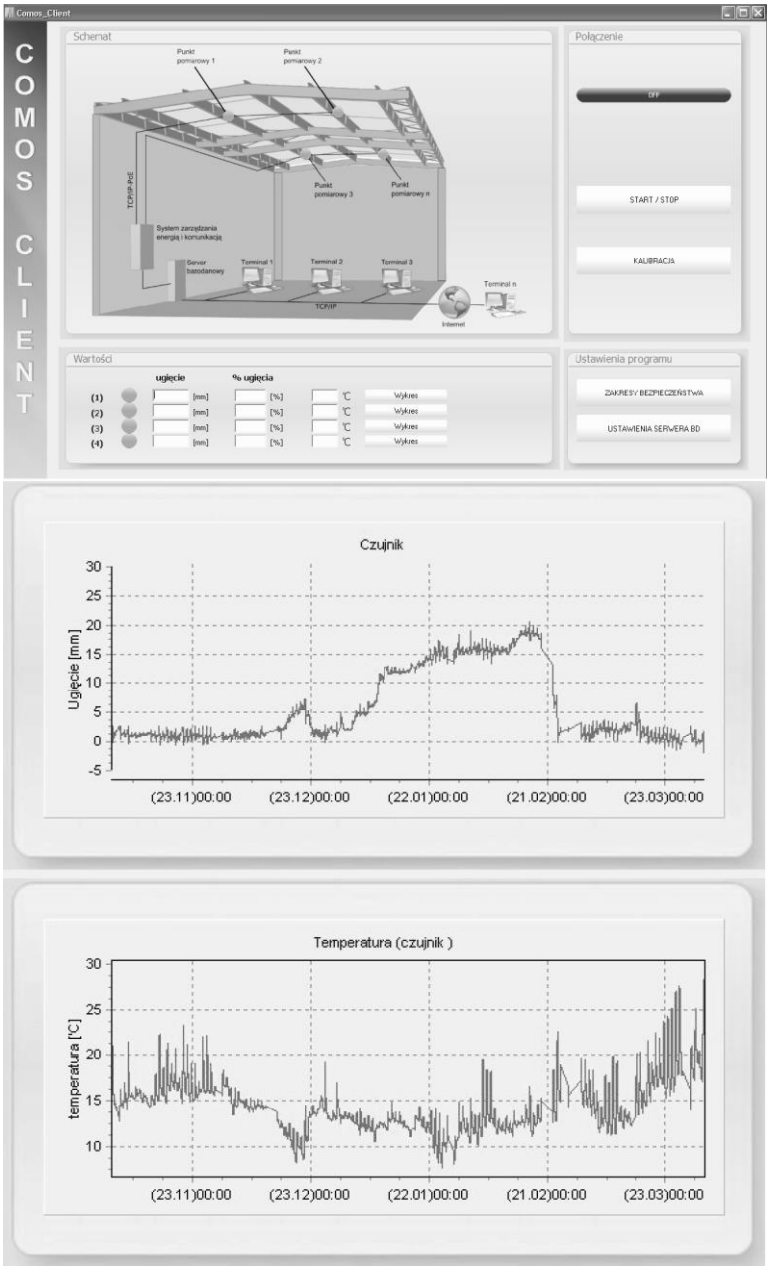
System monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych wykorzystuje technikę tensometrii oporowej do pomiarów odkształceń oraz pomiary wybranych parametrów środowiskowych. Na głównych elementach nośnych obiektu instaluje się sieć czujników mierzących wielkości charakteryzujące stan konstrukcji. Ideę działania systemu przedstawiono na rysunku 1. Dane z czujników pomiarowych, przetwarzane są przez układy pomiarowe, a następnie przesłane do aplikacji klienckiej, zainstalowanej w komputerze administratora. Całość transmisji zarządzana jest przez skrzynię sterującą, która z odpowiednią częstotliwością odczytuje dane z czujników [3].



Rys.1. System monitoringu konstrukcji [2]

Stan monitorowanego obiektu wizualizowany jest przez aplikację COMOS [2]. Możliwe jest np. przedstawienie w postaci procentowej wartości ugięcia poszczególnych elementów konstrukcji w odniesieniu do wartości granicznych. W zależności od potrzeb wizualizowane są również odpowiednie wartości wielkości charakteryzujących czynniki środowiskowe (np. temperaturę rys. 2) [3].

Dzięki analizowanym w module wizualizacji danym administrator otrzymuje informacje na temat trendów zjawiska, a także stanu obecnego monitorowanego obiektu. Sprawdzanie granicznych stanów nośności polega na określeniu, że w każdym miarodajnym przekroju (elemencie) konstrukcji; przy każdej kombinacji oddziaływań obliczeniowych nie są przekraczane dopuszczalne wartości odkształceń. System generując informacje na temat obciążenia wybranych elementów nośnych monitorowanej konstrukcji, nie umożliwia jednak pozyskania pełnej informacji o stanie nośności obiektu, która powinna być wynikiem analizy przeprowadzonej przez ekspertów [3].



Rys.2. Widok głównego okna aplikacji klienckiej [2]

3. Eksploatacja systemu monitoringu

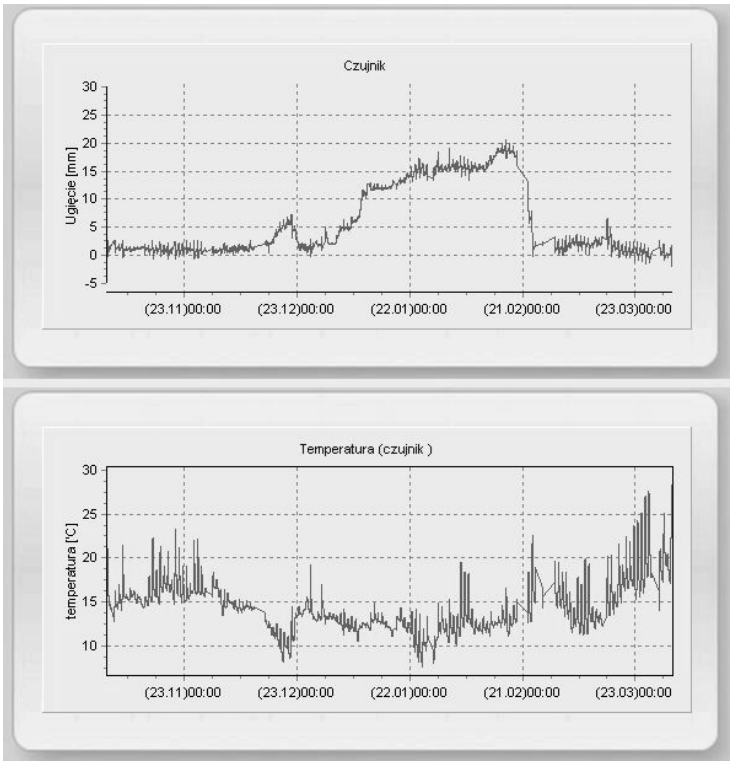
System zamontowano w hali badawczej ITG KOMAG w kwietniu 2009 roku. Prowadzona eksploatacja pozwoliła zestawić dane pomiarowe zebrane z 3

okresów zimowych podczas których na dachu hali zalegała pokrywa śnieżna. Dane przedstawiono na wykresach umieszczonych na rysunkach 3, 4 oraz 5.

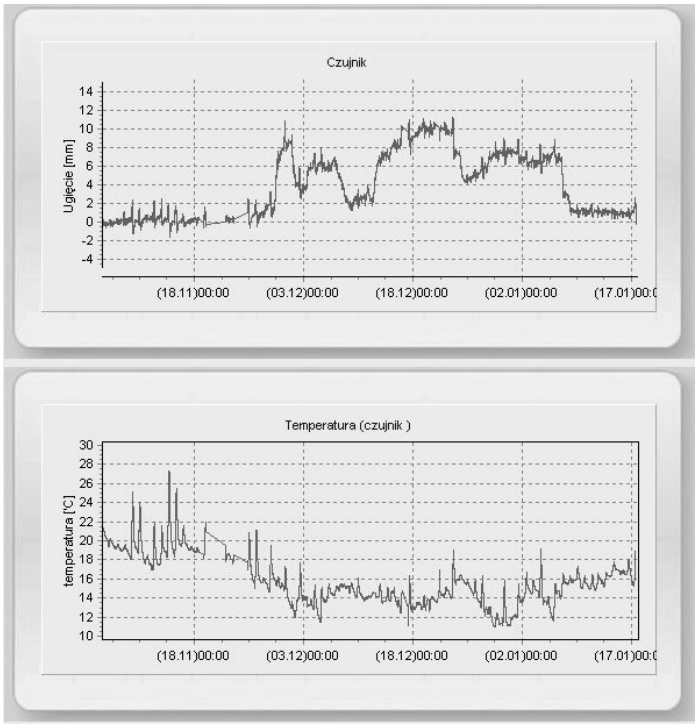
Przykładowo w dn. 30.11.2010 r. zmierzono grubość warstwy śniegu zalegającego na dachu, gdy rejestrowane przez system ugięcie konstrukcji wynosiło odpowiednio: czujnik 1 (7 mm), czujnik 2 (4 mm), czujnik 3 (8 mm), czujnik 4 (4 mm).

Zmierzono następującą grubość warstwy śniegu w poszczególnych punktach pomiarowych:

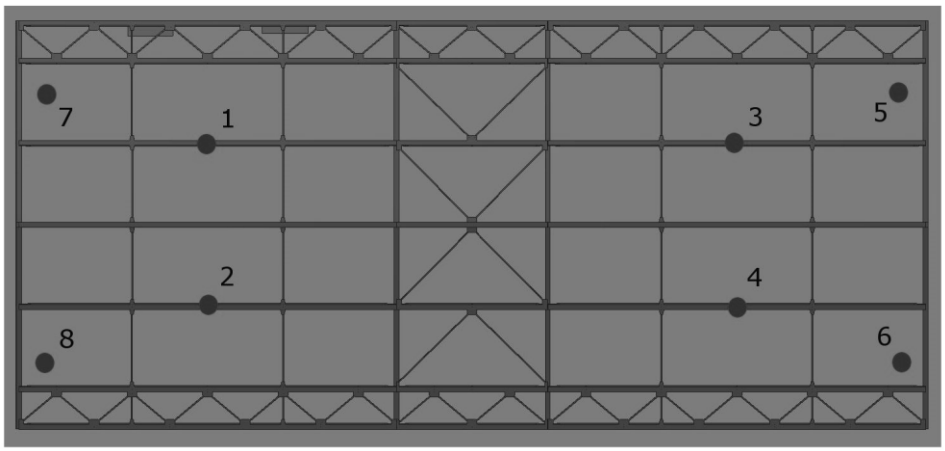
- punkt 1 - grubość warstwy śniegu równa 12 [cm]
- punkt 2 - grubość warstwy śniegu równa 13 [cm]
- punkt 3 - grubość warstwy śniegu równa 11 [cm]
- punkt 4 - grubość warstwy śniegu równa 13 [cm]
- punkt 5 - grubość warstwy śniegu równa 10 [cm]
- punkt 6 - grubość warstwy śniegu równa 23 [cm]
- punkt 7 - grubość warstwy śniegu równa 13 [cm]
- punkt 8 - grubość warstwy śniegu równa 23 [cm]



Rys.3. Wykresy temperatury oraz ugięcia zarejestrowane na przełomie 2009/2010 [źródło własne]



Rys.4. Wykresy temperatury oraz ugięcia zarejestrowane na przełomie 2010/2011 [źródło własne]



Rys.5. Punkty pomiaru warstwy śniegu zarejestrowane na przełomie 2010/2011 [źródło własne]

Z przeprowadzonej analizy wynikało, że na jednej części dachu zalegała grubsza warstwa śniegu, co zarejestrowały czujniki 1 i 3. Średnia wartość pokrywy śnieżnej na jednej stronie dachu hali badawczej wynosiła 12 cm, natomiast na drugiej stronie średnia pokrywa śniegu wynosiła 20 cm. Nie było lodu

pod warstwą śniegu (zmierzono grubość świeżo powstałej warstwy śniegu). Gęstość świeżego śniegu (puchu) waha się w granicach 10-200 kg/m^3.

Znając grubość warstwy śniegu wyznaczono jego objętość, a następnie jego masę na powierzchni 1m^2. Masa zalegająca na 1 m^2 na jednej stronie dachu wynosiła 1,2-24 kg, natomiast na drugiej 2-40 kg. Wyliczono siłę nacisku wywieraną przez masę śniegu na 1 m^2 powierzchni dachu, która wynosiła od 12-240 [N], a na drugiej połowie dachu 20-400 [N].

Ugięcie konstrukcji nośnej wyliczono na podstawie wzoru 1 (wzór na ugięcie belki wolnopodpartej z obciążeniem jednorodnym).

$$f = \frac{5 \cdot P \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_Z} \ [m] \tag{1}$$

gdzie:

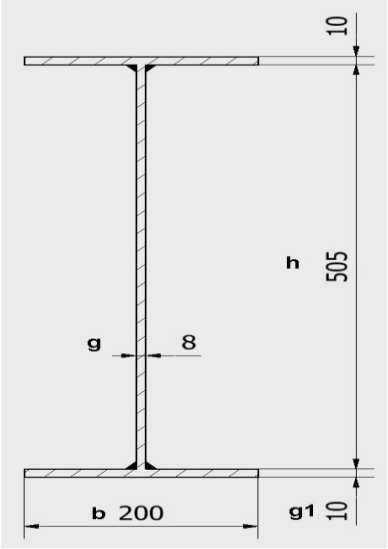
E – moduł Younga, [Pa],

L – długość belki, [m],

I_Z – moment bezwładności przekroju poprzecznego belki, [cm^4],

P – siła nacisku, [N],

f – ugięcie belki, [mm].



Rys.6. Przekrój poprzeczny belki [źródło własne]

Moment bezwładności przekroju poprzecznego względem osi z I_z wyznaczono według wzoru 2.

$$I_Z = \frac{g \cdot h^3}{12} + \left[\frac{b \cdot g_1^{\ 3}}{12} + b \cdot g_1 \left(\frac{h + g_1}{2} \right)^2 \right] \ [cm^4] \tag{2}$$

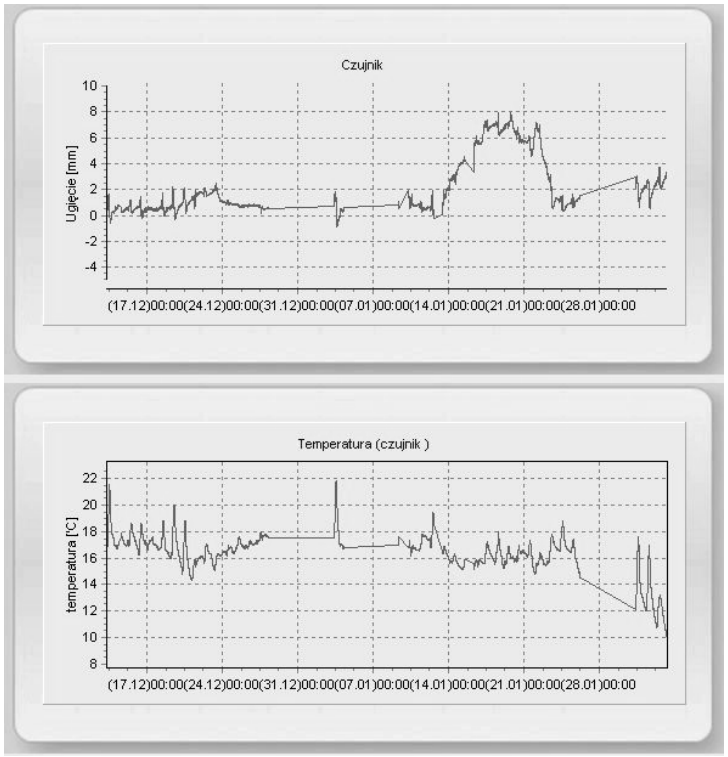
gdzie:

g, h, g1, b [mm] – wymiary podane na rysunku 6.

Zakresy ugięcia konstrukcji od zalegającej masy śniegu wynoszą odpowiednio:

– 0,6-12,3 mm - dla jednej połowy dachu,
– 1-20,5 mm - dla drugiej połowy dachu.

Zmierzone przez system wartości ugięć mieściły się w przedziale wartości obliczeń, dla minimalnej i maksymalnej gęstości śniegu (wartości określono dla śniegu o konsystencji puchu).



Rys.7. Wykresy temperatury oraz ugięcia zarejestrowane na przełomie 2011/2012 [źródło własne]

„Poziom zera" (wartość ugięcia konstrukcji rejestrowana przez system, gdy powierzchnia dachu była nieobciążona) wartości ugięcia rejestrowanego przez jeden z czujników w przeciągu 3 lat jego pracy wahała się w granicach +/-0,5 mm (pominięto wpływ temperatury). Świadczy to o niewielkich odchyłkach wartości rejestrowanych przez czujnik w dłuższym czasie jego eksploatacji. Można zatem stwierdzić, że eksploatacja w okresie 3 lat zastosowanych czujników odkształceń wykorzystujących metodę tensometrii oporowej do pomiaru odkształceń w niewielkim stopniu wpłynęła na dokładność pomiaru.

Działanie systemu w przeciągu ostatnich trzech lat było prawidłowe. Co potwierdzają przedstawione w niniejszym podrozdziale pomiary grubości warstwy śniegu wraz z ich porównaniem z wartościami wyznaczonymi analitycznie.

4. Analiza wymagań technicznych w odniesieniu do rynku polskiego

Doświadczenie w projektowaniu obiektów budowlanych, a także stosowane profesjonalne oprogramowanie do wyliczania obciążeń konstrukcji, już na etapie projektu umożliwia uwzględnienie obciążeń projektowanej konstrukcji przez siły pochodzące np. od zalegającej warstwy śniegu. Każdy projekt powinien być zweryfikowany i zatwierdzony do wykonania. Nowo powstały obiekt wykonany według projektu powinien być również sprawdzany przez ekspertów potwierdzających jego właściwe wykonanie (zgodnie z założeniami projektowymi). Niestety zdarzają się nadal katastrofy budowlane. Stosunkowo niedawno w Słowacji zawaliła się konstrukcja dachu nowo powstałej hali sportowej: „Kilka minut po rozpoczęciu spotkania na lodowisko i trybuny, gdzie siedzieli rodzice dzieci i sympatycy partii, posypał się grad styropianu, szklanej waty i desek. Potem runęła cała konstrukcja. (…) Okoliczności katastrofy bada specjalna komisja. Ośrodek sportowy w miejscowości Namestovo został oddany do użytku zaledwie dwa miesiące temu. Ze wstępnych ustaleń policji wynika, że przyczyną katastrofy mogło być zarówno nadmierne obciążenie dachu śniegiem, jak i rażące błędy popełnione podczas budowy obiektu.” [8].

„Do awarii i przerwania prac na Stadionie Śląskim doszło 15 lipca, tuż przed zakończeniem - trwającego wówczas od 12 dni - podnoszenia linowej konstrukcji, która ma utrzymywać dach obiektu. Pękły wówczas dwa tzw. "krokodyle", czyli uchwyty łączące liny promieniowe dachu z jego wewnętrznym pierścieniem rozciąganym” [7].

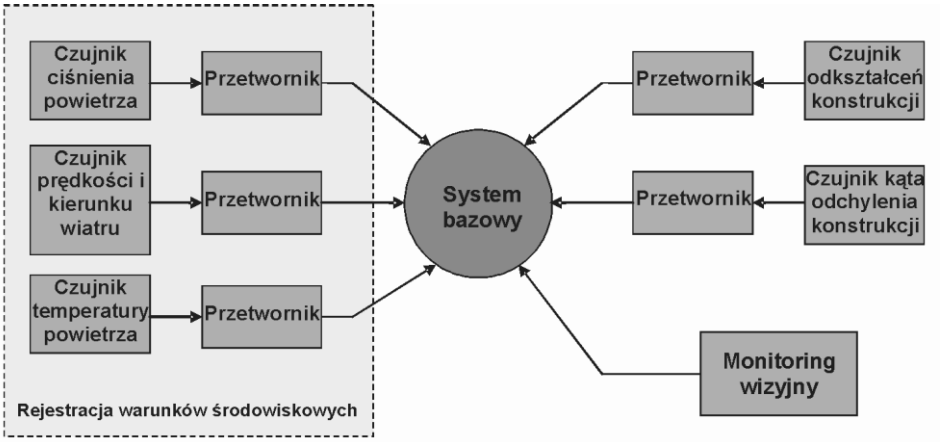
Są to tylko dwa z przykładów awarii budowlanych jakie miały miejsce w ostatnim czasie.

Inwestorzy nowo powstających obiektów wielkopowierzchniowych mając na uwadze katastrofy budowlane jakie miały miejsce podczas wykonania oraz eksploatacji obiektów wielkopowierzchniowych coraz częściej decydują się na instalację systemu monitorującego bieżący stan konstrukcji, oraz monitoring warunków środowiskowych (temperatura powietrza, prędkość i kierunek wiatru, ciśnienie powietrza). W zapytaniach ofertowych napływających z rynku pojawia się również zapotrzebowanie na monitoring wizyjny, zapewniający między innymi obserwację grubości warstwy śniegu, stanu pokrycia dachowego oraz stanu instalacji odprowadzającej wodę. Istotne z punktu widzenia inwestorów staje się również monitorowanie, oprócz odkształceń konstrukcji, jej kąta odchylenia od pozycji pionowej. Sygnalizowane potrzeby wskazują, że istnieje

zapotrzebowanie na opracowanie technologii pomiaru odkształceń konstrukcji. System KOMAG-u bazuje na pomiarze odkształceń technologią tensometrii oporowej. Producenci czujników odkształceń oferują również inne sposoby pomiaru, oparte m.in. o sensory strunowe, transformatorowe, czy laserowe. Niektórzy z inwestorów w swoich wymaganiach określają pożądaną przez nich metodę pomiaru odkształceń konstrukcji.

5. Planowane modyfikacje systemu

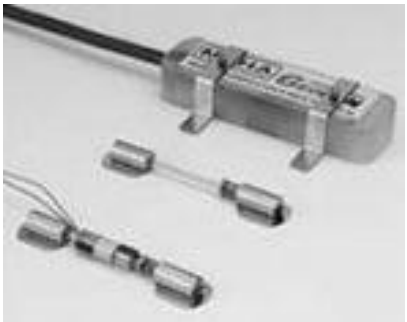
W odpowiedzi na wymagania stawiane przez inwestorów nowo powstających obiektów wielkopowierzchniowych, proponuje się zintegrowanie istniejącego systemu z proponowanymi rozwiązaniami rynkowymi (rys. 8).



Rys.8. Schemat modyfikacji systemu bazowego [źródło własne]

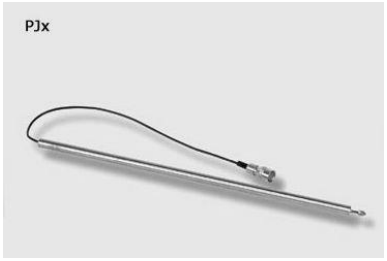
W celu integracji poszczególnych czujników z systemem bazowym zostaną zaprojektowane odpowiednie rodzaje przetworników, które będą umożliwiać poprawną transmisję danych pomiarowych. Planuje się zastosowanie następującego rodzaju czujników odkształcenia oraz kąta odchylenia:

– strunowy czujnik odkształceń:



Rys.9. Strunowe czujniki odkształceń [9]

– transformatorowy czujnik przemieszczeń:



Rys.10. Transformatorowy czujnik odkształceń [10]

– inklinometr, mierzący stopień odchylenia konstrukcji:

Rys.11. Inklinometr [9]

Rys.12. Stacja pogodowa [11]

System zostanie również rozbudowany o moduł rejestracji parametrów środowiskowych tj.: temperatura powietrza, prędkości i kierunku wiatru oraz ciśnienie powietrza. Moduł ten będzie stanowił tzw. stację pogodową.

Stacja posiada możliwość radiowej transmisji danych pomiarowych.

Dodatkowym atutem systemu będzie możliwość obserwacji warstwy śniegu, powierzchni dachu oraz instalacji odpływowych poprzez monitoring wizyjny.

Przetworzone dane będą przesyłane do oprogramowania COMOS, które zostanie zmodyfikowane w celu wizualizacji dodatkowych danych pomiarowych.

6. Podsumowanie

Zapotrzebowanie na systemy monitoringu elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych ciągle rośnie. Inwestorzy nowo powstających obiektów wielkopowierzchniowych już na etapie projektu przewidują montaż tego typu systemów. Analiza potrzeb rynkowych wskazuje, że wymagania inwestorów wobec systemów monitoringu dotyczą przede wszystkim: rodzaju zastosowanej metody pomiarowej (rodzaj zastosowanych czujników pomiarowych), dodatkowych pomiarów określających wartość odchylenia konstrukcji obiektu od pionu, rejestracji parametrów środowiskowych oraz monitoringu wizyjnego pozwalającego na obserwację warstwy śniegu, a także powierzchni połaci dachu.

System monitoringu elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych zaprojektowany w ITG KOMAG oraz zamontowany w hali badawczej Instytutu, eksploatowany jest od 3 lat. Analizy przeprowadzone w trakcie funkcjonowania systemu potwierdzają jego założoną funkcjonalność i efektywność. W czasie projektowania systemu bazowano na metodzie pomiaru odkształceń z wykorzystaniem tensometrii oporowej. Zdecydowano się również na rozbudowę systemu o rejestrator zewnętrznych warunków środowiskowych, a także monitoring wizyjny.

Instalacja systemu monitoringu elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych zapewnia:

- zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacyjnego obiektu,
- zmniejszenie kosztów utrzymania budynku,
- stałą kontrolę nad stanem obciążeń konstrukcji,
- monitoring w dowolnym punkcie na Ziemi, gdzie dociera sieć Internet,
- ostrzeganie przed zbliżaniem się wartości obciążeń do stanów krytycznych,
- archiwizację danych pomiarowych w celu późniejszej analizy lub określenia trendów,

- zintegrowane zarządzanie energią elektryczną zasilającą sieć pomiarową, umożliwiające obniżenie kosztów eksploatacji systemu,
- zasilanie i transmisję danych zintegrowane w jednym przewodzie,
- możliwość lepszego oddziaływania marketingowego na klientów (szczególnie w przypadku sklepów, hal targowych, itp.) oraz uzyskania zniżek przy ubezpieczaniu budynku.

Literatura

1. Bańkowski Z., Bernhardt M.: Mały poradnik mechanika. Wydawnictwo Naukowo Techniczne Warszawa.
2. Bartoszek S., Jagoda J., Rogala J., Stankiewicz K., Woszczyński M.: System monitoringu stanu obciążeń konstrukcji wielkopowierzchniowych, Maszyny Górnicze 2009 nr 3 s. 6-10.
3. Bartoszek S., Jagoda J., Rogala-Rojek J., Jendrysik, Woszczyński M: System monitoringu elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych, Przemysł Zarządzanie Środowisko 2010.
4. Bartoszek S., Jagoda J., Jasiulek D., Rogala-rojek J, Stankiewicz K.: Zintegrowany system monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych zwiększający bezpieczeństwo eksploatacyjne. KOMEKO 2011, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych. Bezpieczeństwo - Jakość - Efektywność, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2011 s. 269-279.
5. Roliński Z.: Tensometria oporowa : podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1981.
6. Zarębski K.: Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich. Akwizycja danych pomiarowych. Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki Kraków 2007.
7. www.dziennikzachodni.pl
8. www.tvp.info
9. www.geokon.com
10. www.peltron.pl
11. www.mera-sp.com.pl
12. Polska Norma: PN-80/B-02010 Obciążenia w obliczeniach statystycznych. Obciążenie śniegiem.
13. Projekt badawczy E/BM-06360: System monitorowania elementów konstrukcji wielkopowierzchniowych, ITG Komag 2009.

Zakłady wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach – sytuacja radiacyjna

Jolanta Biegańska, Aleksandra Pala, Ewelina Piątkowska – Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

Substancje promieniotwórcze odgrywają znaczącą rolę nie tylko w kształtowaniu się środowiska przyrodniczego, ale również posiadają szereg korzystnych zastosowań w przemyśle, medycynie oraz rolnictwie. Z punktu widzenia ochrony radiacyjnej ważne jest, aby poziomy ich stężeń podlegały systematycznej kontroli i monitoringowi, dzięki którym spełnione zostaną podstawowe standardy bezpieczeństwa.

W rozdziale przedstawiono krótką historię zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach, a także podjęto próbę oceny sytuacji radiacyjnej panującej na terenie Gmin Karkonoskich oraz miasta Jelenia Góra.

2. Zakłady wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach

W Polsce górnictwo uranu przez dziesięciolecia owiane było tajemnicą. Pomimo, iż pierwsze wzmianki o występowaniu mineralizacji uranowej na Dolnym Śląsku pochodzą z drugiej połowy XIX wieku, dopiero w latach 20. XX wieku podjęto próby eksploatacji rudy uranowej [11]. Poprzedzone wykonaniem szeregu badań radiometrycznych, geochemicznych, radiohydrogeochemicznych oraz emanacyjnych, prace wydobywcze prowadzone były między innymi w Kowarach, Podgórzu, Miedziance, Radoniowie, Kletnie, Głuszycy Dolnej, a także w Rudkach.

Pierwszą, czynną kopalnią uranu w Polsce była kopalnia „Wolność" w Kowarach. Początkowo prace wydobywcze prowadzone w kopalni nastawione były przede wszystkim na pozyskiwanie rudy magnetytu, natomiast towarzyszące jej przerosty blendy smolistej traktowane były jako produkt uboczny, składowany w postaci hałd. Zainteresowanie przemysłową eksploatacją rudy uranowej pojawiło się dopiero w roku 1948, kiedy to na mocy podpisanej umowy polsko-radzieckiej, kopalnię „Wolność" przejęły władze rosyjskie [18]. Rozpoczęte w tym czasie działania radzieckich ekspertów skupiały się przede wszystkim na prowadzeniu prac poszukiwawczych, mających charakter rewizyjny i polegających na przeglądzie wszystkich, dostępnych na terenie Dolnego Śląska, wyrobisk górniczych oraz hałd kopalni [15].

Szacuje się, iż w trakcie prowadzonych prac poszukiwawczych, które w latach 1948-1955 objęły swym zasięgiem również tereny Karpat, Gór Świętokrzyskich, Zagłębia Górnośląskiego oraz Zagłębia Częstochowskiego, na ob-

szarze Polski odkryto siedemnaście złóż uranu oraz kilkaset miejsc występowania anomalii promieniotwórczych, z których większość została udostępniona technikami górniczymi i wyeksploatowana w trakcie prowadzonych badań [15].

Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych eksperci radzieccy stwierdzili [9], iż najbardziej zasobną w rudę uranową jednostką regionalną są Sudety, natomiast najbardziej perspektywicznymi złożami okazały się złoża „Wolność" (Kowary), „Podgórze" (Podgórze koło Kowar), „Radoniów" (Radoniów), a także złoża „Okrzeszyn" (Okrzeszyn) i „Grzmiąca" (Głuszyca Dolna), w których podjęto eksploatację próbną. Zasobność wymienionych złóż oszacowano wówczas od kilkudziesięciu do 938 Mg uranu [9].

Całość prac poszukiwawczo-wydobywczych kontrolowana była przez, powołane z dniem 1 stycznia 1948 roku, przedsiębiorstwo państwowe „Kuznieckije Rudniki" przemianowane później na „Zakłady Przemysłowe R-1" z siedzibą w Kowarach [15]. Zrzeszające w swych szeregach wybitnych polskich i radzieckich specjalistów (inżynierów górników, geologów i geofizyków), przedsiębiorstwo poza prowadzeniem prac poszukiwawczo-rewizyjnych, zajmowało się również budową kopalń, eksploatacją rudy uranowej oraz przerobem pozyskiwanego surowca.

Odkrycie nowych pokładów rudy uranowej na terenie Związku Radzieckiego sprawiło, iż w roku 1956 prace geologiczne i wydobywcze, prowadzone na terenie Polski przeszły w kompetencje polskich służb geologicznych [15]. W wyniku zaistniałej reorganizacji władze polskie w znaczący sposób ograniczyły również działalność „Zakładów Przemysłowych R-1", skupiając się przede wszystkim na eksploatacji znanych już złóż geologicznych.

Kopalnia „Wolność" swoją działalność zakończyła w roku 1962, na skutek wyczerpania się dostępnych stref uranonośnych oraz zasobów rudy żelaza. Niektóre obiekty likwidowanej kopalni wykorzystane zostały pod budowę Zakładu Wzbogacania Rudy, którą rozpoczęto w 1963 roku. Podstawowym zadaniem, znajdującego się na obszarze „Zakładów Przemysłowych R-1" Zakładu Wzbogacania Rudy, miała być produkcja wysokoprocentowego koncentratu uranowego. Brak poparcia dla energetyki jądrowej sprawił jednak, że w roku 1972 Zakład Wzbogacania Rudy został zamknięty, a rok później likwidacji uległy również „Zakłady Przemysłowe R-1".

3. Rodzaje promieniowania jonizującego

Promieniowanie jonizujące jest jednym z rodzajów promieniowania przenikliwego, które wywołane może być strumieniem wysokoenergetycznych fotonów (promieniowanie γ, X), bądź strumieniem cząstek naładowanych (cząstek α, β, protonów, jonów) [6].

Można wyróżnić następujące rodzaje promieniowania jonizującego [3]:

- *promieniowanie alfa (α)* – jest to promieniowanie korpuskularne, towarzyszące przemianom jąder ciężkich, takich jak U, Th i Ra. Podczas rozpadu alfa następuje emisja cząsteczek helu ($^{4}_{2}\mathrm{He}$),
- *promieniowanie beta (β)* – jest to promieniowanie korpuskularne, podczas którego z jądra radioaktywnego atomu następuje emisja elektronu lub pozytonu wraz z jednoczesną emisją cząstki zwanej antyneutrinem elektronowym bądź neutrinem elektronowym,
- *promieniowanie gamma (γ)* – promieniowanie elektromagnetyczne o energii większej aniżeli energia promieniowania rentgenowskiego (X), towarzyszące przemianom, zarówno naturalnych, jak i sztucznych radioizotopów,
- *promieniowanie neutronowe* – rodzaj promieniowania jonizującego, którego głównym źródłem są reaktory jądrowe i akceleratory. Do naturalnych źródeł promieniowania neutronowego należą natomiast jądra atomowe powstałe w procesach rozpadu alfa, a także promieniowanie kosmiczne.

W przyrodzie znane są dwa źródła promieniowania jonizującego [8]: naturalne i sztuczne. Promieniotwórczość naturalna związana jest z występowaniem w przyrodzie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, które ulegają samorzutnym przemianom jądrowym. Pierwiastki te tworzą w środowisku przyrodniczym szeregi promieniotwórcze, do których zalicza się [8]: szereg uranowo-radowy, szereg torowy oraz szereg uranowo-aktynowy. Radionuklidy należące do szeregu naturalnych pierwiastków promieniotwórczych stanowią w środowisku przyrodniczym Ziemi najbardziej rozpowszechnioną grupę związków, co wynika przede wszystkim z bardzo długiego czasu połowicznego rozpadu pierwszych członów wymienionych szeregów [12]. Naturalnym źródłem promieniowania jonizującego jest także docierające do powierzchni Ziemi promieniowanie kosmiczne [1].

Szacuje się, iż około 73% całkowitej emisji promieniowania jonizującego pochodzi ze źródeł naturalnych [8]. Głównym emitorem promieniowania jonizującego w przyrodzie jest radon.

Występowanie radonu w przyrodzie związane jest z rozpadem promieniotwórczym uranu $^{238}\mathrm{U}$ oraz toru $^{232}\mathrm{Th}$, które to pierwiastki stanowią składniki skał, gruntów i gleb. Szczególnie duże narażenie na oddziaływanie radonu dostrzegalne jest w obiektach podziemnych o słabej wentylacji i znikomej wymianie powietrza z atmosferą.

W roku 1988 radon uznany został, przez Międzynarodową Agencję Walki z Rakiem (IARC), za karcynogen I klasy [13]. Do tego czasu w wielu kopalniach uranu na świecie, w tym również w Polsce, nie zdawano sobie sprawy ze szkodliwego wpływu tego gazu na stan zdrowia człowieka. Wśród górników pracujących w kopalniach uranu, można było w prawdzie zaobserwować zwięk-

szoną zachorowalność na nowotwory płuc oraz innego rodzaju choroby dróg oddechowych, w tym także pylicę, jednakże przypadki te bardzo często tłumaczone były jako typowe choroby zawodowe górników.

Obecnie za słuszną przyjmuje się teorię hormezy radiacyjnej zgodnie, z którą zakłada się występowanie skutków stymulujących organizm żywy po małych dawkach czynnika, przy jednoczesnym występowaniu skutków ubocznych po dużych dawkach tego samego czynnika. Przeprowadzone badania wykazały, iż niewielkie dawki promieniowania jonizującego emitowanego przez radon pobudzają mechanizmy ochronne komórek, chroniąc je przed uszkodzeniami materiału genetycznego i indukcją procesu nowotworzenia [10].

Promieniotwórczość sztuczna związana jest natomiast z szeroko pojętą działalnością człowieka, mającą na celu uzyskanie na drodze licznych przemian jądrowych konkretnych substancji promieniotwórczych, które następnie mogą przedostawać się do środowiska [1]. Do sztucznych źródeł promieniowania jonizującego zalicza się [1, 3, 8]: detonację ładunków rozszczepialnych (opad światowy), energetykę jądrową, awarie elektrowni jądrowych, spalanie paliw stałych oraz substancje promieniotwórcze stosowne w medycynie, przemyśle i nauce.

4. Sytuacja radiacyjna na terenie byłych zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej

Zgodnie z założeniami Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), działania związane z monitorowaniem sytuacji radiacyjnej na terenie Polski polegają przede wszystkim na systematycznych pomiarach dawki promieniowania gamma (γ), w określonych punktach zlokalizowanych na terenie kraju, a także wykonywaniu pomiarów zawartości izotopów promieniotwórczych, obecnych w głównych komponentach ekosystemu oraz żywności.

Zależnie od zakresu wykonywanych działań wyróżnia się dwa rodzaje systemów monitoringu radiacyjnego [4]:

- *system monitoringu ogólnokrajowego* – umożliwiający dokonanie bieżącej oceny sytuacji radiacyjnej w kraju w warunkach normalnych, jak również w sytuacjach zagrożenia radiacyjnego. W skład systemu monitoringu ogólnokrajowego wchodzą stacje podstawowe (stacje automatyczne PMS, stacje Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej i Państwowej Agencji Atomistyki (ASS-500), stacje Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej) oraz stacje wspomagające (stacje pomiarowe Ministerstwa Obrony Narodowej). Na rysunku 1 przedstawiono lokalizacje podstawowych placówek pomiarowych skażeń promieniotwórczych w Polsce [4].
- *system monitoringu lokalnego* – pozwalający na uzyskanie danych, pochodzących z terenów, na których są, bądź były prowadzone prace, mogące

powodować lokalne zwiększenie narażenia radiacyjnego mieszkającej w ich pobliżu ludności. System monitoringu lokalnego obejmuje swym zasięgiem Ośrodek Jądrowy w Świerku, Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie oraz tereny byłych zakładów wydobywczych i przeróbczych rud uranu w Kowarach.

Rys.1. Podstawowe placówki pomiarowe skażeń promieniotwórczych na terenie Polski

Monitoring radiacyjny na terenie byłych zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach, prowadzony jest od roku 1998. W ramach „Programu monitoringu radiacyjnego terenów zdegradowanych w wyniku działalności wydobywczej i przeróbczej rud uranu" corocznie wykonuje się szereg specjalistycznych analiz środowiskowych, dotyczących [14]:

- pomiarów zawartości substancji alfa i betapromieniotwórczych w wodach pitnych, zlokalizowanych na terenie Związku Gmin Karkonoskich i miasta Jelenia Góra oraz wód powierzchniowych i podziemnych, wypływających z wyrobisk pogórniczych,
- oznaczenia stężenia radonu w wodzie z ujęć publicznych, wodzie zasilającej pomieszczenia mieszkalne oraz w wodach powierzchniowych i podziemnych, wypływających z wyrobisk górniczych,
- pomiarów stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym,
- pomiarów mocy dawki promieniowania gamma pochodzącego od tła.

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów wybranych skażeń promieniotwórczych, wykonanych przez Państwową Agencję Atomistyki na terenie

byłych zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach, w latach 2007-2010 [4].

Pomiary skażeń promieniotwórczych na terenie byłych zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach, w latach 2007-2010 [4]

Tabela 1

Rodzaj pomiaru	Rodzaj analizy	Jednostka	2007	2008	2009	2010
Woda pitna	całkowita aktywność alfa	mBq/dm^3	4,1-27,5	1,2-19,4	2,2-28,2	1,5-32,5
	całkowita aktywność beta	mBq/dm^3	38,0-267,4	42,7-224,6	28,9-268,7	30,4-263,1
Wody wypływające z wyrobisk górniczych	całkowita aktywność alfa	mBq/dm^3	2,1-545,9	2,4-526,8	2,6-607,4	4,1-627,5
	całkowita aktywność beta	mBq/dm^3	37,1-3703,2	39,5-3424,3	31,3-3488,5	34,8-3390,4
Stężenie radonu w wodach z ujęć publicznych		Bq/dm^3	0,9-217,3	0,6-229,5	0,3-158,2	0,5-326,7

Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) całkowita aktywność alfa wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi nie powinna przekraczać 100 mBq/dm^3, natomiast aktywność beta powinna wynosić do 1000 mBq/dm^3 [4].

Jak widać z danych przedstawionych w tabeli 1, zmierzone wartości substancji alfa i betapromieniotwórczych w wodach pitnych, zlokalizowanych na terenie Związku Gmin Karkonoskich i miasta Jelenia Góra, mieszczą się w przyjętych poziomach referencyjnych dla wody pitnej; wartości te mają jedynie charakter wskaźnikowy.

W przypadku ewentualnego przekroczenia, któregoś z progów referencyjnych koniecznym jest przeprowadzenie identyfikacji radionuklidów, w celu określenia realnego zagrożenia [4].

Podobne progi referencyjne dotyczą także wód wypływających z wyrobisk górniczych. W przypadku tego typu wód obserwowane jest znaczne przekroczenie dopuszczalnych wartości. Pomimo faktu, iż wody wypływające z wyrobisk górniczych nie nadają się do spożycia przez ludzi, konieczna jest, ze względu na podwyższoną promieniotwórczość, ich stała kontrola radiologiczna [4].

Na terenie Związku Gmin Karkonoskich i miasta Jelenia Góra monitorowana jest również zawartość radonu w wodach z ujęć publicznych. Zgodnie z obowiązującymi zaleceniami Unii Europejskiej, dotyczącymi zawartości ra-

donu w wodach pitnych, w przypadku ujęć publicznych, w których stężenie radonu przekracza wartość 100 Bq/dm^3 państwa członkowskie zobowiązane są do ustalenia indywidualnych progów referencyjnych na podstawie, których podejmowane będą odpowiednie działania zaradcze.

Obowiązujące w Polsce przepisy prawne nie precyzują jednoznacznie zawartości radonu w wodach przeznaczonych do spożycia. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [14] limit poziomu wszystkich radionuklidów (poza trytem) określony został jako całkowita dopuszczalna dawka, wynosząca 0,1 mSv/rok. Dopiero w przypadku przekroczenia wartości granicznej 0,1 mSv/rok podejmowane są działania doraźne, mające na celu zmniejszenie stężenia substancji promieniotwórczych obecnych w wodzie.

Ważnym wskaźnikiem, określającym intensywność oddziaływania promieniowania jonizującego na organizmy żywe, jest również moc dawki promieniowania gamma w powietrzu atmosferycznym.

W tabeli 2 zestawiano średnie dobowe i roczne wartości promieniowania gamma na terenie Polski, w latach 2007-2010 [4].

Średnie dobowe i roczne dawki promieniowania gamma na terenie Polski, w latach 2007-2010 [4]

Tabela 2

Rok	Średnia dobowa dawka promieniowania gamma [nSv/h]	Średnia roczna dawka promieniowania gamma [nSv/h]
2007	53-142	93
2008	47-158	92
2009	51-152	89
2010	45-147	88

Dopuszczalna roczna dawka promieniowania jonizującego dla ogółu ludności wynosi 1 mSv/rok [4]. Przedstawione w tabeli 2 dane liczbowe są jedynie wartościami uśrednionymi, mającymi na celu zobrazowanie sytuacji radiacyjnej kraju. W przypadku byłych zakładów wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach, należy spodziewać się znacznie większych średnich rocznych i dobowych dawek promieniowania gamma. Sytuacja ta wynika przede wszystkim z budowy geologicznej omawianego terenu oraz prowadzonych w nim prac wydobywczo-przeróbczych.

5. Wpływ promieniowania jonizującego na zdrowie człowieka

Promieniowanie jonizujące wywiera znaczący wpływ na organizm człowieka, aczkolwiek jego następstwa są trudne do przewidzenia i ściśle zależą od dawki napromieniowania [2]. Zainteresowanie uszkodzeniami popromiennymi pojawiło się z momentem pierwszych zastosowań promieniowania jonizującego

oraz izotopów promieniotwórczych do celów medycznych, a dyskusje naukowców na temat jego wpływu na organizm ludzki trwają nieustannie. Silnym bodźcem przyczyniającym się do rozwoju badań z zakresu radiobiologii i radiopatologii eksperymentalnej były skutki wybuchów jądrowych z 1945 roku. Długoletnie obserwacje badawcze skutków napromieniowań z wojennych wydarzeń znacznie pogłębiły wiedzę o powodach, procesach i objawach zmian popromiennych u ludzi. Należy jednak podkreślić, iż wszelkie diagnozy były stawiane jedynie na podstawie oceny stanu zdrowia osób napromieniowanych przypadkowo, bądź narażonych zawodowo, gdyż badania i eksperymenty w zakresie patologii popromiennej na ludziach są niemożliwe ze zrozumiałych względów. Zbieranie danych, zestawianie wyników i wysnuwanie ostatecznych wniosków jest procesem czasochłonnym, długotrwałym i niepewnym, nie wspominając o poddaniu weryfikacji zdrowia potomstwa tych osób i ich kolejnych pokoleń [5]. Uszkodzenia popromienne mogą bowiem powstawać w pewnym krótszym lub dłuższym odstępie czasu od momentu, w którym miało miejsce napromieniowanie oraz na skutek tzw. dziedzicznego następstwa napromieniowania [2, 5].

Istnieją dwie hipotezy dotyczące wpływu promieniowania jonizującego na organizm człowieka: hipoteza liniowej zależności zagrożenia od dawki promieniowania LNT (Linear no Threshold) oraz tak zwana hipoteza hormezy radiacyjnej [16]. Pierwsza z nich została wprowadzona przez Międzynarodową Komisję Ochrony Radiologicznej w formie bezprogowego modelu liniowego. Hipoteza LNT zakłada, że zagrożenie małej dawki jest równe zagrożeniu dużej dawki, przyjmując szkodliwość dowolnie małej dawki promieniowania. Natomiast hipoteza hormezy (z grec. hormaein – pobudzać) zakłada pozytywny wpływ małych dawek na odporność na raka i choroby uwarunkowane genetycznie. Według tej teorii, występujące w przyrodzie procesy wieloetapowe (jakimi są także choroby nowotworowe) mają charakter krzywoliniowy z progiem, a nie liniowy. Czyli, gdy wysokie dawki są szkodliwe, małe dawki powodują uruchamianie reakcji obronnych organizmu. Teoria hormezy jest zgodna z naturalnymi zjawiskami występującymi w przyrodzie, na przykład niezbędne w niewielkich ilościach witaminy i mikroelementy, szkodliwe są dla zdrowia człowieka w nadmiarze. Ta sama tendencja dotyczy temperatury otoczenia (sprzyjająca w zakresie 20-25°C, zabójcza powyżej 100°C), promieniowania kosmicznego, czy dawek leków farmaceutycznych.

Ciekawym przypadkiem stanowiącym przykład zastosowania teorii hormezy jest inhalatorium radonowe, funkcjonujące w sztolni dawnej kopalni uranu w Kowarach [7]. Według pomiarów stężenie radonu w sztolni kowarskiej wynosi od 971 do 1260 Bq/m^3. To aż około 25 razy więcej niż przeciętne stężenie radonu w polskich budynkach mieszkalnych (50 - 200 Bq/m^3). Czy jednak jest to na tyle niska dawka, aby krótkotrwała ekspozycja była rzeczywiście korzystna dla zdrowia człowieka?

Ustalono, że radon w małych porcjach ma działanie lecznicze, aczkolwiek nie ma jednoznacznie wyjaśnionego mechanizmu jego działania. Przypuszcza się, że podstawą korzystnego wpływu małych dawek promieniowania jonizującego jest złożony mechanizm dwuetapowy. Pierwszy etap ma wzmagać wytwarzanie wolnych rodników, a drugi aktywować reakcje ochronne odpowiedzialne za neutralizację wolnych rodników i nie pozwala na ujawnianie się szkodliwych następstw ich działania. Radon pomaga w lecznictwie przewlekłych chorób układu krążenia, chorób układu oddechowego, zakłóceń endokrynologicznych i zespołów bólowych [19].

Skrajnie inaczej dzieje się natomiast w przypadku narażenia organizmu na wysokie dawki i długotrwałą, intensywną ekspozycję ciała na promieniowanie. Takie zagrożenie pojawia się w przypadku ekspozycji zawodowej. Wśród narażonych zawodów na źródła dużych stężeń radonu wymieniono [17] między innymi górników z kopalni uranu (stanowiących 51,9% wszystkich przypadków). Najczęstsze choroby popromienne odnotowano dla narządów wzroku, skóry, układu krwiotwórczego, a najpoważniejszym ich następstwem był różnie umiejscowiony nowotwór złośliwy.

U byłych pracowników kopalni uranu w Kowarach orzeczono [17] tylko z 1993 roku aż 53 przypadki nowotworów popromiennych, podczas gdy w sumie odnotowano ich 117. W większości dotyczyły one raka płuc i krtani. Diagnozy nowotworów u byłych górników tejże kopalni jak dotąd miały ostatnio miejsce w 2003 roku. Fakt ten świadczy o skuteczności prowadzonego długoterminowego nadzoru nad ekspozycją zawodową. Brak danych w ocenie wielkości narażenia na promieniowanie jonizujące budzi jednak wiele kontrowersji. Średni czas narażenia pracowników wynosił około 15 lat, a średni wiek w momencie zdiagnozowania nowotworu to 61 lat. Niestety podczas orzekania przyczyny rozpoznanej w danej chwili choroby, w karcie zawodowej pracownika nie podano pochłoniętej wielkości dawki promieniowania.

Tadeusz A. Przybylski w swoim artykule [13] podaje, iż notowane wartości stężenia aktywności ^{222}Rn w Kowarach mogły wówczas sięgać od kilku do kilkuset tysięcy Bq/m^3. Dochodzenia autora informują, iż słaba wentylacja obiektu mogła powodować wzrost aktywności radonu z około 400 Bq/m^3 nawet do 30000 Bq/m^3, podczas gdy średnie dopuszczalne stężenie roczne w miejscach pracy nie powinno przekraczać 1500 Bq/m^3. Z analizy autora dowiadujemy się także, że obiekty, w których stężenia radonu także zawierają się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu tysięcy Bq/m^3 również mogą pełnić rolę inhalatorów. Wahania tych wielkości mogą wynikać z dobowej i sezonowej zmienności radioaktywnej. Stężenia źródeł radioaktywnych mogą ulec obniżeniu w czasie długotrwałych opadów atmosferycznych lub podwyższeniu wraz ze wzrostem ciśnienia [19]. Niestety, formalne wytyczne określające kryteria tworzenia inhalatorów radonowych nie zostały jeszcze ujęte w polskim prawie,

aczkolwiek wiadomo, że stężenie radonu używanego do inhalacji powinno być zawarte w przedziale 67-185 Bq/l, używane do sporządzania kąpieli wód radonowych na poziomie około 3000 Bq/l, a stężenie radonu dla ogółu ludności nie powinno przekraczać 0,37 Bq/l.

W świetle współczesnych badań i odnotowanych obserwacji klinicznych sądzi się, że wpływ małych dawek promieniowania jest korzystny i zdecydowanie przeważa nad potencjalnym ryzykiem, a teoria LNT wymaga przewartościowania. Tereny o naturalnie wyższym stężeniu radonu od wieków słynęły z pozytywnego oddziaływania na zdrowie człowieka. Wątpliwości co do korzyści takich obszarów wzbudziła dopiero zapadalność na raka płuc wśród pracowników kopalni uranu, którzy nie uniknęli bezpośredniego wdychania dużych dawek radonu i produktów jego rozpadu, co nadało początek powstaniu niedoskonałej teorii LNT [7, 19].

Analiza wpływu promieniowania jonizującego na organizm człowieka potwierdza słuszność teorii hormezy, a co za tym idzie potwierdza także słuszność prowadzenia lecznictwa uzdrowiskowego z wykorzystaniem radonu do celów antroterapii. Zakres poszukiwania, rozpoznawania i monitoringu obiektów spełniających kryteria uzdrowisk mogą stanowić przedmiot dalszych badań i temat przewodni wielu ciekawych rozpraw naukowych.

6. Podsumowanie

Sytuacja radiacyjna na terenie Polski jest regularnie kontrolowana. Aktualna ocena dokonywana jest za pomocą dualnego systemu monitoringu: na przestrzeni ogólnokrajowej i lokalnej. Pierwotne tereny wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach objęte są działaniami monitorującymi stopień narażenia na promieniowanie jonizujące mieszkańców tych okolic od 1998 roku. Dane analityczne zbierane są systematycznie w ramach "Programu monitoringu radiacyjnego terenów zdegradowanych w wyniku działalności wydobywczej i przeróbczej rud uranu" przez Państwową Agencję Atomistyki. Pomiary skażeń promieniotwórczych badanych terenów z przedziału lat 2007 – 2010 wypadły, w większości przypadków, pozytywnie i nie przekraczają górnych granic dopuszczalnych wartości analiz wskaźnikowych dla wody pitnej. Problem stanowią jednak wody wypływające z wyrobisk górniczych, które w znacznym stopniu nie spełniają restrykcji dopuszczalnych stężeń i wymagają szczególnej uwagi i podjęcia działań w kierunku minimalizacji ewentualnego zagrożenia dla zdrowia ludzi i stanu środowiska ze strony źródeł wód wyrobiskowych. W tym przypadku zaleca się sporządzenie specyfikacji realnego zagrożenia jakie mogą nieść ze sobą te rodzaje wód poprzez przeprowadzenie specjalistycznej identyfikacji radionuklidów.

W ocenie sytuacji radiacyjnej i wpływu promieniowania jonizującego na zdrowie człowieka, szczególnie okolicznych mieszkańców i potencjalnych pac-

jentów antroterapii powołano się na teorię hormezy, która potwierdziła nieszkodliwość małych dawek tego czynnika i uzdrowiskowe właściwości utworzonego na tych terenach inhalatorium. Ponadto udowodnienie słuszności tej teorii przyczyniło się także do poprawy gospodarczej Gminy Karkonoskiej i może stanowić inspirację do poszukiwania innych obiektów uzdrowiskowych oraz udoskonalania technik inżynieryjnych w zakresie ich monitorowania.

Literatura

1. Adamczyk-Lorenc A., Bielecka A.; Naturalna radioaktywność wód podziemnych w granicie karkonoskim i w metamorfiku izerskim, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 2006, Nr 116, 51-61.
2. Derecki J.; Promieniowanie jonizujące, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1975.
3. Dobrzyński L., Droste E., Wołkiewicz R., Adamowski Ł., Trojanowski W.; Spotkanie z promieniotwórczością, Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana, Warszawa, 2010, 1-47.
4. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz Ocena Stanu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej w Polsce w latach 2007-2010, Państwowa Agencja Atomistyki, 2007-2010, Warszawa.
5. Hrynkiewicz A. Z., Broda R.; Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
6. Kiciński W., Żera A,; Pole elektromagnetyczne w środowisku człowieka, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w elektrotechnice", Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa, 5-6 grudnia 2002, 43-51.
7. Kwiecińska T.; Czy promieniowanie jonizujące jest zawsze szkodliwe?, Wydawnictwo Zamkom, Kraków, 2004.
8. Maciejewski P., Robak W.; Zagrożenia radiologiczne w Polsce, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, 2008, Vol. 148, Nr 2, 41-57.
9. Miecznik J. B., Strzelecki R., Wołkowicz S.; Uran w Polsce – historia poszukiwań i perspektywy odkrycia złóż, Przegląd Geologiczny, 2011, Vol. 59, Nr 10, 688-697.
10. Mudd G. M.; Radon releases from Australian uranium mining and milling projects: assessing the UNSCEAR approach, Journal of Environmental Radioactivity, 2008, Vol. 99, 288-315.
11. Nieć M.; Występowanie rud uranu i perspektywy ich poszukiwań w Polsce, Polityka Energetyczna, 2009, T. 12, Z. 2/2, 435-451.

12. Olkuski T., Stala-Szlugaj K.; Pierwiastki promieniotwórcze w węglu oraz w produktach odpadowych powstających podczas jego spalania, Rocznik Ochrony Środowiska, 2009, Vol. 11, 913-922.
13. Przylibski T.A.; Radon i promieniowanie jonizujące w obiektach podziemnych w czasie prac eksploracyjnych, dokumentacyjnych i udostępniających, Dzieje górnictwa-element europejskiego dziedzictwa kultury, 2010, T. 3, 369-379.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. 2010, nr 72 poz. 466.
15. Solecki A., Śliwiński W., Wojciechowska I., Tchorz-Trzeciakiewicz D., Syryczyński P., Sadowska M., Makowski B.; Ocena możliwości występowania mineralizacji uranowej w Polsce na podstawie wyników prac poszukiwawczo-geologicznych, Przegląd Geologiczny, 2011, Vol. 59, Nr 2, 98-110.
16. Strupczewski A.; Oddziaływanie małych dawek promieniowania na zdrowie człowieka, Biuletyn Miesięczny PSE, czerwiec-lipiec 2005, Cykl Energetyka atomowa, 12-27.
17. Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N.; Choroby zawodowe spowodowane działaniem promieniowania jonizującego w Polsce w latach 1971 - 2006, Medycyna Pracy, 2008, Vol. 59, Nr 1, 1-8.
18. Zagożdżon P. P., Zagożdżon K.; Wykorzystanie dostępnych wyrobisk byłej kopalni „Wolność" w Kowarach jako geologicznego poligonu badawczego, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 2005, Nr 111, 229-236.
19. Zdrojewicz Z., Belowska-Bień K.; Radon i promieniowanie jonizujące a organizm człowieka, Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 2004, Vol. 58, 150-157.

Zastosowanie chalcedonitu do usuwania jonów żelaza z roztworów wodnych

Anna Młynarczykowska – Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wprowadzenie

Podstawowym źródłem zanieczyszczenia wód w Polsce są ścieki pochodzące z miast, przemysłu jak również spływy powierzchniowe z terenów rolniczych i nieskanalizowanych. Stanowią one mieszaninę zużytej wody oraz różnego rodzaju substancji płynnych, stałych, gazowych, radioaktywnych z obszarów miejskich i przemysłowych (chemicznym, elektrochemicznym, rafinerii ropy naftowej, hutnictwa i metalurgii) [10]. Zanieczyszczenia wód mogą być również pochodzenia naturalnego, czyli z domieszek substancji zawartych w wodach powierzchniowych i podziemnych, jak na przykład zanieczyszczenia związkami żelaza [10]. Najgroźniejszymi spośród wszystkich rodzajów są: detergenty, węglowodory aromatyczne i ich pochodne, pestycydy, fenole, fosforany, azotany, metale ciężkie, substancje radioaktywne, a szczególnie związki chemiczne odporne na rozkład biologiczny i trwale utrzymujące się w środowisku wodnym. Najskuteczniejszym sposobem, aby ochronić wodę przed zanieczyszczeniem jest nie dopuszczenie do jej zanieczyszczenia, natomiast najlepszym sposobem zachowania równowagi wodnej jest oszczędne gospodarowanie zasobami wód. Niestety prawie każde wykorzystanie wody powoduje skutki uboczne, zaś konsekwencjami tego jest powstawanie ścieków. Nie zawsze bowiem jest możliwe nie dopuszczanie do zanieczyszczeń, dlatego też szczególną uwagą zwraca ochrona zasobów wodnych, polegająca przede wszystkim na wdrążaniu nowoczesnych i ekologicznych rozwiązań technicznych, takich jak stosowanie bezściekowych technologii w produkcji przemysłowej, budowa zamkniętych obiegów wodnych w cyklach produkcyjnych, odzysk wody ze ścieków, utylizację wód kopalnianych, jak również powtórne wtłaczanie tych wód do górotworu, zabezpieczenie hałd i wysypisk przed wymywaniem ścieków, wreszcie oczyszczanie ścieków i unieszkodliwianie osadów ściekowych [3, 10].

Rosnące wymagania co do jakości wody i ścieków spowodowały wzrost zainteresowania badaczy oraz technologów metodami oczyszczania łatwo dostępnymi, korzystnymi ekonomicznie a przede wszystkim ekologicznie bezpiecznymi. Spośród klasycznych grup technik oczyszczania ścieków obejmujących metody mechaniczne, chemiczne, biologiczne i dezynfekcję, zależne od rodzaju zanieczyszczeń wybierane są metody zapewniające wysoko sprawne i selektywne działanie przy minimalnym nakładzie kosztów [4]. W przypadku usuwania metali kolorowych, będących tematem tego rozdziału, stosuje się strącanie osadów związków trudno rozpuszczalnych (soli lub wodorotlenków),

wymianę jonową i adsorpcję (ogólnie metody sorpcyjne) [8, 11]. Ponieważ proces sorpcji przebiega w oparciu o bezpośredni kontakt na powierzchni sorbentu z próbką ciekłą to najistotniejszą właściwością jest wielkość jego powierzchni właściwej. Na przykład dla potrzeb uzdatniania wody najpowszechniej stosowane są sorbenty węglowe i mineralne. Pierwsze znane od stuleci aczkolwiek na skalę przemysłową użyte pod koniec XVIII wieku w przemyśle cukierniczym. Od tego czasu zaczęła się produkcja i stosowanie węgli aktywnych na szeroką skalę [6]. Dziś węgle aktywne zwykłe oraz te modyfikowane powierzchniowo znajdują bardzo szerokie zastosowanie do usuwania zarówno związków organicznych, jak i nieorganicznych (np., cyjanowodór, arsenowodór, siarkowodór, ditlenek siarki, tlenki azotu czy tlenki węgla) [1, 5, 11]. Drugą grupę stanowią sorbenty mineralne zaliczane „sypkich", które przenikają przez niedostępne szczeliny, chłoną ciecz z każdego podłoża. Sorbenty te otrzymuje się z materiałów skalnych poprzez rozdrabnianie i poddawanie obróbce termicznej w celu zwiększenia ich porowatości. Ważną cechą sorbentów „sypkich" jest wielkość ziaren. Te o drobnym uziarnieniu nadają się do użytku wewnątrz budynków. Natomiast sorbenty o dużych rozmiarach ziaren, stosowane są zarówno do użytku wewnętrznego, jak i zewnętrznego ponieważ jako cięższe nie są podrywane przez wiatr. Do sorbentów mineralnych zalicza się żele krzemionkowe, aktywny tlenek glinu, zeolity, tlenki i wodorotlenki metali oraz występujące w przyrodzie materiały gliniaste. Stosowane są również mieszaniny dwóch i więcej adsorbentów różniących się właściwościami [2, 6, 12]. Szczególną karierę robią zeolity będące naturalnymi minerałami pochodzenia wulkanicznego, posiadające wiele unikalnych właściwości, które predestynują je jako doskonałe materiały sorpcyjne, dodatkowo łatwo dostępne i tanie [1, 2, 8, 12]. Najbardziej rozpowszechnionym i tworzącym największe zasoby jest zeolit wysokokrzemowy – klinoptylolit. Struktura przestrzenna tego zeolitu umożliwia proces molekularno-sitowy oraz aktywność katalityczną, którą dodatkowo można zwiększać poprzez modyfikację jego powierzchni i porów stosując określoną technikę, co ostatecznie zwiększy pojemność sorpcyjną [13]. Biorąc pod uwagę wymienione właściwości i zdolności, możliwości komercjalnego oraz środowiskowego wykorzystania zeolitów wydają się być nieograniczone. Mogą być używane jako wypełniacze kolumn sorpcyjnych (jonowymiennych) w procesach oczyszczania i uzdatniania wody czy umieszczane na składowiskach odpadów oraz obszarach przemysłowych w celu zapobieżenia uwalnianiu dużych ilości szkodliwych lub toksycznych elementów do środowiska [1].

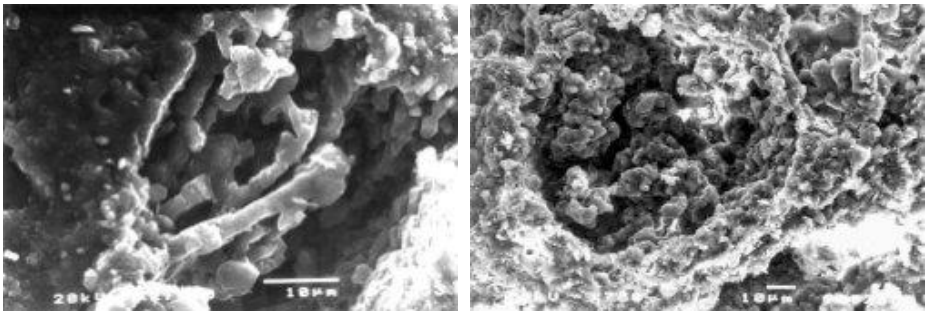
1.1. Metale ciężkie w środowisku i ich usuwanie

Większość z metali śladowych odgrywa rolę mikroelementów ważnych dla utrzymania procesów życiowych, jak na przykład: miedź, żelazo, cynk, mangan, kobalt i selen regulujące min. metabolizm. Mogą one jednak być

niebezpieczne jeśli w środowisku są dostępne w stężeniu toksycznym. O toksyczności właśnie decyduje, poza ich stężeniem, postać w jakiej występują w wodach, a ta z kolei zależy głównie od stężenia metalu, odczynu pH, zawartości tlenu rozpuszczonego, twardości ogólnej i węglanowej, temperatury potencjału oksydacyjnego-redukcyjnego, obecności innych substancji toksycznych [4]. Żelazo, będące tutaj przedmiotem badań, jest z jednej strony składnikiem budującym wiele ważnych białek, z drugiej zaś nadmierna ekspozycja może wywołać zaburzenia chorobowe. Najbardziej niebezpieczne są związki żelaza (II), które łatwo się wchłaniają w przez układ pokarmowy w postaci jonów Fe^{2+} i po utlenieniu zostają magazynowane między innymi w wątrobie. Związki żelaza najczęściej występują w wodach podziemnych w postaci wodorowęglanów lub siarczanów. Żelazo także może występować w połączeniu ze związkami organicznymi, jak również z kwasami humusowymi w wodach z rejonów bagiennych, zalesionych oraz z warstw zawierających torf. W rzeczywistości o zawartości żelaza w wodzie decydują procesy takie jak: utlenianie, hydroliza, hydratacja, tworzenie się jonów kompleksowych i wymiany jonowej. Stężenie żelaza w wodach podziemnych może się wahać od ilości śladowych do kilkudziesięciu mg Fe/dm^3. Stężenie żelaza może wzrastać podczas dłuższej eksploatacji ujęcia wody, oraz po zmianie poziomu wód gruntowych (wywołanym długotrwałą suszą, powodzią, pracami budowlanymi prowadzone na dużych głębokościach). Jako dopuszczalną normę przyjęto w Polsce 0,2 mg Fe/dm^3 i jest to wartość zgodna z normą Unii Europejskiej [14]. Odżelazianie wody można przeprowadzać metodą tradycyjną poprzez wstępne utlenianie żelaza, a następnie jego usunięcie na złożu filtrującym lub też na drodze wymiany jonowej. Pierwszą metodę stosuje się w przypadku dużych poborów wody jak również wtedy, gdy żelazo występuje w postaci różnych związków. Druga metoda wybierana jest w przypadku występowania żelaza jako jonu dwuwartościowego. Dla utleniania żelaza stosuje się dozowane do wody związków o zdolnościach katalitycznych lub przez doprowadzenie tlenu z powietrza. Żelazo występujące w połączeniu ze związkami organicznymi (humusowymi) usuwane jest z włączeniem koagulacji z uwagi na małą skuteczność filtracji i sedymentacji. Metoda ta zalecana jest do stosowania w dużych instalacjach będących pod stałą opieką serwisu i w przypadku braku możliwości zmiany źródła wody. Ponieważ jednak najwięcej wykorzystywane są zasoby głębinowe i powierzchniowe wód, w których niepożądane substancje należy usunąć, bądź obniżyć ich zwartość dla poprawy jakości wody najlepiej z wykorzystaniem skutecznych i tanich metod oczyszczania. W rozdziale tym zostaną przedstawione wyniki badań laboratoryjnych usuwania jonów Fe^{3+} z zastosowaniem sorbenta naturalnego – chalcedonitu, przeprowadzone na ściekach modelowych.

2. Charakterystyka zastosowanego sorbentu

Chalcedonit użyty w doświadczeniu wydobywany jest w jedynym udokumentowanym nagromadzeniu tej kopaliny w Polsce położonej w rejonie Inowłodza i jest to złoże „Teofilów". Skład chemiczny i fazowy tego surowca mineralnego, jak również własności fizyczne stwarzają perspektywy różnorakiego i wielostronnego jego wykorzystania. Na charakterystykę chalcedonitów wpływają formy budujących je minerałów z grupy SiO_2, a także typ i rodzaj transformacji fazowych zachodzących w ich obrębie pod wpływem oddziaływania wysokich temperatur. Makroskopowo minerał ten jest skałą mleczno-niebieską zwięzłą, posiadającą nierówny przełam oraz szaro-niebieską o szorstkiej powierzchni, mniej zwięzłą. Miejscami występuje też chalcedonit, który jest czerwono - brunatno - żółty z nalotami tlenków manganu. Wszystkie te odmiany są trudne do ścisłego zlokalizowania w złożu. Minerały te cechuje znaczna powierzchnia właściwa, duża objętość makropodów czy wysoka wytrzymałość mechaniczna, co ma znaczenie w przypadku stosowania jako wypełnienie filtrów pospiesznych płukanych wodą lub powietrzem. Jednocześnie struktura wewnętrzna stanowi czynnik decydujący o wysokiej przydatności złoża w inżynierii budowlanej czy środowiskowej, jak procesy uzdatnianie wody (rys. 1, 2).



Rys.1, 2. Chalcedonit pod mikroskopem skaningowym [źródło: www.mikrosil.pl]

Analiza składu chemicznego wykazuje znaczną zawartość krzemionki (w granicach 95,0%) oraz pewne ilości tlenków wapnia, magnezu, glinu, żelaza oraz manganu. Podstawowe parametry fizykochemiczne zestawiono w tabeli 1.

Materiał wydobywany w kopalni odkrywkowej poddawany jest obróbce mechanicznej i termicznej. Wstępnie przesiany produkt (sita 0,8 i 2,0 mm) podlega suszeniu we fluidyzacyjnej suszarni propanowej, których celem jest odparowanie resztek wilgoci wewnętrznej ziaren materiału filtracyjnego, a następnie kolejnemu przesiewowi by maksymalnie odsiać nad- i podziarno. Materiał poddawany jest także powierzchniowej modyfikacji pozwalającej na zwiększenie reaktywności materiału w aplikacjach z zakresu technologii uzdatniania wody i oczyszczania ścieków. Niezmiennie jednak podstawowym i powszechnie wykorzystywanym w praktyce wodociągowej produktem jest "Chalcedonit – Standrad" - tj. poddany jedynie obróbce mechanicznej surowiec.

Parametry fizykochemiczne złoża chalcedonitowego [*źródło: www.mikrosil.pl]*

Tabela 1

Parametr	**Jednostka**	**Wartość**
Gęstość właściwa	[kg/m^3]	2600
Gęstość nasypowa*	[kg/m^3]	850 – 1000
Porowatość ziaren	[%]	Do 30 %
Twardość w skali Mohsa	-	
Porowatość złoża*	[%]	Do 60 %
Sferyczność	-	0,4 – 0,6
Podstawowy związek tworzący złoże	[-]	SiO_2 (bezpostaciowa)
Procentowa zawartość podstawowego związku	[%]	94 – 99 %
Pozostałe składniki		
Al_2O_3	[%]	0,4-3,6
Fe_2O_3	[%]	0,1-0,8
CaO	[%]	0,1-1,2
MgO	[%]	0,0-0,3
Na_2O	[%]	0,04-0,2
K_2O	[%]	0,1-0,5
Ścieralność w bębnie Devala	[%]	6,0 – 15,0
Nasiąkliwość	[%]	4,0 – 10,0
Liczba olejowa	g/g mączki	26 / 100
Wytrzymałość na ściskanie	[MPa]	60,0 – 120,0

3. Metodyka badań

Doświadczenia przeprowadzono na roztworach modelowych przygotowanych z soli cz.d.a zawierającym jony Fe^{3+}. Stężenia początkowe metalu w roztworach wynosiły 5 mg Fe/dm^3 oraz 1,25 mg Fe/dm^3. Badania wykonano metodą ługowania okresowego. Wyznaczoną doświadczalnie ilość sorbenta w postaci chalcedonitu umieszczano w szklanych kolbach i zalewano 100 cm^3 roztworu. W kolejnym kroku poddano je wytrząsaniu na laboratoryjnej wytrząsarce przy amplitudzie 6, liczbie drgań 140 obr/sek i stałej temperaturze 20^{o}C, przez wyznaczony empirycznie czas, który był jednym z parametrów analitycznych. Następnie próbki dekantowano, a w końcowym etapie odwirowano przy użyciu wirówki labora-

toryjnej (12000 obr/sek, czas 15 min). Podczas wszystkich analiz kontrolowano wartość pH badanych próbek. Oznaczenie zawartości jonów Fe(III) w próbkach analitycznych, jak również po przeprowadzeniu sorpcji wyznaczano metodą spektrofotometryczną. W celu określenia ubytku oznaczanego składnika w roztworach wyliczano stopień usunięcia jonów z metalu na podstawie zależności [7].

Stopień redukcji jonów,

$$\% = \frac{C_p - C_k}{C_p} \cdot 100\% \tag{1}$$

gdzie:

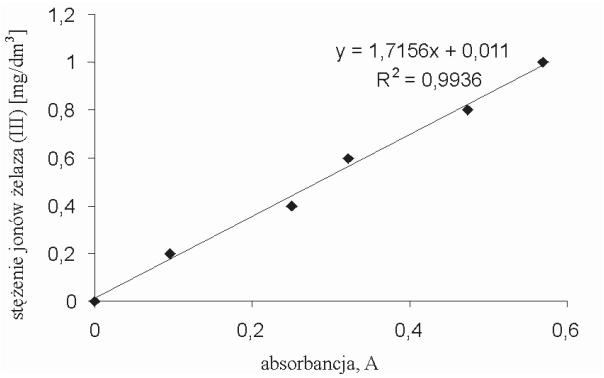
C_p – początkowe stężenie metalu w roztworze przed sorpcją, mg/dm^3,

C_k – stężenie metalu w roztworze po sorpcji, mg/dm^3.

Zgodnie z powyższą metodyką przeprowadzono eksperymenty zarówno dla analiz wstępnych, których celem było ustalenie stałych parametrów doświadczeń, jak i dla określenia wpływu wybranych czynników na efektywność procesu sorpcji.

3.1. Spektrofotometryczne oznaczanie żelaza(III) – metoda tiocyjanianowa

Oznaczenie zawartości jonów Fe^{3+} wykonano z roztworów wodnych, którego podstawą jest tworzenie barwnych kompleksów (barwa czerwona) $[Fe(CNS)]^{2+}$, $[Fe(CNS)_2]^{+}$, $[Fe(CNS)_3]$, $[Fe(CNS)_4]^{-}$, $[Fe(CNS)_5]^{2-}$, $[Fe(CNS)_6]^{3-}$, wykazujących maksimum absorpcji w przedziale długości fali 470 – 530 nm [7]. Oznaczenie to przeprowadzono w roztworach o pH poniżej 3, by nie dopuścić do hydrolizy jonów Fe^{3+} oraz zapewnić odpowiednie stężenie jonów SCN^{-}.



Rys.3. Krzywa wzorcowa [źródło: opracowanie własne]

Oznaczenie wykonano metodą krzywej wzorcowej. W tym celu przygotowano roztwory w kolbach 25 cm^3, do których dodano wzorzec żelaza (10 mg/dm^3) w objętości zapewniającej otrzymanie następujących stężeń 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 mg/dm^3 oraz 4 cm^3 4 molowego kwasu solnego, a następnie 10 cm^3 10% tiocyjanianu potasu (KCNS). Odczynnik kompleksujący dodawano

tuż przed pomiarem z uwagi na zagwarantowanie trwałości powstających kompleksów. Pomiary absorbancji wykonano przy ustalonej długości wynoszącej 510 nm. Na podstawie pomiarów dla ślepej próby i roztworów wzorcowych sporządzono krzywą wzorcową (rys. 3), w oparciu o którą analizowano zawartości żelaza dla próbek doświadczalnych.

3.2. Sorpcja jonowymienna z użyciem chalcedonitu

Eksperymenty prowadzono w warunkach statycznych, czyli w kąpieli wobec sorbenta. W takich warunkach na efektywność procesu sorpcji w znacznym stopniu mają wpływ: zmiana wartości pH roztworów z jonami metali ciężkich, czas kontaktu z powierzchnią, ilość użytego sorbenta, początkowa koncentracja jonów w roztworze, intensywność mieszania.

Zasadnicze analizy poprzedzone zostały wstępnymi próbami laboratoryjnymi mającymi na celu ustalenie optymalnych warunków doświadczalnych dla parametrów, które miały pozostać stałe. W tym celu określono zmiany pH wody w zetknięciu z sorbentem przy różnych czasach kontaktu dla wybranych klas ziarnowych materiału i różnych jego ilości.

Na tej podstawie ustalono, iż najbardziej odpowiednią ilością chalcedonitu, jaką należy stosować do dalszych doświadczeń, będzie masa 4 gramów**,** przy czasie sorpcji wystarczającym na ustalenie równowagi na granicy faz. W kolejnym kroku określono warunki pH dla analizowanych roztworów żelaza (III), ponieważ bezpośrednie użycie chalcedonitu jako czynnika neutralizującego mogłoby spowodować wytrącenie się metalu w postaci osadu wodorotlenku, uniemożliwiając tym samym właściwą analizę opartą na sorpcji jonowymiennej. Zaistniała konieczność obniżenia pH dla próbek analitycznych do poziomu gwarantującego pozostanie jonów żelaza Fe^{3+} w roztworze. W tym celu przeprowadzono pomiary pH, korygując jego wartość poprzez dodanie 0,1 molowego kwasu solnego (HCl) , aby osiągnąć poziom poniżej pH = 3. Ustalono, że na 50 cm^3 próbki należy dodać 1 cm^3 0,1 M HCl, co gwarantuje stabilną wartość pH wynoszącą 2,8.

Przy ustalonych warunkach chemicznych, zadanej masie sorbenta i czasie kontaktu z analizowanym roztworem przeprowadzono właściwe eksperymenty, mające określić wpływ uziarnienia chalcedonitu, początkowego stężenia jonów Fe (III) w roztworach wodnych oraz czasu sorpcji na efektywność procesu oczyszczania.

4. Badanie zmian stężenia jonów żelaza (III) w wyniku sorpcji dla wybranych parametrów

Na efektywność sorpcji, jak już wczesniej wspomniano, ma wpływ wiele czynników wzajemnie ze sobą powiązanych. W ramach realizacji założonego

celu wybrano trzy z nich, których wartości zmmieniały się na dwóch poziomach [9]. Tym samym ustalono eksperyment czynnikowy typu 2^3. Zmiennymi parametrami były: wielkość ziaren użytego sorbenta, gdzie wybrano klasy ziarnowe (0-0,5) i (0,5-2) mm; czas procesu sorpcji (15 i 45 minut) oraz początkowe zawartości jonów Fe^{3+} w wodach (1,25 mg/dm^3 i 5 mg/dm^3). Stałą wielkością ustaloną na podstawie analiz wstępnych była ilość użytego chalcedonitu wynosząca 4 gramy. Każdą próbkę przed kontaktem z sorbentem zakwaszono 1 cm^3 0,1 M HCl.

4.1. Wpływ wielkości ziaren sorbenta

Przy ustlonej ilości sorbentu (4 g), poczatkowej zawartości jonów Fe(III) i czasu sorpcji badano wpływ wielkości ziaren dla klas (0-0,5) i (0,5-2) mm. Próbki poddawano procedurze analitycznej zgodnie z metodyką badań uzyskując zyskane wyniki zestawione w tabelach 2,3 i na rysunkach 4, 5.

Stopień redukcji jonów żelaza (III) dla klasy ziarnowej (0-0,5) mm [źródło: opracowanie własne]

Tabela 2

klasa ziarnowa [mm]	czas sorpcji [min]	Stężenie początkowe jonów żelaza Fe^{3+} [mg/dm^3]	Stężenie końcowe jonów żelaza Fe^{3+} [mg/dm^3]	Stopień redukcji jonów żelaza Fe^{3+} [%]
0-0,5	15	1,25	0,393	68,56
0-0,5	45	1,25	0,384	69,28
0-0,5	15	5	0,027	99,46
0-0,5	45	5	0,107	97,86

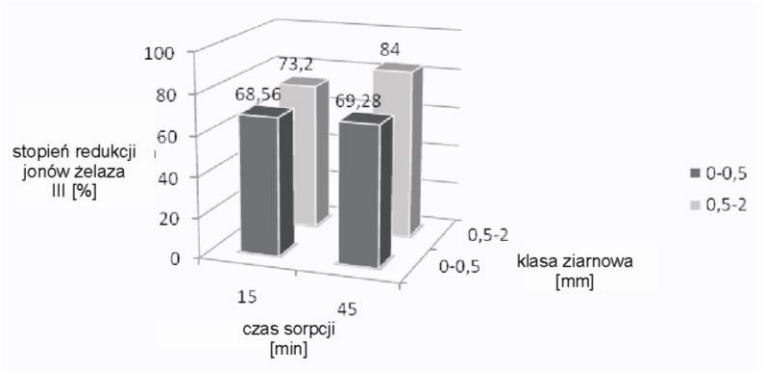
Stopień redukcji jonów żelaza (III) dla klasy ziarnowej (0,5-2) mm [źródło: opracowanie własne]

Tabela 3

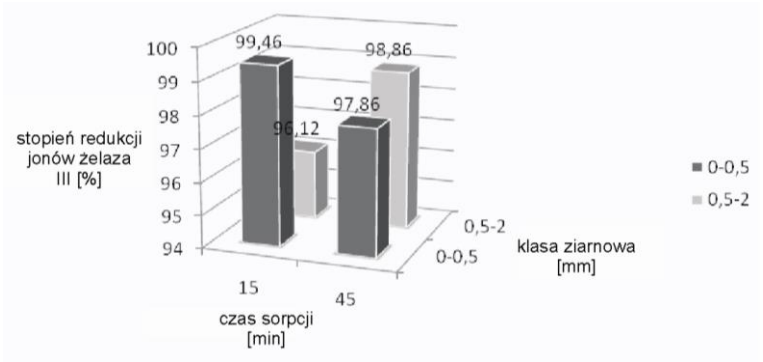
Klasa ziarnowa [mm]	Czas sorpcji [min]	Stężenie początkowe jonów żelaza Fe^{3+} [mg/dm^3]	Stężenie końcowe jonów żelaza Fe^{3+} [mg/dm^3]	Stopień redukcji jonów żelaza Fe^{3+} [%]
0,5-2	15	1,25	0,335	73,2
0,5-2	45	1,25	0,2	84
0,5-2	15	5	0,194	96,12
0,5-2	45	5	0,057	98,86

Uzyskane wyniki doświadczalne poddano analizie pod względem zmian wyznaczonych wartości stopnia redukcji jonów Fe^{3+}, w zależności od zmieniających się parametrów. Rezultaty przedstawione na rysunkach 4 i 5 obrazują wpływ wielkości ziaren na efektywność procesu oczyszczania. Dla roztworów o początkowej

zawartości jonów Fe^{3+} wynoszącej 1,25 mg/dm^3, w obrębie obu klas ziarnowych, stopnie usunięcia jonów żelaza zawierają się w przedziale 68-84% (wyznaczonego stopnia usunięcia jonów). Wydłużony czas sorpcji poprawia skuteczność procesu dla ziaren z klasy (0,5-2,0) mm o 11 %. Dla drobnej klasy ziarnowej czas kondycjonowania nie ma istotnego znaczenia. Istnieją natomiast około 5% różnice w wartościach stopnia redukcji jonów, przy ustalonym czasie sorpcji, dla dwóch rozmiarów ziaren sorbenta ze wskazaniem na klasę (0,5 - 2,0) mm, jako zapewniającą lepsze wyniki oczyszczania.



Rys.4. Stopień redukcji żelaza (III) dla klas ziarnowych (0-0,5) i (0,5-2) mm, C_o= 1,25 mg/dm^3 jonów jonów Fe^{3+} [źródło: opracowanie własne]

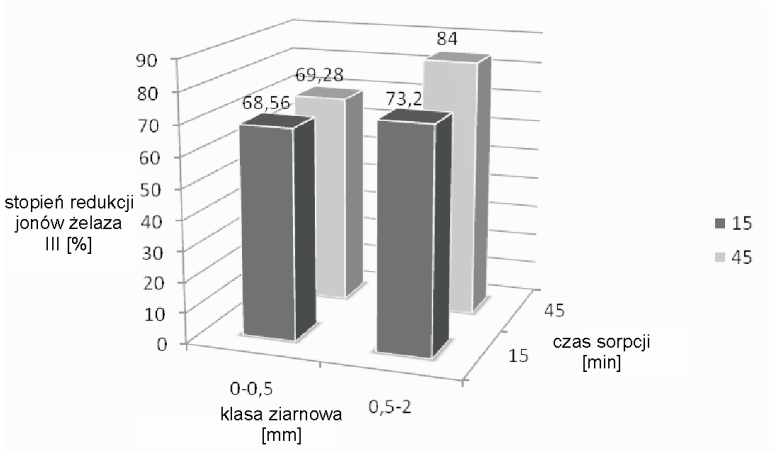


Rys.5. Stopień redukcji żelaza (III) dla klas ziarnowych (0-0,5) i (0,5-2) mm, C_o= 5 mg/dm^3 jonów Fe^{3+} [źródło: opracowanie własne]

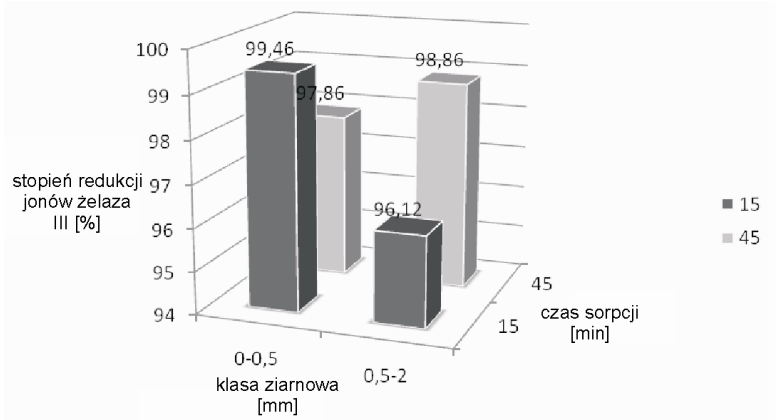
Analizując rezultaty uzyskane dla próbek zawierających 5 mg/dm^3 wyraźnie widać, globalnie zwiększoną skuteczność usuwania jonów żelaza (III), przekraczającą 96%. Najlepszy wynik 99,46% uzyskano dla ziaren drobnych i czasu sorpcji wynoszącego 15 minut. Jednakże jak to wyraźnie przedstawia rysunek 5 wydłużenie czasu sorpcji obniża stopień usunięcia jonów Fe^{3+} dla drobnych ziaren, natomiast poprawia wyniki dla ziaren grubych. Porównanie osiągniętych wyników dla różnych początkowych zawartości jonów wskazuje na zwiększenie stopnia redukcji jonów żelaza (III) o około 30% dla próbek zawierających 5 mg/dm^3 Fe^{3+}.

4.2. Wpływ czasu trwania sorpcji

Kolejnym badanym parametrem było określenie stopnia redukcji jonów żelaza (III) w zależności od czasu trwania sorpcji (rys. 6, 7).



Rys.6. Stopień redukcji żelaza (III) dla klas ziarnowych (0-0,5) i (0,5-2) mm, C_o = 1,25 mg/dm^3 jonów Fe^{3+}, przy różnych czasach sorpcji [źródło: opracowanie własne]



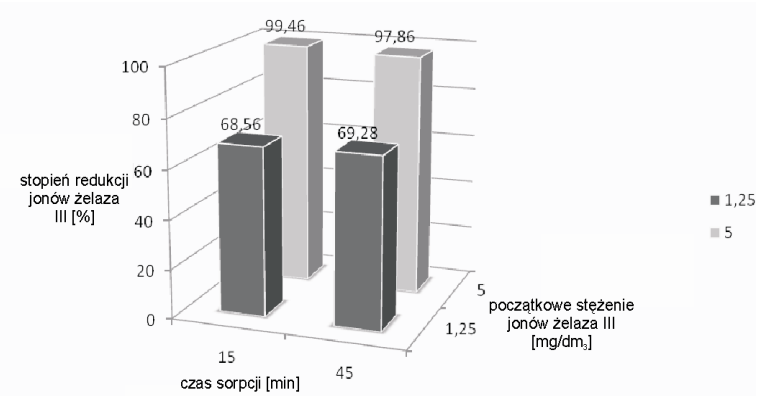
Rys.7. Stopień redukcji żelaza (III) dla klas ziarnowych (0-0,5) i (0,5-2) mm, C_o = 5 mg/dm^3 jonów Fe^{3+}, dla różnych czasów sorpcji [źródło: opracowanie własne]

Jak można zauważyć stopień redukcji jonów żelaza (III) jest uzależniony od czasu mieszania, czyli czasu kontaktu w jakim pozostają do siebie faza stała i ciecz. Najwyższy stopień redukcji jonów uzyskano dla czasu trwania sorpcji wynoszącego 45 minut, porównując rezultaty w obrębie dwu klas ziarnowych przy stałym początkowym stężeniu jonów Fe (III). Dla koncentracji wyjsciowej wynoszącej 5 mg/ dm^3 Fe^{3+} otrzymano wyniki na poziomie 97-99% , zaś dla początkowej koncetracji 1,25 mg/dm^3 Fe^{3+} skuteczność oczyszczania była o 30% mniejsza. Bardzo dobre wyniki oczyszczania roztworów uzyskano dla krótkiego

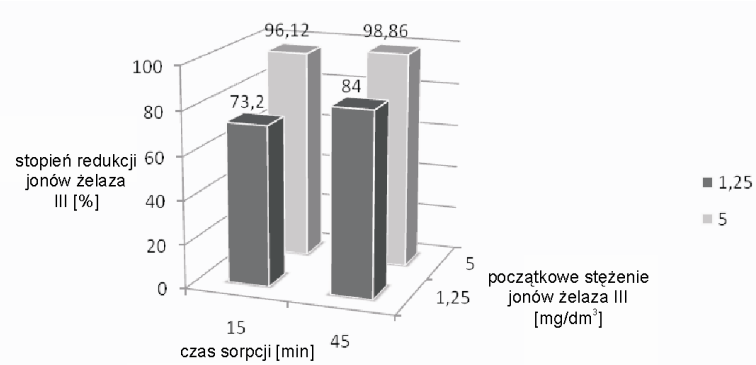
czasu przeprowadzania sorpcji (rys. 7) są wynikiem dodatkowo zachodzącego procesu adsorpcji jonów na powierzchni sorbentu, co potwierdza obniżony o kilka procent stopień redukcji jonów dla trzykrotnie dłuższego czasu kontaktu pomiędzy sorbentem a roztworem, dla któtego ustala się stan dynamicznej równowagi jonowymiennej.

4.3. Wpływ początkowej zawartości jonów na efektywność procesu sorpcji

Doświadczenia przeprowadzono przy zmiennym stężeniu początkowym jonów żelaza (III) dla analizowanych próbek i przy stałej wielkości ziaren (rys. 8, 9).



Rys.8. Stopień redukcji żelaza (III) dla klasy ziarnowej (0-0,5) mm przy zmiennym czasie sorpcji i początkowym stężeniu jonów [źródło: opracowanie własne]



Rys.9. Stopień redukcji żelaza (III) dla klasy ziarnowej (0,5-2) mm przy zmiennym czasie sorpcji i początkowym stężeniu jonów [źródło: opracowanie własne]

Oceniając skuteczność oczyszczania roztworów z jonów żelaza (III) należy zauważyć, że dla drobnej klasy ziarnowej uzyskane wyniki są o około 30% wyższe przy początkowym stężeniu wynoszącym 5 mg/dm^3 aniżeli dla stężenia wyjściowego równego 1,25 mg/dm^3. Tendencja taka jest zachowana także dla ziaren grubych. Wysoka efektywność usuwania wskazanych jonów jest na poziomie 96-

98% dla C = 5 mg/dm^3 niezależnie od czasu sorpcji, natomiast dla stężenia 1,25 mg/dm^3 i czasu 15 minut osiąga wartość 73,2% a dla czasu 45 minut wynosi 84%.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych można stwierdzić, iż najbardziej znaczącym czynnikiem mającym wpływ na stopień usunięcia jonów żelaza (III) z roztworów modelowych jest początkowa ich koncentracja, ujawniając tym samym, z jednej strony ograniczenia sorpcyjne chalcedonitu wynikające z wpływu pozostałych czynników technologicznych, z drugiej natomiast zasadność kontroli czasu trwania sorpcji i stopnia rozdrobnienia materiału użytego jako sorbenta. Jest to wyraźnie widoczne dla procesów oczyszczania prowadzonych z próbek o niskiej zawartości jonów żelaza(III). Należy podkreślić wysoką efektywność usuwania jonów Fe^{3+} przekraczającą wartość 96-98% dla znacznych koncentracji sorbetu, jaka została osiągnięta przy wydłużonym czasie sorpcji dla ziaren z klasy (0,5-2,0) mm. Ostateczne efekty usuwania jonów żelaza(III) jakie uzyskano potwierdzają przydatność chalcedonitu jako materiału sorpcyjnego, który może być wykorzystany bezpośrednio w stanie nie zmodyfikowanym w ciągu technologicznym stacji uzdatniania wód czy oczyszczalnia ścieków zawierających analizowany rodzaj jonów.

Literatura

1. Anielak A.M., Arendacz M.: Efektywność usuwania żelaza i manganu na zeolitach. Annual Set The Environmet Protection, 9, s.9-19, Koszalin WFOŚiGW, ISSN 1506-218X, 2007.
2. Fusowa L., Cechlova K., Cablik V., Tora B.: Utilization of Bentinite and Its Modification for Sorption. Annual Set The Environment Protection, 13, s.193-172 , Koszalin WFOŚiGW, ISSN 1506-218X, 2011.
3. Gala A., Sanak-Rydlewska S.: Sorpcja jonów metali toksycznych z roztworów wodnych na odpadach naturalnych – przegląd literatury. Górnictwo i Geoinżynieria, 34 z. 4/1 s. 49 –59. ISSN 1732-6702, 2010.
4. Gala A., Hołda A., Kisielowska E., Młynarczykowska A., Sanak-Rydlewska S.: Technologia wody i ścieków cz.II. Wydawnictwa AGH, 2011. ISSN 0239-6114, ISBN 978-83-7464-377-1, 2011.
5. Jankowska H. (red): Adsorpcja jonów na węglu aktywnym. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1991.
6. Nawrocki J., Biłozor S.: Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN , Warszawa, 2000.

7. Pajdowski L.: Chemia ogólna. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa, 1993.
8. Piaskowski K., Anielak A.M.: Zeolity naturalne i ich zastosowanie w oczyszczaniu wody i ścieków. Ekologia i Technika, 8, nr 2, s.31-41, 2000.
9. Zastosowanie naturalnych sorbentów do usuwania jonów metali ciężkich ze ścieków. Praca dyplomowa wykonana przez mgr inż. Magdalenę Puchalską pod kierunkiem dr A.Młynarczykowskiej (dane nie publikowane).
10. Pyłka-Gutowska E.: Ekologia z ochroną środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Poznań, 1996.
11. Sanak-Rydlewska S., Zięba D.: Usuwanie jonów metali ze ścieków metodą strącania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 17, s.219-228, 2001.
12. Szymański K., Jankowska B., Jastrzębski P.: Heavy Metal Compounds in Wastewater and Sewage Sludge. Annual Set The Environment Protection, 13, s.83-100, Koszalin WFOŚiGW, ISSN 1506-218X, 2011.
13. Świderska-Dąbrowska R., Scmidt R., Sikora A.: Właściwości fizykochemiczne zeolitu modyfikowanego jonami żelaza. Annual Set The Environment Protection, 13, s.195-204 , Koszalin WFOŚiGW, ISSN 1506-218X, 2011.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku. Dz.U 07.61.471.

Porównanie regeneracji łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego po procesie sorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z modelowych roztworów wodnych w układach jedno- i dwuskładnikowych

Agnieszka Bożęcka, Stanisława Sanak-Rydlewska – Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wstęp

Kadm i ołów to metale, które stanowią poważne zagrożenie dla organizmów żywych z powodu swojej toksyczności i zdolności do bioakumulacji [9]. W związku z tym istnieje konieczność usuwania tych zanieczyszczeń ze środowiska naturalnego, do którego trafiają głównie ze ścieków przemysłowych i komunalnych.

W oczyszczaniu wód z metali toksycznych obecnie duże znaczenie ma biosorpcja na odpadach organicznych, które wykazują zdolność wiązania jonów metali toksycznych na swojej powierzchni [2, 3]. Do tego typu sorbentów naturalnych zalicza się m.in. odpady pochodzące z przemysłu spożywczego, drzewnego i pozostałości z przemysłu rolniczego.

W procesie biosorpcji jonów metali z roztworów wodnych można wyodrębnić dwie fazy. Faza pierwsza to wiązanie jonów metalu znajdujących się w roztworze z powierzchnią materiału biologicznego za pomocą grup funkcyjnych, zdolnych do wymiany jonowej. Druga faza to desorpcja, w której następuje uwalnianie metalu z powierzchni biosorbentu i jego regeneracja [2]. Proces regeneracji sorbentu zachodzi pod wpływem odczynników desorbujących, którymi najczęściej są roztwory kwasów nieorganicznych.

Możliwość regeneracji sorbentów naturalnych jest jedną z najważniejszych zalet procesu biosorpcji. Umożliwia ona wielokrotne użycie materiału organicznego bez utraty jego zdolności sorpcyjnych w stosunku do jonów metali toksycznych i odzysk tych metali z zatężonych roztworów posorpcyjnych (np. metodą strącania czy elektrolizy). Badania nad regeneracją użytych sorbentów po procesie sorpcji jonów metali toksycznych omówiono m.in. w pracach [5-8].

Celem niniejszych badań było sprawdzenie możliwości regeneracji łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego za pomocą typowych odczynników desorbujących i odzysk badanych metali toksycznych. Ponadto porównano wydajność procesu desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego w układach jedno- i dwuskładnikowych, przy zachowaniu jednakowych warunków procesu.

Niniejsza praca jest kontynuacją badań własnych dotyczących procesu sorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} na łuszczynach słonecznika i łupinach orzecha włoskiego. W badaniach tych, dla łuszczyn słonecznika i roztworów jednoskładni-

kowych, uzyskano wydajność sorpcji jonów Pb^{2+} na poziomie 80%, natomiast dla jonów Cd^{2+} sorpcja wyniosła 84%. W roztworach dwuskładnikowych o jednakowych stężeniach wyjściowych jonów Pb^{2+} i Cd^{2+}, równych 15,6 mg/dm^3, metale te sorbują się odpowiednio z wydajnością 75% i 91%. W przypadku łupin orzecha włoskiego, redukcja zawartości jonów Pb^{2+} w roztworze wynosiła 81% dla układów jednoskładnikowych i 84% w układach dwuskładnikowych. W identycznych warunkach dla jonów Cd^{2+} wydajność sorpcji wynosiła 69% dla układów jednoskładnikowych i 75% w układach dwuskładnikowych [4].

2. Przedmiot i metodyka badań

Jak już wspomniano wcześniej rolę sorbenta naturalnego w badaniach pełniły odpady organiczne, takie jak: łupiny orzecha włoskiego (*Juglans regia*) oraz łuski słonecznika (*Helianthus L.)*. Do doświadczeń wykorzystano 0,5 g sorbentu o uziarnieniu poniżej 0,5 mm.

Badania sorpcji w układach jedno- i dwuskładnikowych wykonano dla roztworów ołowiu i kadmu o ustalonych stężeniach 15,6 mg/dm^3. Stosunek stężeń w roztworach dwuskładnikowych wynosił 1:1. Roztwory przygotowano z $Pb(NO_3)_2$ i $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$. Optymalne pH roztworów równe 4.0±0.1 i temperaturę 298±0,5 K ustalono w oparciu o badania własne sorpcji wykonane dla układów jednoskładnikowych [1]. Wartość pH była korygowana za pomocą roztworu HNO_3 o stężeniu 0,02 mol/dm^3. Siła jonowa dla wszystkich roztworów była stała i wynosiła 0,02 mol/dm^3. Jej wartość regulowano za pomocą roztworu KNO_3 o stężeniu 0,04 mol/dm^3.

Proces sorpcji wykonywano w zlewkach zawierających po 100 cm^3 jedno- lub dwuskładnikowych roztworów jonów Pb^{2+} i Cd^{2+}. Roztwory wraz z sorbentem mieszano w sposób ciągły za pomocą mieszadła mechanicznego, stosując prędkość 120 obrotów na minutę. Próbkę do analizy pobierano po godzinie (w tym czasie układ osiąga równowagę, co zostało potwierdzone badaniami własnymi).

Do regeneracji wykorzystanego sorbentu użyto 50 cm^3 0,2 M roztworu HNO_3 lub HCl. Sorbent wraz z czynnikiem desorbującym mieszano w sposób ciągły za pomocą mieszadła mechanicznego przy szybkości 120 obrotów na minutę. Desorpcję jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} wyznaczano po upływie 15, 30, 45 i 60 minut. W trakcie procesu regeneracji utrzymywano stałą temperaturę równą 298±0,5K.

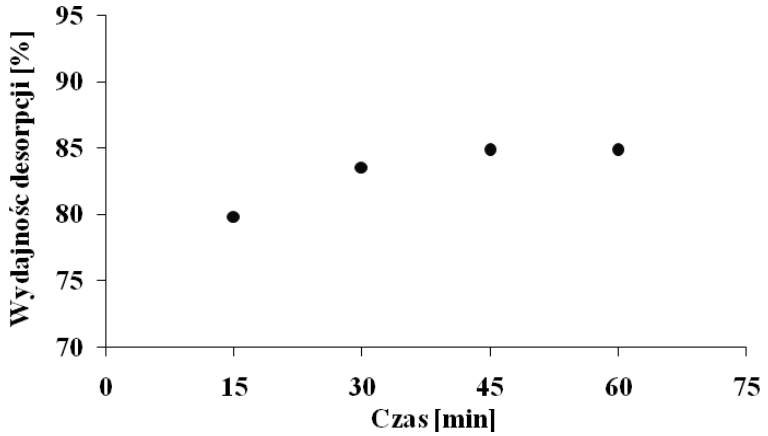
Stężenie końcowe jonów ołowiu i kadmu w roztworach po procesie sorpcji oznaczono metodą kulometryczną, wykorzystując analizator EcaFlow 150 GLP firmy POL-EKO-APARATURA. Przed pomiarem próbki poddawano filtracji przy użyciu bibuły filtracyjnej w celu pozbycia się cząstek stałych. Dla każdej

badanej próbki wykonano trzy oznaczenia. Podane wartości są średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

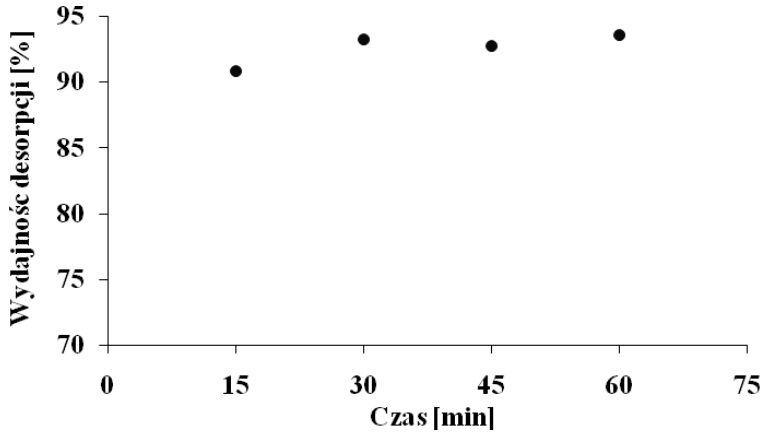
3. Omówienie wyników

3.1. Desorpcja jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} w układach jednoskładnikowych

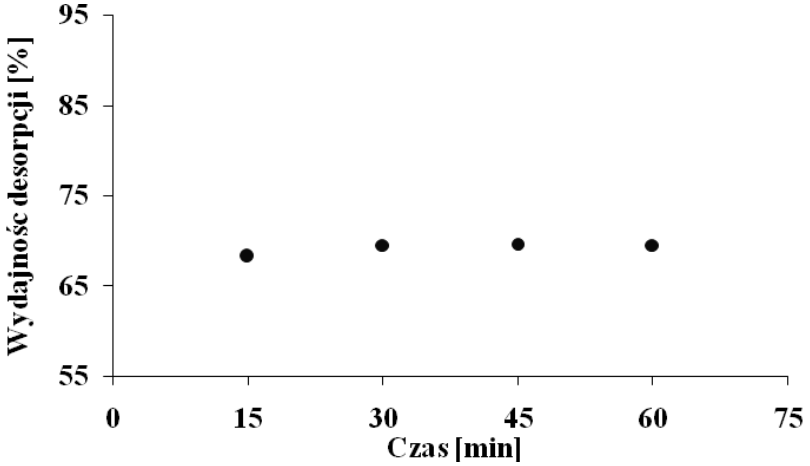
Desorpcję jonów Pb^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego przy użyciu 0,2 M roztworu kwasu azotowego(V) i kwasu solnego zbadano po upływie 15, 30, 45 i 60 minut. Wyniki otrzymane dla łuszczyn słonecznika i układów jednoskładnikowych przedstawiono na rysunku 1 i 3 a dla łupin orzecha włoskiego na rysunku 2 oraz 4.



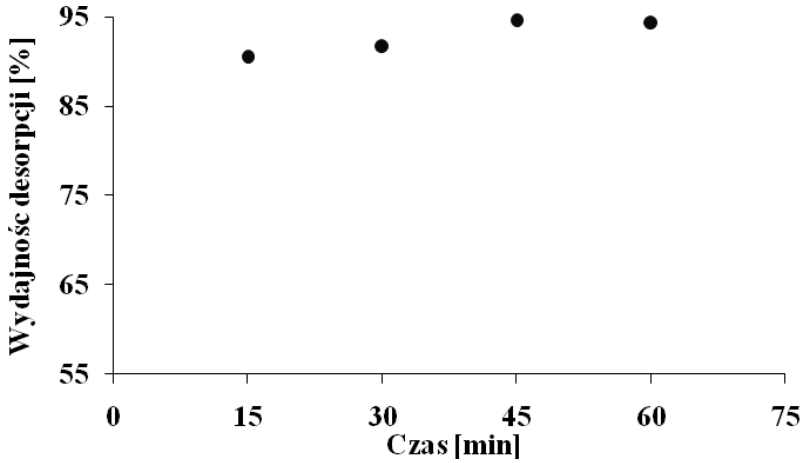
Rys.1. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.2. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.3. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łusek słonecznika z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.4. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

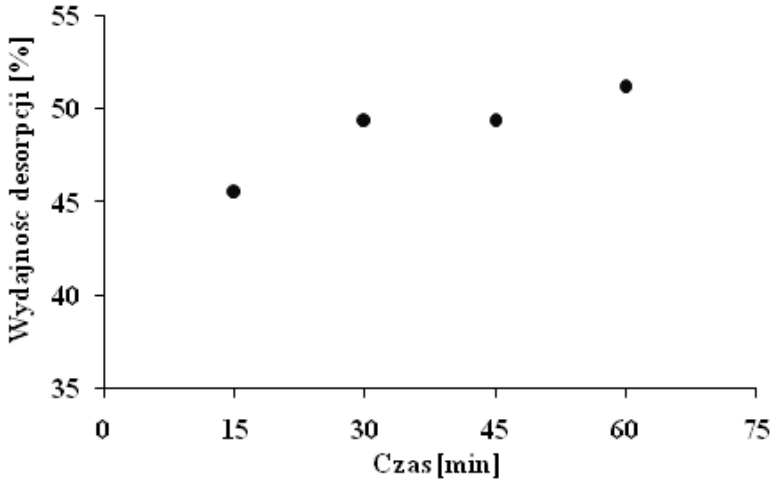
Z zamieszczonych wykresów wynika, że proces desorpcji jonów Pb^{2+} z powierzchni badanych sorbentów naturalnych zachodzi stosunkowo szybko. Równowagę procesu desorpcji jonów Pb^{2+} osiągnięto już po czasie około 30 min. Wydłużanie czasu tego procesu praktycznie nie powoduje istotnych zmian w odzysku ołowiu. Zaobserwowano również, że znaczną wydajność desorpcji otrzymano już po 15 min regeneracji. Jej wartość, w przypadku łuszczyn słonecznika, wyniosła 79,8% dla HNO_3 i 68,2% dla HCl oraz w przypadku łupin orzecha włoskiego 90,8% dla HNO_3 i 90,5% dla HCl.

Porównując wydajności desorpcji otrzymane dla zastosowanych kwasów można wywnioskować, iż kwas azotowy(V) jest lepszym czynnikiem desorbującym jony Pb^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika (rysunek 1 i 3). Dla niego, wartość wydajności desorpcji (uzyskana po osiągnięciu stanu równowagi) wyniosła 84,8%. Natomiast dla kwasu solnego uzyskano maksymalną desorpcję ołowiu na poziomie 69,5%. Dla łupin orzecha włoskiego nie obserwuje się znaczących różnic w otrzymanych wynikach. Dla obydwu kwasów wydajność desorpcji jest wysoka i wynosi ok. 94% (rysunek 2 i 4).

Uzyskane wyniki potwierdzają również, że desorpcja jonów ołowiu z powierzchni łupin orzecha włoskiego jest bardziej wydajna, niż w przypadku łuszczyn słonecznika.

Do procesu desorpcji jonów Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego również wykorzystano 0,2 M roztwory kwasu azotowego(V) i kwasu solnego (rysunek 5-8). W porównaniu z ołowiem, odzysk kadmu z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego jest dużo niższy. Wynosi on 68,2 % dla HCl oraz 51,1 % dla HNO_3 w przypadku łuszczyn słonecznika i 39,8 % dla HCl oraz 42,4 % dla HNO_3 w przypadku łupin orzecha włoskiego.

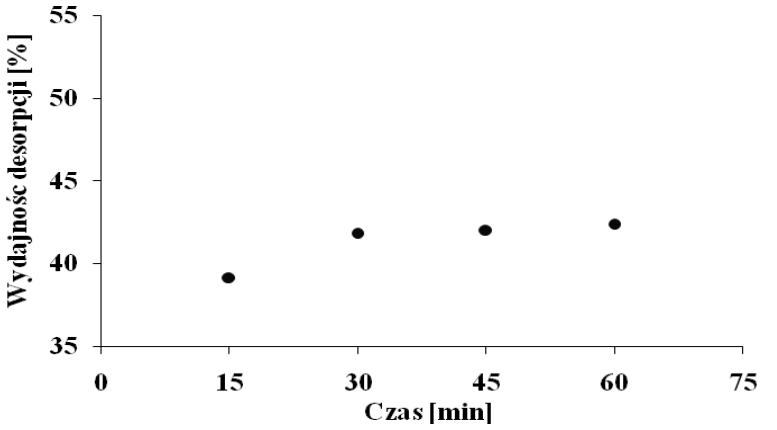
Równowaga desorpcji jonów Cd^{2+} również ustala się stosunkowo szybko. Prawie we wszystkich przypadkach po 30 minutach.



Rys.5. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

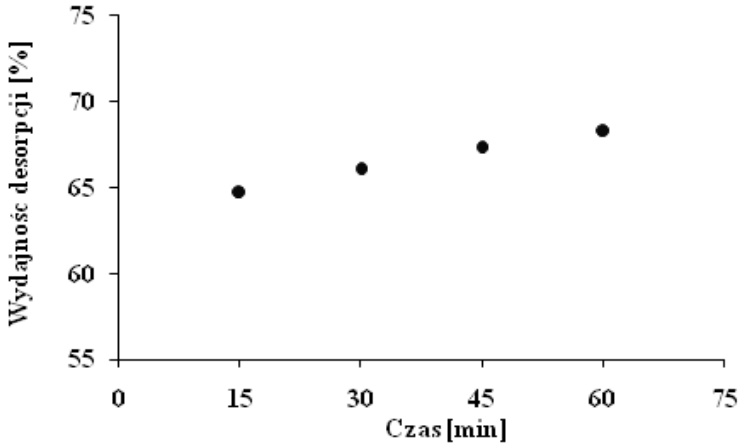
Wykazano również, że desorpcja jonów kadmu z powierzchni łuszczyn słonecznika jest bardziej wydajna, niż w przypadku łupin orzecha włoskiego (rysunki 5-8).

Uzyskane wyniki mogą także stanowić potwierdzenie, że jony H^+ obecne w dużych ilościach w roztworach bardzo kwaśnych (pH < 2,0), wykazują większą zdolność do łączenia się z grupami powierzchniowymi sorbentu, niż jony metali ciężkich.

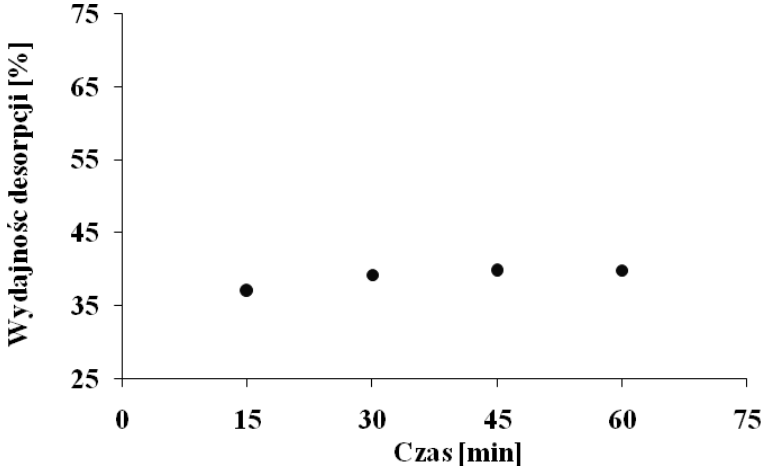


Rys.6. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3;

uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.7. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



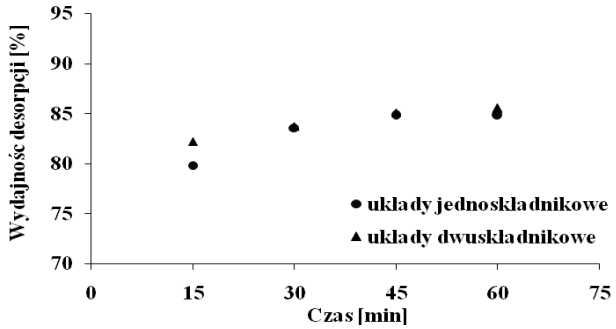
Rys.8. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jednoskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

3.2. Porównanie wydajności desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} w układach jedno- i dwuskładnikowych

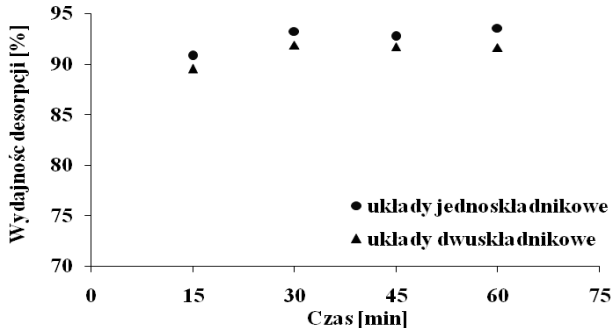
Desorpcję jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego zbadano również w układach dwuskładnikowych. Dzięki temu sprawdzono jaki jest wpływ obecności jonów innego metalu na proces desorpcji. Uzyskane wyniki opracowano w postaci graficznej i przedstawiono na rysunkach 9-16. Porównanie desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z użyciem roztworów kwasu azotowego(V) i solnego w układach jedno- i dwuskładnikowych zobrazowano na rysunkach 17 i 18.

Zarówno w przypadku łuszczyn słonecznika jak i łupin orzecha włoskiego, nie zaobserwowano wyraźnego wpływu obecności jonów Cd^{2+} na desorpcję jonów Pb^{2+} (rysunki 9-12). Wydajność desorpcji i szybkość osiągnięcia stanu równowagi jest porównywalna, zarówno w układach jedno- jak i dwuskładnikowych. Tylko dla kwasu solnego i łuszczyn słonecznika różnica ta jest nieznacznie większa i wynosi ok. 6,8% (rysunek 11).

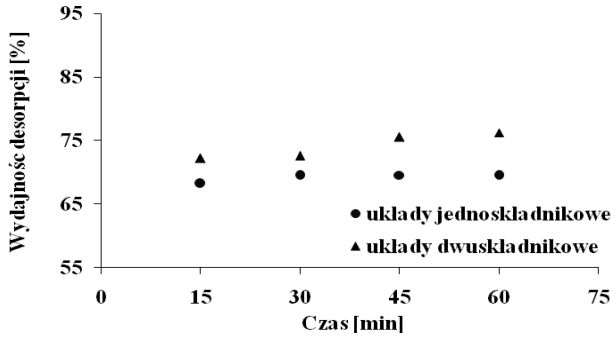
Natomiast desorpcja jonów Cd^{2+} istotnie zależy od obecności jonów Pb^{2+}, co obrazują rysunki 13-16. Dla łuszczyn słonecznika i roztworu kwasu azotowego (V) obserwuje się obniżenie desorpcji o ok. 20% (rysunek 13), natomiast dla roztworu kwasu solnego o ok. 40% (rysunek 15). W przypadku łupin orzecha włoskiego, dla HNO_3 i HCl różnice wynoszą odpowiednio: 25% i 14% (rysunki 14 i 16). Obserwowany wpływ jonów Pb^{2+} na desorpcję jonów Cd^{2+} wymaga jednak dalszych badań.



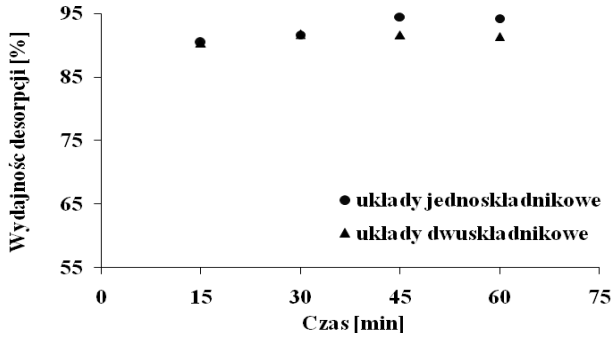
Rys.9. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.10. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

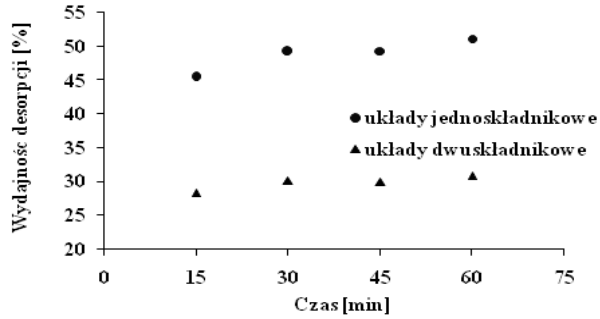


Rys.11. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

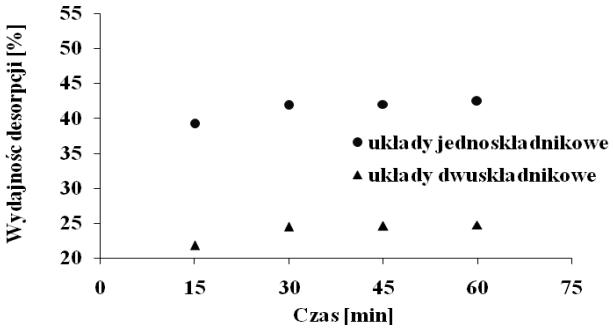


Rys.12. Desorpcja jonów Pb^{2+} z powierzchni łusek orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów

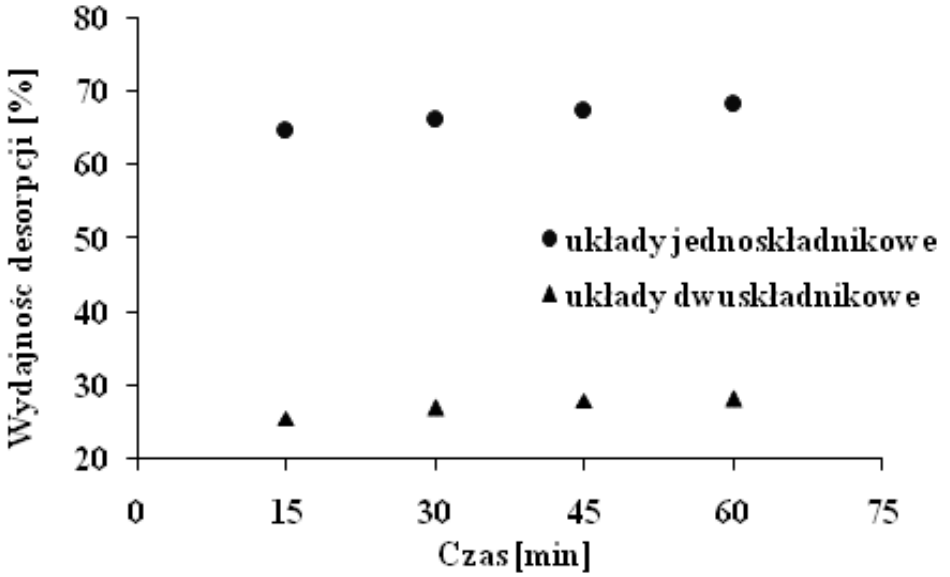
Pb^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



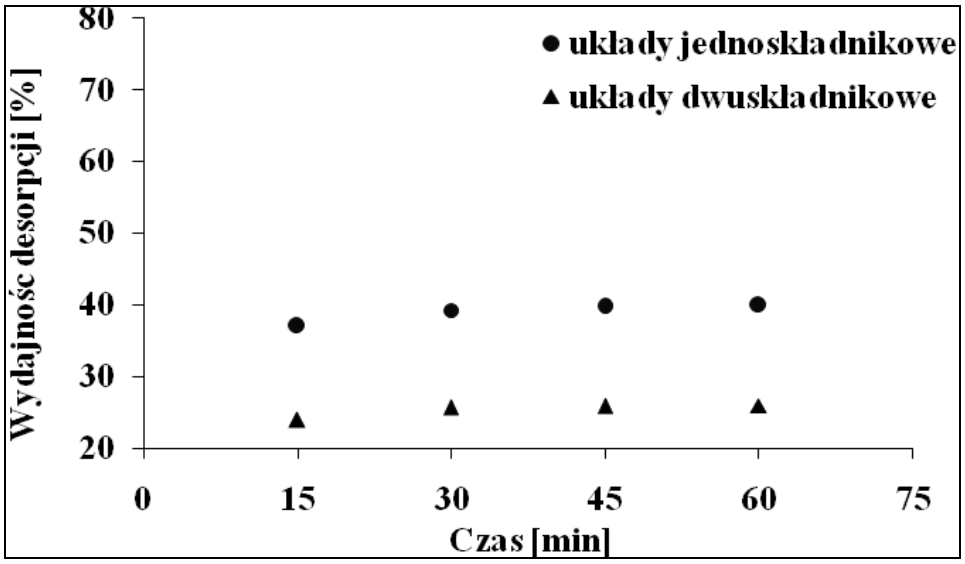
Rys.13. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



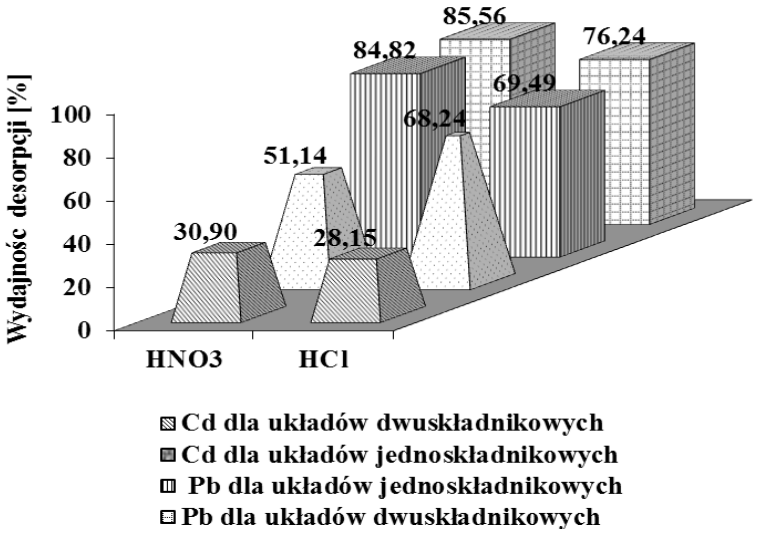
Rys.14. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HNO_3 w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



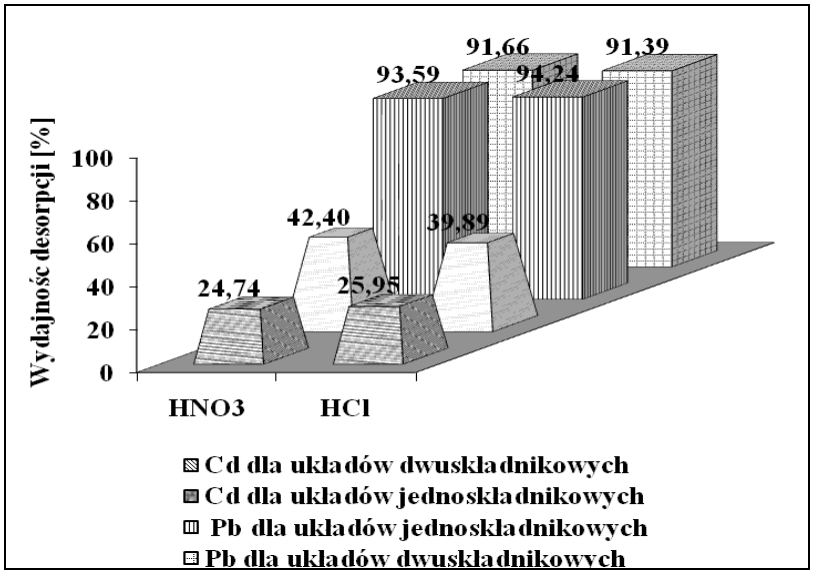
Rys.15. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.16. Desorpcja jonów Cd^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M HCl w zależności od czasu trwania procesu w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.17. Porównanie desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika z użyciem 0,2 M roztworów HNO_3 i HCl po 60 min w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]



Rys.18. Porównanie desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łupin orzecha włoskiego z użyciem 0,2 M roztworów HNO_3 i HCl po 60 min w układach jedno- i dwuskładnikowych (stężenie sorbentu 5 g/dm^3; stężenie początkowe jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} 15,6 mg/dm^3; uziarnienie poniżej 0,5 mm; temp. (298±0,5) K; szybkość mieszania 120 obrotów/minutę) [Źródło: opracowanie własne]

4. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale porównano wyniki badań dotyczących desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego w układach jedno- i dwuskładnikowych. Badane jony desorbowano przy użyciu 0,2 M roztworów kwasu azotowego(V) i kwasu solnego.

Wykazano możliwość wielokrotnego wykorzystania sorbentu do usuwania jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z roztworów wodnych bez utraty jego zdolności sorpcyjnych i możliwość odzysku badanych metali ciężkich (roztwory po regeneracji zatężano).

W przypadku łuszczyn słonecznika, desorpcja jonów Pb^{2+} za pomocą roztworów kwasu azotowego(V) i kwasu solnego wynosiła odpowiednio 84,8 i 69,5% w układach jednoskładnikowych oraz 85,6 i 76,2% dla układów dwuskładnikowych. Wydajność desorpcji jonów kadmu(II) wyniosła 68,2% dla HCl oraz 51,1% dla HNO_3 w układach jednoskładnikowych i 28,2% oraz 30,9% w układach dwuskładnikowych.

Dla łupin orzecha włoskiego desorpcja jonów Pb^{2+} z użyciem kwasu azotowego(V) i kwasu solnego wynosiła odpowiednio 93,6 i 94,2% w układach jednoskładnikowych oraz 91,9 i 91,7% dla układów dwuskładnikowych. Z kolei jony Cd^{2+} desorbowały się z wydajnością 39,8% dla HCl oraz 42,4% dla HNO_3 w układach jednoskładnikowych i 25,9% oraz 24,0% dla układów dwuskładnikowych.

Proces desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni badanego sorbentu zachodzi stosunkowo szybko. W jednym i drugim przypadku równowagę procesu desorpcji ołowiu osiągano po czasie ok. 30 min.

W środowisku mocno kwaśnym jony H^+ wykazują większą zdolność do łączenia się z grupami powierzchniowymi sorbentu, niż jony metali ciężkich.

Na podstawie dotychczas wykonanych doświadczeń nie zaobserwowano wyraźnego wpływu obecności jonów kadmu na desorpcję jonów Pb^{2+}. Natomiast znaczny wpływ obecność jonów Pb^{2+} na proces desorpcji jonów Cd^{2+}, co wymaga dalszych badań.

Wykazano, że desorpcja jonów ołowiu z powierzchni łupin orzecha włoskiego w układach jedno- i dwuskładnikowych jest bardziej wydajna, niż w przypadku łuszczyn słonecznika. Dla jonów kadmu uzyskano odwrotną zależność – łatwiej jest zregenerować łuszczyny słonecznika.

Literatura

1. Bożęcka (Gala) A.: Usuwanie jonów metali toksycznych z roztworów wodnych za pomocą odpadów organicznych. Kraków 2011. Praca własna numer w AGH 15.11.100.607 [nie publikowana].

2. Chojnacka K.: Biosorption and bioaccumulation – the prospects for practical applications. Environment International 2010, vol.36, pp. 299-307.
3. Farooq U., Kozinski J.A., Khan M.A., Athar M.: Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. Bioresource Technology 2010, vol.101, pp.5043-5053.
4. Gala A., Sanak-Rydlewska S.: Sorpcja jonów Pb^{2+} z roztworów wodnych na łupinach orzecha włoskiego. Przemysł Chemiczny 2010, t. 89, nr 9 s. 1225–1229.
5. Gu Y-Y, Yeung A.T.: Desorption of cadmium from a natural Shanghai clay using citric acid industrial wastewater. Journal of Hazardous Materials 2011, vol. 191, pp. 144-149.
6. Mata Y.N., Blázquez M.L., Ballester A., González F., Muñoz J.A.: Studies on sorption, desorption, regeneration and reuse of sugar-beet pectin gels for heavy metal removal. Journal of Hazardous Materials 2010, vol. 178, pp. 243-248.
7. Mohamad Ibrahim M.N., Wan Ngah W.S., Norliyana M.S., Wan Daud W.R., Rafatullah M., Sulaiman O., Hashim R.: A novel agricultural waste adsorbent for the removal of lead(II) ions from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials 2010, vol. 182, pp. 377-385.
8. Qi B.C., Aldrich C.: Biosorption of heavy metals from aqueous solution with tobacco dust. Bioresource Technology 2008, vol. 99, pp. 5595−5601.
9. Seńczuk W.: Toksykologia. Warszawa. PZWL. 1999.

Praca wykonana w ramach grantu dziekańskiego, zarejestrowana w AGH pod numerem 15.11.100.607

INDEKS AUTORÓW

Baic I. 21, 35, 224, 252, 266
Bartoszek S. 359
Będkowski Z. 144
Biegańska J. 337, 371
Bożęcka A. 396
Cholewa M. 294
Cierpisz S. 144
Dubiel A. 294
Fraś A. 266
Gawliński A. 134
Gruszka G. 199
Hycnar J.J. 266
Iero E. 199
Jagoda J. 348, 359
Jarosiński A. 89, 98
Jasiulek D. 348, 359
Jendrysik S. 134
Kardyś T. 294
Kiermaszek K. 199
Kłeczek Z. 7
Koperski T. 50
Kot J. 284
Kowol D. 111, 121, 189
Kuczyńska I. 12
Kwaśny K. 164
Latos M. 348
Lech B. 51
Lenartowicz M. 157, 189
Lutyński A. 21, 224, 237, 251
Łagódka M. 121
Madejska L. 89
Matusiak P. 111
Michałowski M. 326
Młynarczykowska A. 383
Myszkowski P. 175
Pala A. 371
Piątkowska E 371.
Piechaczek B. 199
Piotrowski O. 304
Przystaś R. 266
Pyc A. 157, 199
Rakwic B. 62
Rogala-Rojek J. 359
Sajdak M. 304
Sanak-Rydlewska S. 396
Słowik K. 317
Stankiewicz K. 234, 348, 359
Stelmach S. 317
Suponik T. 224
Szpyrka J. 237, 251
Szymkiewicz A. 266
Tora B. 326
Wasielewski R. 317
Witkowska-Kita B. 35, 224
Wodziński P.157
Woszczyński M. 134
Zając M. 294
Zeljaś D. 77
Żelazny S. 98

STRESZCZENIA

Aktualne uwarunkowania dla budowy podziemnego składowiska odpadów niebezpiecznych

Zdzisław Kłeczek

Na podstawie danych z ostatnich 10 lat, w skali jednego roku w Polsce powstaje ok. 1 600 tysięcy Mg odpadów niebezpiecznych. W myśl dyrektyw Rady Unii Europejskiej jedynym bezpiecznym i prawnie dopuszczonym sposobem postępowania z takimi odpadami jest ich przetworzenie a następnie unieszkodliwienie poprzez podziemne składowanie w głębokich strukturach geologicznych. Ponadto do 2022 roku ma być uruchomiona w Polsce pierwsza elektrownia jądrowa. Wobec pilnej potrzeby zlikwidowania eksploatowanej od 1961 r. Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie, powstaje konieczność dodatkowego unieszkodliwienia w skali jednego roku kilkudziesięciu Mg promieniotwórczych odpadów wysoko aktywnych oraz ok. 10 tysięcy Mg odpadów promieniotwórczych o niskiej toksyczności. Biorąc pod uwagę powyższe fakty priorytetowym zadaniem z zakresu budownictwa górniczego staje się decyzja o lokalizacji i budowie w Polsce podziemnego składowiska odpadów.

Problematyka odpadów wydobywczych w aspekcie przepisów prawnych

Iwona Kuczyńska

Ze względu na duże ilości odpadów powstających w górnictwie w Unii Europejskiej, a tym samym i w Polsce, wprowadzone zostały szczegółowe przepisy prawne dla prawidłowej gospodarki nimi. Zobowiązują one do opracowania programów gospodarki odpadami wydobywczymi, w których szczególną uwagę należy zwrócić najpierw na zapobieganie powstawaniu odpadów, a w drugim rzędzie na ich odzysk. Poniżej przedstawiono sposób na zapobieganie powstawaniu

SUMMARY

Present conditions for construction of underground disposal site for dangerous wastes

Zdzisław Kłeczek

Data from the last 10 years show that about 1600 thousands Mg of dangerous wastes is produced in Poland within one year. Processing of wastes and then their disposal through underground storage in deep geological structures is, according to Directive of the Council of the European Union, the only safe and legally authorized method for treatment of such wastes. Moreover, the first nuclear power plant is planned o be started by 2022. Due to an urgent need of disposal of the Central Storehouse of Radioactive Wastes in Różan, which has been operated since 1961, there is a need of additional disposal of some tens Mg of highly radioactive wastes and about 10 thousands Mg of radioactive wastes of low toxicity within one year. Taking into account the above facts, a decision about localization and construction of underground wastes disposal site in Poland is a priority.

The mining waste issue in the aspect of legal regulations

Iwona Kuczyńska

Large amounts of mining waste being produced in UE, and thus in Poland as well, were the reason for introducing detailed legal regulations concerning their proper management. These regulations oblige to develop mining waste management programs which main focus is on preventing waste production, and only after that - on recycling. The paper presents a way of preventing mining waste production by comprehensive method of processing of mining spoil, which aims at

odpadów poprzez kompleksowe procesy przeróbki urobku, w wyniku których dąży się do technologii bezodpadowych, a więc otrzymywania kilku produktów. Natomiast w zakresie odzysku odpadów przedstawiono kilka schematów instalacji, w których z odpadów można w prosty sposób otrzymać produkty.

waste-free models resulting in products only (and no waste materials). As for recycling, the author presents a few process schemes that result in changing waste materials into specific products in a simple way.

Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego - podsumowanie wyników projektu

Ireneusz Baic, Aleksander Lutyński

W rozdziale przedstawiono sposób realizacji oraz wyniki projektu „Foresight w zakresie priorytetowych i innowacyjnych technologii zagospodarowania odpadów pochodzących z górnictwa węgla kamiennego". Koordynatorem projektu, którego realizację przewidziano na lata 2009 – 2011, jest Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie. Partnerami projektu są Akademia Górniczo-Hutnicza i Politechnika Śląska.

Foresight project – priorities and innovative technologies of waste management resulting from hard coal mining – project results summary

Ireneusz Baic, Aleksander Lutyński,

In the Chapter, the methods of project implementation and results of the "Foresight project – priorities and innovative Technologies of waste management resulting from hard coal mining" are presented. The project was coordinated by the Institute of Mechanized Construction & Rock Mining in Warsaw within the years 2009-2011. The partners of the project were AGH University of Science and Technology and Silesian University of Technology.

Problematyka zakresu badań odpadów wydobywczych

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic

Przedstawiono zalecany przez ustawodawcę oraz proponowany zakres badań chemicznych odpadów wydobywczych niezbędnych do ich zakwalifikowania do odpadów obojętnych oraz wykaz parametrów fizycznych umożliwiający wybór kierunku gospodarczego wykorzystania tych odpadów.

The issue of extractive waste research

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic

The paper presents recommended by legislature and proposed range of extractive waste chemical tests necessary to qualify them for inert waste and a list of physical parameters for selecting the direction of economic use of the waste.

Odpady wydobywcze z kopalń węgla kamiennego – wyzwania i oczekiwania

Barbara Lech, Tadeusz Koperski

Rozdział dotyczy problematyki odpadów wydobywczych i ich zagospodarowania zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa poprzez procesy odzysku prowadzone na instalacjach Haldex S.A. Poru-

Mining wastes from hard coal mines – challenges and expectations

Barbara Lech, Tadeusz Koperski

The chapter refers to the problems of mining wastes and their management, according to the law regulations, through the recovery processes carried out on Haldex, JSC installations. The problems associa-

sza zagadnienia związane z produkcją: kruszyw z odpadów wydobywczych, mieszanek na bazie kruszyw z odpadów wydobywczych oraz produktów energetycznych na bazie odpadowych mułów węglowych. Produkty znalazły zastosowanie na rynku. Przedstawiono wybrane wyniki prowadzonych badań laboratoryjnych. Wskazano gospodarcze zastosowanie produktów na bazie odpadów wydobywczych wpływające w gospodarce pozytywnie na zmniejszenie ilości gromadzonych odpadów na obiektach unieszkodliwiania odpadów oraz ochronę złóż surowców naturalnych.

ted with production of: aggregates of mining wastes, mixtures on the basis of mining wastes aggregates and power products on the basis of waste coal slurries are discussed. These products can be commercially used. Selected results of laboratory tests are presented. Economic use of products on the basis of mining wastes, which has a positive impact on a decrease of amount of wastes collected on the objects for wastes disposal and on protection of deposits of minerals, is given.

Określanie ilości metali ciężkich wymywanych z odpadów górnictwa węgla kamiennego w warunkach obiektu drogowego przy zastosowaniu modelowania hydrochemicznego

Bożena Rakwic

W rozdziale przedstawiono wyniki pracy badawczej, w której podjęto próbę określenia, przy zastosowaniu modelowania hydrochemicznego, ilości wybranych metali ciężkich wymywanych z odpadów górnictwa węgla kamiennego, przez wody opadowe. W ramach pracy przeprowadzono obliczenia z użyciem programu PHREEQC, uwzględniając reakcje zachodzące w miejscu wykorzystania odpadów, w przyjętym okresie obliczeniowym 50 lat, w tym: rozkładu pirytu, rozpuszczania i wytrącania minerałów, wymiany jonowej oraz kompleksowania powierzchniowego i transportu. Dla celów oceny zagrożeń związanych z wymywaniem metali ciężkich z badanych odpadów, wyniki obliczeń oceniono w świetle kryteriów klasyfikacji wód podziemnych.

Determination of heavy metals leached from the wastes from hard coal mining industry, which are used for construction of road objects, with use of hydrochemical modelling

Bożena Rakwic

Results of research work, in which a trial of determination of amount of heavy metals leached by rain water from the wastes from hard coal mining industry, with use of hydrochemical modelling, are presented. Calculations with use of PHREEQC program, including chemical reactions at the place, where the wastes are used, in assumed calculation period of 50 years, were made, including: distribution of pyrite, dissolution and precipitation of minerals, ion exchange, surface complexing and transportation. Results of calculations were assessed in the light of criteria for classification of underground water for the purpose of assesment of hazards associated with leaching of heavy metals from the tested wastes.

Koncepcja budowy w Polsce centralnego składowiska odpadów niebezpiecznych, w tym odpadów promieniotwórczych

Dagmara Zeljaś

Problematyka utylizacji odpadów, zwłaszcza odpadów promieniotwórczych, należy do

Concept of design of central disposal site for hazardous wastes, including radioactive wastes, in Poland

Dagmara Zeljaś

Problems of disposal of wastes, especially radioactive wastes, belong to priority

priorytetowych zadań w większości krajów wysoko uprzemysłowionych. Jedynym, aktualnie prawnie dopuszczonym w Unii Europejskiej sposobem gospodarki odpadami promieniotwórczymi jest ich podziemne składowanie. W prezentowanej pracy przedstawiono krytyczne uwagi dotyczące poglądów na temat możliwości podziemnego składowania w Polsce przedmiotowych odpadów, w strukturach krystalicznych, ilastych i solnych. Wykazano, że istnieją realne szanse na budowę centralnego, podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w strukturze cechsztyńskiej soli LGOM, składowiska spełniającego warunki bezpieczeństwa ekologicznego i ekonomicznie uzasadnionej opłacalności przedsięwzięcia.

tasks in majority of highly industrialized countries. Underground disposal of radioactive wastes is the only, legally approved in the European Union, method for management of these wastes. Critical comments as regards opinions about the possibilities of underground disposal of discussed wastes in crystalline, clay and salt seams in Poland are presented. It was indicated that there is a real chance to build central, underground disposal site of radioactive wastes in LGOM Cechsztynska salt structure, which meets the requirements of ecological safety and which is economically justified.

Ocena przydatności popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego do produkcji tworzyw geopolimerowych

Lucyna Madejska, Andrzej Jarosiński

Popioły lotne powstające podczas spalania węgla to odpad przemysłowy, uważany za czynnik zanieczyszczający środowisko. Ze względu na ochronę środowiska, ale także z powodu cennych właściwości popiołów znalazły one szereg zastosowań w różnych dziedzinach przemysłu. W pracy przedstawiono klasyfikację popiołów lotnych, ich charakterystykę oraz możliwości wykorzystania, między innymi do produkcji geopolimerów. Te ostatnie materiały stanowią nowe tworzywo o szeregu cennych właściwościach, stanowiąc aktualną alternatywę między innymi dla materiałów budowlanych – cementów i betonów. Wskazano także nowe dziedziny, które wymagają dalszych badań i zacieśnienia współpracy instytucji naukowych z przemysłem.

Assessment of usefulness of fly ashes from burning of hard coal for production of geopolymer materials

Lucyna Madejska, Andrzej Jarosiński

Fly ashes, which are generated during burning of coal, are industrial waste considered as the environment polluting factor. Due to environment protection, but also due to valuable properties of ashes they found a number of applications in different branches of industry. Classification of fly ashes, their characteristic and possibilities of use, among others for production of geopolymers, are presented. Geopolymers are new materials of valuable properties and they can replace, among others, building materials – cements and concretes. New domains, which require further testing and strengthening of collaboration between scientific institutions and industry, are mentioned.

Dostępne i przyjazne środowisku metody przeróbki wtórnych materiałów cynkonośnych

Andrzej Jarosiński, Sylwester Żelazny

W pracy przedstawiono sposoby pozyskiwania wysokojakościowych koncentratów

Available and environment friendly methods for processing of secondary zinc-bearing materials

Andrzej Jarosiński, Sylwester Żelazny

In this work the ways of high quality sphalerite concentrates obtaining as well

sfalerytowych oraz wykorzystanie nagromadzonych odpadów flotacyjnych do pozyskiwania kolektywnych koncentratów sfalerytowo-galenowych, oraz metody przetwarzania wtórnych materiałów cynkonośnych w procesach metalurgicznych wytwarzania tlenku cynku. Szczególną uwagę zwrócono na rozwiązania technologiczne stosowane w kraju.

Możliwości poprawy parametrów jakościowych i ilościowych produktów w węźle wzbogacania osadzarkowego

Piotr Matusiak, Daniel Kowol

W rozdziale przedstawiono możliwości poprawy parametrów jakościowych i ilościowych poprzez zmiany oraz regulacje urządzeń nadawczych, odbiorczych i urządzeń pomocniczych węzła wzbogacania osadzarkowego. Ciągłe doskonalenie rozwiązań konstrukcyjnych wodnych osadzarek pulsacyjnych realizowane jest począwszy od układów podawania nadawy, poprzez elementy odbioru i transportu nadawy, aż po przenośniki kubełkowe.

Badania rozkładu gęstościowego wzbogacanego materiału w strefie rozdziału /odbioru osadzarki pulsacyjnej

Daniel Kowol, Michał Łagódka

Powszechnie stosowanym urządzeniem do wzbogacania węgla kamiennego w polskich zakładach przeróbczych są osadzarki pulsacyjne. Skuteczność działania osadzarek pulsacyjnych uzależniona jest zarówno od ich rozwiązań konstrukcyjnych, jak i dostosowania parametrów pracy do charakterystyki wzbogacanego materiału i wymogów jakościowych procesu produkcyjnego. W rozdziale przedstawiono wyniki badań przemysłowych zmian rozkładu gęstościowego materiału w strefie rozdziału/odbioru osadzarki. Badania wykazały, że nierównomierny rozkład materiału na szerokości osadzarki wpływa na prawidłowość przebiegu procesu rozwarstwiania i odbioru zależnego od rozluas application of collected flotation tailings to obtaining of collective sphalerite-galena concentrates are presented. Moreover the methods of secondary materials processing in pirometallurgical processes is shown. Specially in the work paid attention to technological solutions in domestic conditions.

Possibilities of improvement of qualitative and quantitative parameters of products in a jig beneficiation system

Piotr Matusiak, Daniel Kowol

Possibilities of improvement of qualitative and quantitative parameters by replacement and control of feed delivery, receiving and auxiliary equipment of a jig beneficiation system are presented in the paper. Continuous improvement of design solutions of water pulsatory jigs is realized starting from feed delivery systems, through components for receive and transportation of feed to the bucket conveyors.

Tests of density distribution of beneficiated material in a separation/receive zone of the pulsatory jig

Daniel Kowol, Michał Łagódka

Pulsatory jigs are widely used for beneficiation of hard coal in the Polish processing plants. Effectiveness of operation of pulsatory jigs depends both on their design and adaptation of operational parameters to characteristics of beneficiated material and quality requirements of manufacturing process. Results of industrial tests of changes in density distribution of material in a separation/receive zone of pulsatory jig are presented in the paper. The tests showed that uneven distribution of material along the width of pulsatory jig has an impact on the correctness of the process of stratification and receive, which depends on loosening and level of distribution layer. It was found that un-

zowania i poziomu warstwy rozdzielczej. Stwierdzono, że nierównomierne wprowadzanie materiału do osadzarki może być jedną z przyczyn występowania różnic w obciążeniu powierzchni roboczej i w natężeniu przepływu materiału na szerokości koryta roboczego osadzarki.

even feeding of material to the jig can be one of the reasons of differences in load of operational surface and in material flow rate along the width of operational open channel of the jig.

Układ sterowania węzłem osadzarkowym

Sebastian Jendrysik, Mariusz Woszczyński, Krzysztof Stankiewicz, Andrzej Gawliński

Zaprezentowano innowacyjny układ sterowania węzłem osadzarkowym, obejmujący swoją strukturą osadzarkę oraz przenośniki kubełkowe. Układ realizuje kontrolę wydajności pracy przenośników w funkcji ich obciążenia, wyznaczonego za pomocą danych pomiarowych wybranych parametrów osadzarki. Przedstawiono proponowaną konfigurację sprzętową oraz zakres funkcji realizowanych przez układ sterowania.

System for jig control

Sebastian Jendrysik, Mariusz Woszczyński, Krzysztof Stankiewicz, Andrzej Gawliński

Innovative system for jig control and control of bucket conveyor, which collects products from the machine, is presented. In the model it was assumed to control productivity of the conveyors in function of their load, determined by measuring data from the specified jig parameters. Configuration of the equipment as well as scope of functions realized by the conveyors' control system is presented.

Gęstościomierz radiometryczny do monitoringu i sterowania procesu wzbogacania węgla w osadzarce

Stanisław Cierpisz, Zbigniew Będkowski

Przedstawiono analizę możliwości zastosowania gęstościomierza radiometrycznego do pomiaru gęstości ośrodka woda-węgiel w łożu osadzarki. Pomiar zmian gęstości w krótkich przedziałach czasu (50 ms) umożliwia bieżące śledzenie przebiegu rozluzowania materiału w każdym cyklu pulsacji ośrodka. Pomiar ten może być wykorzystany do określenia stopnia rozluzowania materiału oraz wyznaczenia zmian gęstości warstwy materiału znajdującego się w strefie pomiarowej. Strefa pomiarowa znajdująca się w pobliżu progu przedziału osadzarki umożliwia pomiar gęstości rozdziału jako zasadniczego parametru procesu rozdziału łoża na produkt górny i dolny.

Radiometric density meter for monitoring and control of coal beneficiation process in a jig

Stanisław Cierpisz, Zbigniew Będkowski

Analysis of possibilities of use of radiometric density meter for measurement of density of water-coal medium in a jig bed is presented. Measurement of changes in a density in short time intervals (50 ms) enables current tracking of the progress of material loosening in each cycle of medium pulsation. This measurement can be used for a determination of degree of material loosening and for determination of changes in a density of layer of material in a measuring zone. The measuring zone, which is close to a threshold of jig compartment, enables measurement of density.

Zastosowanie modułowych sit gumowych typu EPP w osadzarkach pulsacyjnych miałowych

Andrzej Pyc, Marek Lenartowicz, Piotr Wodziński

Najpowszechniej w Polsce do wzbogacania miału surowego węgla kamiennego w klasie 20-0 mm stosuje się osadzarki pulsacyjne miałowe. Bardzo ważną rolę w procesie wzbogacania w osadzarkach odgrywa pokład sitowy. Pokład sitowy w osadzarce to perforowana powierzchnia, na której następuje rozdział wzbogacanego materiału na frakcje o różnej gęstości oraz po której rozdzielone frakcje transportowane są w kierunku strefy odbioru, gdzie następuje ich rozdział na dwa produkty wzbogacania [5]. W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań przemysłowych osadzarek miałowych w których jako pokład sitowy zastosowano sita szczelinowe i sita gumowe typu EPP.

Use of modular rubber sieves of EPP type in fine coal pulsatory jigs

Andrzej Pyc, Marek Lenartowicz, Piotr Wodziński

Fine coal pulsatory jigs are most commonly used in Poland for beneficiation of raw hard coal fines of 20-0 mm class. Sieve deck plays very important role in beneficiation process in jigs. Sieve deck in a jig is a perforated surface, on which separation of beneficiated material into fractions of different density takes place and the separated fractions are transported towards receive zone, where their partition into two beneficiation products is realized [5]. Results of industrial tests of fine coal jigs, in which slotted sieves and rubber sieves of EPP type are used as a sieve deck, are presented in the paper.

Rozwój konstrukcji przesiewaczy do klasyfikacji wstępnej węgla kamiennego oraz innych surowców ze szczególnym uwzględnieniem przesiewaczy o falującej powierzchni roboczej sita typu „flip-flow"

Krzysztof Kwaśny

W rozdziale opisano zasadę działania przesiewaczy o falującej powierzchni roboczej sita („flip-flow"), oraz pokazano w jaki sposób wyeliminowano problem zatykania otworów sitowych. Po krótce przedstawiono dotychczasowe konstrukcje przesiewaczy typu „flip-flow". Dokonano ich porównanie z innymi urządzeniami do klasyfikacji węgla kamiennego. Omówiono zalety i wady przesiewaczy i wskazano inne zastosowania, nie związane z przeróbką węgla. Przedstawiono również kierunki rozwoju przesiewaczy o falującej powierzchni roboczej sita oraz nowe rozwiązania konstrukcyjne KOMAG-u na przykładzie przesiewacza FPS 3000x8190 typu KOMAG.

Development of design of screens for initial classification of hard coal and other minerals with special attention paid to screens of waving operational surface of "flip-flow" sieve.

Krzysztof Kwaśny

A principle of operation of screens of waving operational surface of a sieve ("flip-flow") is described in the paper and a method for elimination of the problem of clogging of sieve holes is given. Previous designs of screens of "flip-flow" type are shortly presented. Their comparison with other devices for hard coal classification is made. Advantages and disadvantages of screens are discussed and their applications, which are not associated with coal processing, are indicated. Directions of development of screens of waving operational surface of a sieve and KOMAG's new design solutions, on the example of FPS 3000x8190 screen of KOMAG type, are presented.

Hydrocyklony klasyfikujące

Piotr Myszkowski

W niniejszej pracy zaprezentowano istotne kwestie, które należy rozważyć, przy projektowaniu oraz eksploatacji układów klasyfikacji opartych na hydrocyklonach ze szczególnym uwzględnieniem układów mielenia. Dokonano dyskusji problemów pojawiających się przy doborze hydrocyklonów z uwzględnieniem roli zagęszczenia i ciśnienia nadawy, kątów stożka, materiałów konstrukcyjnych, pozycji montażu, a także konfiguracji rozdzielacza. W celu uzyskania spójnego działania hydrocyklonów, przy minimalnej ilości nadziarna w przelewie, bardzo ważna jest efektywność pracy hydrocyklonów, jak również czynności związane z ich obsługą i utrzymaniem stałości jakości separacji. Zaprezentowano najnowszą generację hydrocyklonów, produkowanych przez firmę KREBS, typu gMAX™ oraz pomp KREBS millMAX™, które zapewniają pompowanie nadawy w sposób stabilny przez cały okres eksploatacji oraz umożliwiają uzyskanie znacznych oszczędności w zużyciu energii, a także dłuższą żywotność części naturalnie zużywających się. Połączenie pomp KREBS mill-MAX™ i hydrocyklonów gMAX™, gwarantuje podawanie do baterii hydrocyklonów, przez cały okres eksploatacji, jednakowej nadawy oraz sprawia, że system taki jest bardziej stabilny, a eliminacja strat ciśnienia na pompie i wymiana wykładzin hydrocyklonu o właściwym czasie powodują, że efektywność układu klasyfikacji jest w całym okresie eksploatacji stabilna i wysoka.

Classification hydrocyclones

Piotr Myszkowski

In the chapter the key to good classification cyclone circuit design and operation mainly in primary grinding circuits is discussed. Cyclone circuit design issues include individual cyclone design features such as solids concentration, pressure drop, cone angle or materials of construction, as well as orientation and manifold configuration. Cyclone performance issues as well as maintenance considerations are detailed in an effort to achieve consistent cyclone operation with minimal coarse solids in the overflow. The new gMAX™ cyclones is introduced and evaluated using operating circuit data in grinding applications. Additionally new generation slurry pump type MAX is presented. These pumps give constant performance for the whole live time as well as offers significant energy savings and long live time. Combination of pumps type MAX and hydrocyclones type gMAX, ensures consistent and constant feed process data feed to the hydrocyclone manifold, throughout the whole operation cycle and makes such a system more stable. More over the elimination of loss of pressure at the pump and replacement of the hydrocyclone linings cause that the efficiency of the classification system is in the lifetime of stable and high.

Wpływ kształtu wirnika i ilości powietrza na przebieg flotacji w laboratoryjnej maszynce flotacyjnej

Marek Lenartowicz, Daniel Kowol

Flotacja jest najczęściej stosowana do wzbogacania najdrobniejszych ziaren mułowych poniżej 0,5 mm. Proces flotacji

Impact of impeller shape and amount of air on flotation in a laboratory flotation machine

Marek Lenartowicz, Daniel Kowol

Flotation is most frequently used for beneficiation of the finest slurry particles below 0,5 mm. Flotation process is reali-

prowadzi się w sposób masowy w maszynach flotacyjnych zwanych flotownikami. Najpowszechniej w Polskim górnictwie węgla kamiennego do wzbogacania ziaren poniżej 0,5 mm stosuje się flotowniki pneumomechaniczne typu IZ. Istotnym elementem w tych maszynach jest wirnik, który zasysa i agituje zawiesinę flotacyjną oraz dysperguje w niej powietrze. W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań wpływu ilości powietrza na skuteczność procesu flotacji w zależności od kształtu wirnika.

zed on a big scale in flotation machines. Pneumomechanical flotation machines of IZ type are most commonly used in the Polish hard coal mining industry to beneficiate particles below 0,5 mm. Impeller, which sucks and agitates flotation suspension and disperse air in this suspension, is an important component of these machines. Results of laboratory tests of impact of amount of air on effectiveness of flotation process, depending on the impeller shape, are presented in the paper.

Odwadnianie sedymentu węglowego z użyciem pras filtracyjnych na przykładzie prasy GHT 1500 zabudowanej w ZPMW KWK Jas-Mos

Bartosz Piechaczek, Grzegorz Gruszka, Krystyna Kiermaszek, Andrzej Pyc, Emanuele Iero

Niniejsza praca przedstawia typoszereg pras filtracyjnych produkcji włoskiej firmy DIEMME Filtration w kontekście odwadniania sedymentu węglowego na przykładzie prasy typu GHT 1500 zabudowanej w 2011 r. w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla w JSW SA KWK Jas-Mos.

Dewatering of coal sediment with use of filtrating presses on the example of GHT 1500 press installed in "Jas-Mos" Colliery

Bartosz Piechaczek, Grzegorz Gruszka, Krystyna Kiermaszek, Andrzej Pyc, Emanuele Iero

The chapter presents the range of filter presses manufactured by the Italian company DIEMME Filtration and their application in dewatering of coal sediment as illustrated by the GHT 1500 filter press installed in 2011 at the coal preparation plant at Jastrzebska Coal Company "Jas-Mos" Colliery.

Identyfikacja depozytów mułów węglowych – własności chemiczne, „BAZA DANYCH (DMW)"

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic, Aleksander Lutyński, Tomasz Suponik

W rozdziale przedstawiono własności chemiczne zinwentaryzowanych w ramach projektu pn. "Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania" (Nr N R09 0006 06/2009) depozytów mułów węglowych. Zaprezentowano również opracowaną na potrzeby projektu „bazę danych".

Identification of the deposits of coal sludge - chemical properties, "DATABASE (DMW)"

Beata Witkowska-Kita, Ireneusz Baic, Aleksander Lutyński, Tomasz Suponik

This chapter presents the chemical properties inventoried coal sludge deposits within the project entitled "Identification of the energy potential of coal sludge deposits in the country's fuel balance and technology development strategy for their use" (No. N R09 0006 06/2009). The paper also presents developed within the project "database".

Możliwości wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych

Jan Szpyrka, Aleksander Lutyński

W rozdziale przedstawiono wyniki badań nad możliwością wzbogacania mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych. Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania". Projekt ten realizowany jest przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej.

Właściwości fizykochemiczne mułów węglowych zdeponowanych w osadnikach ziemnych

Aleksander Lutyński**,** Jan Szpyrka, Ireneusz Baic

W rozdziale przedstawiono wyniki badań właściwości fizykochemicznych mułów węgla energetycznego i koksowego z dwudziestu stawów osadowych, które wykonano w ramach projektu rozwojowego Nr N R09 0006 06/2009 pt: „Identyfikacja potencjału energetycznego depozytów mułów węglowych w bilansie paliwowym kraju oraz strategia rozwoju technologicznego w zakresie ich wykorzystania". Projekt ten realizowany jest przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego we współpracy z Katedrą Przeróbki Kopalin i Utylizacji Odpadów Politechniki Śląskiej.

Granulacja mułów węglowych pochodzących z pras komorowych w systemie produkcji ciągłej

Ireneusz Baic, Andrzej Szymkiewicz, Andrzej Fraś, Rafał Przystaś, Jan J. Hycnar

W rozdziale przedstawiono nowatorską

Possibilities of coal slurry beneficia- tion deposited in impoundments

Jan Szpyrka, Aleksander Lutyński

The Chapter presents research results of the possibility to beneficiate coal slurries deposited in impoundments. The research was performed under the development project Nr N R09 0006 06/ 2009 titled: "Identification of energetic potential of coal slurries in the national fuel balance and technological development strategy of their usage". The project is implemented by the Institute of Mechanized Construction & Rock Mining in Warsaw in cooperation with the Department of Mineral Processing and Waste Utilization of the Silesian University of Technology.

Physico-chemical properties of coal slurries deposited in impoundments

Aleksander Lutyński, **Jan Szpyrka, Ireneusz Baic**

The Charter presents results of physico-chemical tests of steam and coking coal slurries from twenty impoundments performed for the development project nr N R09 0006 06/2009 titled: "Identification of energetic potential of coal slurries in the national fuel balance and technological development strategy of their usage". The project is implemented by the Institute of Mechanized Construction & Rock Mining in Warsaw in cooperation with the Department of Mineral Processing and Waste Utilization of the Silesian University of Technology.

Granulation of coal sludge from chamber presses in continuous production system

Ireneusz Baic, Andrzej Szymkiewicz, Andrzej Fraś, Rafał Przystaś, Jan J. Hycnar

The chapter presents the innovative tech-

technologię rozdrabniania, uszlachetniania i granulowania mułów węglowych pochodzących z pras komorowych w miejscu ich powstawania, w celu uzyskania użytecznego produktu handlowego lub półproduktu do produkcji mieszanek energetycznych. Proces technologiczny prowadzony jest w systemie produkcji ciągłej nie powodując przestojów przy rozładunku pras filtracyjnych, co w przypadku Zakładu Przeróbczego ma zasadnicze znaczenie dla utrzymania ciągłości produkcji węgla.

nology of crushing, refining and coal sludge granulation from the press chamber in place of its production in order to obtain a useful commercial product or an intermediate compound to produce energy. The technological process is conducted in a continuous production system without causing downtime for unloading filter presses, which in the case of the processing plant is essential to maintain the continuity of coal production.

Doświadczenia z użytkowania „instalacji odzysku części stałych z zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach wyłącznie <25µm" w KWK „Jas-Mos"

Jan Kot

W rozdziale przedstawiono sposób powstawania w wirówkach sedymentacyjno-filtracyjnych zawiesiny wodno-mułowej zawierającej ziarna o wymiarach <25 µm tj. odcieku z części sedymentacyjnej oraz sposób jego zagęszczania i odwadniania w instalacji zbudowanej w oparciu o prasę komorowo-membranową.

Experience gained from use of "installation for recovery of solids from water-slurry suspension which contains only particles of dimension <25µm" in "Jas-Mos" Colliery

Jan Kot

The formation of water-slurry suspension containing grains of dimension <25 µm in sedimentation-and-filtration centrifuges i.e. effluent from its sedimentation part as well as the method of its concentration and dewatering in installation having membrane-chamber press is presented.

Automatyzacja systemu sterowania gospodarki wodno-mułowej w ZG Sobieski

Mirosław Cholewa, Artur Dubiel, Tomasz Kardyś, Michał Zając

Przedstawiono modernizację systemu sterowania ZWiOM w ZG Sobieski PKW SA w Jaworznie. W zakres modernizacji wchodziła m.in. automatyzacja procesu granulacji, modernizacja sterowania na zagęszczaczu promieniowym Dorra, wizualizacja procesów filtracji oraz zastąpienie starej tablicy synoptycznej modułem wejść/wyjść cyfrowych. Modernizacji odbyła się etapami bez konieczności zatrzymania pracy zakładu.

Automation of the system for control of Water-Slurry Management

Mirosław Cholewa, Artur Dubiel, Tomasz Kardyś, Michał Zając

The chapter discusses about upgrading of the control system in ZWiOM Department, located in ZG Sobieski SA PKW SA Jaworzno. The modernization includes automation of granulation process, upgrade of control system at Dorra furry tank, visualization of filtration press and replacement of synoptic panel by distributed I/O module. The total scope of modernization was performed in stages, without necessary of production stoppage.

Zastosowanie drzewa C&RT w klasyfikacji biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych

Marcin Sajdak, Olaf Piotrowski

Najczęściej spotykanym kierunkiem stosowania biomasy w celach energetycznych jest jej spalanie i współspalanie z konwencjonalnymi nośnikami energii. Jest to, między innymi, wynikiem braku odpowiednich narzędzi umożliwiających szybką i prostą klasyfikację biomasy pod względem chemicznym, umożliwiającą szersze spojrzenie na możliwości wykorzystania biomasy w przemyśle energetycznym. W IChPW opracowano nowatorską metodę określenia możliwości wykorzystania biomasy w odpowiednich kierunkach stosując modele drzew klasyfikacyjnych i regresyjnych C&RT. Aby możliwe było odpowiednie działanie modelu C&RT, wykorzystano bazę danych właściwości fizykochemicznych biomas zebranych na przestrzeni lat przez IChPW oraz dane literaturowe. Opracowany model może być zastosowany jako narzędzie decyzyjne służące do grupowania różnych biomas pod względem przydatności, w zależności od kierunku ich energetycznego wykorzystania (np. pirolizy dla produkcji bio-oleju).

Use of C&RT tree in classification of biomass used for energy purposes

Marcin Sajdak, Olaf Piotrowski

The most common direction of using biomass for energy purposes is its combustion and co-combustion with conventional energy carriers. This is due to the lack of appropriate tools for quick and simple chemical classification of biomass, enabling a broader view to possibilities of its use in energy industry. Institute for Chemical Processing of Coal has developed innovative method for determination of biomass utilization for energy purposes, using models of classification and regression trees C&RT. Proper functioning of the C&RT model required using database of physicochemical properties of biomass samples collected over the years by IChPW. The developed model can be used as a decision-making tool for classifying different biomass materials in terms of usability, depending on the direction of their use for energy purposes (e.g. pyrolysis for bio-oil production).

Wykorzystanie energii z osadów ściekowych w procesie współspalania z węglem kamiennym

Sławomir Stelmach, Ryszard Wasielewski, Krzysztof Słowik

Odzysk energii na drodze współspalania komunalnych osadów ściekowych z węglem w istniejących obiektach energetycznych jest jednym z racjonalnych, niskonakładowych sposobów ich wykorzystania. Współspalanie osadów ściekowych prowadzone jest obecnie w wielu elektrowniach w krajach Europy Zachodniej. W Polsce jak dotychczas nie współspala się osadów ściekowych w kotłach energetycznych, co wynika przede wszystkim

Energy recovery from co–combustion process of sewage sludge with hard coal

Sławomir Stelmach, Ryszard Wasielewski, Krzysztof Słowik

The recovery of energy through municipal sewage sludge co-combustion with coal in existing power facilities may be one of the rational, low-cost ways of their using. Co-combustion of sewage sludge is currently being conducted in many power plants in Western Europe. At present there is no co-combustion of sewage sludge with coal in power boilers in Poland, which results mainly from the law. Based on the experience of other countries and

z obowiązującego prawa, gdyż w oparciu o doświadczenia innych państw oraz wstępne próby przeprowadzane w kraju można stwierdzić, że od strony technicznej współspalanie nie stwarza istotnych problemów. W rozdziale przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące współspalania osadów ściekowych w energetyce, odnosząc się zarówno do kwestii technicznych, jak i formalno-prawnych.

the preliminary tests carried out in Poland it could be stated that co-combustion of sewage sludge with coal does not cause any significant problems. This chapter presents the major issues concerning sewage sludge co-combustion in power production sector, referring both to technical, as well as formal and legal issues.

Efektywność odzysku metanu z wysypiska komunalnego na przykładzie wysypiska Barycz

Barbara Tora, Maciej Michałowski

W pracy przeprowadzono prognozę produktywności gazowej składowiska Barycz koło Krakowa. Prognozę przeprowadzono przy użyciu modeli matematycznych – *modelu Landfill* oraz *modelu belgijskiego*. Wyniki prognozy okazały się bardzo bliskie faktycznemu poborowi gazu. Porównano wyników modelowania z wynikami rzeczywistymi. Składowisko odpadów komunalnych Barycz zaledwie 14% energii elektrycznej uzyskanej z biogazu wykorzystuje na potrzeby własne zakładu.

Efficiency of methane recovery from community landfill on the example of Barycz landfill

Barbara Tora, Maciej Michałowski

Forecast of gas production efficiency from Barycz landfill near Cracow is presented. The forecast was made using mathematical models – *Landfill model* and *Belgium model*. The predicted production was close to the real gas consumption. Results from modelling have been compared with the real results. Barycz landfill uses only 14% of electric energy produced from biogas for its own need.

Stosowanie systemów elektronicznych w procesach wydobywczych – przegląd nowoczesnych metod

Jolanta Biegańska

Górnictwo podziemne i odkrywkowe jest przemysłem rozwijającym się najbardziej w ostatnich latach. Pozyskiwanie surowców skalnych odbywa się w sposób tradycyjny – z zastosowaniem materiałów wybuchowych. W rozdziale przedstawiono rozwój techniki strzelniczej i korzyści wynikające z jej stosowania przy robotach strzałowych. Wprowadzenie systemów elektronicznych jest olbrzymim postępem w tym zakresie.

Use of electronic systems in the process of mining – review of the modern methods

Jolanta Biegańska

Underground and open-pit mining is the most expanding industry in the recent years. The rock materials are obtained in a traditional way – with the use of explosives. The paper presents the development of shooting techniques and benefits of their use in shooting works. The use of electronic systems is a big progress in this area.

Problemy projektowania systemów aktywnej redukcji hałasu

Mariusz Latos, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz, Jerzy Jagoda

Przedstawiono podstawowe informacje

Problems of designing the systems for active noise suppression

Mariusz Latos, Dariusz Jasiulek, Krzysztof Stankiewicz, Jerzy Jagoda

The basic information in the field of

z zakresu kierunku rozwijanego w ITG KOMAG, jakim jest stosowanie systemów aktywnej redukcji hałasu w obiektach przemysłowych. Porównano pasywne i aktywne metody redukcji hałasu, zaprezentowano podstawowe struktury i zasadę działania systemów aktywnych. Omówiono zakres problemów stawianych przed projektantami ww. systemów, sprecyzowano kierunki prowadzonych prac i możliwe korzyści wynikające z rozwoju systemów aktywnej redukcji hałasu w aspekcie poprawy warunków pracy.

active noise reduction systems in terms of beginning of their development in the Institute of Mining Technology KOMAG were presented. Passive and active noise reduction methods were compared, the basic structures and principle of operation of the active systems as well as the general scope of the problems were described. The directions of the ongoing work and possible benefits from the development of active noise reduction systems in terms of improving working conditions have been specified.

Zintegrowany system monitoringu konstrukcji obiektów użytkowych zwiększający bezpieczeństwo eksploatacyjne - wyniki analiz

Integrated system for monitoring of business objects to increase operational safety– results of analyzes

Krzysztof Stankiewicz, Dariusz Jasiulek, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Joanna Rogala-Rojek

Krzysztof Stankiewicz, Dariusz Jasiulek, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Joanna Rogala-Rojek

W rozdziale przedstawiono innowacyjny system przeznaczony do monitoringu stanu nośności konstrukcji obiektów, takich jak centra i pawilony handlowe, hale przemysłowe, magazyny oraz pawilony wystawiennicze. Przeprowadzone analizy dotyczą eksploatacji zainstalowanego systemu w hali badawczej Instytutu Techniki Górniczej KOMAG. Zaprezentowano również informacje pozyskane podczas analizy wymagań rynkowych stawianych systemom monitoringu stanu konstrukcji nowo powstających obiektów wielkopowierzchniowych. W wyniku dotychczasowych doświadczeń zaproponowano kierunki dalszych prac rozwojowych, mających na celu spełnienie wymagań stawianych przez wykonawców i użytkowników nowo powstających obiektów wielkopowierzchniowych.

Innovative system for monitoring of bearing capacity of structures of objects such as trade centres and trade halls, industrial rooms, warehouses and exhibition pavilions are presented. The discussed analyses concern the use of the system installed in a testing room of the KOMAG Institute of Mining Technology. Also information gained during analyses of the requirements, which monitoring systems controlling building structures of large surface have to meet, is given. In the result of gained experience directions of further research projects aiming at satisfying the requirements put by contractors and users of new designed large-surface industrial objects.

Zakłady wydobycia i przeróbki rudy uranowej w Kowarach – sytuacja radiacyjna

Previous output and processing plants of uranium ore in Kowary - the radiation situation

Jolanta Biegańska, Aleksandra Pala, Ewelina Piątkowska

Jolanta Biegańska, Aleksandra Pala, Ewelina Piątkowska

W rozdziale omówiono sytuację radia-

The radiation situation occurring in the

cyjną panującą na terenie byłych zakładów wydobywczych i przeróbczych rudy uranowej w Kowarach (woj. dolnośląskie), a także przedstawiono ewentualne skutki środowiskowe i zdrowotne, jakie mogą pojawić się w wyniku długotrwałego narażenia na działanie promieniowania jonizującego. Analizy stanu radiologicznego dokonano na podstawie pomiarów Państwowej Agencji Atomistyki, prowadzonych w ramach „Programu monitoringu radiacyjnego terenów zdegradowanych w wyniku działalności wydobywczej i przeróbczej rud uranu", działającego od 1998 roku.

previous output and processing plants of uranium ore in Kowary (Lower Silesia) has been discussed in this article. The paper also presents environmental and health effects that may potentially appear as a result of prolonged exposure to ionizing radiation. Analysis of the radiological measurements has been made on the basis of the State Agency Atomic Energy, under the "Radiation monitoring program of sites degraded as a result of output and treatment activities of uranium ore ", acting in 1998.

Zastosowanie chalcedonitu do usuwania jonów żelaza z roztworów wodnych

Anna Młynarczykowska

Rosnące wymagania co do jakości wody i ścieków spowodowały wzrost zainteresowania badaczy oraz technologów metodami oczyszczania łatwo dostępnymi, korzystnymi ekonomicznie, a przede wszystkim ekologicznie bezpiecznymi. Do takich właśnie należą metody sorpcyjne z powodzeniem wykorzystywane do oczyszczania wody i ścieków pochodzących z różnych gałęzi przemysłu, prowadzone w oparciu o naturalne sorbenty czy minerały ilaste (bentonity). Łączenie tych technik z tradycyjnymi metodami strącenia metali ciężkich, procesami koagulacji czy też metodami biotechnologicznymi zyskuje coraz większe zastosowanie do detoksykacji wody i ścieków. Niewątpliwymi zaletami metod sorpcyjnych jest ich konkurencyjność ekonomiczna, dostępność sorbentów, wysoka efektywność prowadzonych procesów oczyszczania. Naturalne sorbenty takie jak na przykład klinoptylolit czy chalcedonit są stosowane do procesów uzdatniania wody podziemnej a także oczyszczania ścieków komunalnych, głównie usuwania jonów żelaza, manganu oraz amonu. W publikacji podjęto próbę doko-

Use of chalcedonite in removal of iron ions from water solutions

Anna Młynarczykowska

Growing demands on the quality of water and wastewater has increased the interest of researchers and technologists cleaning methods easily available, economically preferred and above all environmentally safe. These are just sorption methods successfully used to purify water and wastewater from different industries, carried out based on the natural sorbents and clay minerals (bentonite). Combining these techniques with traditional precipitation methods heavy metals, coagulation process or by biotechnological methods is increasingly applicable to the detoxification of water and wastewater. Undoubted advantages of sorption methods is their economic competitiveness, availability of sorbents, high effectiveness of treatment processes. The natural sorbents such as clinoptilolite or chalcedonit are used for ground water treatment processes as well as municipal wastewater treatment, mainly to remove iron ions, manganese and ammonium. In chapter attempts to assess the suitability of chalcedonitu - a natural sorbent for removal of iron (III) from aqueous solutions. Based on a factorial experiment carried out, an

nania oceny przydatności chalcedonitu – sorbenta naturalnego, do usuwania jonów żelaza (III) z roztworów wodnych. W oparciu o przeprowadzony eksperyment czynnikowy, dokonano analizy wpływu wybranych czynników fizykochemicznych na stopień usunięcia wskazanych jonów w ustalonych warunkach przeprowadzania procesu oczyszczania.

analysis of the influence of selected physical and chemical factors on the degree of removal of ions indicated in the prescribed conditions to carry out the purification process.

Porównanie regeneracji łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego po procesie sorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z modelowych roztworów wodnych w układach jedno- i dwuskładnikowych

Agnieszka Bożęcka, Stanisława Sanak-Rydlewska

Niniejsza praca prezentuje wyniki badań dotyczących porównania desorpcji jonów Pb^{2+} i Cd^{2+} z powierzchni łuszczyn słonecznika i łupin orzecha włoskiego w roztworach jedno- i dwuskładnikowych. Badane jony były desorbowane przy użyciu 0,2 M roztworów kwasu azotowego(V) i kwasu solnego. Wykazano, że desorpcja jonów ołowiu z powierzchni łupin orzecha włoskiego w układach jedno- i dwuskładnikowych jest bardziej wydajna, niż w przypadku łuszczyn słonecznika. Dla jonów kadmu uzyskano zależność odwrotną – łatwiej można zregenerować łuszczyny słonecznika.

The comparison of Pb^{2+} and Cd^{2+} desorption from sunflower hulls surface with that from walnut shells surface in mono- and bicomponent solutions

Agnieszka Bożęcka, Stanisława Sanak-Rydlewska

The chapter presents the results of research on the comparison of Pb^{2+} and Cd^{2+} desorption from sunflower hulls surface with that from walnut shells surface in mono- and bicomponent solutions. Studied ions were desorbed by using 0,2 M solutions of nitric and hydrochloric acid. It was showed that the desorption of lead ions from walnut shells surface in mono- and bicomponent solutions is more efficient than the sunflower husk. A reverse correlation was obtained for cadmium ions – sunflower hulls can be more easily regenerated.