



Metoda utylizacji odpadów metalurgicznych

*Andrzej Łędzki, Stanisława Sanak-Rydlewska, Barbara Tora,
Maciej Mazurkiewicz, Ryszard Stachura, Zygmunt Wcisło,
Arkadiusz Klimczyk, Mikołaj Bernasowski
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

1. Wstęp

Huta stali o pełnym profilu produkcyjnym wytwarza dużą ilość drobnoziarnistych odpadów w postaci szlamów i pyłów zawierających znaczne ilości tlenków żelaza. Postać tych odpadów zależy od zastosowanej technologii ich wychwytywania; mokrej bądź suchej przed emisją oczyszczonych gazów do atmosfery. Odpady te powstają przy produkcji surowki w wielkim piecu, oraz stali w procesie konwertorowym i w łukowym piecu elektrycznym.

2. Badania prof. Tadeusza Piecucha nad możliwością wykorzystania pyłów pohutniczych metalurgii czarnej do budowy zawieszinowych cieczy ciężkich pod kątem zastosowania w przeróbce mechanicznej węgla.

W latach 1980 do 1985 badania nad możliwością wykorzystania pyłów pohutniczych metalurgii żelaza do budowy cieczy ciężkich zawieszinowych prowadził prof. Tadeusz Piecuch i Zespół [1-9].

Pierwszym opracowaniem w cyklu tych prac była ekspertyza wykonana na zlecenie Huty Kościuszko przez Zespół prof. Piecucha w ramach prac Zespołu Rzeczoznawców SITG w Katowicach w ramach, której już jednoznacznie wskazano na możliwość zagospodarowania pyłów do budowy cieczy ciężkich. W ramach tych prac [1-3] przeprowadzono badania na pyłach Huty Kościuszko, która to huta, jako huta surowcowa

miała stosunkowo najlepszą infrastrukturę wydzielenia pyłów w układzie najpierw suchym, a potem mokrym ich przechwytywania.

Otóż, w Hucie Kościuszko spaliny (gazy) powielkopieczowe były najpierw wprowadzane do tzw. szeregowych odpylaczy grawitacyjnych, w których w pierwszej kolejności wydzielano pyły ogólnie gruboziarniste. Te pyły gruboziarniste były w całości odbierane przez cementownię. Następnie struga spalin (gazów) powielkopieczowych wpływała do odpylacza cyklonowego, który wydzielał w tzw. wylewie (od dołu cyklonu) ogólnie ujmując frakcję średnioziarnistą, a natomiast przelew z cyklonu (frakcja górna drobnoziarnista) była wprowadzana do wieży typu skruber z przeciwpądowym natryskiem bardzo drobnych kropelek wody i stąd już jako ściek zawiesinowy podawana na trzy odmulniki Dorra, które to pracowały w systemie, odmulnik promieniowy-filtr próżniowy [4, 5].

Takich systemów było w Hucie Kościuszko trzy, a osad odzyskany na filtrach próżniowych, jako szlam był składowany na składowiskach typu płytkich zbiorników znajdujących się na terenie Huty Kościuszko, a natomiast Huta Kościuszko znajdowała się w samym centrum miasta Chorzowa. Oczywiście składowiska ulegały szybkiemu wypełnieniu i nie było możliwości ich rozbudowy ze względu na brak miejsca [4, 5].

W tej określonej sytuacji Huta Kościuszko była w sposób szczególny zainteresowana, chociaż częściowym pozbyciem się tych uciążliwych szlamów, aby przedłużyć żywotność składowisk, tym bardziej, że w okresach pór deszczowych stawały się one składowiskiem błotnistej mazi. W związku z powyższym, Zespół prof. Piecucha wykonał określone analizy technologiczne tych szlamów a więc przede wszystkim określono ich skład ziarnowy, ciężary właściwe poszczególnych frakcji ziarnowych oraz możliwość odzysku frakcji magnetycznej z tych pyłów przy różnym natężeniu pola magnetycznego a także przy różnym zagęszczeniu nadanego zawiesinowego ścieku poprodukcyjnego, jako wylewu z odmulników Dorra na laboratoryjnym rekuperatorze magnetycznym [1, 2].

Cytowana tutaj literatura prac Zespołu prof. Piecucha zawiera liczne tablice wyników tych badań, które potem zostały częściowo opublikowane [1–8].

W badaniach tych określono także prędkości sedymentacji tych pyłów pohutniczych i to pochodzących z różnych miejsc ciągu zarówno odpylania suchego jak i odpylania mokrego na tle takich samych badań

dla importowanego obciążnika magnetytowego do budowy cieczy ciężkich przez nasze kopalnie węgla kamiennego ze Szwecji [1, 3].

Na podstawie tych badań prof. Tadeusz Piecuch podjął starania o uruchomienie pracy naukowo-badawczej w Politechnice Częstochowskiej finansowanej z tzw. Problemu Węzłowego, który był prowadzony i koordynowany w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach, uzyskując po wielu miesiącach starań zlecenie na wykonanie pracy naukowo-badawczej dotyczącej badań nad możliwością i celowością zastosowania pyłów pohnitnicznych do budowy cieczy ciężkich [6].

W ramach tej pracy, realizowanej w latach 1983–1984 Zespół prof. Piecucha wykonał nie tylko badania technologiczne jak wyżej odzysku frakcji magnetycznej z pyłów i szlamów Huty Kościuszko w Chorzowie, ale i także pyłów z innych hut surowcowych a mianowicie, z Huty Pokój w Rudzie Śląskiej, Huty Bobrek w Bytomiu oraz Huty Katowice w Dąbrowie Górniczej [6].

Niestety, analiza możliwości odzysku z tych pyłów frakcji magnetycznej od strony ekonomicznej okazała się zasadna tylko dla Huty Kościuszko [6]. Otóż właśnie tylko w Hucie Kościuszko był na tyle rozbudowany obieg wodno-mułowy, iż przy niewielkiej inwestycji można było takie pyły magnetyczne odzyskiwać ze szlamów przepływających z wieży typu skrubler a dalej do odmulników Dorra i wreszcie na filtry próżniowe. Takiego systemu mokrego uławiania pyłów tu ogólnie nazywanych drobnymi nie było w Hucie Pokój, w Hucie Bobrek oraz w Hucie Katowice [6].

Niezależnie od powyższego faktu determinującego możliwości aplikacyjne, wynikające z przeprowadzonych badań, najgorsze jakościowo pod względem podatności magnetycznej okazały się pyły z Huty Katowice – sztandarowej inwestycji przełomu lat 70. i 80. ubiegłego wieku – tabela 21 w pozycji [6].

Otóż, o ile ciężar właściwy pyłów z Huty Pokój to około $3,02 \text{ G/cm}^3$, z Huty Bobrek to około $3,10 \text{ G/cm}^3$ oraz najwyższy a więc najlepszy z Huty Kościuszko to około $3,30 \text{ G/cm}^3$ to niestety pyły z Huty Katowice miały ciężar właściwy tylko $2,4 \text{ G/cm}^3$ [6].

Badania Zespołu prof. Piecucha wykazały, że przy przykładowo typowym natężeniu pola magnetycznego, które ma miejsce w rekuperatorach elektromagnetycznych stosowanych w obiegach cieczy ciężkiej Polskich Zakładów Przeróbki Mechanicznej Węgla rzędu około 100 Oerste-

dów udaje się podnieść ciężar właściwy o około $1,0 \text{ G/cm}^3$. Zatem, łatwo zauważyć, że wzbogacony szlam z Huty Kościuszko, a więc ten przeznaczony do budowy cieczy ciężkich będzie miał ciężar właściwy rzędu około $4,3 \text{ G/cm}^3$ a więc już znaczny czyli godny zainteresowania pod kątem budowy na jego bazie cieczy ciężkiej zawieszinowej [5, 6].

W związku z powyższym prof. Piecuch zaproponował, aby w Hucie Kościuszko pod wylewy z odmulników promieniowych typu Dorra wmontować rekuperatory elektromagnetyczne, które rozdzielały te wylewy na frakcje magnetyczną i resztę, jako niemagnetyczną. Badania Zespołu prof. Piecucha wykazały, że około 2/3 części stałych znajdujących się w wylewie odmulników promieniowych typu Dorra to frakcja magnetyczna, a tylko około 1/3 to frakcja niemagnetyczna [5, 6].

W związku z powyższym prof. Piecuch zaproponował, aby frakcje magnetyczną odzyskaną na wszystkich trzech rekuperatorach elektromagnetycznych wprowadzić na dwa filtry próżniowe celem jej mechanicznego odwodnienia, a natomiast z wszystkich trzech rekuperatorów frakcje niemagnetyczną wprowadzić na jeden filtr próżniowy, co wynikało z wartości wychodów obydwu frakcji [5, 6].

W związku z pozytywnymi wynikami badań a jednocześnie jak zwykle brakiem środków finansowych prof. Piecuch wystąpił do dyrekcji Huty Kościuszko o wybudowanie tzw. systemem gospodarczym przez zaplecze głównego mechanika, rekuperatora elektromagnetycznego – na skalę przemysłową oraz podłączenie tego rekuperatora do jednego systemu odmulnik promieniowy typu Dorra – filtr próżniowy, pod wylew z odmulnika Dorra. Tak też uczyniono. Dzięki temu udało się odzyskać tak znaczącą ilość szlamu magnetycznego, iż można było przeprowadzić pełną próbę przemysłową zastosowania tego szlamu magnetycznego do budowy cieczy ciężkiej. Taką próbę przemysłową przeprowadzono na Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST w Bieruniu Nowym. Ponieważ KWK PIAST produkował wzbogacony węgiel na eksport ówczesny zastępca Dyrektora ds. jakości produkcji KWK PIAST mgr inż. Tadeusz Łapeta nie wyraził zgody na jednorazową zamianę importowanego magnetytu jako obciążnika ze Szwecji w obawie przed zaniżeniem ciężaru właściwego rozdziału, wynoszącego $1,68 \text{ G/cm}^3$ w obawie przed nadmierną lepkością zawieszinowej cieczy ciężkiej sporządzonej ze szlamów magnetycznych Huty Kościuszko. Natomiast mgr inż. Tadeusz Łapeta wyraził zgodę na to aby, stopniowo dozować

obciążnik magnetyczny z Huty Kościuszko do obiegu cieczy ciężkiej, uwzględniając ubytek obciążnika na produktach rozdziału, tj. na koncentracie oraz na odpadach. W związku z powyższym w tej próbie przemysłowej dawkowano obciążnik z Huty Kościuszko jak niżej [7].

<u>Data</u>	<u>ilość obciążnika, kg</u>
30.08.1984	6.900
31.08.1984	3.500
03.09.1984	5.200
05.09.1984	12.000
06.09.1984	12.000
07.09.1984	8.700
08.09.1984	8.700
	<u>Razem: 57.000</u>

Zatem, po 10. dniach trwającej próby przemysłowej, gdzie stopniowo dawkowano jak wyżej obciążnik magnetyczny odzyskany z odpadów szlamowych Huty Kościuszko, separatory cieczy ciężkiej, pracujące na Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST, wzbogacały surowy węgiel w cieczy ciężkiej, zawiesinowej, pracując wyłącznie w 100% na tym obciążniku. Jak wynika z opracowania Zespołu prof. Piecucha [7] nie stwierdzono żadnych kłopotów ruchowych, w tym zmiany jakościowej uzyskanego koncentratu węglowego. W trakcie badań oznaczono, m.in. zużycie obciążnika cieczy ciężkiej przed i po próbie przemysłowej.

Otóż, z opracowania Zespołu prof. Piecucha [7] wynika, iż zużycie obciążnika magnetytowego ze Szwecji (tzw. fosdalenu), w przeliczeniu na tonę za miesiąc sierpień 1984 roku, wynosiło 0,546 kg/Mg. Natomiast obliczony w porównywalny sposób wskaźnik zużycia obciążnika magnetycznego uzyskanego z odpadów Huty Kościuszko, za okres od 30.08.1984 do 08.09.1984, wynosił nieco więcej, bo 0,829 kg/Mg nadawy.

Ogólnie ujmując, można było stwierdzić, że próba przemysłowa wypadła jednoznacznie pozytywnie i była to praktycznie próba komisyjna. W próbie tej brali udział: Zastępca Dyrektora Departamentu Górniczego ds. jakości produkcji Ministerstwa Górnictwa mgr inż. Jerzy Rammel, Dyrektor ds. Technicznych Huty Kościuszko mgr inż. Eugeniusz Placzek, Szef Wydziału Wielkich Pieców Huty Kościuszki mgr inż.

Józef Kawa, pracownicy zaplecza głównego mechanika Huty Kościuszko, mgr inż. Bogdan Sikora, inż. Michał Banasik oraz razem z prof. Piecuchem jego pracownicy z Politechniki Częstochowskiej, tj. prof. dr hab. inż. Anna M. Anielak (wówczas adiunkt), dr inż. Lida Siwiec-Dąbrowska (wówczas asystent) oraz technicy Elżbieta Ćwiklińska, Marek Makuła i Jerzy Sujecki. Natomiast ze strony KWK PIAST próbę w sposób ciągły nadzorowali Dyrektor ds. Jakości Produkcji mgr inż. Tadeusz Łapeta oraz Kierownik Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST mgr inż. Maria Kąkolewska [7].

Wszyscy, wyżej wymienieni są także wykazani jako współautorzy, osoby odpowiedzialne w sprawozdaniu z próby przemysłowej Zespołu prof. Piecucha, a pani mgr inż. Maria Kąkolewska była także na Komisji Odbioru tej części pracy tj. Próby Przemysłowej [7] główną referującą – co oznaczało w tej sytuacji, iż kierownictwo Zakładu Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST przejmuje odpowiedzialność za ewentualne wdrożenie opracowanej przez Zespół prof. Piecucha technologii (także całej logistyki) zastosowania pyłów pohutniczych do budowy cieczy ciężkich zawieszinowych i ich zastosowania w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST.

Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że prof. Piecuch opracował także analizę techniczno-ekonomiczną nie tylko obiegu wodno-mułowego Huty Kościuszko wraz z pełnym bilansem technologicznym, wydajnościowo jakościowym przepływu zawiesiny przemysłowej przez ten obieg, ale także podobna analiza została wykonana dla Huty Pokój, Huty Bobrek oraz Huty Katowice [6].

W tej analizie ekonomicznej, przyjęto, że obciążnik magnetyczny wyprodukowany w Hucie Kościuszko będzie kosztował 400 zł/Mg czyli będzie stanowił 50% kwoty importowanego ze Szwecji magnetytu, który kosztował 800 zł za tonę [5, 6].

Równocześnie, uwzględniając możliwości produkcyjne tego obciążnika w Hucie Kościuszko przyjęto, iż Huta Kościuszko może obsłużyć swym obciążnikiem 4 zakłady przeróbki mechanicznej węgla pobliskich kopalń o przeciętnej typowej wydajności [6].

Określony przez prof. Piecucha zysk dla Huty Kościuszko (strona 33. w pozycji [6]) wyniósłby około 2,9 mln zł/ rok plus korzyści wynikające z braku konieczności składowania aż około 66,6% odpadów szlamowych, przechwytywanych w obiegu wodno-mułowym przez filtry

próżniowe. Podobny zysk zanotowałyby łącznie kopalnie, które stosowałyby obciążnik magnetyczny odzyskany według propozycji prof. Piecucha ze szlamów Huty Kościuszko [6]. Zatem, w podobny sposób wyliczono zysk dla kopalń – czyli resortu jakim było Ministerstwo Górnictwa – w strukturze którego działał przecież Główny Instytut Górnictwa w Katowicach [6]. Co ciekawe, dziesięciodniowa próba przemysłowa, przeprowadzona w Zakładzie Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK PIAST w przeliczeniu na zaoszczędzony importowany obciążnik magnetyczny ze Szwecji – spowodowała zwrot kosztów pracy zleconej naukowo-badawczej do Politechniki Częstochowskiej przez Główny Instytut Górnictwa BZ XXI-2/1983/S [6, 10].

Zachodzi więc podstawowe pytanie: co było dalej z tym problemem w aspekcie aplikacyjnym?

Otóż, jak informuje w bezpośredniej rozmowie prof. Tadeusz Piecuch, a o czym także napisano w Roczniku Ochrona Środowiska Tom 6, rok 2004, Wydanie Specjalne na stronach 59–60 [10] koordynator projektu a jednocześnie Dyrektor Ośrodka Przeróbki Mechanicznej Węgla docent dr inż. Emanuel Romańczyk – cytując: „...czynił absolutnie wszystko aby najpierw prof. Piecuch nie otworzył tego tematu (...) a potem aby nie przyjąć komisyjnie (dokonać odbioru) sprawozdania tej pracy. Próba przemysłowa, a tym samym w ślad za tym czasowe wdrożenie w pełni udało się....” koniec cytatu.

W związku z powyższym, tu był wyraźny opór instytucjonalny. Otóż, prof. Piecuch w ten sposób wyjaśnia tą sprawę, że Główny Instytut Górnictwa w Katowicach nie mógł w owym czasie wykazać się w zakresie przeróbki mechanicznej węgla znaczącymi efektami w pracach aplikacyjnych a jednocześnie odgórnie zapewnił sobie status wyroczni w sprawach wszelkich wdrożeń w Resorcie Górnictwa Węglowego. Polegało to na tym, że każda praca naukowa, która mogła być ewentualnie wdrożona musiała uzyskać akceptację, a więc pozytywną opinię Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. W zakresie więc przeróbki mechanicznej węgla takie opinie wydawał docent dr inż. Emanuel Romańczyk. Niedługo potem, docent Emanuel Romańczyk, został Marszałkiem Województwa Śląskiego pozostając dalej wpływowym pracownikiem Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach.

Równocześnie niestety rozpoczęły się działania zmierzające do likwidacji polskiego hutnictwa, a w szczególności Hut Surowcowych

i nie tylko. Przykładowo przeznaczona do likwidacji Huta Kościuszko, wykazywała coraz mniejsze zainteresowanie modernizacją istniejącego obiegu wodno-mułowego pod kątem odzysku obciążnika magnetycznego (zamontowanie drugiego i trzeciego rekuperatora magnetycznego). W ciągu najbliższych lat stopniowej likwidacji uległy huty surowcowe, tj. Huta Kościuszko, Huta Pokój, Huta Bobrek, Huta Pierwszego Maja, Huta Szczecin [8] Huta Batory, Huta Baildon itd. itd. W innych hutach stopniowo, nawet drastycznie ograniczano produkcję surówki w tzw. wielkich piecach, co dotyczyło m.in. Huty Bieruta w Częstochowie (obecna Huta Częstochowa) oraz nowej Huty w Krakowie (obecna Huta Sędzimir).

Właśnie, w swoim obszernym artykule opublikowanym w Kwartalniku PAN *Gospodarka Surowcami Mineralnym*, nr 4, rok 1994 [9] opisuje prof. Piecuch likwidację polskiego hutnictwa żelaza w aspekcie skutków gospodarczych i ekologicznych w oparciu o analizę obszernej dokumentacji, będącej w gestii Biura Projektów BIPROHUT GLWICE oraz byłego Zjednoczenia Hutnictwa Żelaza i Stali w Katowicach, a przede wszystkim w oparciu o wywiad z zastępcą Dyrektora ds. Technicznych Zjednoczenia mgr inż. Karolem Lipowczanem, do której to publikacji odsyła się zainteresowanego czytelnika.

Oczywiście, w opinii prof. Piecucha, gdyby nie postawa negatywna docenta Emanuela Romańczyka jeszcze w trakcie kilku lat drugiej połowy lat 80. ubiegłego wieku można było z powodzeniem wykorzystywać obciążnik magnetyczny z Huty Kościuszko. Niestety w wyniku nacisków stosowanych przez docenta Emanuela Romańczyka na osoby odpowiedzialne, czyli dyrektorów ds. jakości produkcji pobliskich kopalń – nie wyrażano zgody na wdrożenie tej technologii.

Jak informuje prof. Piecuch takim konkretnym przykładem był Zakład Przeróbki Mechanicznej Węgla KWK Łagiewniki w Bytomiu gdzie Dyrektorem ds. Jakości Produkcji, był kolega z grupy dziekańskiej w czasie studiów prof. Piecucha – a mianowicie mgr inż. Lucjan Bombelka. Najpierw w pierwszej fazie uzgodnień wyraził On zgodę na wdrożenie, a potem po interwencji docenta Romańczyka swoją zgodę wycofał. Powyższa informacja w niniejszym artykule w czasopiśmie naukowym jest o tyle istotna, iż mamy tu do czynienia ze stykiem nauki, czyli badawczych prac aplikacyjnych z przemysłem, a równocześnie ze stykiem – jak mówi prof. Piecuch – niezdrowych egoistycznych ambicji,

a to wszystko zdaniem prof. Piecucha tworzy pewną wypadkową logistykę niepojętych utrudnień noszących, zdaniem prof. Piecucha, znamiona sabotażu gospodarczego.

Trzeba nadmienić w tym miejscu, że na możliwość zastosowania odpadowych pyłów pohutniczych wskazał także w swym referacie na XVI Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopaliny Z. Osadnik w artykule pt. „Wydzielanie związków żelaza z popiołów lotnych” [11], a więc na tej samej konferencji, na której referował swoją koncepcję prof. Piecuch [3].

3. Wymagane właściwości fizyczne dla materiału do tworzenia cieczy ciężkiej

Właśnie do prac nad zastosowaniem pyłowych odpadów hutnictwa żelaza do budowy zawieszinowych cieczy ciężkich na początku obecnego trzeciego wieku, a więc po roku 2000 przystąpili autorzy niniejszej pracy – publikacji [12–14, 18, 19].

Odpadem zawierającym również duży udział tlenków żelaza jest zendra powalcownicza zanieczyszczona olejami, stanowiąca poważny problem utylizacyjny.

Właśnie głównie tego typu odpadami zajęli się autorzy tej pracy – publikacji.

Obecność w niej olejów i ropopochodnych powyżej 1% oraz niewłaściwe parametry fizyczne, np. duży udział drobnoziarnistej frakcji (ponad 80%), uniemożliwiają w stanie nieprzetworzonym jej wykorzystanie w procesach redukcji. Stosując zaolejoną zendrę, jako składnik rud do spiekalni należałoby ją wcześniej pozbawić oleju i ropopochodnych przez np. ich wypalenie. Zendra posiadająca znaczny udział drobnoziarnistej frakcji nie może być w takiej postaci stosowana do wsadu wielkopiecowego. Opracowano jednak sposób jej przerobu na grudki, które rozwiązują problem zagospodarowania w metalurgii zaolejonej zendry [12–14]. Zagospodarowanie zendry powalcowniczej wolnej od zanieczyszczeń organicznych w procesach metalurgicznych nastęrcza mniej problemów, jednak i tu należy rozwiązać wykorzystanie zendry o dużym udziale drobnoziarnistej frakcji.

Wymienione wyżej odpady zawierające w swym składzie chemicznym znaczne udziały żelaza; średnio ~65%, mogą po odpowiednim przygo-

towaniu stanowić źródło taniego pozyskiwania uzupełniającego surowca, jako dodatku do materiału wsadowego przy produkcji cementu [4].

Zendra powalcownicza pozbawiona zanieczyszczeń olejowych charakteryzująca się dużą czystością jest cennym materiałem, który można wykorzystać w innych dziedzinach przemysłu. W pracy podjęto badania mające na celu wykorzystanie tego materiału, jako obciążnika cieczy ciężkiej zawiesinowej. Porównano **właściwości** niezaolejonej zendry powalcowniczej i szwedzkiego magnetytu wymagane przy tworzeniu cieczy ciężkiej zawiesinowej stosowanej w kopalniach węgla kamiennego.

Materiał stosowany na obciążnik cieczy ciężkiej zawiesinowej na przykład w kopalniach węgla kamiennego, gdzie ciecz ciężka używana jest do wzbogacania węgla, powinien charakteryzować się następującymi kryteriami:

- wysoką i stabilną gęstością dla uzyskania cieczy zawiesinowej o wymaganych parametrach,
- uziarnieniem w określonym zakresie frakcji o udziałach w miarę równo rozłożonych w poszczególnych zakresach,
- dobrymi własnościami magnetycznymi,
- własnościami hydrofilowymi.

Wymagane własności fizyczne dla magnetycznego obciążnika cieczy ciężkiej zawiesinowej opisuje norma PN-92/G-04601. Wynika z niej, że gęstość obciążnika powinna wynosić powyżej $4,0 \text{ g/cm}^3$, zawartość składników magnetycznych powyżej 90%, wymagana podatność magnetyczna powyżej 40%, natomiast uziarnienie materiału powinno charakteryzować się ziarnami powyżej 0,16 mm do 10%, a poniżej tej granicy ich rozkład uziarnienia uzależniony jest od potrzeb indywidualnego odbiorcy. Ponadto obciążnik magnetyczny powinien charakteryzować się własnościami hydrofilnymi, które zapewniają utworzenie w wodzie zawiesiny. Ciecz ciężka z zawiesiną ziaren magnetytu ma gęstość w granicach 2,5 do $2,7 \text{ g/cm}^3$. Gęstość ta jest odpowiednia do rozdzielania skały płonnej od węgla kamiennego, choć niekiedy przy węglowej nadawie zawierającej oprócz skały płonnej również przerosty węgla ze skałą, stosuje się ciecze o mniejszej gęstości na przykład 1,5 do $1,8 \text{ g/cm}^3$. Wymienione w normie własności zapewniają wykonanie cieczy zawiesinowej o zakładanej gęstości potrzebnej do skutecznego przeprowadzenia procesu flotacji, oraz wydajne wykorzystanie obciążnika z jak najmniejszymi stratami w warunkach pracy w obiegach zamkniętych.

Skład ziarnowy powinien zawierać się w granicach z tolerancją $\pm 15\%$ dla każdej klasy ziarnowej podanej w tabeli 1.

Tabela 1. Skład ziarnowy magnetytu
Table 1. Size distribution of magnetite

Klasa [mm]	Udział [%]
>0,15	0,0 ÷ 15,0
0,15 – 0,06	15,0 ÷ 40,0
0,06 – 0,04	25,0 ÷ 30,0
< 0,04	20,0 ÷ 50,0

4. Badanie właściwości zendr powalcowniczych z przeznaczeniem do tworzenia cieczy ciężkiej

4.1. Wybór materiałów do badań

Do badań właściwości zendr walcowniczych wybrano zendry powalcownicze niezaolejone, ponieważ nawet drobnoziarniste zendry zaolejone z uwagi na stwierdzone na wstępie badań słabe właściwości hydrofilowe, nie tworzą zawiesiny w wodzie, a znaczna część materiału pozostawia na powierzchni wody niezwilżalną warstwę. Wykorzystanie zaolejonej zendry, jako obciążnika do cieczy ciężkiej zawiesinowej powinno być zatem poprzedzone procesem jej odolejania, np. poprzez wypalenie z niej olejów i ropopochodnych, względnie ich chemiczną ekstrakcję lub zastosowanie procesów połączonej obróbki chemicznej i metod fizycznych. Jako materiału porównawczego w stosunku do niezaolejonych zendr powalcowniczych użyto szwedzkiej rudy magnetytowej stosowanej w KWK Chwałowice i Rydułtowy, a w przypadku badań własności magnetycznych dodatkowo wykorzystano spektralny magnetyt.

4.2. Analiza składu chemicznego materiału do tworzenia cieczy ciężkiej zawiesinowej

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań składu chemicznego próbek dwóch rodzajów zendr powalcowniczych i szwedzkiej rudy magnetytowej.

Z danych wynika, że zarówno niezaolejone zendry powalcownicze jak i magnetyty szwedzkie posiadają w swym składzie chemicznym udział składników magnetycznych (tlenków żelazowo-żelazawych) powyżej 90%, spełniają zatem wymagania dla składu chemicznego materiału do

tworzenia zawieszinowej cieczy ciężkiej. Zawartość i rodzaj zanieczyszczeń zarówno w powalcowniczej zendrze jak i w magnetytach jest podobny. Z badań składu chemicznego niezaolejonych zendr powalcowniczych i magnetytów szwedzkich wynika, zatem że odpad w postaci zendry powalcowniczej może pod tym względem zastąpić importowany magnetyt.

Tabela 2. Skład chemiczny zendr powalcowniczych i magnetytu szwedzkiego
Table 2. Chemical analysis of scale and magnetite from Sweden

Składnik	Skład chemiczny materiału, %			
	Droboziarnista zendra powalcownicza	Gruboziarnista zendra powalcownicza	Magnetyt szwedzki z KWK Chwałowice	Magnetyt szwedzki z KWK Rydułtowy
Fe _m	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe _c	66,830	67,210	65,110	66,020
FeO	39,200	38,400	24,500	25,600
Fe ₂ O ₃	51,970	54,670	67,130	66,470
SiO ₂	0,790	0,070	0,390	0,460
CaO	0,370	0,010	0,110	0,070
MgO	0,050	0,310	0,140	0,070
MnO	0,580	0,250	0,060	0,060
Al ₂ O ₃	0,050	0,220	0,170	0,090
TiO ₂	0,021	0,056	0,336	0,233
SO ₃	0,001	0,001	0,001	0,001
Cr ₂ O ₃	0,120	0,080	0,030	0,030
P ₂ O ₅	0,008	0,018	0,001	0,001
Alkalia	0,024	0,077	0,270	0,019
Straty prażenia, %	+ 3,78	+ 2,80	+2,36	+2,58

4.3. Analiza gęstości materiału do tworzenia cieczy ciężkiej zawieszinowej

W tabeli 3 zestawiono wyniki badań gęstości rzeczywistej próbek zendr powalcowniczych i szwedzkiej rudy magnetytowej. Analizę wykonano według normy PN/EN 993-2: 1997. We wszystkich analizowanych próbkach materiałów średnia gęstość rzeczywista przekraczała zalecaną wartość gęstości dla materiału na obciążnik zawieszinowej cieczy ciężkiej, wynoszącą 4,0 g/cm³. Uzyskane wartości gęstości rzeczywistej dla zendr powalcowniczych były na poziomie 4,92–4,93 g/cm³ i były w niewiele niższe od uzyskanego dla magnetytów szwedzkich, dla których gęstość

wynosiła 4,959–5,086 g/cm³. Niewielkie różnice w gęstościach rzeczywistych badanych materiałów są spowodowane małą ilością zanieczyszczeń, co wykazały wcześniej badania składu chemicznego.

Tabela 3. Gęstość zendr powalcowniczych i magnetytu szwedzkiego

Table 3. Density of scale and magnetite from Sweden

Badanie	Rodzaj próbki			
	Drobnoziarnista zendra powalcownicza	Gruboziarnista zendra powalcownicza	Magnetyt szwedzki z KWK Chwałowice	Magnetyt szwedzki z KWK Rydułtowy
Średnia gęstość, g/cm ³	4,922	4,930	4,959	5,086

4.4. Analiza sitowa materiału do tworzenia cieczy ciężkiej zawiesinowej

W tabeli 4. zestawiono wyniki analizy sitowej próbek zendr powalcowniczych i szwedzkiej rudy magnetytowej.

Tabela 4. Analiza sitowa zendr powalcowniczych i magnetytu szwedzkiego.

Table 4. Size distribution of scale and magnetite from Sweden

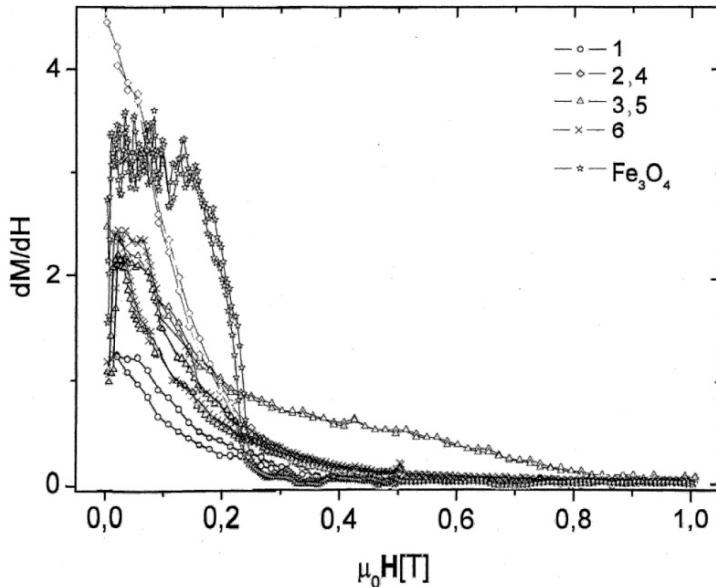
Wielkość ziaren, mm	Udział klasy ziarnowej, %			
	Drobnoziarnista zendra powalcownicza	Gruboziarnista zendra powalcownicza	Magnetyt szwedzki z KWK Chwałowice	Magnetyt szwedzki z KWK Rydułtowy
>6,0	0	0	0	0
5,0–6,0	0	0	0	0
4,0–5,0	0	0	0	0
3,0–4,0	0	0	0	0
2,0–3,0	0	0	0	0
1,0–2,0	0,2	0	0,3	0,3
0,5–1,0	0,2	0,2	0,4	0,2
0,25–0,5	3,3	7,5	0,9	1,0
0,16–0,25	16,2	15,6	6,4	14,3
0,125–0,16	5,6	18,0	10,3	15,8
0,09–0,125	13,3		13,9	25,3
0,063–0,09	13,8	20,8	45,5	28,3
0,04–0,063	17,5	37,9	15,2	11,8
<0,04	29,9		7,1	3,0

Z uwagi na fakt, że zarówno drobno jak i gruboziarnista zendra posiadają niejednorodne i zmienne wielkości ziaren w zależności od miejsca pobrania odpadu, próbki zendr powalcowniczych w warunkach laboratoryjnych poddano rozdrobnieniu w młynie kulowym starając się uzyskać wymaganą dla materiału na obciążnik cieczy ciężkiej klasę ziarnową poniżej 0,16 mm. Tak przygotowane próbki zendr porównano pod względem uziarnienia z magnetytami szwedzkimi. Próbki magnetytów szwedzkich posiadają udział klasy ziarnowej powyżej 0,16 mm na poziomie niższym od 2%, natomiast w przygotowanych próbkach zendr powalcowniczych udział klasy ziarnowej powyżej 0,16 mm wynosił 3,7–7,7%, a więc we wszystkich badanych próbkach materiałów udział klasy ziarnowej powyżej 0,16 mm nie przekraczał zalecanej dla obciążnika wartości 10%. Podczas mielenia próbek zendr powalcowniczych stwierdzono, że łatwo ulegają one rozdrobnieniu, jednak fakt ten jest powodem powstania zbyt dużego udziału podziarna, co w warunkach przemysłowego ich stosowania może być przyczyną nadmiernego zużycia obciążnika.

4.5. Analiza właściwości magnetycznych materiału do tworzenia cieczy ciężkiej

Pomiary właściwości magnetycznych próbek przeprowadzono za pomocą magnetometru wibracyjnego "Lake Shore". Miały one na celu wyznaczenie podatności magnetycznej próbek $\chi = dM/dH$ od przyłożonego pola magnetycznego. Pomiary wykonano w temperaturze pokojowej, a ziarna próbek były umieszczone luźno w uchwycie na próbki i mogły się swobodnie obracać. Te warunki imitują pracę separatora magnetycznego. Wykresy zależności podatności magnetycznej $\chi = dM/dH$ od przyłożonego pola magnetycznego przedstawiono na rysunku 1. Największe wartości podatności magnetycznej w zakresie małych pól wykazuje traktowana jako wzorzec próbka proszkowego stechiometrycznego magnetytu. Nieco niższą od próbki wzorcowej podatność magnetyczną wykazują próbki 2 i 4, czyli magnetytu szwedzkiego. Wartości podatności magnetycznej dla próbek grubej zendry powalcowniczej oznaczone na rysunku 1 numerami 3, 5 i 6 są nieco poniżej wartości uzyskanych dla próbek magnetytu szwedzkiego. Najniższe wartości podatności magnetycznej uzyskano dla próbki drobnej zendry powalcowniczej – próbka 1. Na tym etapie badań nie można jednoznacznie stwierdzić czy uzyskany poziom podatności magnetycznej dla drobnej zendry eliminuje ten materiał jako obciążnik. Można przypuszczać, że ziarna drobnej zendry za-

wierać mogą kryształy o momentach magnetycznych antyrównoległych, ale wymaga to prowadzenia dodatkowych badań [18, 19].



Rys. 1. Podatność magnetyczna dM/dH dla próbek zendr oraz magnetytu
Fig. 1. Magnetic susceptibility dM/dH for scale nad magnetite

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania możliwości zastosowania niezaolejonej zendry powalcowniczej, jako obciążnika do tworzenia zawieszinowej cieczy ciężkiej stosowanej w procesach rozdzielania skały płonnej od węgla kamiennego, polegały na porównaniu składu chemicznego, średniej gęstości rzeczywistej, uziarnienia i podatności magnetycznej drobno i grubo ziarnistej niezaolejonej zendry powalcowniczej z próbkami szwedzkiego magnetytu stosowanego w kopalniach węgla kamiennego. W ich wyniku stwierdzono, że pod względem składu chemicznego, średniej gęstości rzeczywistej niezaolejone zendry powalcownicze tylko w niewielkim stopniu różnią się od magnetytu szwedzkiego. Wykazane gęstości rzeczywiste zendr powalcowniczych odpowiadają wymaganiom dla obciążnika do tworzenia cieczy ciężkiej. Badanie uziarnienia próbek zendr powalcowniczych wykazały, że możliwe jest uzyskanie dla mate-

riału na obciążnik do tworzenia zawieszinowej cieczy ciężkiej wymaganej wielkości ziarn i w miarę równomiernie rozłożonych udziałach w poszczególnych zakresach ich wielkości. Badanie na podatność magnetyczną próbek zendr wykazały niższe wartości w porównaniu do magnetytów szwedzkich, przy czym dla próbek grubej zendry powalcowniczej różnica ta jest niewielka i materiał ten może być zastosowany do tworzenia cieczy ciężkiej. Najniższą podatność magnetyczną cechuje próbki drobnej zendry powalcowniczej. Nie można jednak jednoznacznie stwierdzić czy uzyskany poziom podatności magnetycznej dla drobnej zendry powalcowniczej eliminuje ten materiał, jako obciążnik do tworzenia zawieszinowej cieczy ciężkiej. Wymaga to przeprowadzenia dodatkowych badań. Badania wykazały, że możliwe jest zastąpienie magnetytu szwedzkiego przez niezaolejoną zendrę powalcowniczą. Dalsze badania będą prowadzone nad wykorzystaniem do tego celu uciążliwego ekologicznie odpadu, jakim jest zaolejona zendra powalcownicza.

Literatura

1. **Piecuch T., Kawa J., Sikora B., Barańska-Radzikowska A., Radzikowski W., Anielak A.M.:** *Możliwość utylizacji pyłów podymnicowych w stanie suchym oraz wielkopieczowych w stanie suchym i mokrym w Hucie Kościuszko*. Zlecenie z dnia 29.01.1980. Nr MZ 21/PP/3749/S21/1980 wystawione przez Hutę Kościuszko, do Zespołu Rzeczoznawców SITG w Katowicach zarejestrowane pod numerem 269/1980. Maszynopis. Stron 46. Tablic 13.
2. **Piecuch T.:** *Koncepcja utylizacji pyłów pohnicznych do budowy cieczy ciężkiej*. Materiały Konferencyjne. II Konferencja Naukowa Instytutu Inżynierii Ładowej (na prawach Wydziału) Politechniki Częstochowskiej. Jubileusz 60-letniej rocznicy urodzin i 30-letniej działalności naukowo-badawczej prof. zw. dr inż. Józefa Adama Ledwonina. 123–126. Częstochowa październik 1981.
3. **Piecuch T., Siwiec-Dąbrowska L., Anielak A.M.:** *Próba utylizacji powielkopieczowych odpadowych pyłów metalurgii czarnej do budowy zawieszinowych cieczy ciężkich na przykładzie Huty Kościuszko*. XVI Krakowska Konferencja Naukowo-Techniczna Przeróbki Kopalini. Zbiór Referatów. 35–46 (1982).
4. **Piecuch T., Barańska-Radzikowska A., Latos E.:** *Możliwość a celowość utylizacji pyłów powielkopieczowych hutnictwa żelaza*. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Seria Nauki Podstawowe. Nr 22. Rok 1982. 5–20.

5. **Piecuch T., Siwiec-Dąbrowska L.:** *Koncepcja techniczno-ekonomiczna możliwości utylizacji wielkopieczowych pyłów gardzielowych z mokrego oczyszczenia gazów.* HUTNIK Nr 5. Rok 1983. 174–176.
6. **Piecuch T., Siwiec-Dąbrowska L.:** *Badania nad możliwością i celowością zastosowania pyłów pohutnicznych do budowy zawieszinowych cieczy ciężkich.* Instytut Inżynierii Ładowej na Prawach Wydziału. Zakład Technologii Ścieków i Utylizacji Odpadów. Politechnika Częstochowska. Praca Naukowo-Badawcza. BZ-XXI- 2/1983/S. Zleceniodawca Główny Instytut Górnictwa Katowice – zlecenie z dnia 13.02.1983. Nr 13/36/021211945/83-DTE. Maszynopis. Stron 103. Tablic 23.
7. **Piecuch T. i Zespół (łącznie 15 osób):** Aneks pt. Próba przemysłowa jako załącznik do pracy pt. Badania nad możliwością i celowością zastosowania pyłów pohutnicznych do budowy zawieszinowych cieczy ciężkich. Nr BZ XXI-2/1983/S Zakład Technologii Ścieków i Utylizacji Odpadów. Instytut Inżynierii Sanitarnej Politechnika Częstochowska. Rok 1984, Stron 10. Tablic 4.
8. **Piecuch T., Dąbrowski J.:** *Badania technologiczne nad możliwością zawrócenia szlamowych odpadów do procesu wielkopieczowego na przykładzie Huty Szczecin.* HUTNIK Nr 9. Rok 1993. 287–292.
9. **Piecuch T.:** *Restrukturyzacja czy likwidacja polskiego hutnictwa żelaza-skutki gospodarcze i ekologiczne.* Kwartalnik PAN – Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Zeszyt Nr 4. Rok 1994.
10. **Piekarski J.:** *Jubileusz 35-lecia pracy zawodowej, społecznej prof. dr hab. inż. Tadeusza Piecucha.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom 6. Rok 2004. 240 (2004).
11. **Osadnik Z.:** *Wydzielanie związków żelaza z popiołów lotnych.* XVI Krakowska Konferencja Naukowo-Techniczna Przeróbki Kopalin. Zbiór Referatów. 29–34. Kraków październik 1982.
12. **Wcisło Z., Stachura R., Pasierb J.:** *Utylizacja zaolejonych powalcowanych mulków zgorzelinowych* Hutnik – Wiadomości Hutnicze. Nr 10. 391–393 (2002).
13. **Łędzki A., Stachura R., Wcisło Z.:** *Zagospodarowanie wybranych odpadów hutniczych w produkcji grudek stanowiących wsad do wielkiego pieca.* Materiały V Konferencji Naukowej – Odpady 2003. 58–66. Zakopane 29–31 maj 2003.
14. **Łędzki A., Stachura R., Wcisło Z.:** *Sposób przetwarzania odpadów hutniczych.* Patent nr P-353 427 B1 z dnia 20.10.2007.
15. **Łędzki A, Wcisło Z, Stachura R., Klimczyk A., Bernasowski M.:** *Opracowanie i wdrożenie technologii przetwarzania odpadowych pyłów i szlamów metalurgicznych na komponenty wsadowe do procesów hutniczych i produkcji cementu.* Projekt celowy Nr 6 T08 2004 C/06393, realizacja w 2004–2007, niepublikowane.

16. Polska Norma PN-92/G-04601.
17. Polska Norma PN/EN 993-2: 1997.
18. **Łędzki A., Sanak-Rydlowska S., Tora B., Mazurkiewicz M., Stachura R., Wcisło Z., Klimczyk A., Bernasowski M.:** *Możliwości zastosowania żendry powalcowniczej jako obciążnika cieczy ciężkiej* (w) „Teoretyczne i praktyczne problemy zagospodarowania odpadów hutniczych i przemysłowych” XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa. 29–36. Zakopane 2011. ISBN 978-83-928069-8-1.
19. **Tora B., Kurzac M., Tajchman Z.:** *Badanie możliwości uzyskania pigmentów żelazowych z odpadów metalurgicznych*. Rocznik Ochrona Środowiska Tom 11 Rok 2009 cz. 1. 571–582. Koszalin 2009.

Method of Metallurgical Waste Scale-utilization

Abstract

The project aims to develop technologies for the production of a sinker for heavy media (used in gravity separation of the minerals) on the basis of metallurgical wastes. Research includes the study of physicochemical properties of waste as a sinker, and the development of technology to modify these properties. The technology will be waste-less. Annual requirements of the sinker is approximately 15 thousand tons, and is met by imports. The product, which will result from the realization and implementation of the project will replace the imported raw material.

In the years 1980–1985 prof. Tadeusz Piecuch with his team [1–8] conducted research and developed the technology and logistics of implementation of the mill waste sludge from wet cleaning of exhausts from blast furnace in Kosciuszko Ironworks for making a heavy liquid suspension. Industrial test of possibility of implementation of heavy liquid made from waste was carried out in Piast coal mine in Bieruń Nowy from 30.08.1984 to 08.09.1984. An attempt is successful [7].

In this publication, the authors from AGH Krakow come back to this issue at the beginning of the third century [12–15, 18, 19].