

Załącznik nr 2  
do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego  
Autoreferat  
- wersja polskojęzyczna

dr inż. Sylwester Żelazny  
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki  
Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej  
Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej  
Katedra Technologii Chemicznej i Biotechnologii Środowiska  
Kraków, 2019

1. Imię i Nazwisko:

**Sylwester ŻELAZNY**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej

- 2007        **Certyfikat LCCI International Qualification z jęz. angielskiego**  
Poziom B1  
**Studium Pedagogiczne dla asystentów**
- 2001        Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Centrum Pedagogiki  
i Psychologii  
**Doktor nauk technicznych, specjalność technologia nieorganiczna**
- 1999        Studium Doktoranckie Wydziału Inżynierii Środowiska  
Wydziału Inżynierii i Technologii Chemicznej Politechniki Krakowskiej  
Temat pracy: *„Synteza nowych włókien nieorganicznych na drodze  
rekrytalizacji gipsu”*  
Promotor: dr hab. inż. Czesław Ostrowski, prof. PK  
Obrona pracy: 12.1999  
**Magister inżynier**
- 1992        Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,  
Wydział Chemiczny  
Kierunek: Technologia Chemiczna,  
Specjalność: Technologia Nieorganiczna;  
Temat pracy: *„Próby oczyszczania kwasu fosforowego ekstrakcyjnego w  
celu otrzymania CaHPO<sub>4</sub> metoda ciągłą”*  
Promotor: dr inż. Adam Kozak  
Obrona pracy: 06.1992

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2003 - obecnie        **Adiunkt naukowo-dydaktyczny**  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,  
Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej,  
Katedra Technologii Chemicznej i Biotechnologii Środowiska
- 2000 - 2003        **Asystent naukowo-dydaktyczny**  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,  
Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej,  
Katedra Technologii Chemicznej i Biotechnologii Środowiska
- 1995 - 1999        **Studium Doktoranckie**  
Wydział Inżynierii Środowiska,  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
- 1992 - 1995        **Starszy referent techniczny**  
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki,  
Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zmianami):**

**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:**

**Zagospodarowanie odpadów z górnictwa i energetyki w celu ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko naturalne**

**4.2. Cytowane w Autoreferacie oryginalne naukowe prace twórcze będące podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego:**

H1. Cz.Ostrowski, **S.Żelazny**, *Sposób otrzymywania nieorganicznych włókien gipsowych*, Patent, PL 185209 B1, przyznany od 30.04.2003

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 30**

H2. Cz.Ostrowski, **S.Żelazny**, W.Natanek, *Attempt at waste management from Belchatów plant for production of insulating materials*, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 14, Suppl. 4, 2005, pp. 155-157

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2005: 0,352**

H3. **S.Żelazny**, A.Jarosiński, *Research on the complex processing of waste deriving from enrichment process of zinc and lead ores*, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 18, No 1B, 2009, pp 278-282

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2009: 0,947**

H4. B.Włodarczyk, **S.Żelazny**, *Analiza możliwości zagospodarowania lub zabezpieczenia istniejących składowisk odpadów poflotacyjnych z procesu wzbogacania rud cynku i ołowiu*, Czasopismo Techniczne Wyd. PK, Z. 2-Ch, (2003) s. 41-47

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 13**

H5. A.Jarosiński, **S.Żelazny**, A.K.Nowak, *Investigation on backfilling compositions on the basis of the flotation waste of the zinc and lead ores*, Polish Journal of Chemical Technology, 8,(3), 2006, pp. 57-59

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2014: 0,536**

H6. K.Chobot, A.Jarosiński, Z.Kowalski, J.Kulczycka, T.Kurek, Z.Mysiek, J.Palarski, P.Pierzyna, F.Plewa, M.Popczyk, B.Włodarczyk, **S.Żelazny**, Patent, PL 207982 B1, *Mieszanka podsadzkowa i sposób otrzymywania mieszaniny podsadzkowe*, przyznany od 04.12.2006 (wdrożony)

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 60**

H7 A.Jarosiński, A.Kozak, **S.Żelazny**, *Utilization of solutions obtained after magnesium removal from sphalerite concentrates with spent electrolyte derived from winning of cathode zinc*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 29, Z4, 2013, s. 107- 117

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 20, IF 2013: 0,632**

H8. Z.Kowalski, **S.Żelazny**, B.Włodarczyk, *Koncepcja wykorzystania roztworów z odmagnezowania blendy w Z.G."Trzebionka" do produkcji siarczanu magnezu*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, vol. 19, (2003), s. 95-102

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 20, IF 2014: 0,54**

H9. A.Jarosiński, **S.Żelazny**, B.Włodarczyk, *Analiza możliwości przeróbki niektórych odpadów magnezowych na nawozowy siarczan(VI) magnezu*, *Ecological Chemistry and Engineering*, t.12, Opole, 2005

**punktacja MNiSW<sub>2015</sub> = 11**

H10. A.Jarosiński, A.Kozak, **S.Żelazny**, P.Radomski, *Removal of magnesium from sphalerite concentrates by means of spent electrolyte deriving from the process of cathode zinc extraction*, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, Vol.28 –Issus 3, 2012, s. 43-53

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 20, IF 2012: 0,342**

H11. K. Pielichowska, S. Żelazny, *Assesment of the usability of the Mg(OH)<sub>2</sub> obtained from the solution after sphalerite leaching for the winning of polyethylene composition*, *Polish Journal of Chemical Technology*, 10, 4, 2008, pp. 37-39

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2008: 0,47**

H12. A.Jarosiński, **S.Żelazny**, M.Olek, J.Baron, J.Zabagło, W.Żukowski, M.Fatyga, *Otrzymywanie prażonki cynkowej w procesie konwersji termicznej w piecu fluidyzacyjnym. Część I. Modyfikacja procesu odmagnezowania i flotacji koncentratu sfalerytowego*, *Przemysł Chemiczny*, 90(5), 2011, s. 809-812

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2014: 0,399**

H13. M.Olek, J.Baron, J.Zabagło, W.Żukowski, A.Jarosiński, **S.Żelazny**, M.Fatyga, *Otrzymywanie prażonki cynkowej w procesie konwersji termicznej w piecu fluidyzacyjnym. Część II. Badania kinetyki utleniania ZnS w reaktorze fluidyzacyjnym*, *Przemysł Chemiczny*, 90(5), 2011, 965-969

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2014: 0,399**

H14. S. Żelazny, *Zagospodarowanie odpadów z procesów flotacji rud cynkowo-ołowiowych*, Przemysł Chemiczny, t.97, nr 9, 2018, 1569-1574

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2014: 0,399**

H15. S. Żelazny, V. Čablik, A. Woynarowska, L. Čabliková, *Badania popiołu lotnego z biomasy w aspekcie jego zagospodarowania*, Przemysł Chemiczny, 93/4, 2014, s. 550–554

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2014: 0,399**

H16. S. Żelazny, V. Cablik, L. Cabliková, *Próby pozyskania potasu i fosforu z popiołu lotnego z biomasy*, Przemysł Chemiczny, 94/(6), 2015, s. 956 – 959

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2015: 0,399**

H17. S. Żelazny, Pat. PL 231753, *Granulowany nawóz potasowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu potasowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, (2019)

**punktacja MNiSW<sub>2018</sub> = 30**

H18. S. Żelazny, Pat. PL231700, *Granulowany nawóz potasowo-fosforowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu potasowo-fosforowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, (2019)

**punktacja MNiSW<sub>2018</sub> = 30**

H19. S. Żelazny, Pat. PL 231041, *Granulowany nawóz azotowo-fosforowo-potasowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu azotowo-fosforowo-potasowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, (2019)

**punktacja MNiSW<sub>2018</sub> = 30**

H20. S. Żelazny, H. Świnder, B. Białecka, A. Jarosiński, *Odzysk pierwiastków ziem rzadkich z popiołów lotnych, cz. I. Ługowanie*, Przemysł Chemiczny, t.96, nr 11, 2017, 2279-2283, s. 956 – 959

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2017: 0,399**

H21. S. Żelazny, H. Świnder, B. Białecka, A. Jarosiński, *Odzysk pierwiastków ziem rzadkich z popiołów lotnych, cz. II. Wytrącanie z roztworu*, Przemysł Chemiczny, t.96, nr 11, 2017, 2284-2290

**punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 15, IF 2017: 0,399**

H22. **S.Żelazny**, B.Białecka, A.Jarosiński, H.Świnder, Pat. P.423021, *Sposób odzysku metali ziem rzadkich z popiołów lotnych*, (2019)

**punktacja MNiSW<sub>2018</sub> = 30**

**IF = 7,011 (rok wydania), punktacja MNiSW<sub>2016</sub> = 463**

### **4.3. Omówienie przebiegu prac badawczych, ich celów naukowych i osiągniętych wyników**

#### **Wprowadzenie**

Osiągnięcie habilitacyjne zostało przedstawione w postaci cyklu publikacji powiązanych tematycznie, które zestawiono powyżej. W skład cyklu wchodzi 17 artykułów w tym 15 opublikowanych w czasopismach z listy A MNiSW, 2 artykuły opublikowane z listy B wykazu MNiSW oraz 6 patentów w tym 1 wdrożony do przemysłu. Sumaryczny *impact factor* wymienionych prac w roku wydania wynosi 7,011, a liczba punktów ministerialnych liczonych na rok 2016 wynosi 463. Zgodnie z oświadczeniami współautorów dołączonymi do wniosku średni udział habilitanta w przedstawionych pracach wynosi około 68%.

Celem naukowym badań było opracowanie metod zagospodarowania odpadów z górnictwa i energetyki powstających na terenie Polski. Przedstawiony cykl publikacji dotyczy prac związanych z ochroną środowiska w dwóch gałęziach gospodarki mających duże znaczenie w Polsce. Pierwsza określa możliwości ograniczenia lub zagospodarowania odpadów z górnictwa rud cynku i ołowiu. Badania dotyczące drugiej części dotyczyły prac związanych z zagospodarowaniem pozostałości po spalaniu paliw (węgla i biomasy), zwłaszcza popiołów lotnych. Opisane w pracach naukowych i patentach wyniki badań w zdecydowanej większości zakończyły się pozytywnym efektem i przyczyniły się lub mogą się przyczynić do ograniczenia negatywnego wpływu tych gałęzi przemysłu na stan środowiska naturalnego w Polsce.

#### **4.3.1. Odpady z procesu odsiarczania gazów spalinowych**

Obszar badań w ciągu mojej pracy naukowej w dużej części był skoncentrowany na zmniejszeniu niekorzystnego oddziaływania przemysłu na środowisko naturalne. Pierwszy etap związany był ściśle z tematyką pracy doktorskiej, która dotyczyła zagospodarowania gipsu odpadowego z procesu odsiarczania gazów spalinowych z Elektrowni „Bełchatów”. Temat ten był o tyle interesujący, że w latach dziewięćdziesiątych w Polsce zaczęto coraz powszechniej stosować mokre odsiarczanie gazów spalinowych z procesów spalania węgla. W procesie tym powstają duże ilości gipsu, które w tamtym okresie nie znajdowały gospodarczego wykorzystania i były składowane na hałdach. Gips ze składowiska z Elektrociepłowni „Bełchatów” był surowcem stosowanym w moich badaniach do produkcji nieorganicznych włókien.

W wyniku rekrystalizacji gipsu w środowisku kwaśnym w podwyższonej temperaturze z dodatkami, uzyskałem kryształy tego surowca w postaci włókien o długości powyżej jednego centymetra [1,2]. Technologia wytwarzania włókien gipsowych tą metodą została opatentowana [H1] i opublikowana [4].

Wykonałem również wiele badań dotyczących właściwości otrzymanych włókien oraz możliwości ich zastosowania jako surowca do produkcji materiałów budowlanych.

Wyniki badań okazały się bardzo interesujące zwłaszcza przy produkcji płyt izolacji cieplnej i akustycznej. Współczynnik przewodnictwa cieplnego otrzymanych kompozytów był na poziomie  $\lambda=0,045\text{W/mK}$ , czyli zbliżony do przewodnictwa styropianu, natomiast ich właściwości ekologiczne, zdrowotne oraz odporność na wysokie temperatury jest zdecydowanie lepsza [5,6].

Współczynnik pochłaniania dźwięku wytworzonych płyt na bazie włókien gipsowych jest lepszy od warstwy wełny mineralnej o tej samej grubości [H2,6]. Z tego wynika, że badania zakończyły się pozytywnym efektem zwłaszcza pod względem ekologicznym, ponieważ pozwoliły zagospodarować odpad, z którego uzyskałem użyteczny produkt.

#### **4.3.2. Odpady z procesów wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych**

Na początku nowego tysiąclecia w wyniku zmian przepisów dotyczących ochrony środowiska oraz większej wrażliwości społecznej odnośnie tego zagadnienia Zakłady Górnicze „Trzebionka”, a następnie Zakłady Górniczo Hutnicze „Bolesław”, podjęły współpracę z Politechniką Krakowską w sprawie pomocy w rozwiązaniu najistotniejszych problemów w zakresie ochrony środowiska. Temat wydał mi się bardzo interesujący i postanowiłem zaangażować się w pracę zespołu, który podjął się jego realizacji.

Rejonami szczególnie zagrożonymi odpadami cynkonośnymi są obszary wydobywania rud Zn-Pb i składowania odpadów powstałych w wyniku otrzymywania koncentratów cynku i ołowiu. W Polsce istnieją dwa podstawowe składowiska odpadów pochodzących z procesów wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych.

ZG „Trzebionka” zajmowały się wydobywaniem rudy cynkowo-ołowiowej i jej wzbogacaniem w celu otrzymania koncentratu sfalerytowego (ZnS) o zawartości cynku powyżej 60%, natomiast ZGH „Bolesław” w kopalni Pomorzany pozyskuje rudę, z której w podobnej technologii otrzymuje koncentrat, który w procesie spalania w piecu fluidyzacyjnym przerabia na tlenek cynku. Tlenek cynku roztwarzany jest w kwasie siarkowym, a z otrzymanego roztworu siarczanu cynku metodą elektrolityczną otrzymywany jest cynk.  $\text{SO}_2$  powstałe w wyniku spalania siarczku cynku służy jako surowiec do otrzymywania kwasu siarkowego.

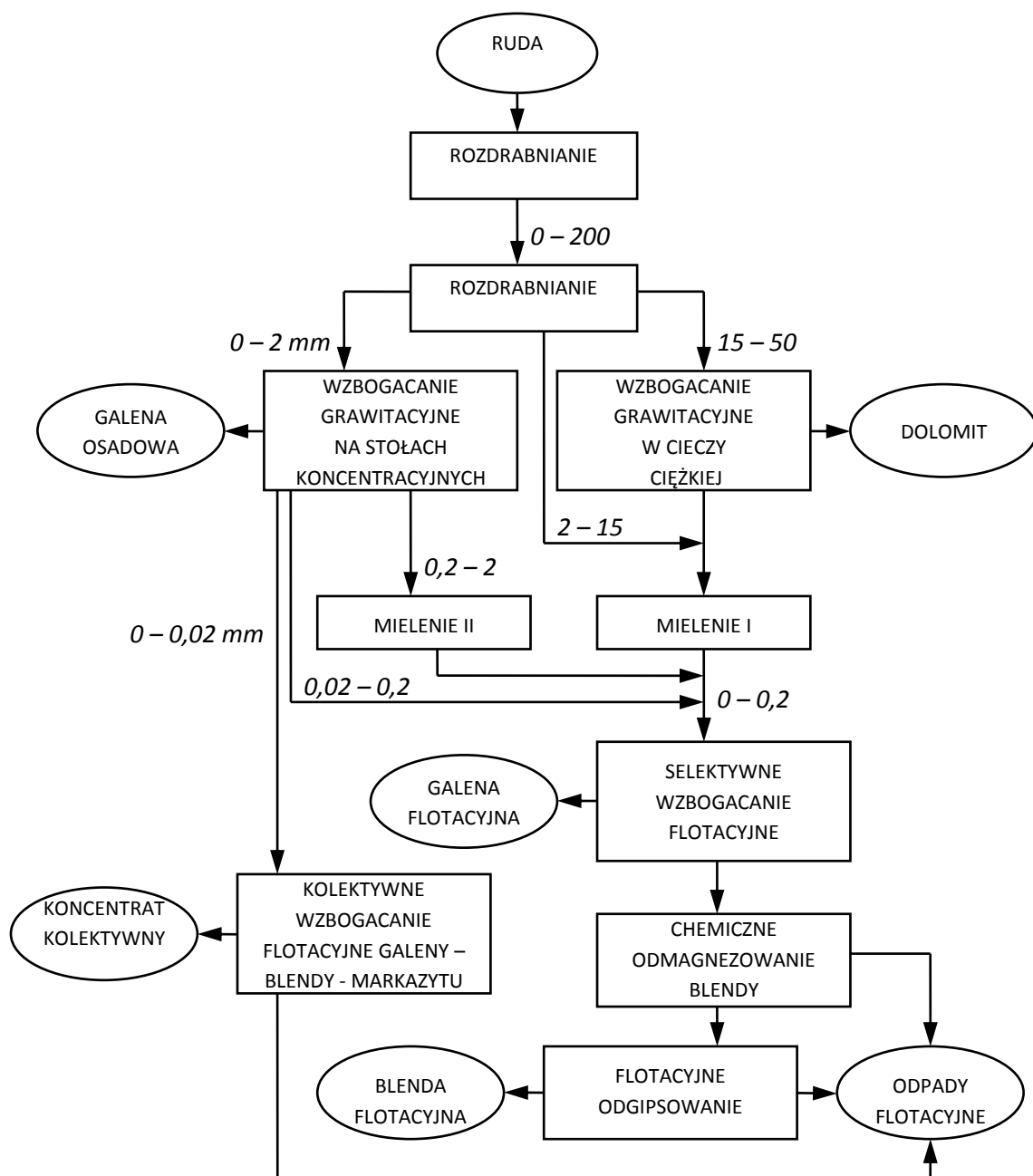
Pierwszym etapem moich prac w zespole, powołanym do współpracy z ZG „Trzebionka”, była ocena stanu środowiska w okolicy Zakładu, a zwłaszcza w okolicy stawu osadowego, na którym składowane były odpady z procesu wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych [7].

Podjęte prace badawcze dotyczyły stawu osadowego powstałego w wyniku działalności kopalni „Trzebionka”. Zakład został uruchomiony w roku 1962, a zlikwidowany w 2009 roku. W okresie maksymalnej produkcji, w latach 90-tych i na początku XXI wieku, była to jedna z największych podziemnych kopalni rud cynku i ołowiu na świecie. Wielkość jej wydobywania przekraczała wtedy 2,3 mln ton rudy na rok.

Pozyskanie wysokojakościowych selektywnych koncentratów cynku i ołowiu wiąże się z wieloma operacjami i procesami technologicznymi. W większości z nich powstają odpady, które deponowane są na stawach osadowych. Schemat wzbogacenia rud Zn-Pb zlikwidowanej kopalni „Trzebionka” i działającej kopalni „Pomorzany” przedstawiono na rysunku 1 [8]. Staw osadowy Zakładów Górniczych „Trzebionka” jest obiektem o znacznych rozmiarach, wykonanym w formie nadpoziomowego składowiska o wysokości względnej około 60m i zajmującym powierzchnię około 64ha. Bryła stawu zbudowana jest głównie z zmielonego dolomitu, stanowiącego odpad z procesu wzbogacania flotacyjnego rud Zn-Pb. Średnie zawartości cynku w tych odpadach są stosunkowo wysokie, od 0,1% do 0,5%, wobec czego można ocenić, że w sąsiedztwie zakładów przeróbki rud rocznie na składowiskach deponowanych jest kilka tysięcy ton tych metali [9].

Końcowym etapem ciągu technologicznego przeróbki mechanicznej rud Zn-Pb jest transport hydrauliczny i składowanie odpadów flotacyjnych na stawach osadowych. Odpady te w postaci pulpy pompowane są za pomocą pompy. Stanowią one około 55-62% masy wydobytej i przerabianej rudy Zn-Pb.

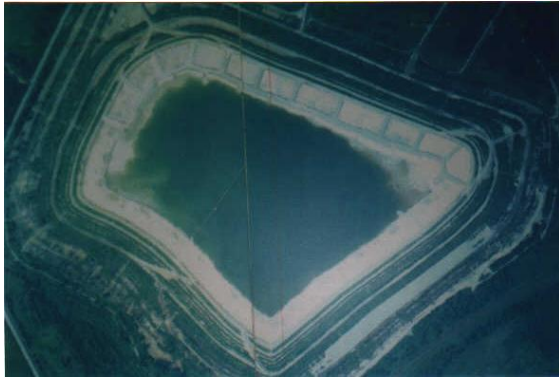




Rys.1. Schemat wzbogacania rud Zn-Pb w Z.G. „Trzebionka” S.A. oraz ZGH Bolesław [8]

Pulpa kierowana jest do hydrocyklonu, zadaniem którego jest wydzielenie dwóch frakcji: frakcja gruba składająca się z drobnego piasku służy do umocnienia obwałowania stawu, natomiast frakcja pylista, rozprowadzana jest po powierzchni stawu.

Na rys.2 pokazano staw osadowy, na którym były deponowane odpady z ZG „Trzebionka” [10], natomiast na rys. 3 staw osadowy ZGH „Bolesław”.

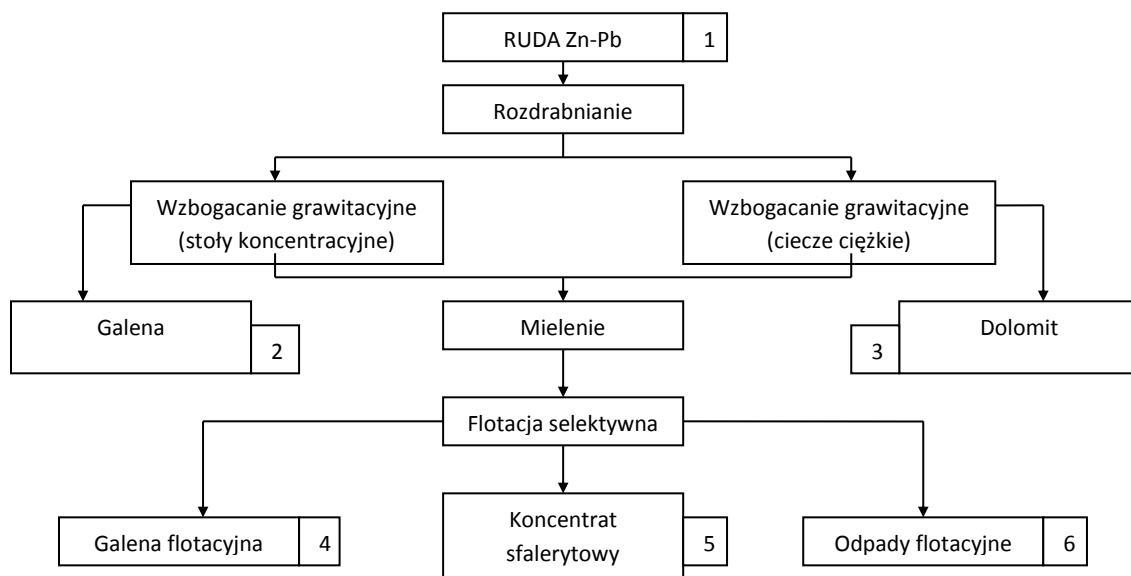


Rys.2. Staw osadowy w rejonie ZG „Trzebieńka” S.A. [10]



Rys.3. Staw osadowy w rejonie ZGH "Bolesław"

Na rysunku 4 przedstawiono schemat wzbogacania rud Zn-Pb wraz z bilansem materiałowym dla ZGH „Bolesław” [11]. Podobny schemat obowiązywał również w ZG „Trzebieńka”.



Lp.	Masa kg	Wychód %	Zawartość %		Uzysk %	
			Zn	Pb	Zn	Pb
1	1000	100	3,20	1,50	100	100
2	2,7	0,27	2,50	79,56	0,21	14,32
3	326,3	32,63	0,70	0,16	7,14	3,48
4	13,9	1,39	2,09	67,5	0,91	62,25
5	47,5	4,75	55,08	1,53	81,76	4,84
6	609,6	60,96	0,52	0,37	9,91	15,04

Rys. 4. Schemat wzbogacania krajowych rud Zn-Pb wraz z bilansem materiałowym [11]

Krajowe rudy Zn-Pb zalicza się do trudno wzbogacanych, ze względu na ich drobną mineralizację oraz zmiany strukturalne minerałów użytecznych, do ich wzbogacenia stosuje się metody grawitacyjno-flotacyjne.

Główny strumień odpadów stałych trafiających na staw osadowy stanowią drobno zmielone odpady poflotacyjne. Skład chemiczny odpadów deponowanych na składowisku w ZG „Trzebieńka” pokazałem w tabeli 1 [H3]. Zawartość metali przeliczono na tlenki.

Tabela.1. Zawartość podstawowych składników w odpadach ze stawu osadowego ZG Trzebieńka [H3]

No.	Składnik	Zawartość, [%]
1	ZnO	2,36
2	PbO	0,94
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,23
4	CaO	30,68
5	MgO	15,75
6	SiO <sub>2</sub>	2,11
7	S	1,37
8	CO <sub>2</sub>	39,2

Głównymi, płonnymi składnikami odpadów (ok. 73%) są węglany (dolomit, ankeryt, kalcyt), krzemionka i minerały ilaste. Charakteryzują się wysoką zawartością siarczków żelaza oraz systematycznie rosnącym udziałem minerałów ilastych i krzemionki. Skład granulometryczny odpadu określiłem za pomocą analizy sitowej a wyniki opublikowane w pracy [12] zamieściłem w tabeli 2.

Tabela.2. Skład granulometryczny odpadów poflotacyjnych z ZG Trzebieńka [12]

Uziarnienie, [mm]	Ilość frakcji, [%]
0 - 0,05	44,98
0,05 - 0,1	16,89
0,1 - 0,125	11,98
0,125 - 0,16	6,02
0,16 - 0,2	12,03
0,2 - 0,25	5,26
> 0,25	2,84

Ze względu na duże rozdrobnienie materiału istnieje niebezpieczeństwo rozwiewania go z miejsca składowania na sąsiadujące ze stawem obszary. Rozwinięta powierzchnia ułatwia również wymywanie i przedostawanie się szkodliwych substancji do wód powierzchniowych i gruntowych [13].

W wymienionych Zakładach w celu ograniczenia pylenia pokrywa się powierzchnię składowiska substancjami polimerowymi tzw. „lateksowanie”, dodatkowo w okresach suszy

stosowane jest również zwilżanie natryskowe powierzchni. Zadaniem tych operacji jest ograniczenie emisji pyłów [H4].

#### **4.3.3. Kierunki zagospodarowania odpadów flotacyjnych rud Zn-Pb**

Odpady poflotacyjne z procesu wzbogacania rud Zn-Pb należą do odpadów przemysłowych, powstają w procesie otrzymania koncentratów cynku i ołowiu z minerałów zawierających te pierwiastki w niewielkich ilościach. Złóża eksploatowane w Polsce w okolicach Trzebini i Olkusza zawierają około 3,5% cynku i poniżej 2% ołowiu. Niska zawartość minerałów użytecznych powoduje powstawanie dużych ilości odpadów, które w zdecydowanej większości składają się z bardzo drobno zmielonej skały płonnej, zawierają również niewielkie ilości minerałów użytecznych (ZnS, PbS) oraz innych związków stosowanych jako dodatki w procesie wzbogacania jak również związków powstałych w procesie odmagnezowania blendy [H4].

Gospodarka odpadami flotacyjnymi w kompleksie górniczo-metalurgicznym jest znaczącym składnikiem całkowitych kosztów wytwarzania cynku. Zagospodarowanie odpadów flotacyjnych jest zatem ważnym czynnikiem obniżki kosztów produkcji metalu.

Odpad poflotacyjny zawiera duże ilości dolomitu, który ma szerokie zastosowanie w gospodarce.

Prowadzone przeze mnie badania dotyczące tego tematu skierowane były na wskazanie możliwości zagospodarowania odpadów flotacyjnych pochodzących z przeróbki rud Zn-Pb. Zaproponowałem kilka kierunków badawczych, które w mojej ocenie pozwolą na zagospodarowanie tego odpadu. Do głównych należą:

- podsadzanie wyrobisk górniczych – podsadzki zestalane,
- produkcja materiałów budowlanych,
- odzysk metali na drodze wtórnego wzbogacania,
- wykorzystanie odpadów jako materiału do produkcji nawozów.

##### **4.3.3.1. Podsadzanie wyrobisk górniczych – podsadzki zestalane**

Odpady flotacyjne powstałe w wyniku otrzymywania koncentratu cynku i ołowiu mają w większości uziarnienie poniżej 0,1 mm. Materiał o dużym rozdrobieniu nie spełnia wymagań normy określającej własności materiału do podsadzki hydraulicznej PN-93/G-11010 (Górnictwo – materiały do podsadzki hydraulicznej – wymagania i badania). Do bezpośredniego zastosowania nadaje się jedynie frakcja powyżej 0,1 mm. Frakcje drobniejsze, stanowiące przewagę w odpadach poflotacyjnych, w związku z tym wymagają stabilizacji przy zastosowaniu cementu lub innych czynników wiążących, które powodują, że odpady poflotacyjne z ich dodatkiem tworzą podsadzkę zestaloną [12,14].

W pracy [8,15] wykazałem, że domieszka popiołów lotnych z Elektrowni Turów pozwala uzyskać materiał o wytrzymałości na ściskanie do 3,9 MPa przy udziale 40% popiołu, ale dodatek na poziomie 25% popiołu z tej Elektrowni pozwala już na uzyskanie wytrzymałości na ściskanie 2,45 MPa, co sprawia, że norma PN-93/G-11010, która dopuszcza wytrzymałość podsadzki samozestalającej powyżej 1,0 MPa jest spełniona i taką mieszankę można stosować do podsadzania wyrobiska.

Wartości powyżej 1,0 MPa po 28 dniach uzyskałem również przy zastosowaniu dodatku do odpadu 28% popiołu lotnego z Elektrociepłowni Kraków i 2% CaO [16].

Zaproponowałem dodatek cementu do odpadów w ilości ok. 6%, co pozwoliło uzyskać parametry podsadzki zgodne z cytowaną normą [17]. Pozytywne efekty uzyskałem również w wyniku dodatku błota pochromowego, co również stabilizuje odpady flotacyjne [18].

Norma dotycząca podsadzki hydraulicznej PN-93/G-11010, jest ogólna i dotyczy jedynie podsadzki jako tworzywa stałego. Norma PN-G-11011 jest bardziej szczegółowa i zajmuje się również charakterystyką wody dołowej (odcieku). Do oceny przydatności badanych odpadów stosuje się, regulacje zawarte w obydwu normach.

Wykonałem liczne badania wymywalności metali ciężkich z kompozytów odpadu poflotacyjnego z dodatkiem czynników wiążących. Wykonane badania wykazały, że wymywalność metali ciężkich z kompozytów podsadzkowych jest niewielka, a zawartość metali ciężkich w odciekach jest dopuszczalna przez obowiązujące normy. Spowodowane jest to tym, iż dodawane czynniki wiążące miały charakter zasadowy, co powodowało wytrącenie trudno rozpuszczalnych związków tych metali. Dodatkowo dodatek cementu powodował, iż podczas jego wiązania część tych metali uległa immobilizacji i wbudowała się w tworzącą się strukturę CSH betonu. Zjawisko to opisałem w pracy [17].

Badania prowadzone w zespole którego byłem członkiem, potwierdziły możliwość zastosowania odpadów poflotacyjnych jako składnika podsadzki samozestawiającej. Wyniki badań zostały opublikowane [H5], opatentowane i wdrożone w Zakładach Górniczych „Trzebieńka” [H6].

Pozwoliło to na ograniczenie ilości składowanego odpadu na stawie osadowym, co miało pozytywny wpływ na ochronę środowiska, pozwoliło również na wydłużenie pracy ZG „Trzebieńka” o kilka lat.

#### **4.3.3.2. Zastosowanie odpadów do produkcji materiałów budowlanych**

Odpady flotacyjne zawierają znaczne ilości magnezu w postaci dolomitu. Badania, zarówno moje jak i innych badaczy wykazały, że w odpadach flotacyjnych zdeponowanych na stawach osadowych ZG „Trzebieńka” znajduje się między innymi około 17% magnezu w przeliczeniu na MgO.

Zaproponowałem użycie tego odpadu do produkcji spoiwa magnezjowego zwanego cementem Sorela. Ilość ta jest wystarczająca do uzyskania tego spoiwa. Otrzymuje się go przez zarobienie magnezytu kaustycznego (MgO) lub dolomitu kaustycznego ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ ) roztworem soli dwuwartościowych, przy czym najlepsze cechy techniczne uzyskuje się przy użyciu jako cieczy zarobowej roztworu chlorku magnezu.

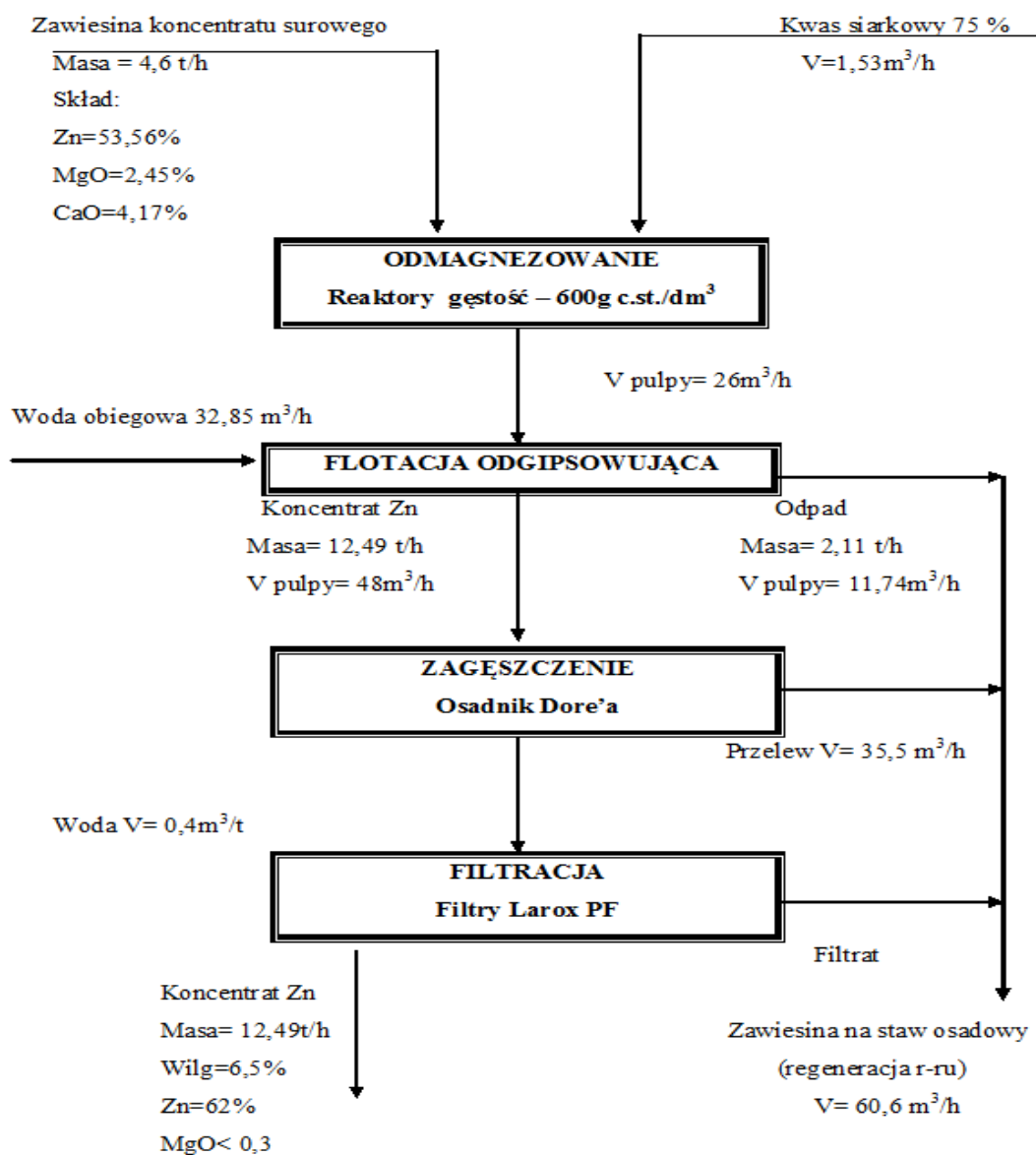
Wytrzymałość spoiw chloromagnezjowych jest wysoka i zawiera się w przedziale 48-69 MPa. W warunkach optymalnych wytrzymałość na ściskanie zaczynu dochodzi do 90 MPa.

Cementy magnezjowe otrzymane z półwypalonego dolomitu nie wymagają zastosowania dodatkowego wypełniacza ze względu na zawartość nierozłożonego węgla wapnia. Cechują się niższymi o około 40-50% wartościami wytrzymałości od analogicznie uzyskanych z czystego magnezytu.

Liczne badania z moim udziałem przeprowadzone w Politechnice Krakowskiej wykazały, że z odpadów flotacyjnych poddanych obróbce termicznej w 800°C i zarobionym roztworem  $MgCl_2$  otrzymano spoiwo o wytrzymałości ponad 20 MPa [19,20].

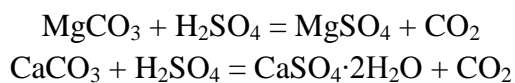
Taka wytrzymałość umożliwia zastosowanie spoiwa do posadzek samopoziomujących jak również do uszczelniania górotworów w kopalniach, zwłaszcza tam, gdzie wody kopalniane są mocno zasolone. Spoiwo chloromagnezjowe jest odporne na działanie chlorków, przeciwnie do tradycyjnego betonu, który pod działaniem roztworów zawierających chlorki ulega korozji chlorkowej. Można stwierdzić, że pomysł był trafiony a cel osiągnięty.

Innym odpadem stałym powstałym w procesie wzbogacania koncentratu blendowego jest gips. Powstaje on w procesie odmagnezowania. Proces ten polega na obróbce surowej blendy kwasem siarkowym. Proces odmagnezowania surowego koncentratu blendy pokazany jest na rys.5 [21].



Rys.5. Uproszczony schemat odmagnezowania koncentratu Zn w ZG Trzebieńka [21]

W wyniku działania kwasu siarkowego na dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  zawarty w surowym koncentracie zachodzą reakcje:



Wpływająca z ługownikóW do mieszalnika buforowego blendy flotacyjnej jest praktycznie całkowicie pozbawiona magnezu, który jest usunięty z niej w postaci rozpuszczonego w wodzie siarczanu. W fazie stałej zawiesiny pozostaje natomiast gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , który jest usuwany z koncentratu ZnS w procesie flotacji odgipsowującej.

Odflotowany gips deponowany jest na stawie osadowym wraz z odpadami z flotacji. Z mojej inicjatywy prowadzone były prace nad zagospodarowaniem gipsu do produkcji spoiw gipsowych i anhydrytowych.

Na podstawie szeregu badań fizyko–chemicznych stwierdziłem, że odpadowy gips z procesu odmagnezowania może być stosowany na równi z innymi gipsami syntetycznymi w celu zastąpienia surowca naturalnego. Na podstawie analizy frakcyjnej zakwalifikowałem badany gips według normy PN-B-30041:1997 do gipsów pośrednich, szybkowiązących. Według badań [21,22] wytrzymałość na ściskanie spoiwa gipsowego wytworzonego na bazie gipsu odpadowego w procesie obróbki termicznej w temperaturze 160°C wynosi ok. 10 MPa, co kwalifikuje ten materiał w górnej granicy wartości podanych przez normę PN-B- 30041:1997, wartość ta pozwala zaliczyć spoiwo do jednego z lepszych materiałów budowlanych wytworzonych na bazie gipsu budowlanego.

Z otrzymanego w procesie odmagnezowania gipsu można uzyskać również spoiwo anhydrytowe w wyniku obróbki termicznej odflotowanego gipsu w temperaturze od 600 do 800°C. Badania przeprowadzone z mojej inicjatywy i z moim udziałem wykazały, że gips odpadowy z odmagnezowania blendy cynkowej po wyprażeniu w temperaturze 600 – 800°C i zarobieniu go roztworem z dodatkiem 1% siarczanu potasu w stosunku do zarobianego anhydrytu uzyskuje wytrzymałość na ściskanie ponad 20 MPa. [23,24,25].

Wytrzymałości mechaniczne spoiw na tym poziomie umożliwia jego zastosowanie w przemyśle budowlanym. Również w tym przypadku w wyniku moich badań udało się z odpadu uzyskać użyteczny produkt.

#### **4.3.3.3. Zastosowanie odpadów poflotacyjnych do produkcji nawozów mineralnych**

Problem gospodarczego wykorzystania odpadów z flotacji rud cynku i ołowiu był również przebadany z moim udziałem pod kątem wykorzystania go jako surowca do produkcji nawozów mineralnych.

Skład chemiczny odpadu jest interesujący dla rolnictwa. Łączna zawartość wapnia i magnezu w przeliczeniu na tlenki wynosi powyżej 46%, a stosunek między tymi składnikami kwalifikuje materiał jako nawóz wapniowo magnezowy.

Wykonałem badania przerobu odpadu poflotacyjnego na nawóz wapniowo-magnezowo-azotowy [26].

W tej technologii traktowałem odpad kwasem azotowym uzyskując saletrę wapniowo-magnezową. Pozostałe szlamy zawierały podkoncentrowane ilości siarczków cynku i ołowiu i mogą być stosowane do ich odzysku.

Wykonałem również próby pozyskiwania z odpadu dolomitowego siarczanu magnezu. Dolomit traktowałem kwasem siarkowym w wyniku czego magnez zawarty w obrabianym materiale jako węglan, przechodził do roztworu w postaci siarczanu. Osad oddzielałem od fazy ciekłej w wyniku filtracji. W wyniku zateżenia z roztworu krystalizował siedmiowodny siarczan magnezu  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . Wyniki były na tyle interesujące, że zostały opublikowane w pracach [H7,H9].

W procesie odmagnezowania blendy cynkowej kwasem siarkowym powstaje roztwór zawierający siarczan magnezu. Prowadziłem badania nad jego odzyskaniem w postaci siedmiowodnego siarczanu magnezu [H8, H10,27,28].

Zagadnienie to było realizowane w ramach projektu badawczego „Badania nad usuwaniem magnezu z koncentratów cynku i utylizacją produktów ubocznych” (1 T09B 11930, 2006).

Wynik moich badań wykazał, że z odpadowego roztworu z odmagnezowania blendy można również otrzymać wodorotlenek magnezu [H11].

Dalsze badania związane z ochroną środowiska w większości aplikacyjne były w dużej mierze efektem współpracy z ZGH „Bolesław”.

W technologii otrzymywania cynku metodą elektrolizy, koncentrat blendy cynkowej spalany jest w piecu fluidyzacyjnym. Otrzymany tlenek cynku roztwarzany jest w kwasie siarkowym, oczyszczany i kierowany do hali wanien, gdzie w procesie elektrolizy otrzymywany jest cynk. W wyniku badań określiłem możliwości otrzymywania produktów prażenia koncentratów sfalerytowych odznaczających się małą zawartością siarki w postaci siarczkowej. Zwiększona zawartość siarki w prażonej blendzie wpływa negatywnie zarówno na przebieg, jak i na wskaźniki techniczno-ekonomiczne procesu elektrolizy cynku. Zaproponowana przeze mnie modyfikacja procesu usuwania wapnia z koncentratów sfalerytowych po obróbce chemicznej polegała na wprowadzeniu do odmagnezowanej pulpy kryształów (zaszczepek) z siarczanu wapnia, co spowodowało, że siarczan wapnia z procesu odmagnezowania krystalizował na ich powierzchni nie pokrywając ziaren sfalerytu. Po zastosowaniu tego rozwiązania w ZGH „Bolesław”, badania potwierdziły w skali przemysłowej, że gdy w procesie odmagnezowania stosuje się zaszczepkę w postaci gipsu, efektywność następującego po nim procesu flotacji jest większa, a ziarna sfalerytu są wolne od gipsu. Uzyskuje się w ten sposób materiał, który lepiej poddaje się utlenianiu w wysokotemperaturowym procesie prowadzonym w reaktorze fluidyzacyjnym (ograniczyło to ilość ZnS w wypałkach z 1,5% do 0,6%).

Pomysł ten został wdrożony w ZGH „Bolesław”, a wyniki opublikowane [H12, H13].

Dalszym krokiem było wykonanie badań mających na celu sprawdzenie wpływu modyfikacji procesu odmagnezowania koncentratu cynkowego na szybkość utleniania zawartego w nim ZnS. Badania wykonano w warunkach, które odpowiadają warunkom przemysłowym. Badania prowadzone były zespołowo, w pracach którego aktywnie uczestniczyłem. Stwierdziliśmy, że szybkość ta w znacznym stopniu zwiększa się wskutek wprowadzonych zmian w procesie odmagnezowania blendy cynkowej. Skutkiem przeprowadzonej optymalizacji sposobu przygotowania blendy był prawie dwukrotny wzrost stałej szybkości procesu utleniania, biegnącego w warunkach, w których o jego szybkości



decyduje dyfuzja tlenu od strumienia gazów, poprzez warstwę graniczną, do wnętrza ziarna [H13].

Podsumowanie doświadczeń zdobytych w trakcie realizacji tematu związanego z zagospodarowaniem odpadów z produkcji koncentratów cynku i ołowiu zaowocowało publikacją przeglądową mojego autorstwa [H14].

#### 4.3.4. Popioły lotne z energetyki

##### 4.3.4.1. Popioły lotne ze spalania biomasy

Równoległe do współpracy z ZGH Bolesław” w podjąłem badania mające na celu zagospodarowanie popiołów lotnych z energetyki.

Zobowiązania międzynarodowe wymusiły wzrost udziału odnawialnych źródeł w krajowym bilansie energetycznym. Choć w Polsce w 2016 roku udział energii odnawialnej wynosił około 13,4% i od kilku lat systematycznie wzrasta, jest niższy niż w innych krajach UE takich jak Austria czy Dania. Postuluje się, aby w Polsce udział ten w 2020 roku wynosił 20%. Zgodnie z postulatami UE w ostatnich latach w Polsce uruchomiono kilka instalacji spalania biomasy dla celów energetycznych, czego przykładem może być „Zielony Blok” w Połańcu, który jest największym kotłem ciepłym na świecie opalany w 100% biomasą.

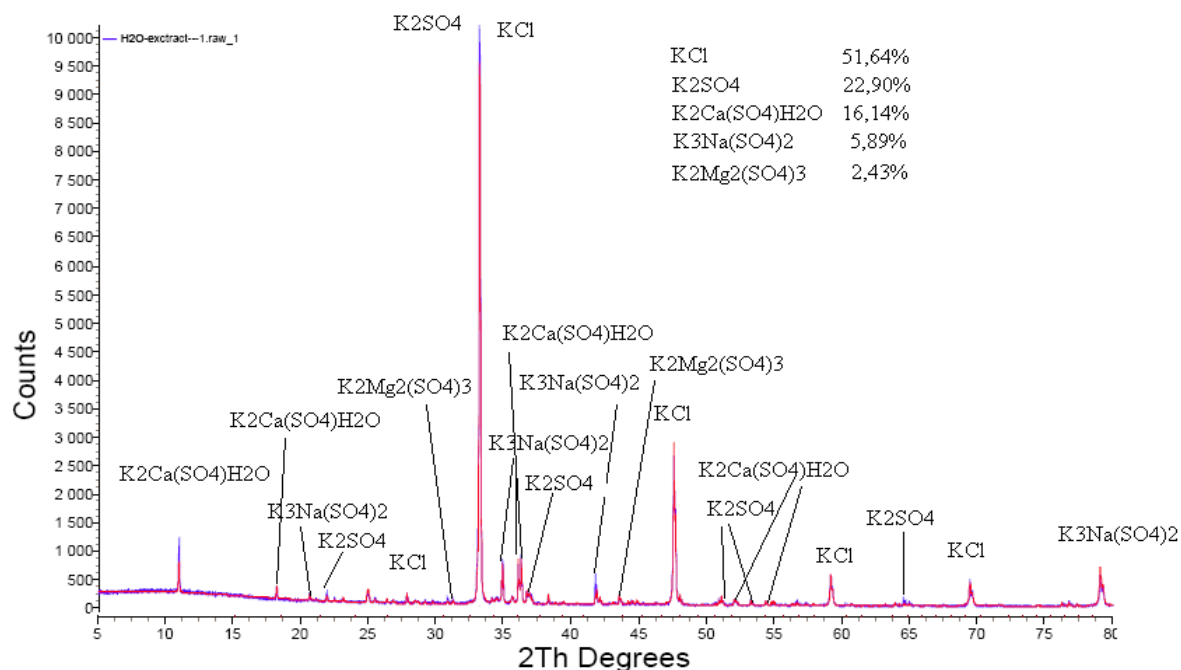
W wyniku spalania biomasy powstają między innymi odpady w postaci popiołów lotnych. Popiół ten jest interesujący ze względu na dużą zawartość związków potasu. Podjąłem próby zagospodarowania tego odpadu.

Skład popiołu określiłem za pomocą analizy ICP, pokazany jest on w tabeli 3 [H15].

Tabela 3. Skład popiołu lotnego ze spalania biomasy (Elektrownia Połaniec)

Składniki podstawowe		Metale ciężkie	
Składnik	Udział, [%]	Składnik	Udział, [ mg/kg s.m.]
SiO <sub>2</sub>	49,6	Cd	5,8
CaO	17,8	Pb	6,2
K <sub>2</sub> O	12,8	Co	7,4
MgO	2,1	Cu	36,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,4	Mn	87,8
Na <sub>2</sub> O	0,98	Hg	3,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	Cr	66,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61	Zn	241,4
Siarczany	5,53	Ni	9,4
Chlorki	4,24	Tl	6,6

Realizując te zainteresowania, odbyłem dwa trzymiesięczne staże naukowe w Technical University of Ostrava (Republika Czeska), na których prowadziłem badania na popiele lotnym z „Zielonego Bloku” z Elektrowni Połaniec. Wynikiem tych badań były publikacje, w których opisałem możliwość odzysku potasu i fosforu z tego popiołu. Badania podstawowe pozwoliły określić związki potasu, które mogą być odzyskane w wyniku ługowania wodą. Na rysunku 6 pokazałem rentgenogram, na podstawie którego możemy określić skład soli wyekstrahowanych za pomocą wody z popiołu lotnego ze spalania biomasy (Elektrownia Połaniec) [H15].



Rys.6. Rentgenogram soli wyekstrahowanych za pomocą wody z popiołu lotnego ze spalania biomasy (Elektrownia Połaniec) [H15]

Za pomocą wody udało mi się z popiołu otrzymać czyste związki potasu, które mogą być zastosowane jako nawóz mineralny [H15].

Stwierdziłem, że ponad 50% potasu nie przechodzi do fazy ciekłej w wyniku ługowania wodą, podjąłem próbę wyjaśnienia niskiego stopnia ługowania. Przeprowadziłem dokładne badania popiołu oraz pozostałości po wymywaniu wodą i stwierdziłem, że podczas spalania biomasy wystąpiło zjawisko aglomeracji. Zjawisko to dotyczy głównie biomasy charakteryzującej się wysoką zawartością sodu i potasu. Jako złożę fluidyzacyjne wykorzystuje się piasek kwarcowy, którego głównym składnikiem jest  $\text{SiO}_2$ . Jego temperatura mięknięcia wynosi ok.  $1550^\circ\text{C}$ . W wyniku reakcji tlenków metali alkalicznych lub ich soli z  $\text{SiO}_2$  powstaje eutektyczna mieszanka o temperaturze mięknięcia ok.  $800^\circ\text{C}$ , jest to temperatura pracy kotła. W tych warunkach tworzą się fazy krzemianowe, które aglomerują potas i fosfor tworząc krzemiany glinowo-potasowo-wapniowe, co opisałem w pracy [H16].

Tematem tym zajmowałem się również w ramach projektu badawczo-rozwojowego „Eko-Ash. Nawóz na bazie popiołów ze spalania biomasy w elektrowniach” (POIG.01.04.00-26-

300/13, 2014), w którym byłem kierownikiem tematu związanego z wcześniejszymi badaniami.

W wyniku moich badań udało mi się opracować trzy patenty, których jestem autorem. Patenty pokazują metody zagospodarowania popiołu lotnego ze spalania biomasy do wytwarzania nawozów mineralnych [H17,H18,H19].

Dodatkowo w artykule naukowym [29] w ramach współpracy z AGH, przedstawione zostały wybrane aspekty i analiza ryzyka dla procesu pozyskiwania energii elektrycznej z biomasy. Rozwój energetyki odnawialnej w Polsce może jednak liczyć na mniejsze wsparcie finansowe niż w innych krajach UE, stąd też aspekt odpowiedniego zarządzania ryzykiem w procesie jest niezwykle istotny. W artykule dokonano przeglądu wybranych ryzyk towarzyszących każdemu etapowi procesu pozyskiwania energii elektrycznej z biomasy. Omówiono ryzyka wewnętrzne dla przedsiębiorstwa zajmującego się spalaniem biomasy jak i te związane ze składowaniem biomasy, generowaniem i składowaniem odpadów niebezpiecznych, czy też ryzyka technologiczne mogące doprowadzić nawet do unieruchomienia kotła fluidalnego. Przedstawiono także te ryzyka, na które przedsiębiorstwo nie ma bezpośredniego wpływu (zewnętrzne w stosunku do przedsiębiorstwa) jak ryzyko pogodowe, ryzyko logistyczne związane z dostawą surowca, czy ryzyko mające wymiar społeczno-środowiskowy. Wszystkie zidentyfikowane ryzyka powinny być podstawą do opracowywania skutecznego mechanizmu ich mitygacji, co pozwoli na coraz skuteczniejsze zabezpieczanie procesu pozyskiwania energii elektrycznej z biomasy.

#### **4.3.4.2. Popioły lotne z procesu spalania węgla kamiennego**

Odpady z procesów spalania, szczególnie popioły lotne z energetyki konwencjonalnej (spalania węgla kamiennego) zainteresowały mnie również z uwagi na fakt, że zawierają metale ziem rzadkich.

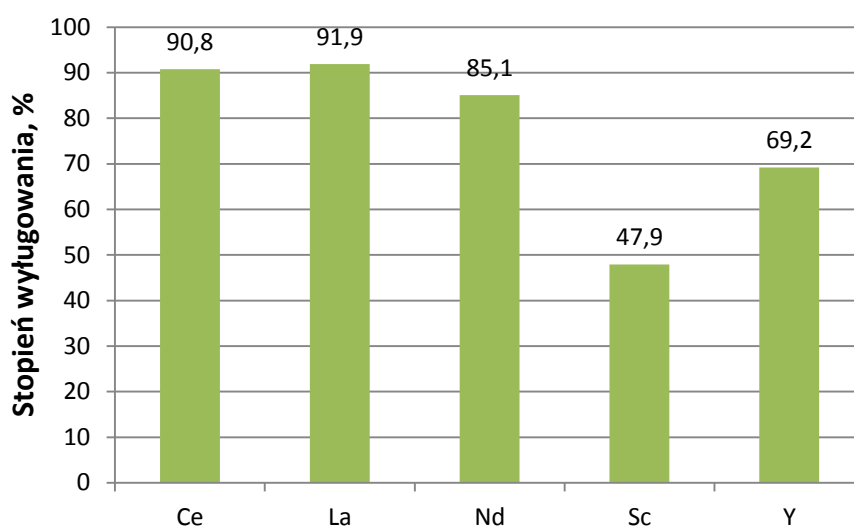
Pierwiastki ziem rzadkich, tworzące grupę 15 lantanowców oraz skand i itr, określane są powszechnie skrótowo REE (ang. Rare Earth Elements). Zaliczone zostały przez Unię Europejską do surowców krytycznych o znaczeniu strategicznym dla rozwoju nowoczesnych wysoko zawansowanych technologii i znajdują szerokie zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Kierunki zastosowań wynikają z ich unikatowych właściwości. Przykładowo, ich właściwości elektryczne i magnetyczne wykorzystywane są w produkcji magnesów stałych ze stopów Fe-Nd-B, które charakteryzują się wysoką gęstością energii magnetycznej na jednostkę masy. Zastosowanie neodymu, prazeodymu, dysprozu i terbu umożliwiło miniaturyzację sprzętu elektronicznego.

Badania dotyczące tego tematu realizowane były w zespole międzynarodowym w toku realizacji projektu RAREASH ERA-MIN/RAREASH/01/2015 pt: „Ocena możliwych kierunków recyklingu ciężkich i rzadkich metali odzyskanych z odpadowych produktów spalania”.

W badaniach nad pozyskaniem koncentratu tych metali wykorzystałem popiół lotny ze spalania węgla kamiennego w Elektrowni Łagisza. Popiół ten zawiera niewielkie ilości pierwiastków ziem rzadkich (ok. 454 ppm), ale popioły lotne powstające z różnych polskich węgli zawierają tych metali na podobnym poziomie.

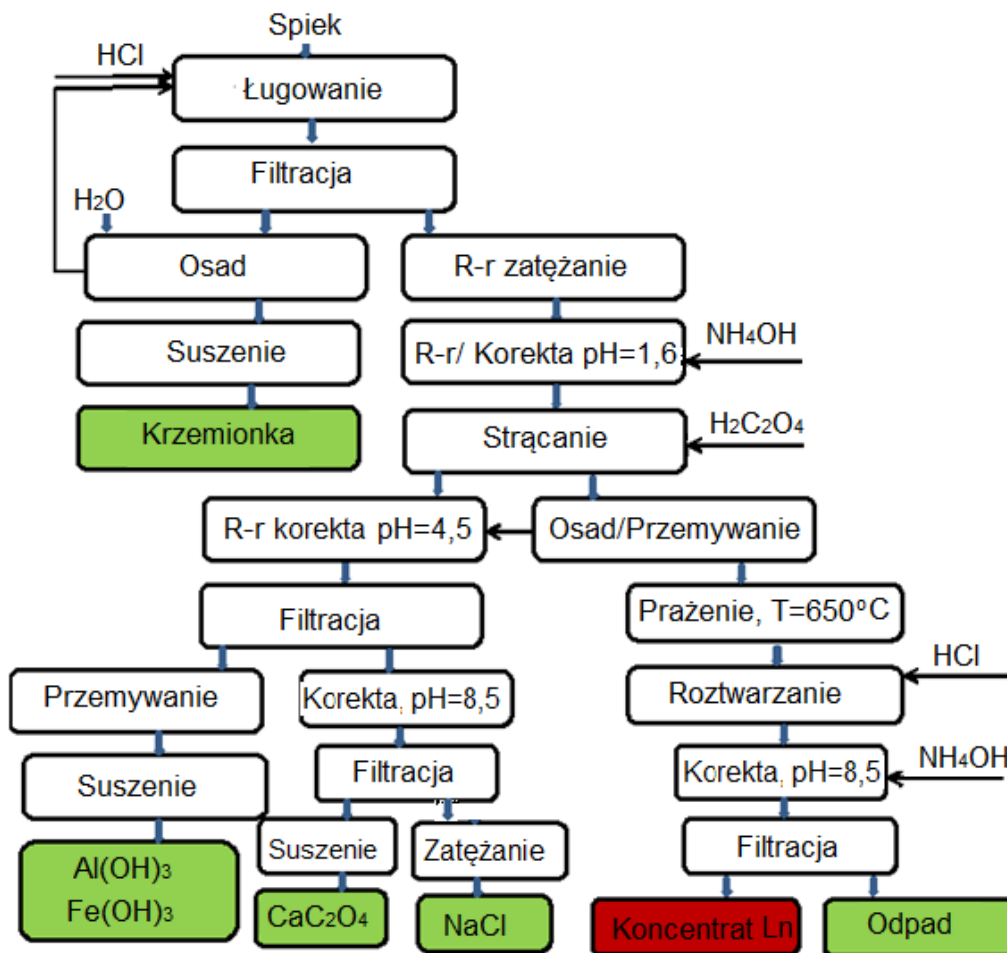
W popiołach lotnych występuje dużo fazy szklistej, która „wiąże” między innymi te metale sprawiając, że są one trudno ługowane. Przeprowadzenie trudno rozpuszczalnych form mineralnych popiołu zawierających REE w związki ulegające reakcjom z kwasami mineralnymi uzyskałem w wyniku spiekania popiołu z sodą. Zabieg ten powoduje zniszczenie struktury szklistej popiołu i uwolnienie jonów metali REE do roztworu podczas ługowania. Optymalne warunki prowadzenia procesu odzysku metali ziem rzadkich z popiołu określiłem jako stosunku masowym soda:popiół 1,2:1 i temp. 850-950°C. W tych warunkach uzyskałem stopień wyługowania wybranych REE na poziomie 90%. Zaproponowana przeze mnie metoda jest skuteczniejsza od szeroko stosowanej na świecie metody kwaśnej, której skuteczność ługowania REE jest na poziomie kilkunastu procent.

Na rysunku 7 przedstawiłem przykładowy stopień odzysku niektórych metali ziem rzadkich z popiołu po spiekanii z sodą [H20].



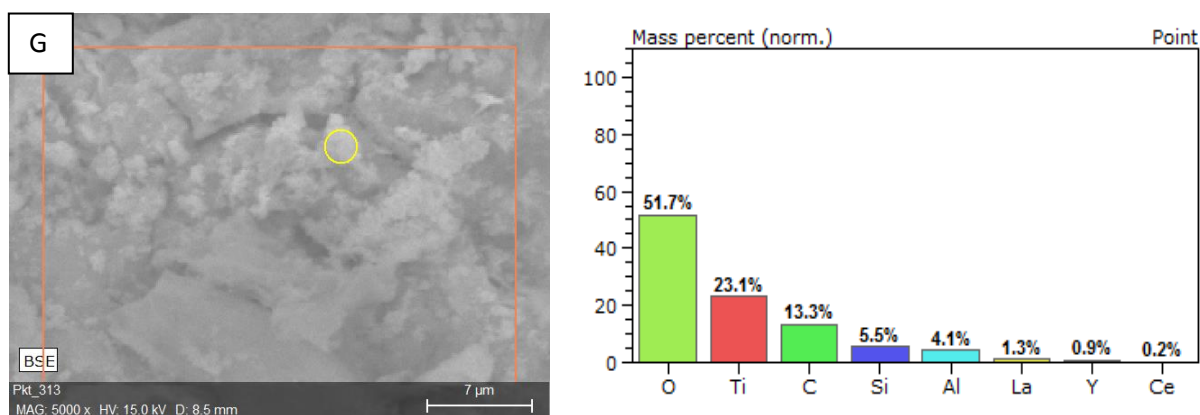
Rys.7. Stopień wyługowania REE ze spieku otrzymanego w 950°C [H20]

W wyniku prac badawczych uzyskania koncentratu REE z popiołów lotnych opracowałem procedurę pokazaną na rysunku 8 [H21].



Rys.8. Schemat ideowy procesu odzysku REE z popiołu lotnego [H21]

Postępując według tego schematu otrzymałem produkt podkoncentrowany w te metale. Na rysunku 9 pokazałem wyniki analizy SEM z detektorem EDS, które potwierdzają zwiększoną zawartość tych metali w badanym obszarze próbki [H21].



Rys.9. Badanie SEM i EDS próbki podkoncentrowanej w REE

W opisanej metodzie do uwolnienia REE z fazy szklistej używałem sody. Proces ten prowadzony jest w wysokiej temperaturze, w związku z tym jest energochłonny. Chcąc poprawić bilans energetyczny procesu skorzystałem z wcześniejszych doświadczeń, które nabyłem uczestnicząc w projekcie międzynarodowym (współpraca Polsko-Słowacka, SK-PL-0048-09) prowadząc badania nad zagospodarowaniem popiołów lotnych do otrzymania spoiwa geopolimerowego.

Prowadząc te badania stwierdziłem, że za pomocą wodorotlenku sodu już w temperaturze nieco powyżej 100°C można rozbić strukturę szklistą popiołu, co pozwoli na uwolnienie zamkniętych w tej strukturze między innymi pierwiastków ziem rzadkich. Badania te okazały się na tyle innowacyjne, że zostały zaakceptowane w Urzędzie Patentowym, który udzielił patentu, na to rozwiązanie [H22].

## 5. Podsumowanie

Realizowane przeze mnie prace stanowią dwa nurty, jednakże obydwa ściśle związane są z ochroną środowiska. Działając we współpracy z przemysłem moje działania bardziej koncentrują się na aspektach aplikacyjnych, które wpływają na zmniejszenie uciążliwości przemysłu na środowisko. Drugi nurt ma charakter badań podstawowych. Działając we współpracy z jednostkami naukowymi (Główny Instytut Górnictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza, Polska Akademia Nauk) dążymy do wykorzystania odpadu jakim jest popiół lotny do zastosowania go jako surowca do pozyskiwania REE.

W przyszłych pracach badawczych zamierzam kontynuować oba nurty kładąc nacisk na badania o charakterze podstawowym, w szczególności zamierzam kontynuować badania pozyskiwania koncentratów REE z popiołów lotnych. Jako kontynuacja tego tematu planowana jest budowa mobilnej instalacji technicznej, na której będzie można przetestować popioły lotne różnego pochodzenia.

## 6. Literatura uzupełniająca dla cyklu

1. Cz.Ostrowski, S.Żelazny, *Kinetika krystalizacji gipsa iz wodnych roztworow niekotorych solej*, *Chimija i Chemiczieskaja Technologia*, t. 43, wyp. 2, (2000)
2. Cz.Ostrowski, S.Żelazny, *Powstawanie włóknistych kryształów gipsu*, *Cement Wapno Beton*, 6, 2004
3. Cz.Ostrowski, S.Żelazny, *Otrzymywanie nowych włókien nieorganicznych*, *Przemysł Chemiczny*, 79/7 (2000)
4. Cz.Ostrowski, S.Żelazny, *Nowa technologia przeróbki gipsów odpadowych*, *Materiały Budowlane*, nr 349, 9'2001, (2001)
5. S.Żelazny, VII International Symposium, *Nowa technologia przeróbki gipsów odpadowych z energetyki do wytwarzania materiałów izolacji cieplnej i akustycznej*, Warszawa 2001
6. Cz.Ostrowski, S.Żelazny, M.Iwaniec, IX – *Structural Acoustics and Mechanics for Environmental Protection*, *Zastosowanie włókien gipsowych jako materiału izolacji akustycznej*, Kraków, 2000

7. S.Żelazny, B.Włodarczyk, *Ocena stanu środowiska wokół osadników odpadów poflotacyjnych w Z.G."Trzebionka"*, Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud „Cuprum”, nr 3 (28), (2003)
8. A.Jarosiński, S.Żelazny, Application of fly ashes to solidification of flotation wastes by backfilling of mining excavation, *Materiały pokonferencyjne, 9<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing, Ostrawa, 2005*, s. 223
9. Z.Kowalski, S.Żelazny, B.Włodarczyk, Mine waste management in Trzebionka S.A., *Międzynarodowa Konferencja „Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowym i BAT w gospodarce odpadami górnictwami, Kraków, listopad 2004*
10. S.Żelazny, A.Jarosiński, Problemy zagospodarowania odpadowego roztworu z procesu odmagnezowania blendy cynkowej, *Problemy Ekologii*, 4, 2007, s. 191-193
11. A. Jarosiński, S. Żelazny, *Mat. konf. Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowymi*, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005, 66.
12. Z.Kowalski, S.Żelazny, B.Włodarczyk, Określenie możliwości wykorzystania odpadu flotacji rud cynkowo-ołowiowych do podsadzki hydraulicznej, *Księga konferencyjna/Proceedings ECoPole'03, Opole, 2003*
13. A. Jarosiński, S. Żelazny, A.K. Nowak, Technological aspects of tailing processing deriving from zinc and lead concentrate production, *A Sustainable Supply of Minerals for Europe – From Waste to Resources, Wrocław, 2007*, s. 77-85
14. A.K.Nowak, K.Fela, S.Żelazny, A.Świerczek, G.Klamecki, B.Włodarczyk, Studies on strength of filling composed of flotation tailings from „Trzebionka” mining works and chromic mud, *Międzynarodowa Konferencja „Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowymi BAT w gospodarce odpadami górnictwami, Kraków, listopad 2004*
15. A.Jarosiński, S.Żelazny, A.K.Nowak, Badania nad kompozytami podsadzkowymi na bazie odpadów poflotacyjnych rud cynku i ołowiu, *V Kongres Technologii Chemicznej, Poznań 11-15 września 2006*
16. A.Jarosiński, S.Żelazny, A.K.Nowak, M.Banach, Niektóre własności kompozytów podsadzkowych na bazie odpadów poflotacyjnych, *Materiały pokonferencyjne, Odzysk odpadów technologie i możliwości, Wydawnictwo Sigmie PAN, Kraków 2005*, s.171
17. A.Jarosiński, S.Żelazny, Badanie możliwości zagospodarowania odpadu z procesu wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych do wypełnienia pustek pogórnicznych, *Materiały pokonferencyjne, Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowymi, Wydawnictwo Sigmie PAN, Kraków 2005*, s. 66
18. A.K.Nowak, K.Fela, S.Żelazny, A.Świerczek, G.Klamecki, B.Włodarczyk, Studies on strength of filling composed of flotation tailings from „Trzebionka” mining works and chromic mud, *Międzynarodowa Konferencja „Zrównoważone zarządzanie obszarami przemysłowymi BAT w gospodarce odpadami górnictwami, Kraków, listopad 2004*
19. S.Żelazny, A.Jarosiński, B.Lasek, Resarch on the Sorel cement obtaining from postflotation tailings, *Materiały pokonferencyjne, Waste Recycling, Wydawnictwo Sigmie PAN, Kraków 2005*, s.134
20. A. Jarosiński, S. Żelazny, B. Lasek, *Mat. 10th Conference on Environment and Mineral Processing, 22–24 czerwca 2006 r., VSB Ostrava, cz. 2*, 91.

21. A.Jarosiński, S.Żelazny, D.Łatka, *Aspekty gospodarczego wykorzystania produktów odpadowych z procesu odmagnezowania blendy cynkowej*, Recyklace Odpadu VIII, Ostrawa 2004, s. 177.
22. A.Jarosiński, S.Żelazny, P.Radomski, M.Smoła, Modification of gypsum binder obtained from waste materials by means of epoxide resin, Recyklace Odpadu XIII, Ostrava, 2009, pp 7-10
23. S. Żelazny, A.K. Nowak, A. Jarosiński, Właściwości odpadu z produkcji koncentratu blendy cynkowej pod kątem produkcji spoiw anhydrytowych, Recyklace Odpadů XI, Slovenská Akadémia Vied, Ústav Geotechniky, Košice, 6-7.December 2007, pp. 209-213
24. S.Żelazny, A.Jarosiński, Effect of graining on strength of anhydrite cement, 12<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing, part II, Ostrawa 2008, 375-378
25. S. Żelazny, A. Jarosiński, Influence of heat treatment of the gypsum waste on mechanical properties of anhydrite binders, Chemistry for Agriculture, Czech-Pol Trade, Prague-Brussels, Vol. 9, 2008, pp. 157-164
26. S.Żelazny, A.Jarosiński, Zagospodarowanie magnezu z odpadów powstających w procesie wzbogacania rud cynku i ołowiu, Praca zbiorowa, Innowacyjne i przyjazne dla Środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych, Wydawca: Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 2011
27. S.Żelazny, A.Jarosiński, Próby nad zagospodarowaniem odpadowego roztworu z procesu odmagnezowania blendy cynkowej, XLIX Zjazd PTCh, Gdańsk 18-22 wrzesień 2006
28. S. Żelazny, A. Jarosiński, Problemy zagospodarowania odpadowego roztworu z procesu odmagnezowania blendy cynkowej, Problemy Ekologii, 4, 2007, s. 191-193
29. S. Żelazny, N. Iwaszczuk, A. Jarzęcka, Wybrane aspekty i analiza ryzyka pozyskiwania energii elektrycznej z biomasy, Inżynieria Mineralna, Nr 1 (41) 2018, 325-332

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo badawczych niestanowiących osiągnięcia habilitacyjnego**

### **5.1. Osiągnięcia naukowe**

Poza pracami opisanymi w przedstawionym cyklu publikacji realizowałem równoległe inne zagadnienia w większości związane z zagospodarowaniem odpadów przemysłowych. W wyniku tych prac udało się opracować rozwiązania, które mają pozytywny wpływ na ochronę środowiska oraz przyczyniają się do innowacyjnych modernizacji w polskim przemyśle. Badania dotyczyły następujących zagadnień:

- a) synteza klinkieru cementowego w wysokich temperaturach,
- b) wytworzenie materiału wiążącego na bazie geopolimerów,
- c) zagospodarowanie odpadów z elektroniki,
- d) ograniczenie emisji SO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub> z przemysłu,
- e) pozyskiwanie energii ze źródeł niekonwencjonalnych,
- f) rozpoznanie możliwości likwidacji zbiornika odpadów niebezpiecznych i szkodliwych po zakładach „Górka” w Trzebini,
- g) technologia odzysku siarczanu(VI) potasu z odpadu pochodzącego z produkcji biopaliw.



Krótki opis tych prac przedstawiłem w kolejnych punktach autoreferatu. W dalszej części listę prac, które nie weszły w skład cyklu przedstawionego w punkcie 4.

#### **a) Syntezy klinkieru cementowego w wysokich temperaturach**

We współpracy z Instytutem Mineralnych Materiałów Budowlanych przeprowadzone były badania pozyskania spoiwa cementowego na bazie popiołu lotnego i tlenku wapnia. W trakcie prób technologicznych otrzymano produkty o bardzo zróżnicowanych właściwościach. Prace [1,2] opisują metodę produkcji klinkieru, analizę składu produktu oraz jego właściwości hydraulicznych. Przeprowadzono osiem prób, w których zmiennymi były skład próbki jak również temperatura (1450-1500°C, 1600-1700°C, oraz w palniku palnika acetyleno-tlenowego ok. 2000°C). Badania pozwoliły zidentyfikować tworzące się fazy spoiwa i wykazały duże różnice w jego składzie. Właściwości hydrauliczne uzyskanego materiału wykazały, że otrzymane spoiwo jest doskonałym tworzywem wiążącym i może być stosowane zarówno jako spoiwo hydrauliczne jak również dodatek do cementu poprawiający jego właściwości wytrzymałościowe. Opisana metoda pokazuje alternatywną drogę dla zagospodarowania popiołów lotnych z energetyki z których można otrzymać produkt wysokiej jakości.

1. Cz. Ostrowski, S. Żelazny, Badania klinkieru cementowego syntezowanego w wysokich temperaturach na bazie popiołu lotnego i tlenku wapnia, *Przemysł Chemiczny*, t. 82, Nr 8-9, 2003, s. 1237-1239, (**lista MNISW, A**), **IF<sub>2016</sub> = 0,399**
2. Cz. Ostrowski, S. Żelazny, Badania klinkieru cementowego na bazie popiołu lotnego i wapna syntezowanego w wysokiej temperaturze, *Materiały Budowlane*, nr 2 (378), 2004, 70-73 (**lista MNISW, B**)

.....

#### **b) Wytworzenie materiału wiążącego na bazie geopolimerów**

W wyniku realizacji projektu w ramach współpracy Polsko-Słowackiej, SK-PL-0048-09) Instytut Geotechniki Słowackiej Akademii Nauk (SAS) w Koszycach (Słowacja) w zespole powołanym na WliTCh brałem udział w pracach nad uzyskaniem spoiwa geopolimerowego. Popioły lotne użyte do badań pochodziły z Elektrociepłowni „Łęg” w Krakowie. Celem pracy było otrzymanie geopolimeru – spoiwa tworzącego się w wyniku polimeryzacji zachodzącej z udziałem krzemianów glinu oraz wodorotlenków potasu lub sodu. Zbadano wpływ następujących parametrów: warunki reakcji, wpływ stężenia wodorotlenku oraz wymywalność końcową produktu. Potwierdzono utworzenie polimeru metodą dyfraktometryczną, przeprowadzono także badanie wytrzymałości mechanicznej oraz wymywalności metali ciężkich. Wyniki badań potwierdziły, że uzyskany geopolimer ma właściwości wytrzymałościowe porównywalne ze spoiwami gipsowo-anhydrytowymi i może być wykorzystany do produkcji materiałów budowlanych.

3. L. Madejska, A. Jarosiński, S. Żelazny, [et al.], Properties of geopolymer binder obtained from fly ash, *Czas. Tech., Chem. PK.*, 2011, z. 1-CH, s. 113-118 (**lista MNISW, B**)
4. A. Jarosiński, L. Madejska, S. Żelazny, Some properties of geopolymers obtained from fly ashes, *Waste recycling XV : recyklace odpadu : international*, September 2011, s. 11-15.

.....

### c) **Zagospodarowanie odpadów z elektroniki**

W pracach związanych z tym cyklem, wraz z zespołem, zaproponowałem metodę termicznego przekształcania odpadowych elektronicznych obwodów drukowanych, realizowaną w reaktorze z chemicznie obojętnym złożem fluidalnym. Pozostała po wypaleniu substancji polimerowych niepalna część odpadów, poddana była dwustopniowej ekstrakcji w środowisku zasadowym (30% KOH) oraz kwaśnym (95% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). W pracy [5] przedstawiono udziały masowe wybranych metali w próbkach stałych po procesie spalania oraz po kolejnych etapach roztwarzania. Uzyskano wysoki stopień wyekstrahowania metali z materiału wyjściowego, mieszczący się w granicach od 90% (dla Ti) do ponad 97% dla innych metali.

W artykule [6] przedstawione zostały wyniki termicznej obróbki odpadów elektrycznych w reaktorze ze złożem fluidalnym oraz trawienia produktów stałych w warunkach kwaśnych. Podczas procesów prowadzono pomiary tlenku węgla, dwutlenku węgla, lotnych związków organicznych, tlenków azotu, dwutlenku siarki, chlorowodoru, bromowodoru, cyjanowodoru, amoniaku, fenolu, węglowodorów alifatycznych i aromatycznych, fluorowodoru i fosfenu. Przeprowadzono kilka testów wytrawiania stałej pozostałości w kwasie siarkowym(VI) w temperaturach 25°C i 65°C, przez 55 min do 24 godz. W każdym przypadku stosowano metodę rozcieńczania, tj. wstępne trawienie w stężonym kwasie siarkowym (VI) (95%) przez 40 minut, a następnie rozcieńczanie do oczekiwanych stężeń (30% - 50%). Najkorzystniejsze wyniki uzyskano przy użyciu kwasu siarkowego(VI) o docelowym stężeniu 40% w 65°C, gdzie stopień ługowania wynosił 76,6% dla miedzi, 71,7% dla żelaza, 91,9% dla cynku i 97,4% dla cyny. Optymalny czas do efektywnego przeprowadzenia procesu trawienia wynosił 220 min.

5. A.Woynarowska, S.Kandfer, M.Olek, S.Żelazny, W.Żukowski, Termiczna dekompozycja odpadów elektronicznych z wykorzystaniem reaktora fluidyzacyjnego, *Przemysł Chemiczny*, 90, 7, 2011, s. 1412-1418 (**lista MNISW, A**), **IF<sub>2016</sub> = 0,399**
6. A.Woynarowska, W.Żukowski, S.Żelazny, Thermal treatment of electronic waste in a fluidised bed and chemical digestion of solid products, *Waste Management & Research*, Vol. 34, Iss. 7, 2016, s. 605-618 (**lista MNISW, A**), **IF<sub>2016</sub> = 1,803**

.....

#### d) Ograniczenie emisji SO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub> z przemysłu

W pracy [7] na podstawie wyników udostępnionych z ZGH Bolesław ze zmiany technologii wytwarzania kwasu siarkowego z pojedynczej konwersji/pojedynczej absorpcji (PK/PA) na podwójną konwersję/podwójną absorpcję (DK/DA) oraz literatury, przeanalizowałem wpływ modernizacji technologii na emisję SO<sub>2</sub> oraz mgły kwasu siarkowego do atmosfery. Ilość nieprzereagowanego dwutlenku siarki w metodzie PK/PA jest ponad 3,7 razy większa niż w metodzie DA/DA.

Zastosowanie drugiego stopnia konwersji i międzystopniowej absorpcji ma również dodatkowe zalety wynikające bezpośrednio z termodynamiki oraz kinetyki reakcji utleniania SO<sub>2</sub> tlenem z powietrza. W pierwszym stopniu konwersji można utrzymywać wyższą temperaturę katalizatora (nie przekraczającą jednak temperatury spiekania masy kontaktowej) niż w metodzie PK/PA. Wyższa temperatura zapewnia większą szybkość reakcji oraz umożliwia stosowanie większych natężeń przepływu gazów procesowych. Wyższa temperatura katalizatora w pierwszym etapie konwersji obniża stopień przemiany, co wynika z termodynamiki procesu, jednak nieprzereagowany SO<sub>2</sub> w metodzie DK/DA oddzielany jest od produktu reakcji (SO<sub>3</sub>) w międzystopniowej wieży absorpcyjnej i kierowany jest później na drugi stopień konwersji. W metodzie PK/PA nie ma możliwości późniejszej konwersji nieprzereagowanego SO<sub>2</sub>, dlatego konieczne jest stosowanie niższej temperatury procesu oraz niższych natężeń przepływu w celu uzyskania wysokiego stopnia przemiany przy jednokrotnym przejściu gazów przez aparat kontaktowy. Dzięki podzieleniu procesu na dwa etapy w metodzie DK/DA, możliwe jest zapewnienie warunków sprzyjających szybkości reakcji (warunki sprzyjające kinetyce reakcji) na pierwszym etapie oraz warunków sprzyjających uzyskaniu wysokiego stopnia przemiany w drugim etapie (warunki korzystne termodynamicznie). Nowe metody takie jak wielostopniowa konwersja i wielostopniowa absorpcja (TK/TA) umożliwiają uzyskanie jeszcze wyższego stopnia przemiany SO<sub>2</sub> niż metoda DK/DA, jednak wysokie nakłady inwestycyjne w budowę takiej instalacji są istotną wadą tej technologii produkcji kwasu. Nowe instalacje do produkcji kwasu siarkowego powinny być konstruowane w standardzie DK/DA, lub według najnowszej metody TK/TA w celu uzyskania maksymalnego stopnia przemiany SO<sub>2</sub> oraz minimalizacji emisji substancji szkodliwych do atmosfery.

W pracy [8] w oparciu o wiedzę zdobytą w ramach współpracy z zakładami z Grupy „Azoty” oraz dane literaturowe, przeanalizowałem i zaproponowałem najbardziej skuteczne metody redukcji emisji NO<sub>x</sub> do atmosfery.

Z przedstawionych danych wynika, że metoda redukcji tlenków azotu polegająca na wprowadzeniu wtórnego katalizatora w reaktorze do katalitycznego utleniania amoniaku jest skutecznym sposobem eliminacji emisji tlenków azotu do atmosfery. Metoda ta umożliwia utrzymanie stężeń tlenków azotu na poziomie niższym od maksymalnych dopuszczalnych wartości stężeń.

Prowadzone są dalsze prace nad modyfikacją tej metody. Badania zmierzają do otrzymania katalizatorów o wysokiej selektywności i ograniczeniu do minimum reakcji niepożądanych tj. do tworzenia tlenku diazotu. Zarówno w świecie, jak i w kraju opracowuje się także recepturę katalizatorów wtórnych cechujących się wysokim stopniem rozkładu tlenków azotu.

7. A.Jarosiński, S.Żelazny, L.Madejska, Ocena pracy układu jedno i dwustopniowej konwersji SO<sub>2</sub> w aspekcie ochrony środowiska, Innowacyjne i przyjazne dla środowiska techniki i technologie przeróbki surowców mineralnych: bezpieczeństwo, jakość, efektywność: monografia : praca zbiorowa / red. nauk. Adam Klich, Antoni Kozieł ; Instytut Techniki Górniczej KOMAG. – Gliwice: Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 2013 s. 297-312 (rozdział w monografii)
8. S.Żelazny, A.Jarosiński, L.Stencel, Redukcja emisji azotu na przykładzie wybranego zakładu produkcyjnego związku azotu, *Rozdział w monografii*, 2012, s. 31-36

.....

#### e) **Pozyskiwanie energii ze źródeł niekonwencjonalnych**

W pracy [9] na podstawie literatury zaproponowano koncepcję przyszłej elektrowni termojądrowej DEMO opartej na modelu AB PPCS. Zamieszczona została symulacja działania systemu zmiany energii cieplnej w elektryczną w oparciu o analizę w programie CHEMCAD 6.2. Dokonano porównania różnych typów elektrowni poprzez obliczenie ilości potrzebnego paliwa dla elektrowni o mocy 1500 MW w ciągu roku.

W pracy [10] przeanalizowano możliwości, zalety i wady paliwa wodorowego jako alternatywy dla paliw kopalnych w transporcie. Opisane zostały metody pozyskiwania tego paliwa oraz pozytywne oddziaływanie na środowisko jego zastosowania.

9. D.Bradło, Ś.Żelazny, W.Żukowski, Koncepcja elektrowni termojądrowej, *Czasopismo Techniczne*, **1-Ś, Z. 4**, 2012, s. 31-40
10. A. Jarosiński, S. Żelazny, D. Jarzęcki, Current directions of hydrogen winning, 11th Conference on Environment and Mineral Processing, 31.5.-2.6.2007, VŠB-TU Ostrava, Czech Republic. Pt. 1 s. 223-228 (rozdział w monografii).

.....

#### f) **Rozpoznanie możliwości likwidacji zbiornika odpadów niebezpiecznych i szkodliwych po zakładach „Górka” w Trzebinii**

Gmina Trzebinia kierując się odpowiedzialnością za stan środowiska naturalnego, a szczególności ochroną wód powierzchniowych i podziemnych, podjęła się likwidacji zagrożenia środowiska, jakie stanowi składowisko odpadów po produkcji wodorotlenku glinu. Jest to obszar składający się ze zbiornika wodnego oraz nagromadzenia odpadów stałych. Opuszczony kamieniołom wapienny w

Trzebini wykorzystywany był jako nielegalne składowisko odpadów z produkcji specjalnego cementu i materiałów ogniotrwałych w latach 1960-1984. Składniki odpadów były wymywane przez wody zgromadzone w wyrobisku. Zespół powołany na WIITCh, w którym uczestniczyłem wykonał podstawowe badania składu odpadu jak również przeanalizował i zaproponował możliwości unieszkodliwienia. W przeważającej części były to wodorotlenki sodu i glinu, a woda ługowa powstała z odpadów była wysokoalkaliczna (pH w granicach 11-13). Wyniki badań opublikowane zostały w pracy [11].

11. S. Żelazny, K. Fela, A. Jarosiński, Z. Kowalski, Dump area reclamation with the use of bottom sludge suspension, Polish Journal of Chemical Technology, 2006, Vol. 8, No. 2, s. 48-53, (**lista MNISW, A**), **IF<sub>2016</sub> = 0,725**

----

**g) Technologia odzysku siarczanu(VI) potasu z odpadu pochodzącego z produkcji biopaliw**

W pracy [12] opisano jedną z potencjalnych metod odzysku siarczanu(VI) potasu z pozostałości glicerolowej po otrzymywaniu biodiesla. Zaproponowałem nową metodę utylizacji odpadu glicerolowego z produkcji biodiesla, polegającej na termicznej obróbce odpadu i termicznym wykorzystaniu składników organicznych oraz odzyskiem siarczanu(VI) potasu jako pozostałości po spalaniu. W procesie wykorzystana została znaczna wartość opałowa odpadu oraz jego mała lepkość w podwyższonej temperaturze, co ułatwiło dozowanie materiału do komory spalania. Badania zakończyły się pozytywnym rezultatem i na tej podstawie stwierdziłem, że termiczna utylizacja pozostałości glicerolowej wraz z odzyskiem siarczanu(VI) potasu jako pozostałości po procesie spalania wydaje się być dobrym sposobem zagospodarowania tego odpadu. Oprócz siarczanu(VI) potasu, cennego nawozu mineralnego, uzyskuje się tu znaczne ilości energii, która może być wykorzystana. Optymalna temperatura pieca jest na poziomie 900°C niezależnie od tego, czy proces był prowadzony z paliwem pomocniczym (gaz ziemny) czy bez niego. Technologia została opatentowana [13].

12. S. Żelazny, P. Radomski, Z. Wzorek, W. Żukowski, Technologia odzysku siarczanu(VI) potasu z odpadu pochodzącego z produkcji biopaliw, Przemysł Chemiczny, t. 95, nr 10, 2016, s. 1908-1910 (**lista MNISW, A**), **IF<sub>2016</sub> = 0,399**
13. Radomski Piotr, Wzorek Zbigniew, Żelazny Sylwester, *Sposób odzyskiwania siarczanu(VI) potasu z odpadów glicerynowych powstających przy produkcji biodiesla*, PL 231041 B1 (2019)

#### **h). Odpady z procesów przeróbki popiołów ze spalania osadów ściekowych**

Przedmiotem badań w tym zagadnieniu był osad po procesie odzysku fosforu z popiołów ze spalania osadów ściekowych kwasem azotowym(V) i fosforowym(V). Ługowaniu poddano przemysłowe popioły z polskich Stacji Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych w: Krakowie-Płaszowie, Kielcach, Łodzi, Warszawie oraz Szczecinie. Wszystkie te instalacje pracują w systemie ze spalaniem w złożu fluidalnym, z wyjątkiem STUOŚ w Szczecinie, gdzie stosowany jest piec z paleniskiem rusztowym. Badaniom poddano również stałą pozostałość po zgazowaniu osadów ściekowych z Instytutu Techniki Ciepłej w Gliwicach.

Na podstawie wykonanych badań stwierdziłem, że pozostałość po ługowaniu zarówno kwasem azotowym jak i fosforowym ze względu na dużą ilość krzemionki, żelaza może znaleźć zastosowanie jako dodatek surowcowy do produkcji klinkieru cementowego, co ograniczy zużycie materiałów naturalnych. Dodatkową zaletą tego materiału jest jego doskonale rozdrobnienie, co pozwoli zaoszczędzić energię potrzebną do rozdrobnienia surowców naturalnych.

Zaproponowałem również inną możliwość zagospodarowania tego materiału, stosując go jako składnik kompozytów cementowych. Najkorzystniej będzie zastosować go do produkcji sztucznego kruszywa jako wypełniacza do betonu [14].

14. P.Radomski, K. Gorazda, B. Tarko, S.Żelazny, A.K.Nowak, Z.Wzorek, Charakterystyka pozostałości po procesie odzysku fosforu z popiołów ze spalania osadów ściekowych w aspekcie ich wykorzystania do produkcji materiałów budowlanych, Przemysł Chemiczny, t. 94, nr 6, 2015, s. 967-972, (lista MNISW, A), IF<sub>2016</sub> = 0,399

**IF 3,344 (rok wydania)**

#### **5.2. Projekty naukowo-badawcze, badawczo-rozwojowe oraz prace naukowo-badawcze wykonane dla partnerów przemysłowych**

##### **5.2.1. Projekty naukowo-badawcze, uzyskane finansowanie w procedurach konkursowych – ogólnokrajowych i międzynarodowych**

1. Badania nad usuwaniem magnezu z koncentratów cynku i utylizacją produktów ubocznych, 2006-2009, grant badawczy, 1 T09B 11930 (Komitet Badań Naukowych)  
Mój udział polegał na zaplanowaniu i wykonaniu części eksperymentalnej projektu, interpretacji wyników oraz udziale w redagowaniu sprawozdania oraz redagowania artykułów do publikacji.
2. Proekologiczna technologia utylizacji spopielonych osadów ściekowych, jako źródło nawozów rolniczych i dodatków do materiałów budowlanych, 2012-2015, grant badawczo-rozwojowy, PBS1/A1/3/2012  
Mój udział polegał na zaplanowaniu i wykonaniu części eksperymentalnej w ostatnim punkcie projektu, który przewidywał zagospodarowanie odpadów po procesie odzysku

fosforu z popiołów lotnych ze spalania biomasy, interpretacji wyników oraz udziale w redagowaniu sprawozdania oraz redagowania artykułów do publikacji.

3. Eko-Ash. Nawóz na bazie popiołów ze spalania biomasy w elektrowniach, 2014–2015, grant badawczo – rozwojowy, POIG.01.04.00-26-300/13

W tym projekcie byłem kierownikiem tematu związanego z określeniem właściwości fizykochemicznych popiołu lotnego ze spalania biomasy. Mój udział polegał na zaplanowaniu i kierowaniu wykonaniem części eksperymentalnej. Po interpretacji otrzymanych wyników zredagowałem sprawozdanie oraz przedstawiłem wyniki w formie referatu na konferencji naukowej.

4. Ocena możliwych kierunków recyklingu ciężkich i rzadkich metali odzyskanych z odpadowych produktów spalania, 2015–2016, grant badawczo-rozwojowy, RAREASH ERA-MIN/ RAREASH/01/2015

Mój udział w tym projekcie skupiał się na własnym opracowanie metodologii części eksperymentalnej. Z mojej inicjatywy opracowana została metoda pozyskiwania metali ziem rzadkich z popiołów lotnych z energetyki, która została opatentowana.

5. Opracowanie innowacyjnej technologii oczyszczania odpadów z superstopów na bazie niklu i stopów tytanu, 2017-2018, grant badawczo-rozwojowy, POIR.01.02.00-00-0089/17-00

W tym projekcie zaproponowałem i przetestowałem substancje do usuwania zanieczyszczeń z powierzchni wiór stopów chromowo-niklowych oraz tytanowych, co przyczyniło się do opracowania technologii zawrócenia tych odpadów do procesu i wytwarzania z nich materiałów użytecznych.

## **5.2.2 Prace naukowo-badawcze wykonane dla partnerów przemysłowych (wybrane)**

### **Ekspertyzy naukowe**

1. Wykonanie opinii naukowej o innowacyjności linii technologicznej służącej produkcji przedniej szyby samochodowej, dla Saint-Gobain Sekurit Hanglas sp. z o.o., ul. Szklanych Domów 2, 42-530 Dąbrowa Górnicza, 2010 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia przyczyniła się do modernizacji technologii wytwarzania przednich szyb samochodowych, co w efekcie zwiększyło konkurencyjność zakładu oraz poprawiło jego ekonomię.
2. Wykonanie opinii naukowej o innowacyjności linii do produkcji szyb przednich Katex3, dla Saint-Gobain Sekurit Hanglas sp. z o.o., ul. Szklanych Domów 2, 42-530 Dąbrowa Górnicza, 2011 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia przyczyniła się do modernizacji technologii wytwarzania przednich szyb samochodowych, co w efekcie zwiększyło konkurencyjność zakładu oraz poprawiło jego ekonomię.
3. Wykonanie opinii naukowej o innowacyjności produktu w postaci zestawu zapraw tynkarskich, renowacyjnych, wapniowo cementowych, uniwersalnych oraz urządzeń do eksploatacji kalcytu stanowiącego podstawowy surowiec do wytwarzania zapraw, dla: Zakłady Chemiczne White Stones Sp. z o.o., 04-041 Warszawa, ul Ostrobramska 101A, 2011 (kierownik pracy)

- Efekt: Opinia przyczyniła się do opracowania receptury nowych mieszanek zapraw tynkarskich używanych do renowacji zabytków. Pozwoliło to dopasować rozszerzalność wytworzonego spoiwa do zmian długości zapraw występujących w zabytkach (w zależności od warunków atmosferycznych), co spowoduje, że renowacja będzie bardziej trwała.
4. Wykonanie opinii naukowej o stosowanym sposobie produkcji azotanu amonu w instalacji Neutralizacji Wydziału Saletrzaku w ZAK S.A., dla: ZAK Spółka Akcyjna, ul. Mostowa 30 A, skr. poczt. 163, 47-220 Kędzierzyn-Koźle 2012, (kierownik pracy)  
Efekt: W opinii została zidentyfikowana przyczyna zmniejszenia wytrzymałości granul nawozu (azotanu amonu) polegająca na dodawaniu kwasu siarkowego w końcowym etapie produkcji. Powodowało to niedokładną homogenizację produktu, co przy zmianie temperatury skutkowało naprężeniami we wnętrzu granul spowodowanymi różnym współczynnikiem rozszerzalności. Zaproponowana przez mnie zmiana technologii polegała na wprowadzeniu kwasu siarkowego na wcześniejszym etapie, co podniosło osiągnąć stały skład produktu i tym samym zwiększyła się jego wytrzymałość mechaniczna.
  5. Opinia o innowacyjności dotycząca nowej linii technologicznej w procesie formowania szkła Float o grubości 1,4 mm., dla: Saint-Gobain Sekurit Hanglas sp. z o.o., ul. Szklanych Domów 2, 42-530 Dąbrowa Górnicza, 2013 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia przyczyniła się do modernizacji technologii wytwarzania szyb płaskich w technologii Float. Opiniowano innowacyjną technologię pozwalającą produkować cieńsze niż poprzednio tafle szklane o grubości 1,4 mm. Pozwoliło to na oszczędności materiału, a co za tym idzie wpłynęło na konkurencyjność zakładu.
  6. Opinia potwierdzająca innowacyjność rozwiązania wdrożeniowego w Oddziale Huta Szkła „Orzesze”, dla: POL-AM-PACK S.A., ul. Jasnogórska 1, 31-358 Kraków, 2013 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia zawierała ocenę zmian technologicznych i ich wpływ na jakość produktu oraz na wydajność procesu wytwórczego. Przyczyniła się do pozyskania środków na modernizację linii technologicznej.
  7. Opinia dotycząca procesu technologicznego przeróbki aluminium Firmy Uniwheels, dla: Taxpoint sp. z o.o., ul. Prądnicka 4, 30-002 Kraków, 2014 (kierownik pracy)  
W opinii przedstawiono sugestię w modernizacji technologii przetopu elementów aluminiowych.
  8. Wykonanie opinii naukowej o innowacyjności linii technologicznych produkujących szyby samochodowe tylne, przednie i dachowe, które cechować będzie wysoka innowacyjność dzięki wprowadzeniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych, dla: Saint-Gobain Sekurit Hanglas sp. z o.o., ul. Szklanych Domów 2, 42-530 Dąbrowa Górnicza, 2014 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia przyczyniła się do modernizacji technologii wytwarzania szyb tylnych, przednich i dachowych do samochodów. Modernizacja polega na modernizacji technologii jak również unowocześnieniu parku maszynowego.



9. Określenie przemian fazowych w saletrosanie na podstawie badań rentgenograficznych (50 oznaczeń), dla: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach, Ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów, 2014 (kierownik pracy)  
Efekt: Na podstawie przeprowadzonych badań określono dodatki do nawozu poprawiające jego właściwości mechaniczne.
10. Ekspertyza możliwości wdrożenia do produkcji nowego saletrosanu z dodatkiem mikroelementów, na istniejącej instalacji granulacji mechanicznej, dla: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach, Ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów, 2015 (kierownik pracy)  
dla: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach, Ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów, 2014 (kierownik pracy)  
Efekt: Zaproponowana przeze mnie możliwość wytwarzania nowego produktu (nawozy z mikroelementami) zawarta była w opinii, która zawierała analizę rynku w odniesieniu do tego rodzaju produktów. Pomysł był sprawdzony w wyniku badań przeprowadzonych na Akademii Rolniczej, a wyniki potwierdziły moje przypuszczenia. Zakłady Azotowe w Tarnowie złożyły wniosek patentowy, w którym również uczestniczę.
11. Opinia na temat możliwości zastosowania granulatu cementowego „Mo-Bruk” do rekultywacji gruntów poeksploatacyjnych, dla: Wójt Gminy Grybów, ul. Jakubowskiego 33, 33-330 Grybów, 2015 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia przyczyniła się do możliwości zastosowania granulatu cementowego „Mo-Bruk” do rekultywacji gruntów poeksploatacyjnych.
12. Przygotowanie opinii /ekspertyzy naukowej/ nt. emisji chromu z procesów mieszania surowców i powstałego produktu z udziałem tlenku chromu VI, dla: Stalprodukt S.A., ul. Wygoda 69, 32-700 Bochnia, 2017 (kierownik pracy)  
Efekt: Na podstawie literatury oraz własnych doświadczeń określiłem możliwości emisji związków chromu podczas prowadzenia procesu homogenizacji składników z udziałem tlenku chromu(VI) podczas mieszania mechanicznego w temperaturze 5-30°C. Drugim zagadnieniem poruszonym w tym opracowaniu jest opis zmian wartościowości chromu z Cr<sup>+6</sup> na Cr<sup>3</sup> na drodze termicznej obróbki w piecu w warunkach 750-930°C.
13. Opinia o innowacyjności dotycząca wprowadzenia na rynek innowacyjnych produktów w postaci znacząco ulepszonych opraw oświetleniowych, dla Labra Sp. z o.o., 32-061 Rybna, 2018 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia dotyczy inwestycji związane z wdrożeniem znacząco ulepszanego produktu w postaci opraw oświetleniowych, w których zostaną zastosowane diody LED. W opinii na podstawie literatury określiłem kierunki rozwoju technologii produkcji oświetleni typu LED. Opinia przyczyniła się do pozyskanie środków na innowacyjne wdrożenia w zakładzie.
14. Ekspertyza palności odpadu klasyfikowanego pod kodem 06 04 03\*, dla Alventa S.A., ul Karola Olszewskiego 25, 32-566 Alwernia, 2019 (kierownik pracy)  
Efekt: Opinia oparta na badaniu palności odpadu określiła bezpieczne dla środowiska warunki jego składowania.

## Wybrane opracowania dla przemysłu

W zestawieniu zamieściłem ważniejsze opracowania dla przemysłu, które miały wpływ na modernizację technologii w zakładzie. Współpraca z partnerami przemysłowymi dotyczyła zmian technologii wytwarzania produktu jak również technologii zmniejszających negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne.

1. *Opracowanie składu fazowego mieszaniny azotanów sodu i potasu w stosunku wagowym 3:1*, Zleceniodawca: Grupa Kęty S.A. ul. Tadeusza Kościuszki 111, 32-650 Kęty, 2009 (kierownik pracy)  
Dzięki opracowaniu zakład przemysłowy mógł uzyskać oszczędności, które nastąpiły dzięki zmianą w technologii. Zmiana ta polega na zastąpieniu drogiego azotanu potasu tańszym azotanem sodu.
2. *Wykonanie analiz osadów podekarbonizacyjnych oraz oceny ich przydatności dla odsiarczania spalin*, Zleceniodawca: EC Kraków S.A., ul Ciepłownicza 1, 31-587 Kraków, 2009 (kierownik pracy)  
Wyniki badań wykorzystane zostały do modernizacji procesów spalania węgla w celu ograniczenia emisji tlenków siarki do atmosfery. W procesie spalania wykorzystano odpadowy węglan wapnia, który wcześniej był poddawany utylizacji.
3. *Modyfikacja procesu odmagnezowania i flotacji koncentratu sfalerytowego*, Zleceniodawca: Zakłady Górniczo-Hutnicze Bolesław S.A. 32-332 Bukowno, ul. Kolejowa 37, 2010 (kierownik zespołu)  
Wyniki zostały wdrożone, dzięki wdrożeniu poprawiono jakość koncentratu sfalerytowego, co przyczyniło się do obniżenia ZnS w wypalkach z 1,5% do 0,6%. Ma to wpływ zarówno na ochronę środowiska poprzez zmniejszenie ilości odpadów jak również poprawia uzysk produktu głównego (cynku), co przyczynia się do zwiększenia zysku zakładu.
4. *Nowa technologia otrzymywania tlenku cynku, zwłaszcza paszowego i technicznego*, Zleceniodawca: Przedsiębiorstwo ARKOP Spółka z o.o., ul. Kolejowa 34 A, 32-332 Bukowno, 2010 (kierownik pracy)  
Wyniki badań wykorzystane były do modernizacji technologii produkcji cynku z odpadowego elektrolitu z procesu elektrolitycznego otrzymywania cynku.
5. *Określenie zawartości wybranych pierwiastków oraz podstawowych związków chemicznych w dostarczonej próbce*, Ecotech Polska S.A., ul. Niedziałkowskiego 28, 61-578 Poznań (kierownik pracy)
6. *Określenie ilościowe i jakościowe składników nawozu granulowanego NPK produkcji Alwernia*, dla Alventa S.A., ul Karola Olszewskiego 25, 32-566 Alwernia, 2011 (kierownik pracy)  
Badania potwierdziły jakość wytwarzanego produktu.
7. *Określenie ilości wydzielonego wodoru podczas obróbki chemicznej stopów aluminium w roztworach wodorotlenku sodu*, dla: Grupa Kęty S.A., ul. Kościuszki 111, 32-650 Kęty, 2012 (kierownik badań)  
Badania przyczyniły się do uruchomienia nowej innowacyjnej instalacji obróbki powierzchni elementów aluminiowych w roztworze wodorotlenku sodu. Na podstawie

- badania określono ilość wydzielonego wodoru podczas prowadzenia procesu. Na tej podstawie zaprojektowano odciągi o odpowiednich gabarytach.
8. *Modyfikacja faz krystalicznych Saletrosanu 26 za pomocą dodatków*, Zleceniodawca: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach, ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów, 2013 (kierownik pracy)  
Badania przyczyniły się do polepszenia parametrów produktu końcowego, co ma duży wpływ na zmniejszenie reklamacji, a tym samym wpływa na wizerunek zakładu jak również pozwala zaoszczędzić niemałe środki finansowe.
  9. *Badania laboratoryjne próbek materiału podbudowy podsadzki*, Zleceniodawca: Dekra Industrial Sp. z o. o., ul. Rzymowskiego 28, 02-697 Warszawa, 2013 (kierownik pracy)  
Badania pozwoliły na identyfikację problemu wybrzuszenia posadzki w sklepie wielkopowierzchniowym, co przyczyniło się do skutecznego usunięcia usterki.
  10. *Wykonanie analizy właściwości fizycznych ZnS z ZGH*, Gradir, Famakom, Trepcza na podstawie ciężaru nasypowego, ciężaru właściwego, składu granulometrycznego, kąta usypowego, Zleceniodawca: Zakłady Górniczo-Hutnicze Bolesław S.A. 32-332 Bukowno, ul Kolejowa 37, 2014 (kierownik pracy)  
Badanie określiło właściwości fizykochemiczne potencjalnych surowców dla ZGH Bolesław. Określenie kąta tarcia wewnętrznego pozwoliło zaprojektować składowisko o optymalnych wymiarach.
  11. *Określenie wpływu dodatków soli nieorganicznych na polepszenie parametrów nawozu Saletrosan 26*, Zleceniodawca: Zakłady Azotowe w Tarnowie-Mościcach, ul. Kwiatkowskiego 8, 33-101 Tarnów, 2015 (kierownik pracy)  
Badania przyczyniły się do polepszenia parametrów produktu końcowego. Dodatek półwodnego siarczanu magnezu spowodowała zwiększenie wytrzymałości granул z jednoczesnym ograniczeniem pylenia. Rozwiązanie jest nadal stosowane w przemyśle.
  12. *Określenie stopnia absorpcji SO<sub>3</sub> w wieży absorpcji wstępnej FKS I*, Zleceniodawca: Zakłady Górniczo-Hutnicze Bolesław S.A. 32-332 Bukowno, ul Kolejowa 37, 2016 (kierownik pracy)  
Badania przyczyniły się do ustalenia parametrów pracy nowo postawionej wieży absorpcyjnej w technologii produkcji kwasu siarkowego w ZGH Bolesław.
  13. *Określenie wpływu stężenia tlenu w gazach prażalniczych na jakość prażonki*, Zleceniodawca: Zakłady Górniczo-Hutnicze Bolesław S.A. 32-332 Bukowno, ul. Kolejowa 37, 2017  
Badania wykazały poprawę sprawności pieca fluidyzacyjnego do spalania koncentratu sfalerytowego (nie zostały wdrożone ze względów ekonomicznych)
  14. *Badanie redukcji siarczanów w wodach odpadowych „Kanał poflotacyjny”, „Mieczysław” oraz „Ściek kwaśny z FKS”*, Zleceniodawca: Zakłady Górniczo-Hutnicze Bolesław S.A. 32-332 Bukowno, ul Kolejowa 37, 2017  
Badania są podstawą do opracowania grantu na dofinansowanie budowy instalacji przemysłowej do oczyszczania ścieków przemysłowych z Zakładu.
  15. *Ocena możliwości kierunków recyklingu ciężkich i rzadkich metali odzyskanych z odpadowych produktów spalania*, Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice, 2017 (kierownik pracy)

Badania przyczyniły się do opracowania nowej technologii pozyskiwania metali ziem rzadkich z popiołów lotnych i były podstawą do złożenia wniosku patentowego, który został przyznany.

### **Patenty i zgłoszenia patentowe**

1. Żelazny Sylwester, Ostrowski Czesław, *Sposób otrzymywania nieorganicznych włókien gipsowych*, (2003), PL 185209 B1
2. Żelazny Sylwester, Kowalski Zygmunt, Jarosiński Andrzej, Włodarczyk Bogusław, Kulczycka Joanna, *Mieszanka podsadzkowa i sposób otrzymywania mieszaniny podsadzkowej*, PL 207982 B1 (2006) (wdrożony)
3. Żelazny Sylwester, *Granulowany nawóz potasowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu potasowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, PL 231753 (2019)
4. Sylwester Żelazny, *Granulowany nawóz potasowo-fosforowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu potasowo-fosforowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, PL 231700 (2019)
5. Żelazny Sylwester, *Granulowany nawóz azotowo-fosforowo-potasowy o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy oraz sposób wytwarzania granulowanego nawozu Azotowo-fosforowo-potasowego o przedłużonym działaniu na bazie popiołu ze spalania biomasy*, PL 231701 (2019)
6. Radomski Piotr, Wzorek Zbigniew, Żelazny Sylwester, *Sposób odzyskiwania siarczanu(VI) potasu z odpadów glicerynowych powstających przy produkcji biodiesli*, PL 231041 B1 (2019)
7. Żelazny Sylwester Eugeniusz, Białecka Barbara, Jarosiński Andrzej, Świnder Henryk, *Sposób odzysku metali ziem rzadkich z popiołów lotnych.*, P.423021 (2017)

### **Recenzje w czasopismach naukowych**

Wykonałem około 40 recenzji artykułów naukowych w większości dla „Inżynierii Mineralnej” (Journal of the Polish Mineral Engineering Society)

Recenzje wykonane dla czasopisma Inżynieria Mineralna wykonane w latach 2016-2018

1. L. BLÁHOVÁ, M. MUCHA, Z. NAVRÁTILOVÁ, S. BUDZYŃ, B. TORA, 2018 – *Industrial Wastes as Potential Sorbents of Heavy Metals*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 61–66, DOI: 10.29227/IM-2018-01-09
2. V. DENIZ, T. GULER, 2018 – *Production of White Barite from Barite Concentrates of Shaking Tables by Bleaching Process after Magnetic Methods*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 77–82, DOI: 10.29227/IM-2018-01-12

3. J. RŮŽIČKOVÁ, M. ŠAFÁŘ, H. RACLAVSKÁ, H. ŠKROBÁNKOVÁ, K. RACLAVSKÝ, 2018 – *Organic Compounds Released by Thermal Decomposition of Wood Composite*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 87–92, DOI: 10.29227/IM-2018-01-14
4. I. BREŽÁNI, M. SISOL, M. VALKOVÁ, M. MARCIN, 2018 – *Processing of Magnesite Rich Flotation Waste Deposited on a Heap*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 119–124, DOI: 10.29227/IM-2018-01-20
5. P. KANTOR, B. ŠVÉDOVÁ, J. DROZDOVÁ, H. RACLAVSKÁ, M. KUCBEL, K. RACLAVSKY, 2018 – *Comparison of Enrichment Factors for Heavy Metals in Urban Street Dust and Air Aerosols*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 209–216, DOI: 10.29227/IM-2018-01-33
6. J. PIWOWOŃSKA, S. PIETRZYK, 2018 – *Methods for the Disposal of Arsenic from Aqueous Solutions with Particular Emphasis on Copper Metallurgy - a Literature Review*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(41), p. 299–313, DOI: 10.29227/IM-2018-01-43
7. M. TEŠINSKÝ, P. BALÁŽ, 2017 – *Copper Leaching from Chalcopyrite: Mechanochemical Approach*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 1–6.
8. T. GÜLER, S. TUNÇ, A.A. AKSOY, E. POLAT, 2017 – *Potential Response of Pyrite Electrode in the Presence of Metal Ions*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 13–18.
9. L. BLÁHOVÁ, Z. NAVRÁTILOVÁ, M. MUCHA, S. GOROŠOVÁ, 2017 – *Alkali-Activation of Blast Furnace Slag as Possible Modification for Improving Sorption Properties of Heavy Metals*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 59–64.
10. T. ŠPALDON, J. HANČULÁK, O. ŠESTINOVÁ, L. FINDORÁKOVÁ, E. FEDOROVÁ, 2017 – *Barium Use for Sulphates Removal at Various pH Values*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 65–70.
11. J. CAŁUS MOSZKO, B. BIAŁECKA, M. CEMPA-BALEWICZ, A. BAUERREK, 2017 – *Ways of Rare Earth Element Content and Distribution in Ash-Slag Mixes Deposited in the Gardawice Landfill*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 103–110.
12. P. HRBÁČOVÁ, S. HEVIÁNKOVÁ, J. CHROMÍKOVÁ, J. THOMAS, 2017 – *Electrodialysis Process to Reduce the Concentration of Nitrates in Waters*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 125–130.
13. P. DVOŘÁK, H.N. VU, 2017 – *Zinc Recovery from Flue Dust*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 195–200.
14. T. SZCZYGIELSKI, B. TORA, A. KORNACKI, J.J. HYCINAR, 2017 – *Fluidal ashes – properties and application*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(39), p. 207–216.

15. S. PIETRZYK, B. TORA, 2017 – *Processing of Non-Ferrous Metals Secondary Raw Materials in Poland – Trends, Opportunities and Threats*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(40), pp.81-92
16. J. J. HYNAR, K. HONYSCH, B. TORA, S. BUDZYŃ, 2017 – *Physico-chemical Characteristics of Selected Alternative Fuels and their Mixtures with Carbon Fuels*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(40), pp. 201-206
17. J. RŮŽIČKOVÁ, M. KUCBEL, K. RACLAVSKÝ, H. RACLAVSKÁ, 2016 – *Chemical Composition of Biochar from Combustion in Local Heating*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(37), p. 23–28
18. J. PYSSA, 2016 – *Uranium Occurrence, Deposits and Mines in Poland*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(37), p. 47–56
19. R. TOMANEC, M. BLAGOJEV, 2016 – *Concentration of Gold From Small Deposits in Serbia*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(37), p. 87–92
20. K.K. KISHIBAYEV, A.T. KABULOV, R.R. TOKPAYEV, A.A. ATCHABAROVA, S.A. YEFREMOV, N.L. VOROPAEVA, S.V. NECHIPURENKO, M.K. NAURYZBAYEV, KH.S. TASIBEKOV, 2016 – *Activated Carbons from the Compressed Plant Materials (Coconut Shell) and Copolymers of Furfural*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(37), p. 181–188
21. N. IWASZCZUK, A. JARZEŃKA, A. JAROSIŃSKI, 2016 – *Selected Problems of Processing and Risks Connected with Recycling of Waste Electric and Electronic Equipment*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(38), p. 201–210
22. A. JAROSIŃSKI, L. MADEJSKA, 2016 – *Selected Issues of Mischmetal and Other Rare Earth Metal Obtaining*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 1(37), p. 249–256
23. O. BOLD, A. MATEI, M. MORAR, S. MANGU, 2016 – *The Dependence of Humic Acids Content of the Oltenia Lignite, Function of the Macropetrographic Constituents (Litotypes)*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(38), p. 211–218
24. V. LAPČÍK, J. JEŽ, 2016 – *Pyrolysis Technologies in Branch of Energy Recovery from Tyres in the Czech Republic*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(38), p. 233–240
25. V.M. MUKHIN, N.L.VOROPAEVA, A.G.TKACHEV, N.I.BOGDANOVICH, Ju.Ja. SPIRIDONOV, 2016 – *Vegetable Waste as Perspective Raw Materials for the Production of Carbon Adsorbents*, Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, No 2(38), p. 241–246

### **Działalność dydaktyczna**

W ramach mojej działalności dydaktycznej na przestrzeni od 2000 do 2018 roku przygotowałem, prowadziłem lub prowadzę sześć wykładów związanych z technologią chemiczną oraz ochroną środowiska. Większość z nich udostępniłem studentom na

platformie Moodle. Wykłady te sukcesywnie modernizuję i z uwagi na duży kontakt z zakładami przemysłowymi wprowadzam do nauczania innowacyjne rozwiązania stosowane w przemyśle.

1. Podstawy technologii – wykład
2. Gospodarka surowcami i odpadami – wykład
3. Ochrona Środowiska w Technologii Chemicznej – wykład
4. Proekologiczne Technologie Nieorganiczne – wykład
5. Surowce i Procesy Technologiczne – wykład
6. Projekt Technologiczny – wykład
7. Technologie materiałów wiążących betonu - wykład
8. Projekt Technologiczny – projekt
9. Surowce i Procesy Technologiczne – ćwiczenia
10. Wybrane działy technologii nieorganicznej – laboratoria (uruchomiłem cztery nowe stanowiska do ćwiczeń opracowując do nich instrukcję)

Działalność w kole naukowym zaowocowała kilkoma referatami w Uczelnianej Sesji Studenckich Kół Naukowych (sesje międzynarodowe) 5 studentów, których byłem promotorem.

Wykorzystując ścisłą współpracę z przemysłem organizowałem liczne wycieczki do zakładów celem podniesienia wiedzy praktycznej studentów.

Jako kierownik dwóch grantów ukierunkowanych na podniesienie wiedzy praktycznej studentów organizowałem i organizuję liczne staże przemysłowe w ramach tych projektów.

### **Staż naukowe i przemysłowe**

1. Francja, **Uniwersytet im. Pasteura w Strasbourg**, Ecole d'Application des Hauts Polymers *Staż naukowy*, 01.12.1993-28.02.1994, trzymiesięczny staż naukowy w ramach programu TEMPUS
2. Rosja, **Iwanowski Państwowy Uniwersytet Chemiczno-Technologiczny w Iwanowie**, *Staż naukowy*, 1 miesiąc 1999
3. Polska, Fabryka Kosmetyków **Miraculum**, *Staż przemysłowy*, 1.01.2002-12.04.2002
4. Republika Czeska, **VSB**, *Staż naukowy*, 29.04.2013 - 29.07.2013, trzymiesięczny staż naukowy, finansowany w ramach projektu *Politechnika XXI wieku – program rozwojowy Politechniki Krakowskiej najwyższej jakości dydaktyka dla przyszłych polskich inżynierów* realizowanego na podstawie umowy nr UDA-POKL.04.01.01-00-029/10-00, NCBIR;
5. Republika Czeska, **VSB**, *Staż naukowy*, 22.04.2014 - 23.07.2014, trzymiesięczny staż naukowy, finansowany w ramach projektu *Politechnika XXI wieku – program rozwojowy Politechniki Krakowskiej najwyższej jakości dydaktyka dla przyszłych polskich inżynierów* realizowanego na podstawie umowy nr UDA-POKL.04.01.01-00-029/10-00, NCBIR;

### **Promotor pomocniczy**

1. Woynarowska Amelia, praca doktorska: Termiczna utylizacja odpadów elektronicznych w reaktorze fluidyzacyjnym, Kraków 2014

W latach 2000 – 2018: promotor 39 prac magisterskich i 30 inżynierskich. Recenzent około 15 prac inżynierskich i około 40 prac magisterskich.

### **Promotor 30 prac inżynierskich:**

1. 2002r. - Paweł Malinowski - Metody otrzymywania wapna palonego w Polsce
2. 2006r. - Arkadiusz Bernaś - Bilans materiałowy produkcji wapna w wapienniku „Trzuskawica”
3. 2008r. - Hanna Witkowska - Procesy pozyskiwania cynku metodą pirometalurgiczną i hydrometalurgiczną w aspekcie BAT
4. 2008r. - Lidia Bogdańska - Biomasa jako źródła energii odnawialnej
5. 2008r. - Magdalena Tracz - Kierunki rozwoju (BAT) nawozów azotowych w Polsce
6. 2009r. - Krzysztof Marczewski - Ocena sekwestracji jako metody walki z nadmiarem CO<sub>2</sub> w atmosferze
7. 2009r. - Magdalena Jaśkowiec - Efekt cieplny mit czy zagrożenie?
8. 2009r. - Teresa Gibas - Przyczyny i skutki zanieczyszczenia atmosfery
9. 2011r. - Karolina Chmielarczyk - Przegląd nowoczesnych metod odsiarczania gazów spalinowych
10. 2011r. - Dariusz Bradło - Kontrolowana synteza termojądrowa jako przyszłościowe źródło energii
11. 2011r. - Dawid Pandel - Dobór młyna kulowego do rozdrabniania surowców w przemyśle cementowym
12. 2011r. - Grzegorz Podleśny - Przegląd metod zapobiegania wybuchom pyłu węglowego w kopalniach węgla
13. 2012r. - Marcin Szlęzak - Metody zagospodarowania odpadowego elektrolitu z procesu otrzymywania cynku metodą hydrometalurgiczną
14. 2012r. - Joanna Wierzbinka - Porównanie i ocena metod granulacji nawozów azotowych w Zakładach Azotowych w Tarnowie
15. 2012r. - Magdalena Wilgucka - Ocena wybranych metod ograniczania emisji tlenków azotu do atmosfery, ze szczególnym uwzględnieniem metod stosowanych w Zakładach Azotowych w Tarnowie
16. 2012r. - Klaudia Szatko - Poznanie mechanizmu zbrylania nawozów na bazie azotanu amonu
17. 2013r. - Justyna Augustynek - Metody uzdatniania wody do procesu przemysłowego w Elektrociepłowni Energomedia Sp. z o.o. w Trzebini
18. 2013r. - Marta Rogacz - Skuteczność wmywania chloru i fluoru z hutniczego tlenku cynku w warunkach ZGH Bolesław S.A.
19. 2013r. - Damian Milde - Porównanie układu pojedynczej i podwójnej konwersji SO<sub>2</sub> w technologii kwasu siarkowego



20. 2014r. - Katarzyna Giemza - Porównanie i ocena metod wytwarzania azotanu amonu
21. 2014r. - Weronika Chrobak - Porównanie metod termicznej utylizacji odpadów komunalnych
22. 2014r. - Mateusz Kula - Ocena i przegląd nowoczesnych nawozów mikroelementowych
23. 2014r. - Jakub Mielcarek - Ocena pracy pieca do wytopu szkła na przykładzie zakładu Owens-Illinois
24. 2015r. - Piotr Stępień - Przegląd oraz analiza pozyskiwania alternatywnych źródeł dla przemysłu cynkowego
25. 2016r. - Magdalena Więcek - Porównanie technologii wytwarzania wodorotlenku wapnia oraz półwodnego siarczanu wapnia pod względem ekonomicznym oraz ekologicznym
26. 2016r. - Jakub Duś - Ocena metod wytwarzania klinkieru cementowego na podstawie bilansu cieplnego
27. 2017r. - Joanna Różana - Badania określające wpływ dodatków na szybkość wiązania gipsu otrzymanego ze zużytych form gipsowych z Zakładów Porcelany „Ćmielów”
28. 2017r. - Żaneta Dziurzyńska - Porównanie właściwości mechanicznych spoiwa anhydrytowego ze spoiwem gipsowym otrzymanym z gipsu odpadowego z Zakładów Porcelany "Ćmielów"
29. 2018r. - Wojciech Trybus - Próba zagospodarowania popiołów lotnych do produkcji geopolimerów
30. 2018r. - Anna Kłeczek - Próba zagospodarowania odpadu poflotacyjnego z ZGH Bolesław do otrzymywania cementu Sorela

### **Promotor 39 prac magisterskich**

1. 2001r. - Dariusz Śledziński - Przemiany fazowe dihydratu siarczanu wapnia w zależności od jego pochodzenia
2. 2001r. - Elżbieta Siczkoś - Kinetyka krystalizacji siarczanu wapnia w układzie CaO-SO<sub>3</sub>-HCl-H<sub>2</sub>O
3. 2002r. - Agnieszka Juszczak Porównanie wybranych metod usuwania SO<sub>2</sub> z gazów spalinowych w elektrowniach i elektrociepłowniach
4. 2004r. - Leokadia Cygan - Raport o stanie Środowiska województwa małopolskiego w 2000 r.
5. 2004r. - Dorota Łatka – Koncepcja zagospodarowania gipsu z procesu odmagnezowania koncentratu poflotacyjnego z Z.G. Trzebionka
6. 2004r. - Anna Świerczek - Produkcja materiałów podsadzkowych z odpadów poflotacyjnych pochodzących z ZG "Trzebionka" w Trzebini
7. 2004r. - Marek Starowicz - Próby odzysku związków magnezu z odpadu po odmagnezowaniu blendy cynkowej
8. 2004r. - Zofia Perlikowska - Utylizacja wód zasolonych w kopalni soli "Wieliczka"
9. 2005r. - Katarzyna Dudek - Otrzymanie Mg(OH)<sub>2</sub> oraz MgO z roztworu odpadowego z procesu odmagnezowania blendy cynkowej.
10. 2005r. - Agnieszka Bukała - Badanie rozpuszczalności gipsu w wodnych roztworach chlorku sodu, chlorku amonu i amoniaku

11. 2005r. - Maria Morga - Możliwości pozyskiwania magnezu w postaci fosforanów z odpadu poflotacyjnego pochodzącego z przeróbki rud cynkowo ołowionych z ZG „Trzebionka” S.A.
12. 2005r. - Monika Banach Próba aktywacji popiołu lotnego stosowanego do solidyzacji odpadów pogórnich.
13. 2006r. - Piotr Żuradzki - Próba odzysku cynku z pyłów stalowniczych z odpylania gazów odlotowych w procesie wytopienia stali
14. 2006r. - Lasek Bartłomiej - Próba otrzymania spoiw magnezjowych na bazie odpadu poflotacyjnego z procesu wzbogacania rud cynku i ołowiu
15. 2006r. - Aleksandra Wojcieszczak - Zagospodarowanie odpadów przemysłowych do produkcji paliw alternatywnych
16. 2006r. - Robert Mańkowski - Próba ograniczenia przepuszczalności betonów dla gazów celem nierozprzestrzeniania się pożarów w kopalniach węgla kamiennego
17. 2007r. - Tomasz Zięba - Próba odzysku cynku z procesu wytopienia stali metodą łukową
18. 2007r. - Małgorzata Parzelka - Wpływ uziarnienia na wytrzymałość cementu Sirela otrzymanego z odpadu dolomitowego z procesu wzbogacania rud cynku i ołowiu.
19. 2008r. - Małgorzata Kosoń - Badanie odporności kompozytów z cementu Sorela z odpadów dolomitowych na działanie wody z dużą ilością chlorków
20. 2008r. - Magdalena Błachut - Opracowanie metody badania stężenia beta glukanu w słodzie i na poszczególnych etapach produkcji piwa z wykorzystaniem aparatury HPLC
21. 2008r. - Iwona Chwierut - Próba optymalizacji czasu wiązania gipsu odpadowego z procesu odmagnezowania koncentratu blendy cynkowej
22. 2008r. - Agnieszka Wadowska - Wpływ temperatury wypału oraz uziarnienia na wytrzymałość spoiwa anhydrytowego otrzymanego na bazie gipsu odpadowego z ZG. „Trzebionka”
23. 2009r. - Michał K. Smoła - Określenie właściwości fizykochemicznych gipsu odpadowego z form odlewniczych oraz ocena jego przydatności w przemyśle materiałów wiążących
24. 2009r. - Amelia Woynarowska - Oczyszczanie ścieków powstających w procesie otrzymywania koncentratów cynku i ołowiu za pomocą wymiennicy jonowych
25. 2009r. - Anna Szawara - Wpływ temperatury oraz ilości  $MgCl_2$  na proces wiązania cementu Sorela otrzymanego z odpadu dolomitowego z Z.G. „Trzebionka” S.A.
26. 2010r. - Elżbieta Kubiś - Badanie właściwości kompozytów z cementu Sorela otrzymanego z odpadu dolomitowego utwardzonego za pomocą siarczanu magnezu
27. 2011r. - Piotr Matysik - Dobór warunków odmagnezowania blendy cynkowej dla zakładu ZGH „Bolesław” w Bukowni
28. 2011r. - Łukasz Miodoński - Dobór pieca w procesie spalania blendy cynkowej
29. 2011r. - Paulina Tomal - Wpływ dodatków na właściwości fizyczne (plastyczność) pulpy azotanu i siarczanu amonu w granulatorze instalacji mechanicznej granulacji nawozów
30. 2012r. - Dariusz Bradło - Rozpoznanie właściwości sorpcyjnych regenerowanych ziem bielących
31. 2012r. - Sebastian Jagusiński - Otrzymywanie azotanu wapnia i magnezu z surowca dolomitowego

32. 2013r. - Joanna Wierzbinka - Dobór optymalnego składu kąpieli solnej w procesie termicznej obróbki stopów aluminium
33. 2013r. - Magdalena Wilgucka - Próba odzysku związków potasu z popiołu ze spalania drewna
34. 2013r. - Klaudia Szatko - Wpływ dodatków na układ soli  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  –  $\text{Ca}(\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$
35. 2014r. - Damian Milde - Rozpoznanie możliwości otrzymania nawozu NPK na bazie azotanu amonu
36. 2014r. - Michał Ochman - Spirobiindanowe pochodne bisfenolu A i metody ich otrzymywania
37. 2014r. Joanna Jagodzińska - Przetwarzanie termiczne odpadów - bezpieczeństwo czy zagrożenie
38. 2015r. Katarzyna Giemza - Badanie możliwości wytwarzania nawozów mineralnych na bazie popiołów lotnych ze spalania biomasy
39. 2017r. Jakub Duś - Określenie możliwości odzysku związków potasu z odpadu „by-pass” z cementowni

#### **Działalność organizacyjna**

1. Pełnomocnik Dziekana Wydziału IiTCh ds. praktyk od 2008r. do teraz
2. Pełnomocnik Dziekana Wydziału IiTCh ds. Festiwalu Nauki od 2008r. do teraz
3. Przedstawiciel Uczelnianej Komisji Rekrutacyjnej (UKR) ds. studiów stacjonarnych i niestacjonarnych I i II stopnia od 2014r. do 2018r.
4. Udział w Komisjach Egzaminacyjnych prac dyplomowych na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej
5. Udział w Komisji Egzaminacyjnej prac Inżynierskich w VSB – Technická Univerzita Ostarava, Hornicko-geologická fakulta, Czechy, w latach 2014-2018 i 2018-2022
6. Kierownik projektu „Kompetencje startem do kariery inżyniera”, umowa nr POKL 04.01.01-00-189/14 z Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki
7. Członek Komisji Regulaminowo - Statutowej SITPChem na lata 2014-2018
8. Kierownik projektu „Czas na staż”, umowa nr POWR.03.01.00-00-S052/17 z Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój
9. Pracowałem w zespole, który opracował wytyczne i uruchomił nowy kierunek na Wydziale Inżynierii i Technologii Chemicznej – Chemia Budowlana

#### **Nagrody**

1. Medal Srebrny za długoletnią służbę od Prezydenta RP, 2012
2. Nagroda Rektora PK : Zespołowa I stopnia za osiągnięcia organizacyjne, 2012

*Sylwester Żelazny*