

## ***Załącznik 2 - Autoreferat***

Jakub Kierczak  
Instytut Nauk Geologicznych  
Uniwersytet Wrocławski

---

# **AUTOREFERAT**

---

**Wrocław 2015**

---

*J. Kierczak*

**1. Dane osobowe:**

Imię i nazwisko: Jakub Kierczak

Data i miejsce urodzenia: 14 marca 1979, Wadowice

Adres zamieszkania: 54-072 Wrocław, ul. Dolnobrzeńska 40 m. 9

**2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytuł rozprawy doktorskiej:**

Stopień naukowy doktora Uniwersytetu w Limoges (Francja) oraz Uniwersytetu Wrocławskiego uzyskałem w dniu 16 października 2007 po obronie rozprawy doktorskiej zatytułowanej: « **Spéciation solide du nickel et du chrome dans un site minier et industriel à usage agricole, Szklary, Pologne** » ("Rozmieszczenie niklu i chromu w glebach użytków rolnych i nieużytków przemysłowych Szklary, Polska") przygotowywanej w ramach umowy międzynarodowej « co – tutelle », pomiędzy Instytutem Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego a Laboratorium Geologii Uniwersytetu w Limoges.

Promotorzy rozprawy: Prof. Hubert Bril (Uniwersytet w Limoges), Prof. Jacek Puziewicz (Uniwersytet Wrocławski). Recenzenci rozprawy: Prof. Edeltrauda Helios-Rybicka (Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie), Prof. Jean-Luc Potdevin (Uniwersytet w Lille 1, Francja).

Tytuł magistra Geologii, specjalność: Mineralogia i petrografia, uzyskałem w dniu 13 czerwca 2003 roku po obronie pracy magisterskiej zatytułowanej: « **Minerały żelaza i magnezu w diorytach strefy Niemczy** » przygotowanej w Zakładzie Mineralogii i Petrologii Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, pod kierunkiem Prof. Jacka Puziewicza.

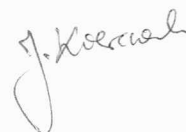
**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:**

**28.02.2009 – obecnie:** Adiunkt w Zakładzie Petrologii Eksperymentalnej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego.

**28.02.2008 – 27.02.2009:** Asystent w Samodzielnej Pracowni Petrologii Eksperymentalnej przy Zakładzie Mineralogii i Petrologii Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego.

**4. Jako osiągnięcie naukowe wynikające z ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (art. 16, ust. 2, Dz. U. nr 65, poz 595 ze zm.) przedstawiam jednotematyczny cykl publikacji pod zbiorczym tytułem:**

**„Mobilność pierwiastków metalicznych związanych w żużlach hutniczych oraz popiołach dennych w kontekście badań mineralogiczno-geochemicznych”**



**5. Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe (Autor/autorzy, rok wydania, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, Impact Factor czasopisma):**

**(A1)** Potysz A, van Hullebusch E.D., **Kierczak J.**, Grybos M., Lens P.N.L., Guibaud G. **(2015)**: Copper Metallurgical Slags – Current Knowledge And Fate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* DOI: 10.1080/10643389.2015.1046769. IF 2013: 3,238.

Mój wkład w przygotowanie publikacji (15 %) polegał na: (1) opracowaniu zagadnień dotyczących składu chemicznego i fazowego żużli, (2) pomocy w przygotowaniu publikacji i korekcie jej recenzowanej wersji.

**(A2) Kierczak J., Chudy K. (2014)**: Mineralogical, chemical and leaching characteristics of coal combustion bottom ash from a power plant located in northern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* vol. 23 (5), 1627-1635. IF 2013: 0,6.

Mój wkład w przygotowanie publikacji (80 %) polegał na: (1) zidentyfikowaniu i rozpoznaniu problemu badawczego, (2) zaplanowaniu badań, (3) wykonaniu i interpretacji analiz składu fazowego próbek przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego oraz mikroskopu skaningowego z przystawką EDS, (4) wykonaniu ekstrakcji chemicznych EDTA oraz interpretacji wyników, (5) napisaniu publikacji i korekcie jej recenzowanej wersji.

**(A3) Tyszka R., Kierczak J., Pietranik A., Ettler V., Mihaljevič M. (2014)**: Extensive weathering of zinc smelting slag in a heap in Upper Silesia (Poland): Potential environmental risks posed by mechanical disturbance of slag deposits. *Applied Geochemistry* vol. 40, 70-81. IF 2013: 2,021

Mój wkład w przygotowanie publikacji (20 %) polegał na (1) pozyskaniu próbek do badań, (2) wykonaniu i interpretacji wyników analizy fazowej materiału, (3) przygotowaniu odpowiednich ilustracji do publikacji.

**(A4) Kierczak J., Potysz A., Pietranik A., Tyszka R., Modelska M., Neel C., Ettler V., Mihaljevič M. (2013)**: Environmental impact of the historical Cu smelting in the Rudawy Janowickie Mountains (south-western Poland). *Journal of Geochemical Exploration* vol. 124, 183-194. IF 2013: 2,432.

Mój wkład w przygotowanie publikacji (65 %) polegał na (1) zidentyfikowaniu i rozpoznaniu problemu badawczego, (2) zaplanowaniu badań oraz kierowaniu zespołem badawczym, (3) pozyskaniu próbek do badań, (4) wykonaniu analiz fazowych materiału za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego, mikroskopu elektronowego, mikrosondy elektronowej, mikrospektrometru Ramana, (5) interpretacji wyników ekstrakcji chemicznej oraz części analiz geochemicznych oraz analiz fazowych materiału, (6) napisaniu publikacji i korekcie jej recenzowanej wersji.

**(A5) Kierczak J., Pietranik A., (2011)**: Mineralogy and composition of historical Cu slags from the Rudawy Janowickie Mountains, southwestern Poland. *The Canadian Mineralogist* vol. 49 (5), 1029-1044. IF 2011: 1,115

Mój wkład w przygotowanie publikacji (95 %) polegał na (1) zidentyfikowaniu i rozpoznaniu problemu badawczego, (2) zaplanowaniu badań, (3) wykonaniu oraz interpretacji większości analiz fazowych oraz chemicznych, (4) napisaniu publikacji i korekcie jej recenzowanej wersji.

**(A6) Kierczak J., Bril H., Neel C., Puziewicz J. (2010):** Pyrometallurgical slags in Upper and Lower Silesia (Poland): from environmental risks to use of slag-based products – a review. *Archives of Environmental Protection* vol. 36 (3), 111-126. IF 2010: 0,188

Mój wkład w przygotowanie publikacji (75 %) polegał na: (1) zidentyfikowaniu i rozpoznaniu problemu badawczego, (2) opracowaniu większości zagadnień artykułu, (3) wykonaniu analiz fazowych żużli hutniczych przy użyciu mikroskopu transmisyjnego oraz interpretacji wyników, (4) napisaniu publikacji i korekcie jej zrecenzowanej wersji.

**(A7) Audry S., Grosbois C., Bril H., Schafer J., Kierczak J., Blanc G. (2010):** Post-depositional redistribution of trace metals in reservoir sediments of a mining/smelting-impacted watershed (the Lot River, SW France). *Applied Geochemistry* vol. 25 (6), 778-794. IF 2010: 2,017

Mój wkład w przygotowanie publikacji (10 %) polegał na: (1) interpretacji wyników analiz składu fazowego materiałów wykonanych przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego oraz mikroskopy elektronowej, (2) pomocy w przygotowaniu publikacji i korekcie jej zrecenzowanej wersji.

## 6. Komentarz autorski do zbioru publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

### 6.1. Wstęp

Eksploatacja kopalin połączona z ich dalszym przetwarzaniem ma ogromne znaczenie dla gospodarki światowej. Górnictwo oraz przetwórstwo surowców mineralnych ma na celu zapewnienie energii oraz materiałów niezbędnych do funkcjonowania nowoczesnego społeczeństwa. W wyniku działalności wydobywczo-przetwórczej powstają różnorodne towary wykorzystywane zarówno w przemyśle jak i w pojedynczych gospodarstwach domowych. Konsekwencją produkcji dużej ilości materiałów przetworzonych jest generowanie ogromnych ilości odpadów, z których największą część stanowią skały płonne, które muszą zostać usunięte w celu uzyskania dostępu do zasobów będących przedmiotem eksploatacji. Po wydobyciu kopalina jest przetwarzana w celu uzyskania substancji użytecznych, lecz procesowi temu również towarzyszy powstawanie dalszych odpadów (np. odpady poflotacyjne, odpady hutnicze). Szacuje się, że substancje użyteczne mogą stanowić od 100 % wydobywanej kopaliny (np. w przypadku złóż piasków, żwirów) do zaledwie kilku procent (złoża metali tj. Cu, Zn, Pb) lub nawet dziesiątych czy setnych części procenta (w przypadku metali szlachetnych). Wynika stąd, że zdecydowana większość materiału jaki uzyskujemy w wyniku działalności wydobywczo-przetwórczej stanowi różnego rodzaju odpad, od skał płonnych począwszy, poprzez odpady powstające w wyniku wzbogacania rud metali (np. w procesie flotacji) do odpadów metalurgicznych (żużle, popioły hutnicze) czy też odpadów wytwarzanych w procesie produkcji energii (popioły i żużle tworzące się w wyniku spalania węgla).

Największa część stałych odpadów wydobywczych jest generowana przez górnictwo węgla, a następnie przez przemysł związany z eksploatacją i przeróbką rud metali (Lotermoser, 2010). Światowa produkcja oraz wykorzystanie różnego rodzaju surowców mineralnych są stosunkowo dobrze udokumentowane. Dane statystyczne pokazują, że globalna produkcja większości surowców mineralnych systematycznie rośnie (USGS, 2011). Jednak trudno jest uzyskać wiarygodne dane na temat ilości odpadów generowanych przez przemysł wydobywczo-przetwórczy. Zakładając, że w trakcie wykorzystania tony surowców mineralnych dochodzi do wytworzenia przynajmniej takiej samej ilości stałych odpadów, można oszacować, że rocznie na świecie produkuje się od 20 do 25

milionów ton odpadów (Lotermoser 2010). Należy oczywiście pamiętać, że powyższe dane mają jedynie charakter przybliżony a ilość produkowanych odpadów zależy przede wszystkim od specyfiki wydobywanej kopaliny jak również metod jej wydobycia oraz dalszego przerabiania.

W gospodarce odpadami wydobywczymi i przeróbczymi warto mieć na uwadze fakt, iż dzisiejsze bezwartościowe pozostałości związane z górnictwem i przetwórstwem surowców mineralnych mogą w przyszłości zostać wykorzystane jako wtórne źródło kopalin. W tym kontekście, w ciągu ostatnich dziesięcioleci zaczęto posługiwać się terminem złoża antropogeniczne (Nieć, 1999), co wskazuje, że nie każdy odpad jest niechcianym produktem ubocznym działalności przemysłowej, lecz w niektórych przypadkach może stanowić cenne wtórne źródło substancji użytecznych.

Z gromadzeniem stałych odpadów przemysłu wydobywczo-przetwórczego, nawet tych potencjalnie użytecznych, związane jest jednak ryzyko środowiskowe. Składowiska różnego rodzaju produktów ubocznych działalności górniczej czy hutniczej bardzo często mają negatywny wpływ na lokalne ekosystemy. W wyniku interakcji materiału zdeponowanego na zwałowiskach z naturalnymi czynnikami zewnętrznymi, do środowiska mogą przedostać się szkodliwe składniki (np. zanieczyszczenia metaliczne), pierwotnie obecne w odpadach. Na świecie istnieje wiele obszarów bezpośrednio sąsiadujących ze składowiskami odpadów, które charakteryzują się wysokimi koncentracjami pierwiastków metalicznych. Na terenach tych nastąpiła niemalże całkowita degradacja środowiska. Doskonałym przykładem tego zjawiska jest historyczny okręg przemysłowy, zlokalizowany w sąsiedztwie rzeki Rio Tinto w Hiszpanii, związany z wydobywaniem rud metali, gdzie zdeponowane w ogromnych ilościach i bogate w pierwiastki metaliczne odpady górnicze i hutnicze są źródłem kontaminacji otoczenia (Hudson-Edwards i in., 2011). Warto w tym miejscu również wspomnieć o dawnej kopalni Montague Gold Mine w Nowej Szkocji (Kanada), na obszarze której powstały tereny rekreacyjne (szlaki piesze i rowerowe). Po dokładnych badaniach geochemicznych, tereny te zostały zamknięte gdyż okazało się, że odpady górnicze stanowiące podłoże zawierają nawet do 30 % wagowych arsenu (Jamieson, 2011). Zaprezentowane przykłady terenów przemysłowych wyraźnie wskazują na potrzebę poznania mechanizmów uwalniania się z nich szkodliwych substancji. Oceny ryzyka środowiskowego należy dokonywać bez względu na to czy odpady będą w jakikolwiek sposób wykorzystane czy tylko zdeponowane na składowisku.

W celu określenia ryzyka środowiskowego związanego z uwalnianiem się pierwiastków metalicznych z odpadów do otoczenia najczęściej stosuje się określone przez odpowiednie normy np. PN-EN 12457-1:2006 czy SPLP (USEPA, 2008) testy wymywalności. Jednak warunki prowadzenia tego typu eksperymentów nie zawsze są w stanie w dostateczny sposób symulować procesy naturalne zachodzące na składowisku bądź w miejscu magazynowania odpadów (np. gleba, osady). Sposób wiązania pierwiastków metalicznych w minerałach decyduje czy są one uwalniane do otoczenia (wody powierzchniowe, gruntowe a w konsekwencji do łańcucha pokarmowego). Dlatego charakterystyka składu fazowego w połączeniu z wynikami testów wymywalności stanowi doskonałe uzupełnienie informacji na temat potencjalnej reaktywności odpadów i pozwala na pełniejszą ocenę ryzyka środowiskowego (Grosbois i in., 2011). Określenie ryzyka środowiskowego związanego z uwalnianiem się zanieczyszczeń nieorganicznych wymaga poznania szeregu skomplikowanych zjawisk zachodzących na granicy roztwór wodny - faza stała, stąd też badania mineralogiczne pozwalają niejednokrotnie określić i przewidzieć wpływ odpadów na środowisko (Jamieson i in. 1995).

Wykorzystanie klasycznego warsztatu mineralogiczno-geochemicznego do badań związanych z ochroną środowiska jest w dalszym ciągu mało powszechne, choć może służyć do wstępnego oraz

szybkiego oszacowania wpływu odpadów na otaczające je tereny. Uzyskanie informacji o składzie fazowym i potencjalnej stabilności faz w różnych warunkach środowiskowych jest moim zdaniem kluczowe zwłaszcza w kontekście migracji zanieczyszczeń nieorganicznych. Stąd też inspiracją do podjęcia przeze mnie badań mineralogiczno-geochemicznych wybranych odpadów przemysłowych (żużle hutnicze, popioły) w celu określenia mobilności pierwiastków metalicznych była chęć wzbogacenia istniejącego stanu wiedzy na temat (i) składu chemicznego i fazowego badanych materiałów (**A1-A7**), (ii) czynników jakie mają wpływ na tempo ich wietrzenia oraz mobilność pierwiastków metalicznych (**A1, A3, A4, A6**), (iii) oddziaływania odpadów na otaczające środowisko (**A1-4, A6-7**), oraz (iv) możliwości ich wykorzystania jako wtórnego źródła surowców (**A1, A2, A6**).

## 6.2. Kluczowa rola składu fazowego i chemicznego odpadów w badaniach mobilności pierwiastków metalicznych

Pierwszym etapem badań mobilności pierwiastków związanych w odpadach przemysłowych jest ich dokładna charakterystyka pod kątem składu chemicznego i fazowego. Informacje na temat składu chemicznego pozwalają na identyfikację potencjalnych zanieczyszczeń metalicznych. Wiedza o składzie fazowym analizowanych substancji umożliwia z kolei określenie z jakimi składnikami odpadów związane będzie ryzyko środowiskowe. W poniższym rozdziale przedstawiona zostanie charakterystyka chemiczna i fazowa badanych odpadów, która stanowi podstawę do dalszych rozważań na temat ich stabilności i zagrożeń związanych z uwalnianiem się zawartych w nich pierwiastków metalicznych.

### 6.2.1. Żużle hutnicze

W zależności od rodzaju przerabianej rudy wyróżnić można kilka typów żużli metalurgicznych. Największym zainteresowaniem badaczy cieszą się żużle będące produktem ubocznym przerabiania rud żelaza i produkcji stali – żużle żelazne oraz metali nieżelaznych – żużle nieżelazne (Piatak i in., 2015). W przedstawionym autoreferacie zaprezentowane zostaną tylko odpady z przemysłu hutniczego metali nieżelaznych ponieważ na badaniu tych materiałów koncentrowały się moje prace naukowe. Ponadto, zagadnienia związane z mobilnością pierwiastków metalicznych w większym stopniu dotyczą żużli nieżelaznych.

Skład chemiczny żużli nieżelaznych może być bardzo zróżnicowany i zależy przede wszystkim od rodzaju przerabianej rudy oraz stosowanego procesu technologicznego (**A1**). Podstawowymi składnikami produktów ubocznych przetapiania rud metali nieżelaznych są krzemionka, glina, wapno oraz żelazo, występujące w zmiennych proporcjach. Do składników pobocznych występujących w mniejszych ilościach, rzędu kilku procent wagowych, należy zaliczyć magnez, sód, potas, mangan oraz tytan (Piatak i in. 2015, (**A1**)). Odpady powstałe w wyniku wytopienia rud metali nieżelaznych (np. Cu, Zn, Pb, Ag itd.) mogą w dalszym ciągu zawierać pewne ilości tych pierwiastków, gdyż nie istnieje taki proces technologiczny, który pozwalałby na uzyskanie całości danego pierwiastka z eksploatowanego i przerabianego złoża. Przykładem, który doskonale ilustruje ten fakt są historyczne żużle z okręgu przemysłowego Příbram w Czechach, w których stwierdzono bardzo wysokie koncentracje ołowiu sięgające nawet do 35 % wag PbO (Ettler i in., 2009). W odpadach będących przedmiotem moich badań również zaobserwowane zostały stosunkowo wysokie stężenia metali. W żużlach cynkowo-ołowiowych z hałdy odpadów zlokalizowanej w Świętochłowicach koncentracje cynku sięgają 8,5 % wagowych (**A3**). Natomiast w przypadku historycznych odpadów przemysłu metalurgicznego zdeponowanych w okolicach Janowic Wielkich

największe zmierzone stężenia pierwiastków metalicznych dotyczą miedzi (do 1,4 % wag. (A4, A5)). Inny przypadek zaobserwowany podczas badań odpadów jest związany z pierwiastkami towarzyszącymi rudzie danego metalu, które często są pomijane w trakcie procesu technologicznego ze względu na ich zbyt niską koncentrację w złożu. Niemniej jednak, podczas procesu hutniczego, może dojść do wzbogacenia w te pierwiastki w odpadach. Przykładem takiej sytuacji jest stosunkowo wysoka koncentracja chromu (do 1,4 % wag.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) w żużlach pozostałych po przeróbce laterytowych rud niklu w Szklarach (Kierczak i in., 2009). Właśnie ze względu na takie podwyższone koncentracje pierwiastków metalicznych, odpady będące produktem przerabiania rud metali nieżelaznych należy uznać za niebezpieczne dla środowiska (A1, Piatak i in., 2015, Schmukat i in., 2012). Jednak sama obecność pierwiastków potencjalnie toksycznych nie decyduje jeszcze o szkodliwości odpadów. Kluczowa jest w tym przypadku wiedza na temat sposobów wiązania pierwiastków metalicznych w żużlach hutniczych. Szereg prac naukowych opisuje skład fazowy oraz główne fazy będące nośnikami pierwiastków potencjalnie toksycznych w odpadach hutniczych (m. in. Ettler i in., 2001, Piatak i in., 2004; Puziewicz i in., 2007; Kierczak i in., 2009). Najpowszechniej występujące fazy w żużlach nieżelaznych to krzemiany Ca i Fe (melility, oliwiny, pirokseny), szkliwo krzemianowe, spinele, siarczki oraz stopy metali (Piatak i in., 2015). Dotychczas opublikowane prace (np. Puziewicz i in., 2007) wskazują, iż w żużlach mogą występować fazy krzemianowe, których występowanie w przyrodzie jest bardzo rzadkie bądź nawet dotychczas nie zaobserwowane (fazy bogate w takie pierwiastki jak Zn, Pb czy Ni). Prowadzone przeze mnie badania składu fazowego żużli hutniczych zaowocowały kilkoma publikacjami (A4-A6), których głównymi osiągnięciami było stwierdzenie niejednorodności fazowych w obrębie szkliwa oraz składników krystalicznych na skutek występowania w nich nanoinkluzji stwierdzonych przy pomocy mikroskopu transmisyjnego (A6). Forma w jakiej występują zidentyfikowane wrostki wskazuje na to, że są to fazy metaliczne, łatwo ulegające wietrzeniu i stanowiące źródło metali. Wtórne przemiany tych składników prowadzą do przyspieszonego rozkładu głównych składników żużli hutniczych tj. szkliwa krzemianowego. Istotnym uzupełnieniem stanu wiedzy na temat składu fazowego odpadów przemysłu metalurgicznego jest praca opisująca historyczne żużle hutnicze z okolic Janowic Wielkich (A5). Badania mineralogiczno-petrograficzne pozwoliły wyróżnić kilka typów żużli hutniczych ze względu na skład chemiczny, fazowy oraz warunki chłodzenia „stopu żużlowego”. W oparciu o diagramy fazowe ustalono, iż różnice w tempie chłodzenia mają wpływ na (i) skład fazowy żużli np. w żużlach zastygających wolniej obserwuje się więcej składników, (ii) skład chemiczny poszczególnych składników: w żużlach krystalizujących w warunkach bliskich równowadze zmienność chemiczna faz krystalicznych jest większa, z drugiej strony szkliwo jest zubożone w Zn, który wchodzi w strukturę faz, nie występujących w żużlach krystalizujących w warunkach dalekich od równowagi, (iii) współczynniki rozdziału, które dla Zn charakteryzują się wyższymi wartościami dla żużli silnie przechłodzonych. Fakt, iż pierwiastki metaliczne znajdują się w minerałach bardziej odpornych na wietrzenie tj. spinelach ma istotny wpływ na ich potencjalną mobilność (Ettler i in., 2001, Bril i in., 2008). Przykład ten pokazuje, że z punktu widzenia stabilności odpadów przemysłu hutniczego i mobilności związanych w nich pierwiastków metalicznych istotne jest dokładne scharakteryzowanie wszystkich składników, a w szczególności faz tworzących się w wyniku wtórnych przemian związanych z wietrzeniem. Metodami badawczymi najczęściej wykorzystywanymi w mineralogiczno-petrograficznej analizie żużli jest tradycyjna mikroskopia polaryzacyjna, obserwacje przy użyciu mikroskopu skaningowego połączone z analizami wykonywanymi za pomocą mikrosondy elektronowej. Jednak metody te nie zawsze pozwalają na pełną identyfikację wszystkich składników. Przykładowo w pracy (A4) udowodniono szczególną

przydatność spektroskopii Ramanowskiej do jednoznacznej identyfikacji faz wtórnych powstających w wyniku wietrzenia żużli. W wyniku tych analiz stwierdzono występowanie langitu i malachitu jako składników tworzących się w skutek wtórnych przemian bornitu. W badaniach składu fazowego odpadów należy więc posługiwać się możliwie największą ilością technik analitycznych, tak aby jak najdokładniej scharakteryzować analizowany materiał, gdyż tylko pełna wiedza na temat jego własności pozwoli uzyskać wiarygodne informacje o jego stabilności i zagrożeniach związanych z mobilnością pierwiastków metalicznych.

### 6.2.2. Popioły ze spalania węgla

Spalanie węgla, podobnie jak wydobywanie i przeróbka kopalin, również prowadzi do powstawania dużych ilości odpadów, z których najważniejsze to: popioły lotne, popioły denne, żużle kotłowe oraz produkty powstałe z suchego lub mokrego odsiarczania spalin. Odpady wytwarzane w wyniku spalania węgla bardzo często stanowią cenne surowce wtórne znajdujące szereg zastosowań (m.in. w budownictwie jako dodatek do cementów lub betonów; Golewski i Sadowski, 2014). Jednak ze względu na obecność pierwiastków metalicznych, podobnie jak w odpadach przemysłu hutniczego, popioły ze spalania węgla również mogą być źródłem zanieczyszczeń dla środowiska (Baba, 2003). Dlatego również w przypadku tego rodzaju odpadów wskazana jest ocena ryzyka środowiskowego związanego z występowaniem zanieczyszczeń nieorganicznych. Większość prac opisujących pozostałości ze spalania węgla dotyczy popiołów lotnych (np. Wang i in. 2009, Baba i in. 2010) natomiast stosunkowo niewiele jest prac na temat właściwości popiołów dennych, stanowiących mniejszość odpadów wytwarzanych przez elektrociepłownię. Jednak ze względu na duże ilości popiołów dennych zdeponowanych na składowiskach w Polsce (**A2**) równie ważne wydają się być badania geośrodowiskowe tego rodzaju odpadów.

Głównymi czynnikami wpływającymi na właściwości popiołów (skład chemiczny i fazowy) są jakość spalnego węgla (ilość domieszek nieorganicznych), rodzaj spalania, konstrukcja paleniska oraz efektywność urządzeń odpylających. Czynniki te determinują również rozdział zanieczyszczeń nieorganicznych obecnych w węglach pomiędzy poszczególne produkty jego spalania (Demir i in. 2001).

Podstawowymi składnikami badanych przeze mnie popiołów dennych jest krzemionka, glina oraz żelazo, natomiast wapno, tlenek magnezu oraz tritlenek siarki stanowią składniki poboczne (**A2**). Spośród pierwiastków stanowiących potencjalne zanieczyszczenia nieorganiczne najwyższe koncentracje zostały odnotowane dla Co i Pb. Ponadto stężenia Cu, Ni oraz Zn przekraczają te odnotowane dla różnych węgli ze światowych złóż (Juda-Rezler i Kowalczyk, 2013).

Spalanie w piecu elektrowni prowadzi do transformacji minerałów węglowych, reprezentowanych głównie przez kwarc, krzemiany warstwowe (np. kaolinit, illit etc), siarczki (np. pirit) oraz węglany (na przykład, kalcyt), w nowo utworzone fazy, będące głównymi składnikami popiołów. Przemiany te są bardzo złożone ze względu na liczne oddziaływania chemiczne zachodzące pomiędzy fazą stałą ciekłą i gazową w wysokiej temperaturze i w krótkim okresie czasu (Demir i in. 2001). Głównymi składnikami badanych przeze mnie popiołów są mullit, szkliwo i kwarc natomiast pobocznie występują hematyt, kalcyt oraz śladowe ilości siarczków, w tym piryty (**A2**). Obecność piryty w analizowanych odpadach może być dosyć zaskakująca i świadczy o tym, że minerał ten uległ tylko częściowej transformacji w wyniku procesu spalania. Obserwowane ziarna piryty są bardzo spękanie w wyniku przemian zachodzących w piecu. Obecność produktów wietrzenia tego minerału świadczy również o jego wtórnych przemianach w obrębie składowiska (**A2**). Fazy siarczkowe mają istotne znaczenie ze środowiskowego punktu widzenia, ponieważ ich

utlenianie może prowadzić do powstawania tzw. kwaśnego drenażu (Acid Mine Drainage, Rimstidt i Vaughan, 2014). Przeprowadzone przeze mnie badania mineralogiczne popiołów dennych wykazały jednak, że ilość siarczków jest niewielka, dlatego ryzyko środowiskowe związane z tworzeniem się kwaśnego drenażu jest raczej znikome.

### 6.3. Wietrzenie żużli i popiołów oraz mobilność związanych w nich pierwiastków metalicznych

Odpady powstałe w wyniku wytopienia rud metali nieżelaznych jak również pozostałości procesów spalania węgla mogą zawierać pewne ilości pierwiastków metalicznych stanowiących potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska (Piatak i in., 2015, (A1), Clark i Sloss, 1992). Po pierwsze, nie istnieje taki proces technologiczny, który pozwalałby na uzyskanie całości danego pierwiastka z eksploatowanego złoża. Ponadto część pierwiastków towarzyszących danej rudzie bądź występujących w węglu może ulec koncentracji w odpadzie generowanym czy to w wyniku procesów hutniczych czy też spalania. Pierwiastki metaliczne znajdujące się pierwotnie w podwyższonych stężeniach w odpadzie mogą w wyniku wietrzenia przedostać się do gleb lub wód gruntowych i stać się niebezpieczne dla środowiska naturalnego, gdy ich koncentracja przekroczy pewną granicę. W związku z tym należy wszelkie odpady generowane w wyniku działalności wydobywczej i przetwórczej kopalni traktować jako potencjalnie niebezpieczne dla środowiska. Ich składowanie i ewentualne wykorzystanie powinno być poprzedzone badaniami mającymi na celu dokładne określenie stabilności w określonych warunkach i związanej z nią mobilności pierwiastków metalicznych stanowiących potencjalne źródło kontaminacji. Istotnym elementem takich badań, możliwym tylko dzięki analizom mineralogiczno-geochemicznym jest scharakteryzowanie produktów wietrzenia odpadów.

Fazy wtórne powstające w wyniku interakcji odpadów z powietrzem lub wodą są wskaźnikiem ich reaktywności, która wyraża się poprzez zmiany pH środowiska czy też uwalnianie do otoczenia pierwiastków metalicznych, (Piatak i in., 2015).

W wielu pracach autorzy, poprzez wykorzystanie różnego rodzaju eksperymentów laboratoryjnych symulujących wietrzenie, próbują określić jakie zjawiska wpływają na podwyższenie bądź obniżenie mobilności pierwiastków metalicznych w żużlach (Ettler i in., 2004; Kucha i in., 1996; Seignez i in., 2006). Część prac koncentruje się wyłącznie na opisie naturalnych produktów wietrzenia w warunkach przypowierzchniowych i co za tym idzie na wskazaniu jaki wpływ mają zdeponowane odpady na swoje bezpośrednie otoczenie (Ettler i in., 2001; Gee i in., 1997; Mahe-Le Carlier i in., 2001; Sobanska i in., 2000). Zarówno wyniki testów laboratoryjnych jak i obserwacje naturalnych procesów wietrzenia żużli wykazują, że:

- działalność rolnicza oraz wzrost zawartości materii organicznej powodują wzrost tempa wietrzenia żużli znajdujących się w środowisku glebowym (Sobanska i in., 2000; Ettler i in., 2004; Kierczak i in., 2008),
- rozpuszczalność faz będących nośnikami metali w żużlach jest kontrolowana przez pH roztworów występujących jako wody porowe w składowiskach (Kucha i in. 1996),
- wietrzenie żużli prowadzi do podwyższenia pH gleb występujących w pobliżu hałd odpadów (Gee i in., 1997; Mahe-Le Carlier i in., 2000),
- szkliwo krzemianowe łatwiej ulega rozpuszczaniu niż krystaliczne fazy krzemianowe wchodzące w skład żużla (Ettler i in., 2001; Kierczak i in., 2009).

Prowadzone przeze mnie badania wietrzenia i mobilności odpadów przemysłu hutniczego pozwoliły uzupełnić stan istniejącej wiedzy na temat stabilności żużli o kilka dodatkowych spostrzeżeń. Podstawowymi czynnikami kontrolującymi wietrzenie, a w jego następstwie migrację

pierwiastków metalicznych z historycznych (14-16 wiek) żużli hutniczych zdeponowanych w okolicach Janowic Wielkich (Dolny Śląsk) (**A4, A5**) odpadów są:

- własności strukturalno-teksturalne materiału – bardziej zaawansowane wietrzenie i intensywniejsze ługowanie metali odnotowano dla żużli charakteryzujących się wyższą porowatością (większą powierzchnią reakcyjną), która ułatwia migrację roztworów,
- skład fazowy odpadów, na który wpływa tempo ich zastygania – żużle silnie przechłodzone, posiadające niższy stosunek faz krystalicznych do szkliwa i są bardziej podatne na wietrzenie od żużli tworzących się w dłuższym przedziale czasu i charakteryzujących się większą różnorodnością fazową,
- lokalne warunki środowiskowe (pH, zawartość materii organicznej) – mobilność metali z odpadów znajdujących się w kwaśnych glebach o stosunkowo wysokiej zawartości materii organicznej jest wyższa niż w przypadku żużli znajdujących się w osadach potoków znajdujących się na terenie bezpośrednio sąsiadującym z historycznymi składowiskami pozostałości przemysłu hutniczego Cu.

Badania mineralogiczno-geochemiczne nieco młodszych odpadów hutniczych zdeponowanych w Świętochłowicach na Górnym Śląsku (**A3**) wskazują z kolei, że w głębszych partiach składowiska procesy wietrzenia żużli są bardziej zaawansowane niż na powierzchni hałdy. W materiale znajdującym się w głębszych partiach badanego składowiska stwierdzono występowanie silnie zwietrzałych faz pierwotnych pochodzących z żużli. Ponadto obserwuje się tam wzbogacenie w niektóre pierwiastki metaliczne (np. Pb, Cd) w porównaniu do słabiej zwietrzałych żużli znajdujących się na powierzchni składowiska. Tworzenie się silnie zwietrzałych stref obecnych w głębszych partiach hałdy zależy najprawdopodobniej od panujących tam specyficznych warunków, których do tej pory nie udało się jeszcze dokładnie zdefiniować. Na obecnym etapie badań należy podejrzewać, że głównymi czynnikami wpływającymi na procesy zachodzące wewnątrz składowiska odpowiedzialny jest stosunkowo długi czas depozycji odpadów, powolne przesiąkanie wód opadowych charakteryzujących się niskimi wartościami pH etc. W sytuacji gdy strefa silnie zwietrzała badanej hałdy znajduje się pod przykryciem i pozostaje w równowadze z otoczeniem, może działać ona jako absorbent zanieczyszczeń metalicznych. W ostatnich latach głębsze partie składowiska zostały odsłonięte co w konsekwencji może doprowadzić do łatwego usunięcia najdrobniejszych frakcji zwietrzałego materiału w skutek działalności wiatru lub wód opadowych. Na podstawie testów wymywalności przy użyciu roztworu EDTA stwierdzono, że niektóre pierwiastki obecne w zwietrzałym odpadzie np. Pb czy As charakteryzują się wysoką mobilnością w związku z tym ryzyko środowiskowe związane z materiałem pochodzącym z wnętrza hałdy jest bardzo wysokie.

W przypadku badanych odpadów powstałych ze spalania węgla (**A2**) analiza mobilności pierwiastków metalicznych przy użyciu różnych mediów ługujących (woda destylowana, roztwór EDTA) wykazała niewielką mobilność. Ponadto stosunkowo niskie koncentracje zanieczyszczeń metalicznych w popiołach wskazują na brak ryzyka środowiskowego związanego z tego rodzaju materiałem, w efekcie może on zostać wykorzystany jako surowiec wtórny.

### 6.3. Odpady hutnicze jako źródło zanieczyszczeń gleb oraz osadów rzecznych

Prowadzone przeze mnie badania środowiskowe dotyczące mobilności pierwiastków metalicznych nie ograniczają się tylko do analizy samych odpadów. Istotnym elementem moich dokonań naukowych jest również wskazanie, że pozostałości procesu hutniczego mogą stanowić

istotne źródło zanieczyszczeń dla gleb oraz osadów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie dawnych okręgów przemysłowych (**A4**, **A7**).

Przedstawione w pracy (**A4**) analizy chemiczne gleb, osadów rzecznych oraz wód powierzchniowych znajdujących się na terenie historycznego okręgu przemysłowego związanego z przerabianiem rud Cu w Rudawach Janowickich wskazują, że długoterminowe ługowanie pierwiastków metalicznych z żużli wpływa na skażenie otaczającego środowiska. Zawartości pierwiastków metalicznych, szczególnie w przypadku gleb oraz osadów rzecznych, przekraczają wielokrotnie dopuszczalne stężenia regulowane przez polskie ustawodawstwo. Dodatkowo połączenie analiz chemicznych z analizami składu izotopowego Pb gleb oraz osadów pozwoliło przedstawić aktualny rozkład zanieczyszczeń związanych z obecnością żużli. Badania izotopowe wykazały, że obecność odpadów hutniczych jest odpowiedzialna za skażenie osadów rzecznych oraz głębszych poziomów glebowych (poziomy B), natomiast poziomy powierzchniowe gleb są zanieczyszczone w wyniku oddziaływania źródeł niezwiązanych bezpośrednio z obecnością żużli (**A4**). Badania osadów zbiornikowych z trzech lokalizacji w dorzeczu rzeki Lot w południowo-zachodniej Francji (**A7**) również wskazały wyraźny wpływ pozostałości przemysłu hutniczego na jakość osadów. Na podstawie ekstrakcji chemicznych, których wyniki uzupełniono o informacje na temat składu fazowego i chemicznego analizowanego materiału, zaobserwowano zróżnicowanie w rozmieszczeniu pierwiastków metalicznych pomiędzy poszczególne, operacyjnie zdefiniowane frakcje. Różnorodność ta jest wynikiem postdepozycyjnej dostawy pierwiastków metalicznych uwolnionych w wyniku wietrzenia odpadów przemysłowych zdeponowanych na badanym obszarze.

Powyższe badania wskazują, że odpady zdeponowane na terenach dawnej działalności przemysłowej w istotny sposób wpływają na jakość środowiska naturalnego. Ponadto warto podkreślić, że aby w pełni zrozumieć procesy migracji pierwiastków metalicznych w środowisku, konieczne jest połączenie wyników badań mineralogicznych, określających potencjalną reaktywność badanych materiałów z analizami chemicznymi (m.in. ekstrakcje), które dostarczają informacji ilościowych na temat rozmieszczenia metali w obrębie poszczególnych składników analizowanych próbek środowiskowych (np. gleb, osadów).

#### 6.4. Możliwości wykorzystania żużli hutniczych i popiołów dennych jako surowców

Od kilku dziesięcioleci obserwuje się wzrost zainteresowania wykorzystaniem odpadów związanych z wydobywaniem i przetwarzaniem surowców mineralnych. W przypadku żużli hutniczych zastosowanie w budownictwie znajdują przede wszystkim żużle generowane przy produkcji żelaza i stali (van Oss, 2014) natomiast żużle nieżelazne znajdują zastosowanie głównie jako wtórne źródło metali ((**A1**), Piatak i in., 2015). Jednak również żużle Cu są wykorzystywane jako materiały budowlane (np. przy budowie wałów przybrzeżnych w północnych Niemczech; Schmukat i in., 2012). Badania żużli Cu, wykorzystywanych jako materiały budowlane pokazały, że znajdujące się w nich siarczki są głównym źródłem metali. Ponadto, długoterminowa mobilność pierwiastków z tych materiałów jest funkcją dostępnej powierzchni reakcyjnej (Schmukat i in., 2012). W czasie prowadzenia swoich badań żużli hutniczych związanych z przeróbką rud Zn i Pb w Świętochłowicach (**A3**) również zaobserwowałam, że odpady zdeponowane na tamtejszych hałdach są wywożone i prawdopodobnie używane do produkcji kruszyw budowlanych. Fakt ten jest wysoce niepokojący ponieważ zarówno wartości stężeń metali w tych odpadach jak i ich mobilność są bardzo wysokie.

W świetle wyników własnych badań jak również na podstawie dostępnej literatury jestem zdania, że wykorzystanie żużli nieżelaznych (cynkowo-ołowiowych, miedziowych etc.) niesie ze sobą ogromne ryzyko środowiskowe związane z uwalnianiem się pierwiastków metalicznych do

otoczenia. Przed wprowadzeniem tego rodzaju materiałów do obrotu wolnorynkowego należy je poddać odpowiednim testom wymywania uwzględniającym specyficzne właściwości tych odpadów (Schmukat i in., 2012).

Ze względu na fakt, iż żużle żelazne zawierają wysokie koncentracje użytecznych pierwiastków, powszechnym zjawiskiem jest powtórne ich przerabianie w celu pozyskania cennych składników. W pracy **A1** dokonujemy przeglądu osiągnięć w dziedzinie odzysku metali z żużli Cu porównując różne metody ługowania. Szczególnie przydatne wydają się być w najbliższej perspektywie metody uwzględniające rolę mikroorganizmów w odzyskiwaniu metali z żużla. Dotychczas opublikowane prace, w których do ekstrakcji metali z odpadów przemysłu hutniczego Cu wykorzystano mikroorganizmy, przedstawiają zadawalające wyniki odzysku Cu (nawet do 95%) a także pierwiastków towarzyszących (np. Co, Ni (**A1**)).

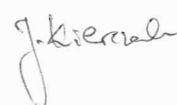
Nieco odmiennie wygląda sytuacja jeśli chodzi o wykorzystanie popiołów dennych powstających w wyniku spalania węgla. Stężenia metali w tego rodzaju odpadach są stosunkowo niskie ze względu na fakt, iż pierwiastki te preferencyjnie koncentrują się w innych produktach spalania (np. popiołach lotnych; Tang i in., 2012). Ponadto, na podstawie przeprowadzonej analizy mobilności pierwiastków metalicznych z popiołów dennych pochodzących z elektrowni na północy Polski (**A2**) można stwierdzić, że ryzyko środowiskowe związane z tego rodzaju odpadami jest znikome. W takim kontekście, wykorzystanie analizowanych materiałów wydaje się być uzasadnione, przynajmniej ze środowiskowego punktu widzenia. Planując możliwy sposób zagospodarowania popiołów dennych, należy wziąć również pod uwagę ich pozostałe właściwości. W przypadku badanych odpadów, stosunkowo wysokie wartości strat prażenia powodują, iż nie znajdują one raczej zastosowania do produkcji betonów czy ceramiki, jednak mogłyby zostać wykorzystane w szeroko rozumianej geoinżynierii.

## 6.5. Podsumowanie

Prowadzone przeze mnie badania odpadów przemysłowych dostarczyły cennych informacji na temat ich składu chemicznego, fazowego, a także stabilności i związanej z nią mobilności pierwiastków metalicznych. Na podstawie uzyskanych w ten sposób informacji można przewidzieć potencjalne ryzyko środowiskowe związane z tego rodzaju materiałami a także wyznaczyć wstępną strategię ich zagospodarowania.

Za najważniejsze osiągnięcia przedstawionego cyklu publikacji uznaję:

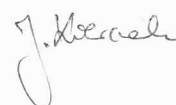
- Wykazanie użyteczności połączonych badań mineralogicznych i geochemicznych żużli hutniczych i popiołów do analizy mobilności związanych w tych odpadach pierwiastków metalicznych (**A1-A7**).
- Zidentyfikowanie najważniejszych czynników determinujących mobilność metali z historycznych żużli hutniczych zdeponowanych na obszarze Rudaw Janowickich. Do czynników tych należą: (i) własności strukturalno-teksturalne odpadów, (ii) lokalne warunki środowiskowe (np. pH, zawartość materii organicznej), (iii) tempo zastygania żużli, które ma bezpośredni wpływ na ich skład fazowy (**A4**).
- Oznaczenie potencjalnej mobilności pierwiastków metalicznych w popiołach dennych powstałych w wyniku spalania węgla (**A2**).
- Udokumentowanie zależności pomiędzy obecnością historycznych odpadów związanych z przemysłem hutniczym a zawartością i rozmieszczeniem pierwiastków metalicznych w glebach, osadach rzecznych oraz zbiornikowych (**A4, A7**).



- Wyznaczenie procentowego udziału antropogenicznego źródła zanieczyszczeń, związanego z działalnością hutniczą, w glebach zlokalizowanych na terenie historycznego okręgu przemysłowego w Rudawach Janowickich (**A4**).
- Wskazanie możliwości potencjalnego wykorzystania popiołów dennych oraz żużli hutniczych będących produktem przerabiania rud metali nieżelaznych (**A1, A2, A6**).

## 6.6. Literatura

- Baba A., 2003. Geochemical assessment of environmental effects of ash from Yatagan (Mugla-Turkey) thermal power plant, *Water Air Soil Poll.* 144, 3-18.
- Baba, A., Gurdal, G., Sengunalp, F., 2010. Leaching characteristics of fly ash from fluidized bed combustion thermal power plant: case study: Çan (Çanakkale-Turkey). *Fuel Process Technol.* 91, 1073-1080.
- Bril, H., Zainoun, K., Puziewicz, J., Courtin-Nomade, A., Vanaecker, M., Bollinger, J.-C., 2008. Secondary phases from the alteration of a pile of zinc-smelting slag as indicators of environmental conditions: An example from Świętochłowice, Upper Silesia, Poland. *Can. Mineral.* 46, 125-1248.
- Clarke, L.B., Sloss, L.L., 1992. Trace elements – emission from coal combustion and gasification. London: IEA Coal Research, IEACR/49, 21-72.
- Demir, I., Hughes, R.H., Demaris, P.J., 2001. Formation and use of coal combustion residues from three types of power plants burning Illinois coals. *Fuel* 80, 1659-1673.
- Ettler, V., Legendre, O., Bodenan, F., Touray, J., 2001. Primary phases and natural weathering of old lead-zinc pyrometallurgical slag from Příbram, Czech Republic. *Can. Mineral.* 39, 873-888.
- Ettler, V., Komarkova, M., Jehlička, J., Coufal, P., Hradil, D., Machovič, V., Delorme, F., 2004. Leaching of lead metallurgical slag in citric solutions: Implications for disposal and weathering in soil environments. *Chemosphere* 57, 567-577.
- Ettler, V., Červinka, R., Johan, Z., 2009. Mineralogy of medieval slag from lead and silver smelting (Bohutín, Příbram District, Czech Republic): towards estimates of historical smelting conditions. *Archaeometry* 51, 987-1007.
- Gee, C., Ramsey, M.H., Maskall, J., Thornton, I., 1997. Mineralogy and weathering processes in historical smelting slag and their effect on the mobilization of lead. *J. Geochem. Explor.* 58, 249-257.
- Golewski, G.L., Sadowski, T., 2014. An analysis of shear fracture toughness K<sub>IIc</sub> and microstructure in concretes containing fly-ash. *Constr. Build. Mater.* 51, 207-214.
- Grosbois, C., Courtin-Nomade A., Robin, E., Bril H., Tamura, N., Schäfer J., Blanc, G., 2011. Fate of arsenic-bearing phases during the suspended transport in a gold mining district (Isle river Basin, France). *Sci. Total Environ.* 409, 4986-4999.
- Hudson-Edwards, K., Jamieson, H.E., Lottermoser, B.G., 2011. Mine Wastes: Past, Present, Future. *Elements*, 7, 375-380.
- Jamieson, H.E., 2011. Geochemistry and Mineralogy of Solid Mine Waste: Essential Knowledge for Predicting Environmental Impact. *Elements*, 7, 381-386.
- Jamieson, H.E., Shaw, S.C., Clark, A.H., 1995. Mineralogical factors controlling metal release from tailings at Geco, Manitouwadge, Ontario. In: Hynes TP, Blanchette MC (eds) Sudbury '95 Mining and the Environment 1, 405-413



- Juda-Rezler, K., Kowalczyk, D., 2013. Size distribution and trace elements contents of coal fly Ash from pulverized boilers. *Polish J. Environ. Stud.* 22 (1), 25-40.
- Kierczak, J., Neel, C., Aleksander-Kwaterczak U., Helios-Rybicka E., Bril, H., Puziewicz, J., 2008. Solid speciation and mobility of potentially toxic elements from natural and contaminated soils: A combined approach. *Chemosphere* 73, 776-784.
- Kierczak, J., Neel, C., Puziewicz, J., Bril, H., 2009. The mineralogy and weathering of slag produced by the smelting of the lateritic Ni ores, Szklary, Southwestern Poland. *Can. Mineral.* 47, 557-572.
- Kucha, H., Martens, A., Ottenburgs, R., De Vos, W., Viaene, W., 1996. Primary minerals of Zn-Pb mining and metallurgical dumps and their environmental behavior at Plombières, Belgium. *Environ. Geol.* 27, 1-15.
- Lottermoser, B.G., 2010. *Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 1-400.
- Mahe-Le Carlier, C., Le Carlier de Veslud, C., Ploquin, A., Royer, J.-J., 2000. Natural weathering of archaeo-metallurgical slags: an analog for present day vitrified wastes. *Earth Planet. Sci.* 330, 179-184.
- Nieć, M., 1999. Złóża antropogeniczne. *Prz. Geol.* 47, 93-98.
- Piatak, N.M., Seal II, R.R., Hammarstrom, J.M., 2004. Mineralogical and geochemical controls on the release of trace elements from slag produced by base- and precious-metal smelting at abandoned mine sites. *Appl. Geochem.* 19, 1039-1064.
- Piatak, N.M., Parsons, M.B., Seal, R.R., 2015. Characteristics and Environmental Aspects of Slags: A review. *Appl. Geochem.* 57, 236-266.
- PN-EN 12457-1:2006 Charakteryzowanie odpadów -- Wymywanie -- Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów -- Część 1: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 2 l/kg w przypadku materiałów o wysokiej zawartości fazy stałej i wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości).
- Puziewicz, J., Zainoun, K., Bril, H., 2007. Primary phases in pyrometallurgical slags from a zinc-smelting waste dump, Świętochłowice, Upper Silesia, Poland. *Can. Mineral.* 45, 1189-1200.
- Rimstidt, J. D., Vaughan, D. J., 2014. Acid Mine Drainage. *Elements* 10 (2) 153-154.
- Seigneur, N., Bulteel, D., Damidot, D., Gauthier, A., Potdevin, J. L., 2006. Weathering of metallurgical slag heaps: multi-experimental approach of the chemical behaviours of lead and zinc. *Waste Management and the Environment III, WIT Trans. Ecol. Environ.* 92, 31-40.
- Sobanska, S., Ledesert, B., Deneele, D., Laboudigue, A., 2000. Alteration in soils of slag particles resulting from lead smelting. *Earth Planet. Sci.* 331, 271-278.
- Schmukat, A., Duyster, L., Ecker, D., Schmid, H., Heil, C., Heininger, P., Ternes, T.A., 2012. Leaching of metal(loid)s from a construction material: Influence of the particle size, specific surface area and ionic strength. *Journal of Hazardous Materials*, 227-228, 257-264.
- Tang, Q., Liu, G., Yan, Z., Sun, R., 2012. Distribution and fate of environmentally sensitive elements (arsenic, mercury, stibium and selenium) in coal-fired power plants at Huainan, Anhui, China. *Fuel* 95, 334-339.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2008. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods.* SW-846 third ed. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/>

pdfs/1312.pdf

USGS (United States Geological Survey) (2013) 2011 Minerals Yearbook. Statistical Summary. [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/statistical\\_summary/myb1-2011-stati.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/statistical_summary/myb1-2011-stati.pdf)

Van Oss, H.G., 2014. Slag, Iron and Steel: U.S. Geological Survey, 2012 Minerals Yearbook, vol. 1, pp. 69.1–69.10.

Wang, T., Wang, J., Tang, Y., Shi, H., Ladwig, K., 2009. Leaching characteristics of arsenic and selenium from coal fly ash: role of calcium. *Energy & Fuels* 23, 2959–2966.

## 7. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 7.1. Badania skał magmowych strefy Niemczy.

Pierwsze prowadzone przeze mnie badania naukowe miały ścisły związek z wykonywaną pod kierunkiem Prof. Jacka Puziewicza pracą magisterską dotyczącą skał określanych jako dioryty/sjenity strefy Niemczy. Moim zadaniem było przedstawienie szczegółowej charakterystyki petrograficznej tych skał ze szczególnym naciskiem na minerały żelaza i magnezu. Efektem moich badań wykonywanych w ramach pracy magisterskiej było opisanie, po raz pierwszy w literaturze, diorytu z okolic miejscowości Brodziszów (załącznik 6, poz. 55). Ponadto, dokonałem dokładnego opisu petrograficznego diorytoidów/sjenitoidów z kilku lokalizacji na obszarze strefy Niemczy i zaproponowałem podział opisywanych skał na dwie grupy: (i) niezdeformowane i (ii) zdeformowane. Zarówno skład chemiczny jak i wykształcenie minerałów występujących w obu grupach skał są odmienne. Kolejnym wnioskiem z przeprowadzonych badań było potwierdzenie wcześniejszej tezy J. Puziewicza, iż opisywane skały nie należały do jednego ogniska magmowego lecz było to kilka mniejszych intruzji oraz, że minerałami żelaza i magnezu o pierwotnym magmowym pochodzeniu w opisywanych skałach są klinopiroksen, biotyt i hornblenda, natomiast aktynolit oraz występujący miejscami chloryt są związane z przemianami pomagmowymi lub z późniejszym metamorfizmem regionalnym (załącznik 6, poz. 54). Do badań skał magmowych strefy Niemczy udało mi się powrócić dzięki współpracy z dr hab. Anną Pietranik. Dzięki badaniom prowadzonym pod jej kierownictwem udało się ustalić, że analizowane skały intrudowały w Sudetach w trakcie kilku epizodów podczas orogenezy waryscyjskiej zapisując w swoim składzie chemicznym informacje na temat źródła z jakiego powstały. Skorelowanie precyzyjnego wieku analizowanych granitoidów z ich składem chemicznym umożliwiło uzyskanie informacji o ewolucji źródeł, z których powstały badane skały w obrębie orogenu waryscyjskiego (załącznik 6, poz. 6). Obecnie jestem również wykonawcą w projekcie badawczym OPUS kierowanym przez dr hab. Annę Pietranik mającym na celu analizę składu izotopowego oraz zawartości pierwiastków śladowych w minerałach ze skał magmowych strefy Niemczy.

### 7.2. Badania gleb serpentynitowych południowo-zachodniej Polski.

Moje zainteresowania tematyką gleb serpentynitowych są bezpośrednią kontynuacją badań zapoczątkowanych w czasie doktoratu (załącznik 6, poz. 13, 14). Wówczas koncentrowałem się na jednym masywie serpentynitowym (masyw Szklar), obecnie moje badania dotyczą sześciu wystąpień skał ultrazasadowych i związanych z nimi gleb na obszarze Polski. Od 2013 roku jestem kierownikiem projektu badawczego uzyskanego w ramach konkursu SONATA, którego głównym celem jest zbadanie zależności pomiędzy rodzajem ultrazasadowej skały macierzystej a mobilnością i biodostępnością wybranych pierwiastków w glebach serpentynitowych. Dotychczasowym efektem

projektu jest artykuł porównujący minerały będące nośnikami chromu w glebach serpentynitowych Polski i Francji (załącznik 6, poz. 4). Ponadto, opublikowane zostały dwie prace podkreślające specyficzne właściwości terenów serpentynitowych (załącznik 6, poz. 16, 56).

Wstępne wyniki badań dotyczące potencjalnej mobilności oraz biodostępności wybranych pierwiastków metalicznych z gleb serpentynitowych zostały do tej pory zaprezentowane na kilku konferencjach i opublikowane jako abstrakty konferencyjne (załącznik 6, poz. 22, 26, 32, 35). Obecnie, wspólnie z wykonawcami pracującymi w projekcie, drem Jarosławem Waroszewskim i mgrem Arturem Pędziwiatrem, kończymy przygotowywać artykuł prezentujący pełne dane dotyczące wpływu skały macierzystej na potencjalną mobilność i biodostępność Ni, Cr i Co w glebach serpentynitowych. Dodatkowo, wspólnie z mgrem A. Pędziwiatrem (doktorant, którego jestem promotorem pomocniczym) prowadzimy badania mające na celu szczegółową analizę składu chemicznego roślin występujących na terenach serpentynitowych.

### 7.3. Śledzenie zanieczyszczeń w glebach przy użyciu składu izotopowego Pb.

Od roku 2010, we współpracy z drem Rafałem Tyszką, dr hab. Anną Pietranik oraz Prof. Vojtěchem Ettlerem, prowadzę również badania składu izotopowego Pb w próbkach środowiskowych (skały, gleby, osady, żużle hutnicze, popioły). Badania te należy uznać za nowatorskie w skali naszego kraju, gdyż w efekcie tej działalności określiliśmy skład izotopowy podłoża krystalicznego na terenie Sudetów oraz gleb dotkniętych w różnym stopniu zanieczyszczeniami pochodzenia antropogenicznego. W wyniku prowadzenia prac nad zróżnicowaniem izotopowym Pb w glebach i podłożu na terenie Polski w 2012 roku opublikowana została praca naukowa, (załącznik 6, poz.8) która stanowi podstawę do dalszych badań mających na celu śledzenie źródeł zanieczyszczeń przy wykorzystaniu składu izotopowego Pb. W wyniku dalszej współpracy przedstawionego wyżej zespołu, w roku 2014 ukazała się praca (załącznik 6, poz. 15), w której wykorzystujemy skład izotopowy gleb z okolic Lubina do śledzenia lokalnych źródeł zanieczyszczeń. Nasze badania gleb pochodzących z ogródków przydomowych pozwoliły zidentyfikować przynajmniej dwa źródła zanieczyszczenia ich ołowiem. Jednak podstawowym wnioskiem wypływającym z badań składu izotopowego Pb w skali lokalnej jest możliwość ich wykorzystania do prowadzenia szczegółowych rozważań nad źródłami zanieczyszczeń gleb. Często źródła zanieczyszczeń o charakterze lokalnym mogą zostać pominięte w badaniach izotopowych prowadzonych w skali regionalnej. Obecnie ukończyliśmy badania łączące analizę minerałów ciężkich oraz składu izotopowego gleb zanieczyszczonych na skutek działalności hutniczej. Artykuł opisujący wyniki przeprowadzonych badań został przesłany do recenzji do czasopisma Applied Geochemistry w ramach numeru specjalnego związanego z odbywającą się na początku tego roku w Paryżu konferencją „Environmental impacts of mining and smelting”, w której uczestniczyłem. Obecnie jestem wykonawcą w projekcie OPUS kierowanym przez dra R. Tyszkę, w ramach którego prowadzimy badania mające na celu identyfikację procesów prowadzących do intensywnego wietrzenia żużli Zn-Pb.

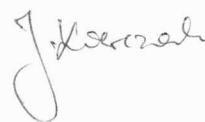
### 7.4. Badania mineralogiczno-petrograficzne historycznych zapraw i kamieni budowlanych

Stosunkowo od niedawna, w kręgu moich zainteresowań znajdują się również badania mineralogiczno-petrograficzne zapraw oraz kamieni budowlanych. Od 2013 roku współpracuję z drem Wojciechem Bartzem i w ramach kierowanego przez niego projektu badawczego OPUS wykorzystujemy informacje uzyskane dzięki wynikom analiz mineralogiczno-petrograficznych do

określania rozwarstwienia chronologicznego historycznych murów na przykładzie cysterskiego zespołu klasztoru w Lubiążu. Do tej pory efektem tej współpracy jest publikacja przedstawiająca przykłady zastosowania kamienia naturalnego, sztukaterii i zapraw tynkarskich w pocysterskim kompleksie architektonicznym w Lubiążu (załącznik 6, poz. 17). Artykuł zwraca uwagę na wkład geologów w rozwiązywanie problemów z pogranicza archeologii, historii sztuki i konserwacji i zawiera szereg informacji na temat tzw. „czerwonych wapieni bulastych” oraz „wapieni szwedzkich”, zastosowanych w detalu architektonicznym kościoła klasztoru p.w. Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Lubiążu. Ponadto, w pracy przedstawiona została również krótka charakterystyka mineralogiczna sztukaterii i zapraw tynkarskich, w powiązaniu z ich funkcją. Kolejnym efektem współpracy z dr. Bartłem jest opracowanie składu fazowego zapraw oraz kamieni budowlanych wykorzystanych przy konstrukcji dawnego kościoła cysterskiego pod wezwaniem Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny i Świętego Jakuba Starszego w Kamieńcu Żąbkowickim. Wyniki badań mineralogicznych w połączeniu z informacjami na temat budowy geologicznej Sudetów pozwoliły nam określić pochodzenie kamieni budowlanych wykorzystanych do wzniesienia kościoła. Ponadto, opisaliśmy również zróżnicowanie zapraw, na które decydujący wpływ miały kolejne fazy budowy badanego obiektu. Pełne opracowanie danych na temat kościoła w Kamieńcu Żąbkowickim zostaną zaprezentowane w formie artykułu, który obecnie został przesłany do recenzji do czasopisma *Archaeological and Anthropological Sciences*.

#### **7.5. Środowiskowe efekty górnictwa węgla kamiennego w części noworudzkiej dawnego Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego**

W ramach współpracy z dr. Krzysztofem Chudym oraz Prof. Henrykiem Marszałkiem prowadzę również badania mineralogiczne próbek środowiskowych (osady, odpady związane z wydobywaniem węgla) na terenie dawnego Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego. Badania te miały na celu: (i) rozpoznanie faz autogenicznych wytrącających się z wód pokopalnianych w okolicach Nowej Rudy oraz (ii) zbadanie wpływu odpadów powęglowych na jakość wód powierzchniowych i podziemnych. Wyniki uzyskane w ramach tej współpracy zostały przedstawione w postaci dwóch artykułów. W pracy dotyczącej minerałów wytrącających się z wód pochodzących z zatopionych wyrobisk górniczych w okolicach Nowej Rudy (załącznik 6, poz. 18), zauważono, iż dominującą fazą autogeniczną występującą w osadach na badanym terenie jest ferrihydryt lub rzadziej goethyt. W oparciu o skład chemiczny badanych wód stwierdzono możliwość pojawienia się faz z grupy siarczanów i węglanów jednak ich obecność w osadach nie została potwierdzona badaniami mineralogicznymi. Ponadto, na podstawie zależności stężenia jonów wapniowych, węglanowych oraz siarczanowych w próbach wody od pory roku, stwierdzono zwiększoną rozpuszczalność minerałów wiosną i jesienią, co jest związane ze wzrostem podaży wody pochodzącej z opadów i roztopów. W artykule dotyczącym wpływu hałdy odpadów związanych z wydobywaniem węgla kamiennego w okolicach Ludwikowic Kłodzkich (załącznik 6, poz. 3), dzięki połączeniu badań mineralogicznych z testami wymywania badanych materiałów i analizami składu chemicznego wód, stwierdzono negatywny wpływ pozostałości działalności przemysłowej na jakość pobliskich wód.



**Podziękowania**

Na koniec pragnę złożyć podziękowania wszystkim, którzy na kolejnych etapach mojej dotychczasowej kariery byli dla mnie źródłem inspiracji i niejednokrotnie pomagali w rozwiązywaniu różnego rodzaju problemów: od błahostek natury technicznej do merytorycznie skomplikowanych zagadnień czysto naukowych. W obawie przed pominięciem kogokolwiek postanowiłem nie wymieniać Was wszystkich. Pozwolę sobie jednak podziękować imiennie Profesorom Jackowi Puziewiczowi oraz Hubertowi Bril'owi za ogromne wsparcie dla moich działań na polu naukowym. Ponadto, chciałbym również serdecznie podziękować koleżankom i kolegom z Zakładu Petrologii Eksperymentalnej, z którymi mogę wspólnie przeżywać zarówno te dobre jak i nieco gorsze momenty związane z pracą naukową i dydaktyczną.

