

**Załącznik 2**

**AUTOREFERAT**  
**stanowiący opis dorobku i osiągnięć naukowych**

**dr inż. Bożena Gołębiowska**

**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie**  
**Kraków 2016**

## 1. Życiorys Naukowy

### 1.1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Bożena Gołębiowska**

### 1.2. Wykształcenie

2004	<p><b>Doktor Nauk o Ziemi</b>, dyscyplina: mineralogia, petrografia i geochemia</p> <p>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska</p> <p>Rozprawa doktorska: <i>Okruszcowanie w złożu dolomitu „Rędziny” ze szczególnym uwzględnieniem minerałów strefy hipergenicznej</i></p> <p>Promotor: prof. dr hab. Witold Żabiński</p>
1996	<p><b>Magister inżynier</b></p> <p>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska</p> <p>Kierunek: Górnictwo i Geologia, specjalność: Mineralogia Stosowana</p> <p>Praca magisterska: <i>Mineralogia i petrografia litytów z Gór Kaczawskich</i></p> <p>Promotor: prof. dr hab. Wiesław Heflik</p>
1991	<p><b>Świadectwo Dojrzałości</b></p> <p>Liceum Ogólnokształcące im. Mikołaja Reja w Jędrzejowie, profil ogólny</p>

### 1.3. Zatrudnienie i przebieg pracy zawodowej

2004 – obecnie	<p><b>Adiunkt</b></p> <p>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ) Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii (KMPiG)</p> <p>Adres: al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków</p>
1996 – 2004	<p><b>Asystent</b></p> <p>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ) Zakład Mineralogii, Petrografii i Geochemii (ZMPiG)</p> <p>Adres: al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków</p>
1995 – 1996	<p><b>Rektorski Staż Asystencki</b></p> <p>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ) Zakład Mineralogii, Petrografii i Geochemii (ZMPiG)</p> <p>Adres: al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków</p>

**2. Wskazanie osiągnięcia naukowego** 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 zm.):

### 2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Studium ewolucji genetycznej i przeobrażeń rzadkiej mineralizacji kruszcowej na przykładzie masywu granitowego Karkonoszy i okolic Krakowa

### 2.2. Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

(pełne teksty publikacji wraz z określonym udziałem współautorów oraz ich oświadczenia przedstawiono odpowiednio w zał. 5 i 6)

(A1) **Gołębiowska, B.**, Włodek, A., Pieczka, A., Borkiewicz, O., Polak, M. (2016): The philipsbornite–segnitite solid-solution series from Rędziny, eastern metamorphic cover of the Karkonosze granite (SW Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 86, 73–83. Dane za rok 2014 (brak danych za rok 2015): IF – 0.7; MNiSW - 15 pkt

(A2) **Gołębiowska, B.**, Rzepa, G., Pieczka, A. (2015): Exceptional Ti-bearing manganese oxides from Zalas, Krakow area, southern Poland. *Mineralogia*, 46, 1-2, 3-18, DOI: 10.1515/mipo-2016-0002. MNiSW - 15 pkt

(A3) **Gołębiowska, B.**, Pieczka, A., Parafiniuk, J. (2012): Substitution of Bi for Sb and As in minerals of the tetrahedrite series from Rędziny, Lower Silesia, southwestern Poland. *Canadian Mineralogist*, 50, 267–279. Dane za rok 2012: IF - 1.180; MNiSW - 20 pkt

(A4) Pieczka, A., **Gołębiowska, B.** (2012): Cuprobismutite homologues in granitic pegmatites from Szklarska Poręba, Karkonosze massif, southwestern Poland. *Canadian Mineralogist*, 50, 313–324. Dane za rok 2012: IF - 1.180; MNiSW - 20 pkt

(A5) Pieczka, A., **Gołębiowska, B.**, Parafiniuk, J. (2011): Gold in sulfide-telluride assemblages at Rędziny, Rudawy Janowickie Range. *Gold in Poland, AM Monograph no 2*. 119–134, MNiSW - 5 pkt,

(A6) **Gołębiowska, B.**, Pieczka, A., Rzepa, G., Matyszkiewicz, J., Krajewski, M., (2010): Iodargyrite from Zalas (Cracow area, Poland) as an indicator of Oligocene-Miocene aridity in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 296, 130–137. Dane za rok 2010: IF – 2.390; MNiSW - 35 pkt

(A7) Pieczka, A., **Gołębiowska, B.**, Parafiniuk, J. (2009): Conditions of formation of polymetallic mineralization in the eastern envelope of the Karkonosze granite - the case of Rędziny. *Canadian Mineralogist*, 47, 765–786. Dane za rok 2009: IF - 1.290; MNiSW - 20 pkt

**Publikacje składające się na osiągnięcie naukowe**

W skład osiągnięcia naukowego wchodzi prace, które ukazały się w latach 2009–2016 w czasopismach afiliowanych w bazie Journal Citation Reports:

- *The Canadian Mineralogist* (3 artykuły),
  - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (1 artykuł),
  - *Annales Societatis Geologorum Poloniae* (1 artykuł),
- oraz prace w czasopismach spoza tej bazy:
- *AM Monograph* (1 artykuł w tomie *Gold in Poland*),
  - *Mineralogia* (1 artykuł).

Przedstawione prace są efektem badań prowadzonych przez habilitantkę począwszy od roku 2004 i finansowanych grantami Komitetu Badań Naukowych oraz badaniami statutowymi Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Krakowie. Wstępne wyniki tych badań były prezentowane w formie referatów i abstraktów na konferencjach naukowych.

W komentarzu autorskim prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego zostały opisane symbolami A1 – A7.

**2.3. Komentarz autorski do osiągnięcia naukowego****2.3.1. Przestanki do podjęcia realizowanego tematu oraz zarys prowadzonych badań**

Od początku swojej kariery naukowej habilitantka przywiązywała ogromne znaczenie do badań terenowych, których rezultaty były zwykle podstawą jej dalszej pracy naukowej. Pracując w terenie przy realizacji interesujących tematów zwykle w zespołach 2–3-osobowych, miała możliwość uczestniczenia w wielu partnerskich dyskusjach, których treść i jakość stanowią niekwestionowany wkład również i pozostałych członków tych zespołów. W związku z tym, przedstawiane w osiągnięciu prace są finalnie wieloosobowe. Udział poszczególnych współpracowników jest dokładniej scharakteryzowany w załączniku 6. Prowadzone prace terenowe przyczyniły się do zebrania unikatowego materiału, często o wyjątkowym znaczeniu nie tylko dla mineralogii i geologii Polski. Monitoring odsłoneń, umiejętność poprawnej selekcji próbek w terenie i wstępnego wnioskowania co do możliwej obecności urozmaiconych asocjacji mineralnych w zebranym materiale owocowały ostatecznie wartościowymi wynikami naukowymi.

Pracę magisterską habilitantka realizowała pod opieką Prof. dr hab. Wiesława Heflika, tworząc ją na bazie samodzielnie zebranych próbek litytów z kilkunastu lokalizacji w Górach Kaczawskich. Pracę doktorską, której promotorem był Prof. dr hab. Witold Żabiński, również

opracowywała na bazie samodzielnie zebranych próbek mineralizacji, tym razem w rejonie kamieniołomu dolomitu w Rędzinach w Rudawach Janowickich, we wschodnim obrzeżeniu masywu granitowego Karkonoszy. Praca ta stanowiła studium mineralogiczne, dokumentujące nowo zidentyfikowane wówczas fazy mineralne w obrębie utlenionej mineralizacji kruszcowej, rozproszonej w osłonie eksploatowanej soczewy dolomitowej. Końcowe etapy pracy nad rozprawą doktorską były inspiracją do podjęcia szerszego problemu naukowego, związanego z charakterystyką mineralogiczną unikalnych zespołów kruszczowych w obrębie pierwotnej mineralizacji rozproszonej oraz oceny wartości ekonomicznej nagromadzeń polimetalu w rejonie Rędzin. Badania te, przez kolejne lata, już po doktoracie, były realizowane w ramach projektów Komitetu Badań Naukowych, w zespole utworzonym przez habilitantkę, dr hab. inż. Adama Pieczkę (AGH Kraków) oraz dr hab. Jana Parafiniuka (UW Warszawa) (Zał. 4, pkt. I). Nowy etap badań odnosił się do urozmaiconych mineralogicznie i geochemicznie zespołów pierwotnej mineralizacji kruszcowej, rozproszonej w skałach łupkowych serii z Czarnowa wokół kamieniołomu 'Rędziny', szczególnie na kontaktach z eksploatowaną soczewą dolomitową. W swojej działalności habilitantka skupiała się na charakterystyce grupy minerałów pierwotnych, w tym siarczków różnych metali, siarczkotellurków, czy też grupy siarkosoli bizmutowych, tworzących szeregi izotypowe, homeotypowe lub homologiczne. Według najnowszej klasyfikacji (Moëlo i in. 2008) wyróżnia się 7 grup siarkosoli, różniących się strukturą i składem chemicznym, uwzględniających struktury izotypowe, bądź homeotypowe oraz tzw. szeregi homologiczne (Lima-de-Faria i in. 1990, Makovicky 2006). Za struktury izotypowe uważa się struktury charakteryzujące się identycznym modelem rozmieszczenia atomów w komórce elementarnej, identycznymi wielościanami koordynacyjnymi, itp., przy zachowaniu podobnych cech podstawiających się atomów i tworzonych przez nie wiązań chemicznych, np. elektroujemności, stosunków promieni jonowych, stanu elektronowego. Z kolei dwie struktury są homeotypowe, jeśli nie jest spełniona jedna lub więcej z powyższych zasad, czyli np. dwa minerały mogą różnić się strukturą poprzez różnicę grupy przestrzennej (Lima-de-Faria i in. 1990, Makovicky 2006). Natomiast szeregi homologiczne odznaczają się podobną strukturą tworzących je ogniw, różniącą się liczbą N powtarzających się fragmentów strukturalnych zbudowanych np. z podobnie połączonych i ułożonych w obrębie struktury wielościanów koordynacyjnych typu *rods*, *layers*, itp.

Celem badań prowadzonych przez habilitantkę było możliwie jak najpełniejsze rozpoznanie zespołu kruszców pierwotnych, stanowiących w warunkach powierzchniowych źródło do formowania się zespołu hipergenicznego, praktycznie w jedynej dostępnej obecnie

lokalizacji mineralizacji kruszcowej w obrębie aureoli kontaktowej granitu karkonoskiego, tj. kamieniołomie 'Rędziny', która mogła być na bieżąco badana nowoczesnymi metodami analizy w mikroobszarze, a przede wszystkim metodą mikrosondy elektronowej. Wszystkie inne lokalizacje kruszcowe w obrębie wschodniego i północnego obrzeżenia metamorficznego takich możliwości już nie dają, bowiem od wielu lat stanowią tylko lokalizacje dawno zaniechanej działalności górniczej, z coraz trudniej dostępnymi pozostałościami po eksploatowanej mineralizacji.

Granty, w których habilitantka pełniła rolę głównego wykonawcy, kierowane były przez pracowników naukowych, dr hab. Jana Parafiniuka i dr inż. hab. Adama Pieczkę, lecz w każdym przypadku bazowały one także na wiedzy praktycznej zgromadzonej wcześniej przez habilitantkę. W ramach tych prac grantowych przeprowadzono wstępne rozpoznanie stopnia zmineralizowania okolicy kamieniołomu, tj. kontaktów soczewy dolomitowej ze skałami osłony metamorficznej serii Kowar-Czarnowa, metodami geofizycznymi (przy współpracy wyspecjalizowanej firmy geofizycznej), a następnie rozpoznanie geochemiczne poprzez opróbowanie wszystkich odsłoniętych na kolejnych poziomach eksploatacyjnych wychodni skał krzemianowych i ich zanalizowanie pod kątem zawartości Bi i Sn, zaś w strefach masywnej mineralizacji kruszcowej również Ag, Au i V. Zebrane w strefach zmineralizowania próbki mineralizacji polimetalicznej stały się podstawą do napisania trzech współautorskich artykułów, w tym dwóch prac w czasopismach afiliowanych w bazie JCR (A3, A7) oraz w monografii poświęconej złocie (A5), będących efektem kilkuletnich obserwacji i badań. Prace te charakteryzują mineralogicznie i geochemicznie wystąpienie polimetalu w rejonie kamieniołomu 'Rędziny', przede wszystkim w zakresie zmineralizowania złotem, srebrem, bizmutem i cyną, skupiają też uwagę na precyzyjnej charakterystyce całego zespołu siarczkowego, która finalnie posłużyła do przedstawienia modelu rozwoju genetycznego tejże mineralizacji. W osiągnięciu naukowym autorka podejmowała także problem scharakteryzowania roztworów stałych w fazach utlenionych i pierwotnych i ich ciągłości w pełnym bądź określonym zakresie mieszalności, bazując na składach obserwowanych tylko w próbkach naturalnych. W osiągnięciu przedstawiono przykłady takich rzadkich faz, które są efektem utleniania pierwotnej mineralizacji polimetalicznej genetycznie związanej z intruzją granitu karkonoskiego (A1).

Bazując na unikatowej mineralizacji w osłonie metamorficznej granitu karkonoskiego w Rędzinach, wykonano analogiczne badania mineralizacji rozproszonej w granicie karkonoskim (granit granofirowy), dostępnej obecnie w jedynym czynnym kamieniołomie granitu w obrębie tego masywu, tj. w Szklarskiej Porębie Hucie. Rozpoznano tu bardzo

urozmaicony zespół kruszcowy, na który składają się między innymi nie tylko wolframit i scheelit, kasyteryt, molibdenit, bizmut rodzimy, emplektyt i nuffieldyt oraz chalkopiryt, sfaleryt, bizmutynit, pirotyt, piryt i markasyt wcześniej dokumentowane przez Karwowskiego i in. (1973), Kozłowskiego i in. (1975) oraz Olszyńskiego i in. (1976), ale i przedstawiciele szeregu homologicznego kuprobizmutytu (A4), wiele ogniw szeregu homeotypowego aikinit–bizmutynit, a ponadto galenobizmutyt, cannizzaryt, cosalit, ikunolit, joséite-A, jak również bizmit, bizmutyt, powellit, koechlinit i russellit jako fazy wietrzeniowe. W pracy (A4) z uwagi na znaczenie mineralogiczne nowo dokumentowanych minerałów skupiono się jedynie na zespole bardzo rzadkich siarkosoli bizmutowych szeregu homologicznego kuprobizmutytu oraz innych im towarzyszących siarkosoli bizmutowych, wzmiankując o obecności kolejnych faz mineralnych.

W rejonie podkrakowskim (Zalas) napotkano interesujący, równie egzotyczny jak na polskie warunki, zespół hydrotermalny i wietrzeniowy, jednakże znacznie uboższy pod względem ilości tworzących go faz mineralnych, dla którego dotychczasowe wyniki badań przedstawiono w dwóch pracach (A2, A6). Dokumentują one dwa niezwykle rzadkie składniki tego zespołu wietrzeniowego jakimi są jodargyryt oraz talowe tlenki Mn, łącząc uformowanie tego zespołu z okresem odmłodzenia staropaleozoicznych stref uskokowych podczas ruchów podłoża związanych z nasunięciem Karpat na obszar zapadliska przedkarpackiego oraz intensywnego wietrzenia tej mineralizacji w warunkach klimatu pustynnego na przełomie Oligocen / Miocen.

Reasumując, przedstawione osiągnięcie naukowe odtwarza ewolucję genetyczną rzadkich faz mineralnych, a w szczególności charakteryzuje:

- waryscyjską działalność kruszonośną w rejonie Rędzin oraz Szklarskiej Poręby, indukowaną intruzją granitu karkonoskiego,
- działalność hydrotermalną związaną z odmłodzeniem staropaleozoicznych stref rozłamowych w rejonie krakowskim podczas nasunięcia Karpat, oraz
- odtwarza ewolucję genetyczną każdego z tych zespołów kruszcowych.

### ***2.3.2. Informacje wprowadzające, procesy pomagmowe, tło geologiczne***

Procesy pomagmowe, mające często bardzo skomplikowany przebieg, zaczynają się w temperaturach poniżej 600°C po etapie zasadniczej krystalizacji pierwotnego stopu krzemianowego jakim jest magma. Wraz ze spadkiem temperatury magma wzbogaca się stopniowo w składniki lotne oraz topniki obniżające jej lepkość i temperaturę krystalizacji, a

także w różne pierwiastki niedopasowane uczestniczące później w formowaniu mineralizacji pegmatytowej, pneumatolitycznej i hydrotermalnej. W etapie pegmatytowym pary i gazy rozrzedzają składniki jeszcze dominującego stopu resztkowego. W etapie pneumatolitycznym gorące, przegrzane lub nadkrytyczne emanacje gazowe osiągają ilościową przewagę nad transportowanymi składnikami. Przy dalszym spadku temperatury ( $\leq 400^{\circ}\text{C}$ ) w etapie hydrotermalnym, fluidy pomagmowe stają się gorącymi roztworami wodnymi powstałymi ze skraplających się przegrzanych par, mającymi zdolność rozchodzenia się nawet z dala od swojego macierzystego źródła, dokonując podczas swej wędrówki wielu przeobrażeń metasomatycznych w spotykanym na swojej drodze materiale skalnym.

Badana przez habilitantkę mineralizacja pomagmowa związana jest z plutonem karkonoskim (Rędziny, Szklarska Poręba Huta) oraz relikdami utlenionej mineralizacji polimetalicznej, której powstanie wiąże się z okresami odmłodzenia podczas orogenezy alpejskiej starych stref uskokowych w podłożu paleozoicznym Monokliny Śląsko-Krakowskiej (Zalas).

Granit karkonoski jest największym waryscyjskim plutonem w zachodnich Sudetach, ulokowanym w północno-wschodniej części Masywu Czeskiego. Okres formowania się plutonu został oceniony na około 320-310 Ma (Borkowska 1966; Duthou i in. 1991, Kröner i in. 1994; Machowiak i Armstrong 2007; Mikulski 2007; Słaby i Martin 2008; Kryza i in. 2014; Kusiak i in. 2014). Znajduje się on pośród skał metamorficznych stanowiących jego północno-zachodnie, południowe i wschodnie obrzeżenie, z dobrze wykształconą aureolą kontaktową, osiagającą od kilkuset metrów do około 2 km szerokości. Wschodnie obrzeżenie metamorficzne, do którego należy obszar Rędzin z mineralizacją badaną przez autorkę (A1, A3, A5 i A7), wchodzi w skład jednostki strukturalnej Kowar-Czarnowa, geograficznie budującej część pasma Rudaw Janowickich. Z kolei, kamieniołom granitu Szklarska Poręba Huta (A4) założony jest w brzeżnej części plutonu karkonoskiego na styku z metamorfikiem izerskim. Eksploatuje on główną odmianę granitu karkonoskiego, jakim jest granit porfirowy przechodzący w nierównoziarnisty, oraz odmianę granitu granofirowego (aplogranitu) spotykaną lokalnie w strefach brzeżnych plutonu. Wszystkie odmiany granitu karkonoskiego klasyfikowane jako typ I, oraz typ przejściowy I/S są wysoko ewoluowane, peraluminowe do metalaluminowych, bogate potas, wapniowo-alkaliczne do subalkalicznych (Duthou i in. 1991; Oberc-Dziedzic i in. 1999; Słaby i Martin, 2005; Mikulski 2007). Tło geochemiczne mineralizacji kruszcowej związanej z granitem karkonoskim charakteryzował Mikulski (2007), natomiast kompletny model formowania się tej mineralizacji został przedstawiony przez Mochnacką i in. (2015).



Roztwory hydrotermalne generowane przez intruzję granitową Karkonoszy, a szczególnie granit granofirowy (Mikulski 2007) były nośnikiem wielu pierwiastków, deponowanych w sprzyjających okolicznościach w strefie aureoli kontaktowej. Stąd stosunkowo liczne wystąpienia kruszców w całym pasie wschodniego obrzeżenia metamorficznego stanowiącego obszar Rudaw Janowickich, m.in. w Miedziance, Ciechanowicach, Janowicach Wielkich, Mniszkowie, Rędzinach, Czarnowie, Kowarach, i dalej aż po Sowią Dolinę. Niektóre z wymienionych lokalizacji jak obszar Miedzianki–Ciechanowic, Czarnowa, czy Kowar były obiektami historycznej już działalności górniczej, w których obecnie można sporadycznie napotkać relikty mineralizacji kruszczowej na starych, zwykle silnie zwietrzałych hałdach, bądź w starych sztolniach. Rędziny to jedyne miejsce we wschodniej osłonie granitu karkonoskiego, gdzie rozproszoną mineralizację kruszczową, niewątpliwie związaną z plutonem karkonoskim, można obserwować podczas prowadzonej przez ten kamieniołom eksploatacji marmuru dolomitycznego. Stwarzała ona okresowo (szczególnie w latach 1997–2005, a więc tuż po intensywnych opadach i powodziach) bezpośredni dostęp do stref okruszcowania i możliwość śledzenia relacji paragenetycznych i teksturalnych oraz rozprzestrzeniania się składników tej mineralizacji w strefie kontaktowej z eksploatowaną soczewą dolomitową.

Monoklina śląsko-krakowska, w obrębie której znajduje się kopalnia ryodacytu w Zalasie, zbudowana jest głównie z utworów triasu, jury i kredy, zapadających w kierunku północno-wschodnim w wyniku alpejskich ruchów górotwórczych fazy Iaramijskiej. Południowa część monokliny pocięta jest licznymi uskokami, tworzącymi system zrębów oraz rowów lub zapadlisk tektonicznych, które powstały w efekcie nasunięcia Karpat fliszowych w kierunku północnym podczas orogenezy alpejskiej. Podłoże stanowią warstwy starsze – od prekambriu po górny karbon. Licznie występują karbońskie i permskie utwory wulkaniczne, sporadycznie odsłaniające się na powierzchni. Ich powstanie wiąże się z lewoskrętną transtensją zachodzącą wzdłuż strefy głębokiego rozłamu Kraków – Lubliniec, oddzielającą blok górnośląski od bloku małopolskiego (Buła 2002; Matyszkiewicz i in. 2006). Obecność przejawów mineralizacji Cu, Mo, W, Bi oraz rzadziej Ag, Au, Se, Te, Re, Co i Ni, została stwierdzona otworami wiertniczymi niemal we wszystkich formacjach budujących podłoże paleozoiczne rejonu Krakowa (Gałkiewicz i Śliwiński 1985; Muszyński 1991; Podemski 2001; Mikulski i in. 2012). Lokalnie spotyka się także inkrustracje siarczków w młodszych wiekowo utworach tego rejonu. Mineralizacja ma związek z działalnością pomagmowych roztworów hydrotermalnych, które migrując wykorzystywały nieciągłości przecinające podłoże paleozoiczne.

### 2.3.3. Omówienie wyników badań zawartych w osiągnięciu naukowym

- **Problem mineralizacji polimetalicznej we wschodnim obrzeżeniu metamorficznym granitu Karkonoszy w rejonie Rędzin (A3, A5, A7)**

Mineralizacja rozproszona na kontaktach eksploatowanej soczewy dolomitowej oraz skał łupkowych przynależnych do tzw. serii łupkowej Czarnowa (Teisseyre 1971) we wschodniej osłonie granitu karkonoskiego, w rejonie Rędzin, stanowi fragment aureoli kontaktowej granitu karkonoskiego. Strefa ta jest zmineralizowana przede wszystkim pierwotnymi minerałami Sn, Bi i Ag, a w mniejszym stopniu Cu, Pb i Te z dodatkowymi objawami złotoności, na bazie której rozwinął się również bardzo urozmaicony zespół supergeniczny. Poniżej zostaną zreferowane parametry tej mineralizacji oraz jej przypuszczalny model rozwoju, poznaniu których poświęcone były między innymi prace A3, A5, A7 stanowiące istotną część osiągnięcia naukowego. Warto jeszcze nadmienić, iż w zespole polimetalicznym Rędzin rozpoznano do tej pory około 130 faz mineralnych, z których znaczna część została tu stwierdzona po raz pierwszy w Polsce, a w kilku przypadkach mamy prawdopodobnie do czynienia z nowymi minerałami, które mogłyby być dopiero zaaprobowane przez Komisję Nazw Mineraleń, Nomenklatury i Klasyfikacji Międzynarodowej Asocjacji Mineralogicznej (CNMNC IMA) po przeprowadzeniu odpowiednich badań mineralogicznych.

Złoto i srebro są składnikami pierwotnej mineralizacji polimetalicznej w Rędzinach tworząc własne minerały (Ag), podstawienia w strukturach innych faz (Ag, Au) oraz mikroprzerosty i inkluzje w pospolitszych minerałach kruszczowych (Ag, Au). Metale te występowały w różnych postaciach i koncentracjach w pobliskim Czarnowie, w Kowarach, w Miedziance-Ciechanowicach, w rejonie Mniszkowa, czy też nieco bardziej odległych Górach Ołowianych i Radzimowicach należących już strukturalnie do metamorfiku kaczawskiego. W wielu z wymienionych lokalizacjach były pozyskiwane ubocznie przez dawne gwarectwa koncentrujące się na wydobyciu rud miedzi i arsenu. Według Grodzickiego (2005) całe wschodnie obrzeżenie granitu karkonoskiego jest obszarem perspektywnym dla poszukiwań kruszców metali szlachetnych, zaś Mikulski (2007) charakteryzuje granit karkonoski jako granit o cechach Sn-, W-, ale także i Au- i Bi-ności. Na potencjalną złotoność obszaru Rędzin zwraca też uwagę raport Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (Mikulski 2011).

Złoto (elektrum) napotkane w strefie łupkowej tnącej soczewę dolomitową tworzy drobne inkluzje rozproszone w pospolitych siarczках, w chalkopirycie i w pirycie, rzadziej w bizmutynicie, sfalerycie, arsenopirycie, a bardzo rzadko w bizmucie rodzimym, kubanicie, stanninie oraz siarkosolach Ag(Cu)-Pb-Bi(Sb) (np. w pavonicie, benjaminicie, gustawicie,

matildycie) i siarczokotellurkach bizmutu (np. tetradymicie, kawazulicie, josécie-A) (A5). Wielkość inkluzji Au wynosi zazwyczaj kilka mikrometrów i nie przekracza rozmiaru 20  $\mu\text{m}$ . Takie inkluzje obserwowano w świetle odbitym oraz w obrazach BSE w obrębie mineralizacji z NW części kamieniołomu. Wspomniane siarczki z tego rejonu, z inkluzjami Au, wykazują zawartości złota do 0.1-0.2 % wag. (WDS, opcja *trace analysis*) Podobne zawartości Au obecne są w siarczach z SE części kamieniołomu, jednakże nie stwierdzono w ich obrębie inkluzji elektrum widocznych w obrazie mikroskopowym. Nieregularne, zazwyczaj do stu kilkudziesięciu  $\mu\text{m}$  wielkości inkluzje elektrum natrafiono także w minerałach wietrzeniowych bizmutu, po północno-zachodniej stronie kamieniołomu. Największe znalezione tutaj ziarno elektrum osiągało rozmiar około 2 mm. Pomiędzy kryształami fluoroflogopitu obserwowano mineralizację siarczokotellurkową, w formie blaszkowych kryształów joséitu-A,  $\text{Bi}_4\text{TeS}_2$ , i joséitu-B,  $\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$ , osiągających do około 2 cm wielkości, z inkluzjami bizmutu rodzimego, bizmutynitu oraz pavonitu. Współwystępują z nimi liczne utlenione minerały bizmutu, np. bizmit ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), eulytyn ( $\text{Bi}_4(\text{SiO}_4)_3$ ), bizmutyt ( $\text{Bi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)$ ), pingguit ( $\text{Bi}_6\text{Te}_2\text{O}_{13}$ ), beyeryt ( $(\text{Ca,Pb})\text{Bi}_2\text{O}_2(\text{CO}_3)_2$ ), najprawdopodobniej smirnit ( $\text{Bi}_2\text{TeO}_5$ ) i telluryt ( $\text{TeO}_2$ ) (Gołębiowska i in. 2011). Siarczokotellurki obrastają najczęściej ziarna Bi rodzimego, ten ostatni tworzy też liczne drobne wprysnięcia w bizmicie. Niektóre fragmenty tej mineralizacji wykazywały wzbogacenie w złoto określone w mikroobszarze na poziomie około 0.04 % wag. Analizy chemiczne elektrum zarówno ze strefy łupkowej jak i ze skarnów flogopitowych nie wykazały istotnego zróżnicowania pomiędzy sobą. Zawartość Au i Ag w elektrum waha się odpowiednio w przedziale 62.2 do 78.9 % wag. oraz 20.6 do 36.9 % wag.

Badania geochemiczne kruszców rędzińskich wykazały podwyższone zawartości Au (do 1.2 ppm) w mineralizacji polimetalicznej bogatej w arsenopiryty. Najwyższe zawartości tego pierwiastka odnotowano w arsenopirycie w żyłach chlorytowo-kwarcowych oraz w arsenopirycie współwystępującym z kasyterytem. Arsenopiryty tworzący asocjację wraz z bizmutem rodzimym, ikunolitem, minerałami grupy aikinitu i bizmutynitem, zawiera średnio 0.7 ppm Au. W asocjacji z Cu(Ag)-Pb-Bi(Sb) siarkosolami zawartość Au jest nieco niższa, rzędu 0.5 ppm. W trakcie separacji kasyterytu za pomocą laboratoryjnego stołu koncentracyjnego uzyskiwano też pewne ilości frakcji o zdecydowanie wyższej gęstości w stosunku do kasyterytu.

W trakcie dotychczasowych badań kruszców w kamieniołomie dolomitu w Rędzinach stwierdzono obecność kilkunastu minerałów Ag (A3, A5, A7; Gołębiowska i in. 2006b, 2008): drobnych inkluzji Ag rodzimego, akantytu, argentotennantytu, freibergitu, siarkosoli Ag (matildytu, berryitu, gustawitu, pavonitu, benjaminitu, makovickyitu) oraz dużej grupy minerałów, w których srebro tworzy kilkuprocentowe podstawienia izomorficzne (A3, A5, A7). W obrębie faz utlenionych zaobserwowano pojedyncze, kilkumikrometrowe emulsyjne wytrącenia srebra rodzimego. Występujące tu tennantyty nie wykazywały istotniejszego podkoncentrowania Ag, z zawartością nie przekraczającą 0.5% wag. Odnotowano natomiast

obecność faz zbliżonych składem do argentotennantytu. W przeciwieństwie do tennantytów srebro koncentruje się w tetraedrytach (A3). Największe jego zawartości, do 12.5% wag., zaobserwowano w tetraedrytach ze strefy łupkowej północno-wschodniej części kamieniołomu, gdzie Ag-tetraedryt występował w asocjacji z Ag-nośną galeną, minerałami cyny (stanninem, stanoidytem, mawsonitem) oraz chalkopirytem. Dodatkowo w tym miejscu odnotowano małe wprysnięcia freibergitu, zawierającego do ponad 32.3 % wag. Ag. Bardzo interesującą grupą minerałów srebronośnych z Rędzin są niewątpliwie siarkosole bizmutowe srebra. Najczęściej pojawiające się i współwystępujące ze sobą to berryit,  $\text{Ag}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_3\text{Bi}_7\text{S}_{16}$ , i gustavit,  $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ . Należy zaznaczyć, że ten pierwszy jest bardzo rzadkim minerałem, nie notowanym dotychczas z terenu Polski. Najczęściej siarkosole te spotyka się w obrębie mineralizacji polimetalicznej w żyłach arsenopirytowo-chlorytowo-kwarcowych z W części kamieniołomu. Tworzą one cienkie tabliczkowe, bądź listewkowe kryształy osiągające maksymalną wielkość 300  $\mu\text{m}$ . Współwystępują m.in. z innymi siarkosolami, z giessenitem–izoklakeitem i cosalitem, w których odnotowano kilkuprocentowe domieszki Ag (1.5-5.5 % wag.) oraz ogniwami szeregu aikinit-bizmutynit i Ag-nośną galeną. Rozproszone małe inkluzje akantytu,  $\text{Ag}_2\text{S}$ , pavonitu,  $(\text{Ag,Cu})(\text{Bi,Sb})_3\text{S}_5$ , benjaminitu,  $(\text{Ag,Cu})_3(\text{Bi,Pb})_7\text{S}_{12}$ , matildytu,  $\text{AgBiS}_2$ , oraz wspomnianych już faz, gustawitu i Ag-tetraedrytu, rozpoznano w paru miejscach kamieniołomu w zmineralizowanych strefach łupkowych. Współwystępują często z arsenopirytem, pirytem, chalkopirytem, kubanitem, bizmutynitem oraz minerałami cyny z grupy stanninu wykazującymi podkoncentrowanie Ag do 2.0 % wag., Ag-nośnymi wittichenitem i galeną (odpowiednio do 1.3 % i 1.1 % wag. Ag) oraz złotem i bizmutem rodzimym. Rozpoznano też makovickyit,  $\text{Ag}_{1.5}\text{Bi}_{5.5}\text{S}_9$ , w zmineralizowanych bizmutem i tellurem skarnach flogopitowych.

Rozpoznawcze badania geochemiczne wykonane pod kątem zawartości Ag wykazały że srebro jest metalem powszechnym w obrębie stref zmineralizowania siarczkami, siarczkoarsenkami i siarczkotellurkami. Najwyższe zawartości rzędu 600–700 ppm Ag odnotowano we fragmentach żył arsenopirytowych ze sfalerytem, chalkopirytem, kasyterytem, siarkosolami  $\text{Cu}(\text{Ag})\text{-Pb-Bi}(\text{Sb})$ , oraz Ag-nośną galeną występującą w strefie z utlenionymi minerałami wanadu. Galena ta, sama będąc nośnikiem Ag (do 1 % wag.) zawiera inkluzje Ag-tetraedrytu. Podkoncentrowanie srebrem zanotowano też w zwietrzelinie ze wschodniej części pasma łupkowego przecinającego soczewę dolomitową (ok. 60 ppm Ag) oraz w materiale utlenionym ze strefy zbudowanej z arsenianów żelaza na zachodniej stronie kamieniołomu (ok. 120 ppm Ag).

Mineralizacja kruszcowa Rędzin jest jedynym wyraźniejszym przykładem we wschodnim obrzeżeniu metamorficznego granitu karkonoskiego, gdzie Au i Ag współwystępują z zespołem kruszców  $\text{Bi} + \text{Te} \pm \text{Se} + \text{S}$  sugerując, iż tutejsze okruszcowanie może odpowiadać formacji Au-Ag-Te. Zgodnie z definicją Cooka i in. (2007) za złoża tej formacji uznaje się niskotemperaturowe (< 300°C) okruszcowania hydrotermalne bogate w

fazy tellurkowe, dające się definiować jako rezultat niezależnego zjawiska kruszcotwórczego przebiegającego w płytkich strefach epitermalnych. Kategoria złóż Au-Te dzieli się na utwory Au(Ag)-tellurkowe stabilne w warunkach utleniających oraz wyraźnie od nich oddzielone utwory wzbogacone w tellurki, które z kolei są stabilne w warunkach redukcyjnych, np. zredukowane skarny Au-nośne. W tych ostatnich pewna ilość Au może występować jako Au-(Ag)-tellurki, Au rodzime oraz inne minerały złota paragenetycznie związane z tellurkami innych metali (np. Bi), które są zasadniczymi nośnikami metali szlachetnych. Złoto obecne w asocjacji Bi + Te + S może być wychwytywane z roztworów hydrotermalnych, lub nawet ulegać ekstrakcji stopami Bi-Te-S z wcześniej wykrystalizowanych Au-nośnych siarczków czy arsenopiryty. Naszkicowany, w oparciu o obecnie dostępne dane, obraz Au-Ag-nośnej mineralizacji polimetalicznej Rędzin wydaje się odpowiadać temu właśnie przypadkowi.

W pracach stanowiących osiągnięcie naukowe analizie poddano również zmienność koncentracji interesujących składników w grupach mineralnych stanowiących złożone roztwory stałe, obserwowane w obrębie mineralizacji pierwotnej (A3). Poddano charakterystyce różne ogniwa z serii tetraedrytu, notując odmiany silnie wzbogacone w Bi oraz Ag. Mineralizacja rędzińska daje możliwość obserwacji zmian w składzie tych minerałów spotykanych w różnych zespołach mineralnych i utworzonych w różnych temperaturach. Wydzielono 6 asocjacji, w których minerały serii tetraedrytu różnią się zawartościami Bi i Ag. Rozważania na temat ewolucji składu chemicznego prowadzone na tle szerszego zespołu minerałów towarzyszących posłużyły odtworzeniu modelu genetycznego formowania się tych faz w obrębie zespołu polimetalicznego Rędzin. Odmiany wzbogacone w Bi [do 15.86 % wag. (1.36 Bi *pfu*) w tetraedrycie i do 18.41 % wag. (1.51 Bi *pfu*) w tennantycie] zazwyczaj tworzą inkluzje i zrosty z innymi siarczkami. Niewielka inkluzja z Bi > As i Sb, o stechiometrii *annivitu*, tj., Bi analogu tetraedrytu i tennantytu (faza nie zaaprobowana przez CNMNC IMA) została rozpoznana w zespole stannoidyt-mawsonit-chalkopiryt-Bi rodzimy. Jest to obecnie najsilniej wzbogacona w Bi faza mineralna o stechiometrii odpowiadającej grupie tetraedrytu znana w literaturze. Wyraźne korelacje pomiędzy Fe, Ag, Cu i Sb w wyższych temperaturach (do około 280°C) i między Zn, Cu i As w niższych temperaturach sugerują pierwotną dominację freibergitu,  $(Ag_6Cu_4)Fe_2Sb_4S_{13-x}$ , następnie w temperaturze około 340°C, jego stopniową ewolucję w stronę srebronośnego tetraedrytu wzbogaconego w Bi,  $(Cu_7Ag_3)(Fe,Zn)_2(Sb,Bi)_4S_{13}$ . Kolejno dominuje ubogi w Ag, ale wzbogacony w Bi tennantyt,  $Cu_{10}(Zn,Fe)_2(As,Bi)_4S_{13}$ , i finalnie w temperaturze poniżej 200°C krystalizuje tennantyt pozbawiony Bi, lecz silnie wzbogacony w Zn,  $Cu_{10}Zn_2As_4S_{13}$ . Sekwencja krystalizacji minerałów serii tetraedrytu z Rędzin wskazuje, że odmiany wzbogacone w Bi krystalizowały w temperaturach 300–230°C wraz z siarczkami bizmutu i bizmutem rodzimym. Wcześniejsza krystalizacja związana była z tworzeniem licznych siarkosoli bizmutowych, szczególnie tych wzbogaconych w Ag, jak *gustavit*, *pavonit*, *benjaminit*, *berryt* i *giessenit*. Substytucja Bi za Sb w tetraedrycie związana ze wzrostem Fe i

Ag i ze zubożeniem w Zn, doprowadziła do wzrostu srebronośnego *annivitu*,  $(\text{Cu}_6\text{Ag}_4)\text{Fe}_2\text{Bi}_4\text{S}_{13}$ , w temperaturach około  $280^\circ\text{C}$ , tj. w stadium wysokiej aktywności Bi w roztworach hydrotermalnych.

Bazując na kilkuletnich obserwacjach paragenez mineralnych, wnikliwej analizie chemicznej w mikroobszarze, oraz stosując różnorakie geotermometry mineralne znane w literaturze, a także stosując bezpośredni pomiar temperatur homogenizacji inkluzji gazowo-ciekłych w kasyterycie odtworzono ewolucję genetyczną mineralizacji kruszcowej w Rędzinach (A3, A5, A7). Najwcześniej krystalizującymi minerałami spośród całej asocjacji siarczków, siarkosoli, siarczko-selenków i siarczko-tellurków są pirotyn i arsenopiryty. Relacje teksturalne tych dwu faz, wzajemne obrastanie kryształów oraz wrostki jednego minerału w drugim, świadczą o tworzeniu się ich w podobnych warunkach fizykochemicznych. Pirotyn obecny w strefie łupkowej przecinającej soczewę dolomitową współwystępuje najczęściej z pirytem, chalkopirytem oraz bogatym w żelazo sfalerytem, arsenopirytem, oraz rzadziej z kasyterycem, Ag-nośną galeną, bizmutynitem, tetradymitem, bizmutem rodzimym, kubanitem i złotem rodzimym. W ziarnach pirotynu obserwuje się często wrostki minerałów tytanu (ilmenit, rutil i tytanit), apatyty, oraz inkluzje kobaltynu. Niektóre z agregatów pirotynu zawierają inkluzje piryty na granicach zrastających się ziaren wskazujące na zachodzącą w temperaturze ok.  $250^\circ\text{C}$  rekrytalizację wysokotemperaturowego heksagonalnego FeS do niższej temperaturowej struktury jednoskośnej uboższej w siarkę. Arsenopiryty z zachodniej części kamieniołomu tworzył się w temperaturze niższej niż  $570^\circ\text{C}$  przy aktywności siarki wyrażonej jako  $\log f_{\text{S}_2}$  około 4. Temperaturę krystalizacji zespołu sfaleryt–Zn–chalkopiryty–ferrokesteryt oceniono na  $320\text{--}290^\circ\text{C}$  (termometr stannin-sfaleryt w/g Nakamury i Shimy 1982), zaś  $\log f_{\text{S}_2} \approx -9.5$ . Warunki te potwierdza zawartość około 10 % mol. FeS w sfalerycie, wskazująca na krystalizację w warunkach równowagi piryty / arsenopiryty. Mniej więcej w równorzędnych warunkach lub nieco powyżej  $320^\circ\text{C}$  krystalizowała Ag-nośna galena zawierająca inkluzje Ag-tetraedrytu, kęsterytu,  $\text{Cu}_2(\text{Zn,Fe})\text{SnS}_4$ , i černýitu,  $\text{Cu}_2(\text{Cd,Zn,Fe})\text{SnS}_4$ , oraz zespół polimetaliczny ze stanninem  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ , tetradymitem  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ , kawazulitem  $\text{Bi}_2(\text{Te,S,Se})_3$  oraz siarkosolami srebra: gustawitem,  $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ , pavonitem  $(\text{Ag,Cu})(\text{Bi,Pb})_3\text{S}_5$  i benjaminitem  $(\text{Ag,Cu})_3(\text{Bi,Pb})_7\text{S}_{12}$  oraz bizmutem i elektrum. Ogniwa grupy aikinitu wraz ze spadkiem temperatury zmieniały swój skład od typowego aikinitu,  $\text{Cu}_6\text{Pb}_6\text{Bi}_6\text{S}_{18}$ , i friedrichitu,  $\text{Cu}_5\text{Pb}_5\text{Bi}_7\text{S}_{18}$ , spotykanych w obecności giessenitu i cosalitu ( $\sim 350\text{--}320^\circ\text{C}$ ) po krupkait,  $\text{Cu}_3\text{Pb}_3\text{Bi}_9\text{S}_{18}$ , i dalej aż po gladyt,  $\text{Cu}_2\text{Pb}_2\text{Bi}_{10}\text{S}_{18}$ , spotykane w asocjacji z chalkopirytem, bizmutem, ikunolitem  $(\text{Bi,Pb})_4(\text{S,Se})_3$ , bizmutynitem, nisko żelazistym sfalerytem, wzbogaconym w Bi tennantem i emplektytem,  $\text{CuBiS}_2$ . Temperatura krystalizacji tego ostatniego zespołu może być oceniana na podstawie temperatur krystalizacji bizmutu oraz zawartości FeS w sfalerycie (1.3% mol. FeS) od około  $270\text{--}260^\circ\text{C}$  do około  $200^\circ\text{C}$ . Mniej więcej w identycznych warunkach krystalizował zespół siarczko-tellurków Bi złożony z joséitu-A,  $\text{Bi}_4\text{S}_2\text{Se}$ , joséitu-B,  $\text{Bi}_4\text{SSe}_2$ , nieznannej fazy

Bi<sub>10</sub>Te<sub>3</sub>S<sub>3</sub>, oraz bizmutu rodzimego, zawierających inkluzje bizmutynitu, pavonitu, rammelsbergitu NiAs<sub>2</sub> oraz arsenopiryty wzbogaconego w Ni, a także złota rodzimego.

- **Problem mineralizacji polimetalicznej w granicie karkonoskim (A4)**

Pluton karkonoski jest źródłem mineralizacji polimetalicznej w ogromnej większości ulokowanej w strefie egzokontaktu w formie aureoli geochemicznej. Przykładem tego typu mineralizacji jest omówiona powyżej mineralizacja polimetaliczna rejonu Rędzin, szerzej dyskutowana w pracach A3, A5, A7, stanowiących fragment osiągnięcia naukowego oraz w wielu innych komunikatach i pracach habilitantki wykazanych w pozostałym dorobku naukowym (zał. 3). Z tematyką tą blisko wiąże się problem zmineralizowania polimetalami samego granitu karkonoskiego oraz relacji tejże mineralizacji do mineralizacji stwierdzanej w strefach egzokontaktu. Powszechnie znany jest fakt, iż lokalnie granit karkonoski strefy brzeżnej plutonu wykazuje rozproszoną mineralizację polimetaliczną W–Sn–Mo–Bi, nałożoną na zespół mineralizacji pegmatytowej i hydrotermalnej zespołu Th–U–REE. Interesująca mineralizacja zespołu W–Sn–Mo–Bi była badana w latach '70 ubiegłego wieku przez Karwowskiego i in. (1973), Kozłowskiego i in. (1975) oraz Olszyńskiego i in. (1976), którzy rozpoznali w kamieniołomach granitu karkonoskiego w Michałowicach i w Szklarskiej Porębie, obecność wolframitu, scheelitu, kasyterytu, molibdenitu, bizmutu rodzimego, emplektytu i nuffieldytu oraz chalkopiryty, sfalerytu, bizmutynitu, pirotynu, piryty i markasytu. Mikulski (2007) badaniami geochemicznymi różnych odmian granitu karkonoskiego wykazał, iż za mineralizację polimetalami odpowiedzialna jest najsilniej frakcjonowana odmiana granitu granofirowego (aplogranitu), stwierdzana lokalnie w brzeżnych strefach plutonu.

Od dłuższego czasu kamieniołom granitu w Szklarskiej Porębie Hucie jest jedynym czynnym w obrębie całego masywu, eksploatując typowy granit karkonoski, porfirowy do równoziarnistego, oraz drobnoziarnisty granit granofirowy, stwarzając tym samym dogodne warunki do uzupełniania prowadzonych w dłuższym czasie obserwacji. Obserwacje takie były i są prowadzone z udziałem habilitantki na przestrzeni około 20 lat. W tym czasie były też składane propozycje grantowe związane z powyższym tematem. Praca (A4) natomiast była napisana do tomu *Canadian Mineralogist* dedykowanego profesorowi E. Makovicky'emu, jednemu z największych nestorów badań siarkosoli. Mineralizacja ta obecna jest w drobnych miarolach pegmatytowych spotykanych w obrębie granitu granofirowego, jak również w żyłkach kwarcowych stosunkowo często tnących tę odmianę granitu. W pracy (A4) przedstawiono wyniki badań znalezionych tu siarkosoli bizmutowych miedzi stanowiących grupę homologiczną kuprobizmutytu, z kupčikitem, Cu<sub>8</sub>Bi<sub>10</sub>S<sub>20</sub>, o  $N = 1.0$ , hodrużytem, Cu<sub>8</sub>Bi<sub>12</sub>S<sub>22</sub> z  $N = 1.5$ , kuprobizmutytem, Cu<sub>8</sub>Bi<sub>14</sub>S<sub>24</sub> z  $N = 2.0$  i nie zatwierdzonym przez CNMNC IMA homologiem o  $N = 2.5$ ; gdzie  $N$  jest zdefiniowane jako  $2 \cdot (Bi/Cu) - 1.5$ ,

gdzie "Bi" = Bi + Sb + Ag + Pb + Cd i "Cu" = Cu + Fe (Topa i in. 2003). Minerale te współwystępują ze sobą najczęściej jako prawidłowo wykształcone, lamelkowe zrosty, w asocjacji z minerałami serii aikinit–bismutynit: krupkaitem, gladytem, pekoitem, oraz różnymi w składzie odmianami bismutynitu, bizmutem rodzimym, ikunolitem i chalkopirytem. Stwierdzono, że nieco przewyższone liczby porządkowe homologów  $N_{chem.}$ , związane z deficytem kationów w pozycji strukturalnej "Cu", a zarazem pewną nadwyżką kationów w pozycji sieciowej "Bi" są rezultatem dwufazowych, lamelkowych przerostów w skali submikrometrycznej kupčikitu z hodrušytem i hodrušytu z kuprobizmutytem, obecnych w pozornie homogenicznych skupieniach. Takie przerosty mogą być efektem zmian strukturalnych w skali atomowej, związanych z modulacją występującą w strukturach kupčikitu, hodrušytu i kuprobizmutytu w znacznym stopniu podobnych do siebie. Idealne składy dla  $N = 1.0$  (kupčikit),  $= 1.5$  (hodrušyt) i  $= 2.0$  (kuprobizmutyt) określono z liniowych zależności pomiędzy zawartościami składników głównych i śladowych oraz wyliczonych wartości  $N_{chem.}$ . Składy te są bliskie idealnej stechiometrii ogniów krańcowych, i uwzględniając dokładność, nie pokazują obecności wakansu w pozycjach "Cu," ani nadwyżki kationów w pozycjach "Bi". Kupčikit, najbogatszy w Fe minerał serii kuprobizmutytu, nie zawiera Ag, Cd i Pb, co zgadza się z wymaganiami strukturalnymi dla tego minerału; jednakże zawiera on ślady Zn. Wszystkie pozostałe homologi mogą zawierać niewielkie ilości Ag, Cd i Pb, z wyraźną tendencją do wzrostu od hodrušytu przez kuprobizmutyt do nienazwanego homologu z  $N = 2.5$  zawierającego 4.56 % wag. Ag, podczas gdy Fe obniża się nawet do 0.0 % wag., a Zn jest nieobecny. Poza omówionymi, prowadzone badania ujawniły też obecność innych ogniów szeregu homeotypowego aikinit–bismutynit (aikinit, friedrichit), a ponadto galenobizmutytu, canizzarytu, cosalitu, ikunolitu, joséitu-A, jak również bizmitu, bizmutytu, powellititu, koechlinitu (?) i russelitu jako faz wietrzeniowych, a także znanych już wcześniej wolframitu, scheelitu, kasyterytu, molibdenitu, bizmutu rodzimego, emplektytu, chalkopirytu, sfalerytu, bismutynitu, pirotynu, pirytu i markasytu. Rezultaty te, poza omówionym szeregiem homologicznym kuprobizmutytu nie były jeszcze przedmiotem publikacji, bowiem zespół prowadzący te badania uważa, iż nie stanowią one jeszcze ostatecznej całości. Problem ten jest kontynuowany.

- **Problem wykorzystania utlenionej mineralizacji polimetalicznej Rędzin do oceny zmienności warunków w strefie utleniania (A1)**

Rzadkie Pb-(Al,Fe<sup>3+</sup>) arseniany należące do serii philipsbornit, (PbAl<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)(AsO<sub>3</sub>OH)(OH)<sub>6</sub>), – segnityt, (PbFe<sup>3+</sup><sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)(AsO<sub>3</sub>OH)(OH)<sub>6</sub>), z grupy dussertytu wchodzi w skład supergrupy alunitu o ogólnym wzorze DG<sub>3</sub>(TX<sub>4</sub>)<sub>2</sub>X'<sub>6</sub>. Na podstawie próbek pochodzących ze strefy wietrzenia rozproszonych kruszców polimetalicznych Rędzin analizowano stopień mieszalności tych faz występujących w



warunkach naturalnych, ograniczony zastępowaniem się kationów na pozycjach sieciowych D i G. Pozycja D w minerałach wspomnianego szeregu jest obsadzana przez kationy cztero-, trój-, dwu-, i jednowartościowe, np.  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Ag}^+$  a pozycja G głównie przez  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{V}^{3+}$ . Ogniwa philipsbornit–segnityt znaleziono w Rędzinach na jednym z głębszych poziomów eksploatacyjnych w otoczeniu mineralizacji pierwotnej bogatej w arsenopiryty, ze sfalerytem, Ag-nośną galeną, Cu(Ag)-Pb-Bi(Sb)-siarkosolami reprezentującymi serię aikinitu, berryit, gustavit, cosalit, giessenit oraz chalkopirytem. Wstępna analiza obrazów elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) wskazała na istnienie roztworów stałych związanych z izomorficznym zastępowaniem się jonów w obu kationowych pozycjach strukturalnych. Analizowane fazy tworzyły kontrastowe koncentryczne, soczewkowate formy obrastające mineralizację pierwotną, głównie arsenopiryty. Badania chemiczne w mikroobszarze pozwoliły na dokładne ułożenie philipsbornitu i segnitytu w obrębie szerokiej grupy alunit-jarosyt, dając jednocześnie informacje o stopniu podstawień kationów  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  na pozycji G. Składy chemiczne wskazały na istotną lukę mieszalności w zakresie stosunku  $\text{Fe}/(\text{Al}+\text{Fe}) = 0.52\text{--}0.89$ . Najmniejsze zawartości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w philipsbornicie wynoszące 4.17 wt.% (0.34 Fe *apfu*) odpowiadają zawartości 89 % mol. ogniwa krańcowego philipsbornitu i 11 % mol. ogniwa segnitytowego, natomiast największe zawartości 29.40–31.75 wt.% (2.85–3.01 Fe *apfu*) odpowiadają prawie czystemu segnitytowi. Z ciekawych podstawień zauważa się w składzie kilkuprocentowe domieszki bizmutu (maks. 5.55 % zaw.  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) uzupełniające niedobory  $\text{Pb}^{2+}$  na pozycji D. Określona w Rędzinach górna granica zastępowania się  $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$  [ $\sim 52$  mol. %  $\text{PbFe}_3^{+3}(\text{AsO}_4)(\text{AsO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ ] jest znacznie wyższa niż wcześniej wzmiankowane w literaturze, tj.  $\sim 33\text{--}34$  mol. % ogniwa segnitytowego (Sejkora i in. 2011). Z drugiej strony zastępowanie  $\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$  osiąga tylko 11 % mol., tj. wartość około dwukrotnie mniejszą niż te udokumentowane przez Rattraya i in. (1996), lecz prawie identyczną z danymi Sejkory i in. (2011). Luka mieszalności jest prawdopodobnie konsekwencją krystalizacji tych faz w środowisku zmieniającej się aktywności  $\text{Al}^{3+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$ , jak również wynika z ograniczonej mieszalności ogniw krańcowych philipsbornitu i segnitytu. W pracy podano też krótką charakterystykę mineralogiczną innego powszechnego arsenianu  $\text{Fe}^{3+}$  karminitu,  $\text{PbFe}_3^{+2}(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$ , współwystępującego w obrębie mineralizacji rędzinskiej z philipsbornitem i segnitytem. Analiza składów chemicznych, relacji teksturalnych oraz diagramów stabilności analizowanych związków zasugerowała sekwencję rozpoczynającą się krystalizacją philipsbornitu, przechodzącego stopniowo w segnityt i karminit. Sekwencja ta pokazuje zmieniające się warunki środowiskowe krystalizacji, tj. obniżenie kwasowości w strefie utleniania z powodu ługowania siarczanów i reakcji kwaśnych roztworów pochodzących z utleniania siarczków i arsenopiryty z przyległą soczewą dolomitową. Pokazuje też zmieniające się aktywności  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  i  $\text{Pb}^{2+}$  uruchamianych poprzez interakcję wspomnianych roztworów ze składnikami krzemianowymi skał łupkowych zawierających

utleniającą się rozproszoną mineralizację arsenopirytową i siarczkową, aż do całkowitego zużycia dostępnego  $Pb^{2+}$ .

- **Problem utlenionej mineralizacji polimetalicznej z Zalasu i jej znaczenia dla oceny warunków wietrzenia (A2, A6)**

W 2005 roku działania eksploatacyjne prowadzone w kamieniołomie w Zalasi w rejonie podkrakowskim odsłoniły niewielką strefę uskokową wypełnioną brekcją tektoniczną śladowo zmineralizowaną makroskopowo zauważalnym malachitem oraz tlenkami żelaza. Rejon Zalasu znajduje się około 5 km na S od Krzeszowic i jest położony w skrajnej, południowej części monokliny śląsko-krakowskiej. W kamieniołomie w Zalasi eksploatowane są permskie wulkanity, głównie typu ryodacytów i andezytów tworzące lakkolit (Dzuffyński 1955; Harańczyk 1989). Przyjmuje się, że powstały one między 280 a 260 mln lat temu w warunkach wczesnopermskiego *sinistral transtensional tectonic regime in Central Europe* (Nawrocki i in. 2005). Profil odsłaniający się w kamieniołomie obejmuje utwory permu, jury środkowej i górnej (Matyszkiewicz i in. 2007).

Dokładniejsze badania mineralizacji ujawniły, iż reprezentuje ona preglacjalną strefę hipergeniczną rozwiniętą na jeszcze starszej, reliktovej mineralizacji hydrotermalnej penetrującej strefę nieciągłości. Mineralizacja ta stanowiła unikalny przykład egzotycznego w składzie zespołu hipergenicznego. Miała ona charakter jedynie reliktowy, wypełniając drobne pustki i żyłki w kelowejskich wapieniach piaszczystych strefy uskokowej, jak również tworząc na nich drobne polewy. Makroskopowo wskazywała na bardzo zaawansowany proces wietrzenia, z dominacją brunatno-pomarańczowych tlenków żelaza, ciemnobrunatnych, prawie czarnych tlenków manganu oraz zielonego malachitu, które były inkrustowane reliktoowo zachowaną mineralizacją siarczkową. W trakcie prowadzonych badań potwierdzono obecność chalkopirytu, markasytu, pirytu, chalkozynu, kowelinu, galeny, bizmutu rodzimego oraz barytu jako faz pierwotnych lub tworzących się w strefie cementacji, oraz malachitu, tlenków Cu, Fe i Mn, siarczanów Cu, jodargyrytu, halitu, sylwinu, mottramitu oraz oxychlorków Bi jako faz wietrzeniowych (A2, A6 + Gołębiowska i in. 2006a). Najciekawszymi składnikami zespołu hipergenicznego są heksagonalny jodek srebra, jodargyryt  $AgI$ , będący wraz z mikrometrycznymi kryształkami halitu i sylwinu wskaźnikiem klimatu suchego, półpustynnego panującego w trakcie wietrzenia mineralizacji pierwotnej (A6) oraz tlenki manganu bogate w domieszki metali, szczególnie Cu i Tl (A2, A6). Jodek srebra napotkano w agregatach złożonych z malachitu, kalcytu, kuprytu, goethytu w formie drobnych idiomorficznych kryształków i ich niewielkich skupień (do 50  $\mu m$ ) wypełniających szczelinki głównie w malachicie i kuprycie. Faza ta okazała się być prawie czystym  $AgI$ , z minimalnymi podstawieniami  $Cu^+$  oraz  $Cl^-$ .

Poza jodargyrytem badaniom poddano także tlenki manganu, głównie z uwagi na stwierdzoną

w nich, niezwykle wysoką zawartość talu. Tlenki Mn poza typowymi dla nich licznymi domieszkami, zawierały w skrajnych przypadkach kilkunastoprocentowe do ponad 20-procentowych zawartości Co, Ni, Pb oraz Tl. Bardzo porowate agregaty wzbogaconego w Tl  $MnO_2$  nie przekraczały 50  $\mu m$  wielkości, wypełniając drobne kawerny w wapieniu pochodzącym ze strefy uskokowej, jednakże pozbawionym wyraźniejszej inkrustacji kruszcami pierwotnymi lub hipergenicznymi. Obserwacje SEM pojedynczych włókien, przypominających watę cukrową, osiągających grubość 200 nm, potwierdziły jednorodność kompozycyjną interesującej fazy mineralnej. Oznaczona faza zawiera w swoim składzie ponad 20 % wag.  $Tl_2O$ , co powoduje, iż silnie kontrastuje ona z danymi dotychczas notowanymi w literaturze, gdzie najwyższe zawartości Tl zaabsorbowane przez tlenki typu  $MnO_2$  osiągają zaledwie 0.5 % wag. Znaczną część pracy poświęcono rozważaniom ulokowania talu w dostępnych pozycjach sieciowych tlenków typu  $MnO_2$  oraz jego wartościowości. Do rozwiązania tych problemów przydatna wydaje się być negatywna korelacja pomiędzy oznaczonymi zawartościami Tl, a zawartościami kationów 1- i 2-wartościowych wyznaczona ze współczynnikiem  $R^2 = 0.96$ , sugerująca substytucję Tl za kationy właśnie tych metali. Dane chemiczne dotyczące rozpuszczalności połączeń wodorotlenkowych interesujących metali, w tym talu (*współwystępowanie malachitu, kuprytu i jodargyrytu sugeruje, że oksydacja składników pierwotnego zespołu kruszcowego następowała w warunkach podwyższonego pH do wartości około 8*), wskazują iż Tl nie mógł być transportowany jako  $Tl^{3+}$ , bowiem  $Tl(OH)_3$  charakteryzuje się minimalną rozpuszczalnością, wielokrotnie niższą od rozpuszczalności wodorotlenków pozostałych metali. Co więcej, gdyby Tl był transportowany jako  $Tl^{3+}$  to musiałby się on strącić bardzo szybko, a więc w strefie obecności reliktyw mineralizacji pierwotnej z nałożonym na nie zespołem hipergenicznym. Znalezienie tlenku  $MnO_2$  wzbogaconego w Tl poza tą strefą sugeruje, iż właściwą formą migracji mógł być tylko  $Tl^+$ , którego wodorotlenek  $TlOH$  charakteryzuje się wysoką rozpuszczalnością w roztworach wodnych. Występowanie Tl-nośnego  $MnO_2$  w obrębie okruszcowanej strefy uskokowej sugeruje pierwotne źródło talu w paleozoicznej mineralizacji kruszcowej spotykanej w podłożu Monokliny Śląsko-Krakowskiej, która mogła być częściowo uruchamiana i transportowana głębokimi staropaleozoicznymi nieciągłościami odnowionymi podczas orogenezy alpejskiej, najprawdopodobniej w fazie laramijskiej, tj. okresie kształtowania się tej jednostki geologicznej. Intensywne wietrzenie strefy zmineralizowania prowadzące do powstania jodargyrytu,  $MnO_2$  wzbogaconego w Tl, a także jeszcze nieopisanych oxychlorków Bi może być łączone z okresem pustynnienia prowadzącego do powstawania utworów formacji słonych jezior i uwalniania do systemu wód gruntowych znacznych ilości jonów  $SO_4^{2-}$  oraz  $I^-$ ,  $Br^-$  i  $Cl^-$ . Może też być łączone z nasunięciem Karpat na obszar zapadliska przedkarpackiego w fazie sawskiej na granicy Oligocen / Miocen, połączonego z kompacyjnym uruchomieniem solanek podczas tworzenia struktur płaszczowinowych, łatwo przenikających napotykanymi nieciągłościami w stronę powierzchni. Obydwa typy roztworów mogły łągować napotykaną mineralizację i w zmiennych warunkach strefy utleniania o podwyższonym pH i Eh precipitować, tworząc niekiedy rzadkie w składzie

połączenia, jak te wyżej wymienione. Ostatecznie przyjęto, również przez porównania z innymi wystąpieniami jodargyrytu w Europie Centralnej, iż etap intensywnego wietrzenia górnourajskiej do wczesno-trzeciorzędowej mineralizacji hydrotermalnej, skutkujący powstawaniem jodków, oxychlorków oraz talowej odmiany  $MnO_2$  miał miejsce w okresie pomiędzy Eocenem, a Mioceniem środkowym (Lang), kiedy w Europie Centralnej panowały wysokie temperatury charakterystyczne dla klimatu tropikalnego, bądź subtropikalnego.

#### **2.3.4. Podsumowanie**

Rezultaty badań prowadzonych przez habilitantkę, przedstawione w cyklu publikacji stanowiących jej osiągnięcie naukowe, dokumentują rzadko spotykane w warunkach krajowych zespoły mineralizacji polimetalicznej. Podlegają one zróżnicowanym procesom przeobrażeniowym prowadzącym finalnie do bardzo rzadkich i również urozmaiconych w składzie mineralnym zespołów hipergenicznych. Na przykładzie (1) rozproszonej mineralizacji polimetalicznej w rejonie Rędzin k. Kamiennej Góry, genetycznie związanej z intruzją granitu karkonoskiego, (2) mineralizacji rozproszonej w utworach żyłowych związanych z intruzją granitu granofirowego Karkonoszy, i (3) odmłodzonej mineralizacji polimetalicznej w rejonie podkrakowskim (Zalas), genetycznie związanej z okresami odmłodzenia staropaleozoicznych stref uskokowych w podłożu monokliny śląsko–krakowskiej, przedstawiła habilitantka szczegółowo etapy formowania się kruszców pierwotnych jak również pokazała odmienne warunki fizykochemiczne i klimatyczne panujące w strefie utleniania determinujące jej rozwój mineralogiczny i geochemiczny.

#### ***Za najważniejsze osiągnięcia przedstawione w cyklu publikacji uważam:***

- kompletne rozpoznanie zespołu pierwotnych kruszców polimetalicznych Sn-Bi-Ag-Au rozproszonych w środkowej części wschodniego obrzeżenia metamorficznego granitu karkonoskiego w rejonie Rędzin oraz odtworzenie jego ewolucji (niemożność odtworzenia takich sekwencji dla innych znanych lokalizacji kruszczowych w tym rejonie czyni zespół kruszców rędzińskich modelowym przykładem rozwoju przynajmniej dla wschodniej części aureoli kontaktowej granitu Karkonoszy),

- szczegółowe rozpoznanie rozwoju mineralizacji srebro- i złotoosnej tegoż rejonu,

- pokazanie podobieństwa geochemicznego i mineralogicznego mineralizacji kruszczowej Rędzin oraz mineralizacji spotykanej w granicie karkonoskim oraz wskazanie niewielkich różnic w zakresie aktywności Ag i Cu warunkującymi obecność licznych Ag siarkosoli w Rędzinach i Cu siarkosoli w Szklarskiej Porębie Hucie,

- udokumentowanie ewolucji hipergenicznej arsenopiryty do rzadkiego zespołu Pb-Al- i Pb- $Fe^{3+}$ -arsenianów szeregu philipsbornit–segnityt, uzależnionej zmiennością parametrów fizykochemicznych środowiska w strefie utleniania znajdującej się pod wpływem oddziaływania

sąsiedztwa skał węglanowych,

- charakterystykę unikatowej strefy hipergeniczej dającej możliwość obszernych wnioskowań paleoklimatycznych dla okresu Paleogen / Neogen, rozwiniętej na wiekowo starszej, reliktovej mineralizacji hydrotermalnej indukowanej w południowej części monokliny Śląsko-Krakowskiej ruchami górotwórczymi orogenezy alpejskiej.

### 2.3.5. Literatura

- Borkowska, M., (1966): Petrography of Karkonosze granite. *Geologia Sudetica*, 2, 7-119.
- Buła, Z., (2002): Geological Atlas of the Palaeozoic without the Permian in the Border Zone of the Upper Silesian and Małopolska Blocks. *Explanatory Text*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Spry, P.G., (2007): What makes a gold-telluride deposit? GSA Denver Annual Meeting (28-31 October 2007). Session 72: Au-Ag-Te-Se Deposits and Other Precious Metal Deposits.
- Duthou, J.-L., Couturie, J.P., Mierzejewski, M.P., Pin, C., (1991): Age determination of the Karkonosze granite using the Rb-Sr isochron whole-rock method. *Przegląd Geologiczny*, 36(2), 75-79 (in Polish).
- Dżułyński, S., (1955): O formie geologicznej występowania porfirów zalaskich. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 97, 9-38.
- Gałkiewicz, T., Śliwiński, S., (1985): Geological characteristics of the Silesian-Cracovian zinc-lead ore deposits. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 53 (1-4), 63-90.
- Gołębiowska, B., Matyszkiewicz, J., Molenda, R., Górny, A., (2006a): Hydrothermal mineralization in middle jurassic sandy limestones from Zalas (near Cracow, S Poland). *Mineralogia Polonica, Special Papers*, 28, 81-83.
- Gołębiowska, B., Pieczka, A., Parafiniuk, J., (2006b): Cu(Ag)-Pb-Bi(Sb) sulphosalts from Rędziny (Western Sudetes, Poland). *Mineralogia Polonica – Special Papers*, 28, 78-80.
- Gołębiowska, B., Pieczka, A., Parafiniuk, J., (2008): Berryite, a Cu-Ag-Pb-Bi sulphosalt from Rędziny, Rudawy Janowickie, Southwestern Poland. *Mineralogia – Special Papers*, 32, 71-72.
- Gołębiowska, B., Pieczka, A., Parafiniuk, J., (2011): New data on weathering of bismuth sulfotellurides at Rędziny, Lower Silesia, Southwestern Poland. *Mineralogia, Special Papers*, 38, 95-96.
- Grodzicki, A., (2005): Karkonosze, przyroda nieożywiona i człowiek. Pod red. M. Mierzejewskiego. *Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego*, 293-307.
- Harańczyk, C., (1989): Wulkanizm regionu Krzeszowic. *Przewodnik XL Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, pp. 51-58.
- Karwowski, Ł., Olszyński, W., Kozłowski, A., (1973): Wolframite mineralization from the vicinity of Szklarska Poręba Huta. *Przegląd Geologiczny*, 21(12), 633-637 (in Polish).
- Kozłowski, A., Karwowski, Ł., Olszyński, W., (1975): Tungsten – tin – molybdenum mineralization in the Karkonosze massif. *Acta Geologica Polonica*, 25, 415-430.
- Kröner, A., Hegner, E., Hammer, J., Haase, G., Bielicki, K.H., Krauss, M., Eidam, J., (1994): Geochronology and Nd-Sr systematics of Lusatian granitoids – significance for the evolution of the Variscan orogen in east-central Europe. *Geol. Rundsch.*, 83, 357-376.
- Kryza, R., Schaltegger, U., Oberc-Dziedzic, T., Pin, C., Ovtcharova, M., (2014): Geochronology of a composite granitoid pluton: a high-precision ID-TIMS U-Pb zircon study of the Variscan Karkonosze Granite (SW Poland). *International Journal of Earth Science J. Earth Sci. (GR Geologische Rundschau)* 103, 683-696.
- Kusiak, M. A.; Williams, I. S.; Dunkley, Daniel, J., Konečný, P., Słaby, E., Martin, H., (2014): Monazite to the rescue: U-Th-Pb dating of the intrusive history of the composite Karkonosze pluton, Bohemian Massif. *Chemical Geology*, 364, 76-92.

- Lima-de-Faria, J., Hellner, E., Liebau, F., Makovicky, E., Parthé, E., (1990): Nomenclature of inorganic structure types. Report of the IUCr Commission on Crystallographic Nomenclature, Subcommittee on the Nomenclature of Inorganic Structure Types. *Acta Crystallographica* A46, 1-11.
- Machowiak, K., Armstrong, R., (2007): Shrimp U–Pb zircon age from the Karkonosze Granite. *Mineralogical Polonica - Special Papers*, 31, 193–196.
- Makovicky, E., (2006): Crystal structure of sulfides and other chalcogenides, *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 61, 7-125.
- Matyszkiewicz, J., Krajewski, M., Żaba, J., (2006): Structural control on the distribution of Upper Jurassic carbonate buildups in the Kraków–Wieluń Upland (South Poland). *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaeontologie, Monatshefte*, 3, 182–192.
- Matyszkiewicz, J., Krajewski, M., Gołębiowska, B., Jędrys, J., Kochman, A., Rzepa, G., (2007): Rozwój i ewolucja oksfordzkich budowli węglanowych w Zalasie. *Tomy Jurajskie, (Volumina Jurassica)*, 4, 77-86.
- Mikulski, S.Z., (2007): Metal ore potential of the parent magma of granite – the Karkonosze massif example. *In: Granitoids in Poland. Archivum Mineralogiae, Monograph*, 1, 123-145.
- Mikulski, S.Z., (2011): Weryfikacja stanu wiedzy o złożach złota wraz z aktualną oceną perspektyw złożowych. Raport Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego.
- Mikulski, S.Z., Oszczepalski, S., Markowiak, M., (2012): The occurrence and prospective resources of molybdenum and tungsten ores in Poland. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 448, 297–314, (In Polish with English summary).
- Mochnacka, K., Oberc-Dziedzic, T., Mayer, W., Pieczka, A., (2015): Ore mineralization related to geological evolution of the Karkonosze-Izera Massif (the Sudetes, Poland) - Towards a model. *Ore Geology Review*, 64, 215-238.
- Möelo, Y., Makovicky, E., Mozgova, N.N., Jambor, J.L., Cook, N., Priring, A., Paar, W., Nickel, E.H., Graeser, S., Karup -Møller, S., Balić-Žunić, T., Mumme, W., Vurro, F., Topa, D., Bindi, L., Bente, K., Shimizu, M., (2008): Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt subcommittee of the IMA Commission on Ore Mineralogy. *European Journal of Mineralogy*, 20, 7-46.
- Muszyński, M., (1991): Żyty mineralne w skałach poddewońskiego podłoża monokliny śląsko–krakowskiej. *Zeszyty naukowe AGH*, 52, 7–129.
- Nakamura Y., Shima H., (1982): Fe and Zn partitioning between sphalerite and stannite. Joint Meeting of Soc Mining Geol Japan, Assoc Mine. The Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, A-8 (in Japanese with English summary).
- Nawrocki, J., Polechońska, O., Lewandowska, A., Werner, T., (2005). On the palaeomagnetic age of the Zalas laccolith (southern Poland). *Acta Geologica Polonica*, 55 (3), 229–236.
- Oberc-Dziedzic, T., Żelaźniewicz, A., Cwojdzński, S., (1999): Granitoids of the Odra fault zone: late to post-orogenic Variscan intrusions in the Saxothuringian zone, SW Poland. *Geologia Sudetica*, 32, 55-71.
- Olszyński, W., Kozłowski, A., Karwowski, Ł., (1976): Bismuth minerals from the Karkonosze massif. *Acta Geologica Polonica*, 26, 443-449.
- Podemski, M., (2001): Paleozoic porphyry molybdenum–tungsten deposit in the Myszków area, Southern Poland. *Polish Geological Institute — Special Papers*, 6, 1–88.
- Rattray, K. J., Taylor, M. R., Bevan, D. J. M., Pring, A., (1996): Compositional segregation and solid solution in the lead-dominant alunite-type minerals from Broken Hill, N.S.W. *Mineralogical Magazine*, 60, 779–785.
- Sejkora, J., Plašil, J., Cisařova, I., Škoda, R., Hloušek, J., Veselovsky, F., Jebava, I., (2011): Interesting supergene Pb-rich mineral association from the Rovnost mining field, Jachymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *Journal of Geosciences*, 56, 257–271.
- Słaby, E., Martin, H., (2005): Mechanism and differentiation of the Karkonosze granite. *Mineralogical Society of Poland, Special Papers*, 26, 264-267.
- Słaby, E., Martin, H., (2008): Mafic and felsic magma interaction in granites: the Hercynian Karkonosze pluton (Sudetes, Bohemian Massif). *Journal of Petrology*, 49, 353-391.
- Teisseyre, J. H., (1971): O wieku i następstwie warstw w skałach metamorficznych Rudaw Janowickich i Grzbietu Lasockiego. *Geologia Sudetica*, 5, 165-210.

Topa, D., Makovicky, E., Balić-Žunič, T., (2003): Crystal structures and crystal chemistry of members of the cuprobismutite homologous series of sulfosalts. *Canadian Mineralogist*, 41, 1481-1501.

### **3. Przebieg kariery i omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

#### **Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze realizowane przed doktoratem**

Studia magisterskie na kierunku Górnictwo i Geologia ukończyłam w 1996 roku na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH). W 1994 roku zainteresowałam się problematyką mineralogiczną Dolnego Śląska, rozpoczynając swoje pierwsze badania terenowe. Pracę naukową rozpoczęłam w roku 1995 jako studentka V roku, odbywając jednocześnie rektorski staż asystencki. W tym czasie zostałam włączona w skład zespołu realizującego grant KBN *Stan strukturalny turmalinów w zakresie uporządkowania struktur w świetle badań rentgenowskich i spektroskopowych oraz statystycznej analizy danych krystalochemicznych*, którego kierownikiem był dr inż. Adam Pieczka (AGH). W projekcie brałam udział w opracowaniu pomiarów rentgenowskich. Równocześnie współuczestniczyłam w opracowaniach mineralogicznych granatów pochodzących z leukokratycznych utworów spotykanych w masywach serpentynitowych Szklar i Jordanowa Śląskiego i byłam współautorką dwóch prac poświęconych tej problematyce (zał. 3, pkt II B, poz. 2–3). W czerwcu 1996 r. obroniłam z wyróżnieniem pracę magisterską poświęconą badaniom mineralogiczno-petrograficznym litytów z Gór Kaczawskich, która ukazała się skrótem (we współautorstwie z Prof. dr hab. Wiesławem Heflikiem i Prof. dr hab. inż. Barbarą Kwiecińską) w *Bulletin of the Polish Academy of Science, Earth Sciences*. W roku 1997 moja praca naukowa była związana głównie z kontynuacją badań mineralogicznych pegmatytu ze Szklar (zał. 3, pkt II B, poz. 6-7) oraz z badaniami granatów z Gór Sowich i z Izerskich Garbów (zał. 3, pkt II B, poz. 4; zał. 3, pkt II C, poz. 1). Dokumentację wyników dotyczących mineralogii pegmatytu ze Szklar przedstawiono ponadto w formie referatu, którego byłam współautorką, na posiedzeniu Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego w Krakowie. Jesienią 1997 r. uczestniczyłam w V Szkole Fizyki Mineralów, na której prezentowałam poster dotyczący granatów z Izerskich Garbów (zał. 4, pkt IV B, B.1, poz. 1). W 1997 r. otworzyłam przewód doktorski *Okruszczowanie w złożu dolomitu „Rędziny” ze szczególnym uwzględnieniem minerałów strefy hipergenicznej*, a moim promotorem został Prof. dr hab. Witold Żabiński. Pierwszą pracę związaną z mineralizacją kruszcową w Rędzinach opublikowałam we współautorstwie w 1997 r. (zał. 3, pkt II B, poz. 5). Praca ta dotyczyła szczególnego wystąpienia kasyterytu i dokumentowała aktualnie największe nagromadzenie tego kruszcu cyny w Polsce. Jak się potem okazało znalezisko to miało ogromne znaczenie,

gdyż zapoczątkowało szczegółowe badania strefy zmineralizowania pod kątem obecności ciekawych geochemicznie i potencjalnie ważnych dla przemysłu pierwiastków. W roku 1998 otrzymałam zespołową Nagrodę Naukową Rektora AGH za osiągnięcia naukowe za rok 1997. Moja późniejsza działalność naukowa była związana głównie z opracowywaniem wystąpień rzadkich hipergenicznych minerałów z Rędzin, czego dowodem są liczne prace (zał. 3, pkt II A, poz. 1–2; pkt II B, poz. 8–9; pkt II C, poz. 2–3, 5–6, 8–9, 11–12) dotyczące złazisk ykonitu, wapniowej odmiany mimetytu, klinotyrolitu, tyrolitu, konichalcytu, straszimirytu, cornwallitu, arsenianów z grupy adelitu, Pb-Cu wanadanów (mottramitu, duftytu). Yukonit jest bardzo rzadkim, uwodnionym arsenianem Ca-Fe, o bardzo słabo uporządkowanej strukturze. Rędziny są udokumentowanym trzecim miejscem wystąpienia tego minerału w świecie, co zostało przedstawione w publikacji w *European Journal of Mineralogy* przygotowanej we współautorstwie z dr inż. Adamem Pieczką i mgr inż. Wojciechem Franusem (zał. 3, pkt II A, poz. 1). Dodatkowo rentgenowską, spektroskopową i chemiczną charakterystykę ykonitu przedstawiono na IV *European Conference on Mineralogy and Spectroscopy* w Paryżu w 2001 r., uczestnicząc w niej wraz z Prof. dr hab. Witoldem Żabińskim i dr inż. Adamem Pieczką (zał. 4, pkt IV B, B.1, poz. 10).

Szczególną uwagę poświęcałam monitorowaniu pegmatytu w Szklarach, dokumentując i opisując wraz z współautorami chryzoberyl (pierwsze i jedyne wystąpienie w Polsce) oraz inne rzadkie fazy mineralne jak manganoniobit, stibioniobit i Hf-cyrkon (zał. 3, pkt II B, poz. 6 i 7). Uczestniczyłam też w analizie przeobrażeń w minerałach grupy pirochloru zidentyfikowanych również w pegmatycie szklarskim. Przed doktoratem byłam też współautorką badań poświęconych porównawczym analizom kasyterytu z Rędzin z innymi jego wystąpieniami znanymi ze strefy łupkowej Gór Izerskich. Od roku 1999 prace dotyczące Rędzin i Szklar realizowałam w obrębie grantu KBN *Studium krystalochemiczno-strukturalne rzadkich faz mineralnych (arseniany, wanadany, fosforany, krzemiany i inne) z terenu Sudetów*, którego byłam współautorką i głównym wykonawcą odpowiedzialnym za tematykę związaną z mineralizacją Rędzin (kierownikiem tego projektu był dr inż. Adam Pieczka). Rezultaty prowadzonych badań były publikowane oraz prezentowane (poza wspomnianymi powyżej) na corocznych sesjach Sekcji Petrologii Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego, Zjeździe Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego, konferencji SGA-SEG *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century*, oraz *Konferencie doktorandov a mladých vedeckých pracovníkov*. W tym czasie wzięłam także udział w Zjeździe Polskiego Towarzystwa Gemmologicznego we Wrocławiu.

W 2002 roku otrzymałam prestiżowe stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, przyznawane w drodze konkursu młodym, najwyżej ocenionym pracownikom nauki za prace badawcze z różnych dziedzin nauki (corocznie FNP przyznawała 100 tego typu stypendiów). Stypendium to, po ocenie osiągnięć naukowych roku poprzedniego zostało mi przedłużone przez zarząd Fundacji na rok 2003. Z końcem roku 2003 obroniłam pracę



doktorską, za którą w roku kolejnym otrzymałam indywidualną Nagrodę Naukową Rektora AGH. Praca została oficjalnie zatwierdzona przez Radę Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w styczniu 2004 roku.

### **Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze realizowane po doktoracie**

W latach 2003-2006 realizowałam w zespole 3-letni grant KBN *Perspektywy występowania ekonomicznych koncentracji kasyterytu i towarzyszącej mu mineralizacji polimetalicznej w rejonie Rędzin, Rudawy Janowickie (Dolny Śląsk)*, którego byłam współtwórcą i głównym wykonawcą (zał. 4, pkt I). Kierownikiem grantu był dr inż. Adam Pieczka (AGH), a drugim głównym wykonawcą dr hab. Jan Parafiniuk (Uniwersytet Warszawski). Badania te były zainspirowane udokumentowaniem w Rędzinach obecności kasyterytu, jak również bardzo bogatej asocjacji minerałów wtórnych opisanych w doktoracie, które sugerowały urozmaicony w składzie pierwotny zespół kruszcowy będący ich źródłem. Początkowy etap rozpoznania związany był z zaplanowaniem i wykonaniem badań geofizycznych przeprowadzonych przez Zakład Badań Nieniszczących przy Krakowskim Przedsiębiorstwie Geodezyjnym. Ich celem było określenie zasięgu powierzchniowego i głębokościowego stref zmineralizowania, przybliżonej formy okruszcowania i jego stosunku do skał otaczających (zał. 3, pkt III B, poz. 2). Wyniki powierzchniowych badań geochemicznych natomiast ilustrowały przestrzenny rozkład Sn i Bi w kamieniołomie i przywiązanie ich do tzw. strefy skał łupkowych (zał. 3, pkt III B, poz. 3). Rezultaty prac geofizycznych i geochemicznych prezentowano ponadto na *European Geoscience Union Conference, EGU General Assembly* w Wiedniu (zał. 4, pkt IV B, B.2, poz. 18). Badania kasyterytu wskazały, że nie zawiera on istotniejszych domieszek Nb, Ta i Mn, a głównymi substytutami cyny są Fe i Mn. Uwzględniając zawartości tych pierwiastków i dodatkowo udział Ti w kasyterytycie wskazano na krystalizację tego minerału w dwóch zakresach temperatur (zał. 3, pkt III B, poz. 5) w warunkach niskiej aktywności tlenu. Młodszy kasyteryt, znajdujący w obrębie utlenionych zespołów kruszczowych, krystalizował nieco później, w warunkach podnoszącej się aktywności tlenu. Kowariancje Fe+Mn względem Nb+Ta i Hf względem Zr wskazują na hydrotermalne pochodzenie kasyterytu rędzińskiego, które może być najpewniej związane z pomagmową aktywnością wokół intruzji karkonoskiej. W celu określenia warunków metamorfizmu skał sąsiadujących ze strefami zmineralizowanymi wykonano badania w mikroobszarze składu chemicznego zonalnych turmalinów pochodzących z dajki apłitowej przecinającej dolomit. Na podstawie analiz chemicznych poszczególnych zon tego minerału, jak również zawartości tytanu we współwystępującym biotycie zasugerowano formowanie się turmalinu w trakcie metamorfizmu regionalnego, z wyraźnym impulsem termicznym w końcowej fazie jego formowania wywołanym intruzją granitu karkonoskiego (zał. 3, pkt III C, poz. 10 i 15).

W latach 2007-2010 tematyka 'rędzińska' była kontynuowana w ramach projektu grantowego *Perspektywy odkrycia nowych nieznanach nauce minerałów w złożu marmurów dolomitycznych w Rędzinach (Rudawy Janowickie)*, w którym byłam także głównym wykonawcą. Projekt, którego kierownikiem był dr hab. Jan Parafiniuk umożliwił syntezę wielu wcześniejszych osiągnięć i doprowadził do przedstawienia ewolucji zespołu kruszcowego Rędzin. Wyniki najważniejszych prac, które były efektem realizacji tego projektu zostały przedstawione w publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego oraz w artykule Parafiniuk i in. (2008) (zał. 3, pkt. IIIA, poz. 1).

Efekty prac kontynuowanych już po doktoracie, poświęconych analizom roztworów stałych oliwenit-adamit, zakresom substytucji jonów, itp., zakończyłam publikacją (zał. 3, pkt III B, poz. 1). Ogniwa pośrednie pomiędzy krańcowymi członami zidentyfikowano metodami XRD i FTIR. Na podstawie analiz składu chemicznego w mikroobszarze (WDS) stwierdzono, iż najczęściej spotykanymi odmianami są cynkowy oliwenit i miedziowy adamit. Kontynuowałam także rozpoczęte w doktoracie prace poświęcone roztworom stałym grupy descloizytu oraz adelitu (zał. 3, pkt III C, poz. 2). Przedstawiłam wyniki pokazujące substytucje  $Ca \leftrightarrow Pb$  oraz  $Cu \leftrightarrow Zn$  w części kationowej, natomiast w części anionowej zastępowanie  $[AsO_4]^{3-}$  grupami  $[VO_4]^{3-}$ . Ponadto porównanie wyników pokazało wyraźne powinowactwo geochemiczne wanadu i ołowiu, który chętniej jest diadochowo zastępowany wapniem w próbkach arsenianowych.

Niezależnie wykonywałam badania dotyczące wietrzenia piaskowców formacji Frikanten na Spitsbergenie wraz z dr. hab. inż. Jarosławem Majką (*Uppsala University, Sweden*), dr. inż. Grzegorzem Rzepą (AGH) i dr. inż. Olafem Borkiewiczem (*Miami University, Oxford, Ohio, USA*) (zał. 3, pkt III C, poz. 18). Pomimo dziesięciomiesięcznego okresu ciągłego zalegania pokrywy śnieżnej, piaskowce te wykazują oznaki wietrzenia chemicznego. Określono produkty wietrzenia pirytu, w tym uwodnione siarczany oraz wodorotlenki żelaza (m.in. melanteryt, gips, jarosyt i goethyt). Melanteryt wskazuje na początkowy etap wietrzenia, natomiast tlenki żelaza są efektem intensywnych przemian chemicznych.

Równoległe z tym projektem realizowałam jako główny wykonawca grant MNiSW *Warunki powstania i ewolucja składu mineralnego polimetalicznego złoża Miedzianka-Ciechanowice (Rudawy Janowickie, Polska)* (zał. 4, pkt I), kierowany przez dr. Rafała Siudę (Uniwersytet Warszawski). Celem projektu było zidentyfikowanie składu fazowego, paragenez i asocjacji hipergenicznych, określenie ich składu mineralnego oraz wzajemnych relacji służących określeniu warunków panujących w momencie krystalizacji faz wietrzeniowych. Scharakteryzowano szereg minerałów dotychczas nie rozpoznanych w rejonie Miedzianki, m.in. (stromeyerit, eugenit, hessyt, amalgamaty srebra). Porównano też rzadkie fazy hipergeniczne stwierdzone w zespole wietrzeniowym Rędzin z fazami zespołu Miedzianka-Ciechanowice, przedstawiając między innymi szczegółową charakterystykę

mottramitu i wskazując na chemiczne zróżnicowanie pomiędzy ogniwami izomorficznego szeregu descloizyt–mottramit wynikające z różnych warunków fizykochemicznych panujących w tych dwu lokalizacjach. Wyniki badań (zał. 3, pkt III B, poz. 6–7, pkt III C, poz. 17, 19–20) były prezentowane też na konferencjach naukowych.

Prowadziłam także badania w zespole z prof. dr hab. inż. Jackiem Matyszkiewiczem, dr hab. inż. Marcinem Krajewskim, dr inż. Alicją Kochman i prof. dr hab. Jerzym Żabą, dotyczące epigenetycznej silifikacji oxfordzkich skał węglanowych w Sokolich Górach na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. Wraz z dr inż. Grzegorzem Rzepą wykonaliśmy badania mineralogiczno-geochemiczne zmineralizowanych partii tych skał. Skład mineralizacji oraz domieszki Zn, Pb, Co, Ni w tlenkach żelaza i manganu, a także forma i relacje teksturalne ze skałą macierzystą wskazują na jej pochodzenie hydrotermalne. Silifikacja utworów węglanowych była związana z działalnością hydrotermalną wywołaną najprawdopodobniej wieloetapowym odmłodzeniem staropaleozoicznych stref rozłamowych (zał. 3, pkt III A, poz. 3).

Prace terenowe prowadzone w Sudetach po obronie doktoratu obejmowały poza Rędzinami także ciągły monitoring pegmatytu w Lutonii Górnej w Górach Sowich. W 2003 roku wraz z dr inż. Adamem Pieczką i dr inż. Andrzejem Skowrońskim zostały przedstawione informacje o ferrisicklerycie i innych minerałach fosforanowych z Lutonii. Materiał ten był prezentowany na konferencji *International Symposium on Light Elements in Rock-Forming Minerals* w Brnie (Czechy) (zał. 3, pkt II C, poz. 15). Efektem wieloletnich badań jest kompleksowy raport mineralogiczny opublikowany w *Journal of Geosciences* przygotowany we współpracy z mgr inż. Adamem Włodkiem, mgr inż. Anną Grochowiną i dr hab. inż. Adamem Pieczką (zał. 3, pkt III A, poz. 2) charakteryzujący ten unikalny pegmatyt fosforanowy należący do rodziny petrogenetycznej LCT. Wśród minerałów fosforanowych wyróżnione zostały trzy główne zespoły genetyczne: fosforany magmowe, fosforany metasomatyczne, oraz wtórne fosforany hydrotermalne i wietrzeniowe. W pracy przedstawiono ewolucję genetyczną całego zespołu fosforanowego obejmującego ponad 30 znanych minerałów fosforanowych, w większości stwierdzanych po raz pierwszy w Polsce. Bazując na osiągniętych rezultatach dokonano ogólnego porównania pegmatytu lutomijskiego z pegmatytem fosforanowym z Michałkowej oraz z systemem pegmatytów mieszanych (LCT + NYF) z Piławy Górnej. Od 2010 roku osobą odpowiedzialną za realizację tematu lutomijskiego jest mgr inż. Adam Włodek finalizujący obecnie pracę doktorską na powyższy temat, której promotorem jest dr hab. inż. Adam Pieczka.

Prowadząc badania terenowe w Sudetach, od wielu lat uczestniczyłam w monitoringu hałd pozostałych po dawnej eksploatacji pegmatytu w Michałkowej w Górach Sowich. Stąd właśnie pochodzi holotyp sarkopsydu, minerału opisanego po raz pierwszy przez Martina Webskiego w 1868 roku. Obecnie jest realizowana praca doktorska mgr inż. Anny Grochowiny, kierowana również przez dr hab. inż. Adama Pieczkę, w której jestem

promotorem pomocniczym. Podobnie jak w Lutonii, fosforany Michałkowej reprezentują grupę minerałów pierwotnych, metasomatycznych oraz hydrotermalnych i wietrzeniowych, jednakże o wielu odmiennych cechach w stosunku do pegmatytu lutonijskiego (zał. 3, pkt III A, poz. 2). W roku 2015 w zespole wraz z dr hab. inż. Adamem Pieczką, prof. Frankiem C. Hawthorne (*University of Manitoba, Canada*) oraz mgr inż. Adamem Włodkiem zgłosiliśmy do Komisji Nowych Mineralów, Nomenklatury i Klasyfikacji Międzynarodowej Asocjacji Mineralogicznej (IMA CNMNC) propozycje nowego minerału, fosforanu z Michałkowej nazwanego przez nas *maneckiitem* dla uhonorowania dokonań Prof. dr hab. inż. Andrzeja Maneckiego w obszarze polskiej mineralogii. Mineral ten został zatwierdzony decyzją Komisji latem 2015 roku (IMA 2015-056) (zał. 3, pkt III A, poz. 4). Maneckiit należy do grupy bardzo rzadkich fosforanów grupy wicksytu, obok trzech innych faz, tj. wicksytu, bederytu i tassieitu. Jego skład chemiczny określa wzór  $\text{NaCa}_2\text{Fe}^{2+}_2(\text{Fe}^{3+}\text{Mg})\text{Mn}_2(\text{PO}_4)_6$ . Maneckiit jest produktem sodowo-wapniowej metasomatozy w trakcie uwalniania fluidów przy chłodzeniu stopów pegmatytotwórczych bogatych w glinokrzemiany oraz fosfor. Publikacja dokumentująca fakt odkrycia i zaaprobowania tego minerału jest obecnie przesłana do recenzji redakcji czasopisma *Mineralogical Magazine*.

Uczestniczyłam też w badaniach dotyczących cezowego berylu, akcesorycznego składnika hybrydowego pegmatytu (NYF+LCT) 'Julianna' z Piławy Górnej (zał. 3, pkt III A, poz. 5). Badania były prowadzone we współpracy z zespołem krakowskim (AGH), śląskim (UŚ), wrocławskim (UWr) oraz warszawskim (UW). Wewnętrzne partie analizowanych kryształów beryli wykazują wzbogacone w cez, reprezentując Cs-beryl, natomiast zewnętrzne partie kryształów odznaczają się wysokimi zawartości cezu osiagającymi wartość do 16.56 % wag., odpowiadające składowi chemicznemu pezzottaitu, cezowej odmiany berylu. Tekstualne zależności wskazują, że wzbogacony w Cs beryl krystalizował ze stopu resztkowego, natomiast pezzottaite z roztworów hydrotermalnych wraz ze zwiększającą się zawartością cezu kontrolowaną krystalizacją cleavelandytu (odmiana albitu) i aktywnością sodu. Wystąpienie pezzottaitu w Piławie jest trzecim udokumentowanym w świecie miejscem występowania tego rzadkiego Cs-berylu.

Wykonywałam także badania fazowe i chemiczne naturalnych kosmetyków w zespole z dr inż. Sylwią Zelek (AGH) oraz grupą studentów realizujących prace inżynierskie. Uzyskane w trakcie badań informacje na temat składu fazowego oraz chemicznego badanych próbek zostały porównane z INCI (International Nomenclature of Cosmetic Ingredients) i pozwoliły zweryfikować rzeczywiste składy preparatów i ich szkodliwy wpływ na ludzki organizm. Materiał był prezentowany również na 56 Konwersatorium Krystalograficznym (zał. 3, pkt III C, poz. 26).

W latach 2013-14 prowadziłam badania naukowe na terenie Tatr we współpracy z Tatrzanskim Parkiem Narodowym. Badania dotyczyły mineralizacji pomagmowej w Tatrach Wysokich oraz mineralizacji w Tatrach Zachodnich. Pod moją opieką powstały w wyniku

tych badań dwie prace inżynierskie oraz dwie prace magisterskie. Przedstawiono porównawcze rezultaty badań tej mineralizacji pochodzącej z granitoidów rejonu Morskiego Oka oraz wyniki badań okruszcowania z rejonu Ornaku. Zmineralizowania związkami miedzi (tetraedryt, freibergit) oraz sfalerytem i wpryśnięciami galeny znaleziono w żyłach kwarcowo-barytowych z syderytem. Dokumentacja prowadzonych badań została przekazana Tatrzzańskiemu Parkowi Narodowemu.

Od 2016 roku jestem wykonawcą w zespole realizującym projekt badawczy OPUS „*Nowe i rzadkie fazy mineralne w pegmatycie granitowym z masywu serpentynitowego Szklar*”. Jednostką realizującą projekt jest Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.

**Indeks Hirscha - 5** (cytowane prace JCR w bazie Web of Science, bez autocytowań)

**Cytowania – 130** ( w tym 41 autocytowań)

Bożena Gołębiowska