

Charakterystyka wulkanogenicznych masywnych złóż siarczkowych VMS w obszarach lądowych

Weronika Patuła

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: wero9411@interia.pl

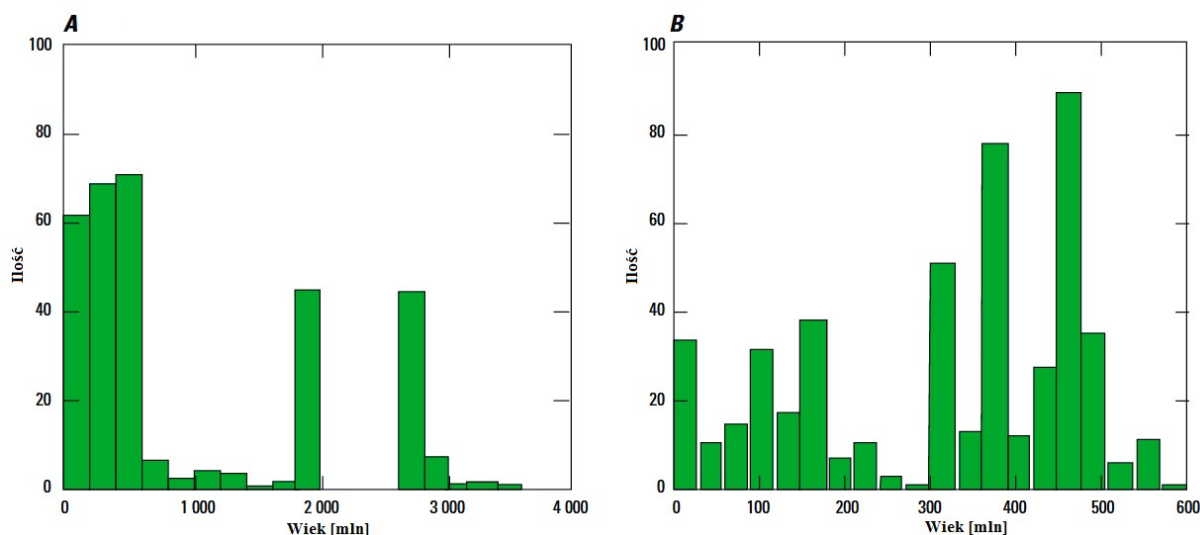
Tutor: dr Ewa Szymczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – wulkanogeniczne złoża siarczkowe, VMS, Besshi, Cyprus, Kuroko, siarczki

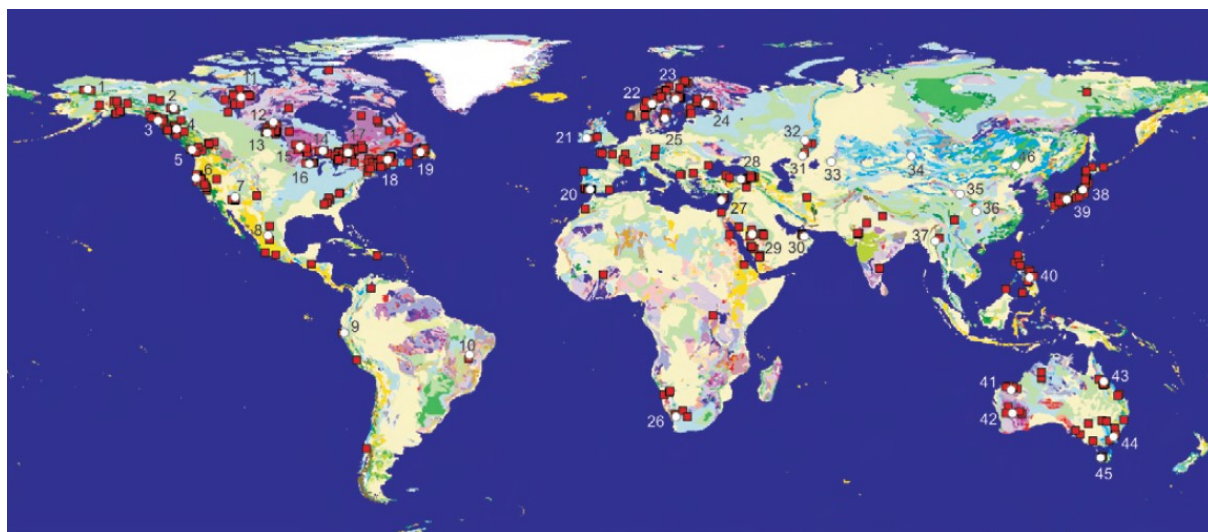
Wstęp

Wulkanogeniczne masywne złoża siarczkowe zaliczane są do złóż polimetalicznych, zawierających znaczne ilości Cu, Zn, Pb, Fe oraz niewielkie ilości Au, Ag i innych cennych minerałów siarczkowych. Złoża te powstawały w warunkach wulkanizmu podmorskiego, stąd powiązane są ze skałami zawierającymi w sobie kompozycję od bazaltów po ryolity (Taylor i in., 1995). Najstarsze złoża siarczków, występujące obecnie w obszarach lądowych, pochodzą z archaiku i powstawały ponad 3,4 mld lat temu (Ryc. 1) (Galley i in., 2007; Shanks i Thruston, 2012).



Ryc. 1 Ilość złóż VMS powstających na przestrzeni dziejów Ziemi (A) oraz w fanerozoiku (B)
(źródło: zmodyfikowane za Shanks i Thruston, 2012)

Złoża VMS należą do najpospolitszych złóż hydrotermalnych (Craig i in., 2003). Na świecie znanych jest blisko 1 100 lokalizacji złóż tego typu (Shanks i Thruston, 2012), a najwięcej jest ich na terenach Ameryki Płn., Australii oraz Europy (Ryc. 2; Tab. 1) (Galley i in., 2007).



Ryc. 2 Geograficzne rozmieszczenie złóż VMS
(źródło: Galley i in., 2007)

Tab. 2 Główne miejsca występowania złóż VMS (źródło: zmodyfikowane za Galley i n., 2007)

Nr*	Lokalizacja	Nr*	Lokalizacja	Nr*	Lokalizacja	Nr*	Lokalizacja
1	Brooks Range, Alaska	13	Jezioro Flin Flon-Snow, Manitoba	25	Bergslagen-Orijarvi, Szwecja i Finlandia	37	Bawdwin-Laochang, Birma
2	Jezioro Finlayson, Yukon	14	Geco, Manitouwadge, Ontario	26	Preiska, Afryka Płd.	38	Hokuroku, Japonia
3	Windy Craggy, BC i Green's Creek, Alaska	15	Jezioro Sturgeon, Ontario	27	Troodos, Cypr	39	Besshi, Japonia
4	Northern Cordillera, Kolumbia Brytyjska	16	Ladysmith-Rhineland, Wisconsin/Michigan	28	Morze Czarne, Turcja	40	Łuk Filipin
5	Myra Falls, Kolumbia Brytyjska	17	Abitibi, Ontario-Quebec	29	Arabia Saudyjska	41 - 42	Pilbara, Yilgarn Zachodnia Australia
6	Shasta, Kalifornia	18	Bathurst, Nowy Brunzwik	30	Semail, Oman	43	Central Queensland, Australia
7	Jerome, Arizona	19	Strefa Dunnage, Nowofunlandy	31	Płd. Góry Ural, Rosja/ Kazachstan	44	Lachlan Fold Belt, Australia
8	Centralny Meksyk	20	Iberian Pyrite Belt, Hiszpania i Portugalia	32	Centralne Góry Ural, Rosja	45	Mt. Read, Tasmania
9	Tambo Grande, Peru	21	Avoca, Irlandia	33	Rudny Altai, Kazachstan i Rosja	46	Sino-Korean Platform
10	Amazonian craton, Brazylia	22	Trondhjem, Norwegia	34	Altai Shan, Mongolia	* numery odnoszą się do lokalizacji na Ryc. 2	
11	Slave Province, Northwest Territories, Nunavut	23	Skellefte, Szwecja	35	North Qilian, Chiny		
12	Ruttan, Manitoba	24	Outokumpu-Pyhasalmi, Finlandia	36	Sanjiang, Chiny		

Najmłodsze złoża tego typu możemy obserwować współcześnie na dnie morskim. Powstają wskutek złożonych procesów związanych z krążeniem gorących roztworów hydrotermalnych. W kontakcie z wodą oceaniczną roztwór ulega schłodzeniu, co powoduje wytrącanie zawartych w nim składników – formowany jest komin w strukturze, wokół którego osadzają się siarczki tworzące złoża. Kominy hydrotermalne powstają współcześnie wzdłuż stref grzbietów śródoceanicznych oraz obszarów związanych z subdukcją jak łuki wulkaniczne i baseny załukowe (Jamieson i in., 2014).

Ze względu na środowiska geotektoniczne, w jakich powstawały złoża siarczków masywnych oraz zawartość głównych pierwiastków metalicznych, wyróżniono wśród nich trzy główne typy: Cypryjski, Besshi oraz Kuroko (Taylor i in., 1995; Hefferan i O'Brien, 2010). Cechą wspólną spośród wszystkich typów złóż VMS jest to, że powstają one w przedłużeniach stref tektonicznych, zarówno spreadingu dna oceanicznego, jak i w otoczeniu łuków wulkanicznych (Galley i in., 2007).

Typ Cypryjski

Złoża tego typu formują się w sąsiedztwie bazaltów toleitowych na grzbietach śródoceanicznych, wzdłuż osi grzbietu, bądź też w środowisku basenów załukowych (marginalnych). Powstają w pióropuszu wystrzeliwanym przez czarny komin w temperaturze 300–350°C, osadzając się wokół niego (Laurence, 2005). Złoża te zawierają drobnoziarnisty piryt i chalkopiryt oraz markasyt, magnetyt, sfaleryt i galenę, pirotyt, kubanit, stannin czy hematyt, które zazwyczaj przykryte są przez niezmineralizowane morskie osady bądź też lawy poduszkowe. Masyw skalny poniżej złóż składa się z silnie zmienionego i zmineralizowanego bazaltu (Höy, 1991). Niektóre nagromadzenia siarczków są zbyt małe bądź też zdominowane przez piryt. Złoża typu Cypryjskiego składają się głównie z takich metali jak: Cu i Zn, mogą być wzbogacone w Ni, Mn, Cr oraz niewielkie ilości Au i Ag (Hefferan i O'Brien, 2010).

Złoża, tego typu, już w starożytności rozpoznane zostały w strukturach ofiolitowych Troodos występujących na Cyprze. Stąd wywodzi się ich nazwa, podobnie jak łacińska nazwa miedzi *cuprum* i jej symbol Cu. Szeroko poznane są także ich nagromadzenia na terenach Kolumbii Brytyjskiej, gdzie wydzielono kilka stref ich występowania: Pole *Chu Chua* na północ od Kamplous, *Lang Creek*, *Anyox* oraz niewielkie nagromadzenia w kompleksach rzeki Bridge (Höy, 1991). Inne znane złoża zlokalizowane są w USA (*Turner-Albright*) czy Norwegii (*Lokken*). Złoża tego typu powstawały w neoproterozoiku, choć czas powstania większości z nich przypada na okres ordowiku lub kredy. Ich prawdopodobnym, starszym odpowiednikiem mogą być złoża znalezione w prowincji svekofeńskiej (*Outokumpu*), młodszym współcześnie powstające złoża rejonu Grzbietów Explorer i Endeavour oraz południowego odcinka Juan de Fuca (Dergachev i in., 2010).

Chu Chua

Pole *Chu Chua* zostało odkryte w 1978 roku. Podczas wydobycia około 2 mln ton złóż stwierdzono w nich: 2% Cu, 0,4% Zn, 8g/t Ag, 0,4g/t Au oraz 0,1% Co. Składają się głównie z pirytu i chalkopiryty z mniejszą ilością sfalerytu, kubanitu, stanninu, magnetytu, kwarcu i kalcytu. Przeobrażone minerały zawierają talk, węglany oraz chloryt (Höy, 1991).

Anyox

W latach 1914–1936 złoża *Anyox* były głównym źródłem pozyskiwania Cu. Z największego złoża na tym polu, zwanego *Hidden Creek* wydobyto około 22 mln ton rudy, z której pozyskano 322 000 tony Cu, 206 ton Ag oraz 3,8 tony Au. Zasoby na tym polu składają się głównie z pirytu z mniejszą zawartością pirotytu, chalkopiryty oraz sfalerytu (Höy, 1991).

Typ Besshi

Na kontynentach złoże typu Besshi, w postaci niezróżnicowanych formacji bazaltowych, występują niezwykle rzadko (Dergatchev i in., 2011). Złoża te formują się w sąsiedztwie wcześniej uformowanych stref konwergentnych, czyli młodych łuków wulkanicznych, a także w zasięgu grzbietów śródoceanicznych blisko brzegów kontynentalnych, w strefach załukowych oraz rzadko w wewnątrzkontynentalnych spękaniach basenów (Höy, 1991; Hefferan i O'Brien, 2010; Dergatchev i in., 2011). Ich nazwa pochodzi od kopalni miedzi znajdującej się w Japonii, a same złoża występują na terenach Wysp Japońskich, w Kanadzie, Australii, Norwegii czy wielu innych krajach (Taylor i in., 1995; Dergatchev i in., 2011). Wśród pierwiastków złożowych dominuje Cu oraz Co, obecne są mniejsze ilości Zn (Hefferan i O'Brien, 2010). Brak w nich kompleksów ofiolitowych, występujących w typie Cypryjskim (Dergatchev i in., 2011). Podstawowe skały reprezentowane są przez przypowierzchniowe bazalty, diabazy, rzadko przez gabro. Czasem mogą występować lawy poduszkowe i tufy. Petrochemicznie skały mają charakter wapniowo-zasadowy i najczęściej odpowiadają bazaltom toleitowym występującym na grzbietach śródoceanicznych (Dergatchev i in., 2011). W odróżnieniu do typu Cypryjskiego, złoża te nie tworzą dużych nagromadzeń. Występują zazwyczaj jako pojedyncze, czasem podwójne czy potrójne styczne ze sobą skupienia (Taylor i in., 1995; Dergatchev i in., 2011). W grupie najczęściej występujących w rudach minerałów, wymienić można: piryt, pirotyn, chalkopiryt oraz sfaleryt i kobaltyn. W zróżnicowanych ilościach obecne mogą być także: galena, bornit, muskowitz, złoto rodzime i inne. Wśród minerałów nie tworzących rudy można zaważyć obecność: kwarcu, chlorytu, turmalinu, a także amfiboli czy grafitu (Hefferan i O'Brien, 2010; Dergatchev i in., 2011).

Dość dobrze opisane są złoża typu Besshi znajdujące się na terenie Kolumbii Brytyjskiej, gdzie istnieją trzy główne miejsca nagromadzeń rud siarczkowych tego typu. Są to: *Goldstream*, *True Blue* oraz kopalnia *Granduc*. Na tych terenach występuje także złoże *Windy Craggy*, które jest jednym z największych tego typu nagromadzeń. Wiek złóż jest zróżnicowany, powstawały głównie w paleozoiku i mezozoiku [1]. W Kolumbii Brytyjskiej większość złóż powstała w okresie kambru i triasu, mniejsze ilości w permie (Höy, 1991).

Goldstream

Pole *Goldstream* zostało odkryte w 1973 roku. Podczas wierceń, odsłonięto zasoby wielkości około 3,2 mln ton rudy, w których oznaczono zawartość: 4,5% Cu, 3,1% Zn, 20 g/t Ag. Siarczki, w tego typu złożach, składają się głównie z pirotynu, chalkopiryty oraz sfalerytu z inkluzjami kwarcu, fyllytu i węglanu. Strefy okruszczenia osiągają średnią miąższość od 1 do 3 m, rozciągłość do 400 m i mogą sięgać do ponad 1 200 m wgłąb (Höy, 1991).

Windy Craggy

Obszar tych złóż zlokalizowany jest na skrajnie północno-zachodnich terenach Kolumbii Brytyjskiej. Odkryty w 1958 roku przez Frobisher Limited, firmę specjalizującą się w przetwarzaniu i wprowadzaniu do obrotu wyrobów z metali i minerałów w tym Ni, Cu, Co oraz Pt. Jest on wyjątkiem jeśli chodzi o wielkość nagromadzeń, które w typie Besshi są zazwyczaj niewielkie. Złoże jest jednym z największych na świecie złóż VMS, o zasobach szacowanych na ponad 210 mln ton, zawierających 1,6% Cu, 0,09% Co oraz 0,29 g/t Au (Höy, 1991). W wielu źródłach zasoby tych złóż szacowane są nawet na ponad 300 mln ton (Taylor i in., 1995; Galley i in., 2007; Dergatchev i in., 2011). Okruszczenie składa się z żył i żyłek węglanu i kwarcu z pirotynem, drobnych ilości chalkopiryty i śladowych zawartości pirytu w intensywnie schlorytyzowanych i lokalnie zbrekcowanych skałach. Znaczenie złoża jest większe także z uwagi na duże koncentracje złota (Höy, 1991).

Typ Kuroko

Złoża wulkanogenicznych rud siarczkowych tego typu powstają w sąsiedztwie dojrzałych łuków wulkanicznych bądź basenów załukowych. Głównymi metalami wchodzącymi w ich skład są Cu, Zn i Pb. Oprócz nich złoża zawierają też znaczne ilości Ag i Au. Zdominowane są przez skały kwaśne na przykład ryolity. Wśród skał im towarzyszących wyróżnić można także bazalty toleitowe, dacyty, ryodacyty oraz skały piroklastyczne (Pirajno, 1992; Hefferan i O'Brien, 2010). Związane są z centrami wulkanizmu, gdzie w temperaturze od 100 do 330°C powstają na głębokościach powyżej 1 000 m. Tworzą się w wyniku wypływu roztworów hydrotermalnych w miejscach depresji dna oceanicznego wzdłuż krawędzi ryolitów. Obecne jest wtedy także zjawisko intensywnego potasowego i magnezowego metasomatyizmu i metamorfizmu. Powoduje to, że składają się one głównie z kwarcu, chlorytu i serycytu. Wymiary rud typu Kuroko chociaż są różne, zazwyczaj są niewielkie. Nagromadzenie rudy w złożu waha się od kilku tysięcy do ponad 1 mln ton. Okruszczowanie złóż różni się, ale najczęściej zawierają: 0,5–2% Cu, 0,5–10% Pb, 2–10% Zn, 0,5–0,6 g/t Au, 20–1000 g/t Ag oraz 20–50% BaSO₄ (Pirajno, 1992). Złoża te występują w wielu różnych miejscach na świecie. Do najczęściej wymienianych i najlepiej scharakteryzowanych należą nagromadzenia występujące w Japonii oraz na Wyspach Fiji. Dobrze opisane są także te występujące na terenach Kolumbii Brytyjskiej. Złoża tego typu powstawały fanerozoiku. W Kolumbii Brytyjskiej głównie w okresie dewońskim (Höy, 1991). Na świecie mogły się one formować w okresie od późnego permu po kredę [2].

Złoża typu Kuroko w Japonii

Wiek złóż występujących na terenie Japonii jest określany na 16–11 mln lat. Ze względu na wiek oraz fakt, że nie posiadają również znacznych deformacji ani oznak metamorfizmu, są one bardzo dobrze poznane przez wielu badaczy. Bardzo dobrze poznana lokalizacją tych złóż w Japonii, są złoża *Shakanai*, usytuowane około 4 km od miasta Ohdate. Teren wydobywania obejmuje 11 nagromadzeń obrysowanych 763 powierzchniowymi odwiertami. Każda z 11 lokalizacji rud charakteryzuje się innym składem mineralogicznym. Całość obejmuje około 30 mln ton rudy. W 1976 roku produkcja w tym regionie wynosiła 26 000 ton rudy na miesiąc, zawierającej w swoim składzie 2,5% Cu, 4,2% Zn, 1,3% Pb, 75 g/t Ag oraz 0,7 g/t Au (Pirajno, 1992, 2009).

Złoża typu Kuroko na Wyspach Fiji

Wśród najważniejszych złóż na Wyspach Fiji wymienić należy epitermalne złoża Au *Vatukola* i *Mount Kasi*, system porfirowy Cu *Namosi* oraz Cu-Zn-Pb-Au-Ag VMS złoża *Undu*. To ostatnie stanowi dobry przykład mineralizacji złóż typu Kuroko. Zostały one uformowane około 5 mln lat temu w sąsiedztwie struktur kaldery, powstałej z wulkanizmu bimodalnego wywołanego podczas wczesnych stadiów otwierania się basenu załukowego Lau (Pirajno, 1992).

Złoża typu Kuroko na terenach Kolumbii Brytyjskiej

Na terenach Kolumbii Brytyjskiej złoża typu Kuroko występują najczęściej. Obejmują kilka najważniejszych pól, z których są wydobywane: *Rea*, *Homestake*, *Kutcho Creek*, *Eskay Creek*. Złoża *Rea* zostały odkryte w 1983 roku. Złoża *Homestake* eksploatowane były z przerwami w latach 1926–1941, pozyskano z nich około 11,3 kg Au, 8 751 kg Ag, 9 140 kg Cu, 141 300 kg Pb, 203 300 kg Zn z łącznej wagi rudy wynoszącej 4 300 ton. Złoża *Kutcho Creek* odkryto w 1973 roku. Z kolei *Eskay Creek* odkryte w sierpniu 1988 roku zawiera 21 stref wydobywania złóż bogatych w złoto i srebro (Höy, 1991).

Litostratygraficzny podział złóż VMS

Podział na trzy wyżej wymienione typy złóż wulkanogenicznych rud siarczkowych nie jest jedynym. Mogą być one podzielone również ze względu na ich litostratyfografię na 5 odrębnych typów (Tab. 2) (Pirajno, 2009). Złoża typu mafic (zasadowe) występują w otoczeniu dojrzałych wewnątrz oceanicznych łuków. Dominują tu skały zasadowe z niewielkim udziałem (do 10%) skał kwaśnych. Intruzje maficzne oraz dajki są dość powszechne, towarzyszy im niewielka ilość skał ilastych i krzemionkowych. W złożach typu pelitic-mafic (pelitowo-zasadowe) występują intruzje maficzne, niewielka zawartość skał ilastych oraz węglanów, mało skał krzemionkowych oraz kwaśnych. Zlokalizowane są na grzbiętach śródoceanicznych oraz łukach. Typ bimodal-mafic (bimodalno-zasadowy) zawiera głównie skały zasadowe, do 25% skał kwaśnych oraz skały wulkanoklastyczne i osadowe pochodzenia terygenicznego. Powstaje w środowisku spękanych łuków oceanicznych. W typie bimodal-felsic (bimodalny-kwaśny) dominują skały kwaśne, od 10 do 40% skał zasadowych i intruzji oraz poniżej 10% osadów terygenicznych. Występują na kontynentalnych brzegach łuków oraz powiązanych z nimi częściami załukowych. W typie siliciclastic-felsic (silikoklastyczny-kwaśny) do 75% stanowią skały silikoklastyczne, reszta to skały kwaśne z domieszką intruzji maficznych (<10%). Obecna jest niewielka ilość skał osadowych o bogatej zawartości Fe i Mn. Występują na dojrzałych epikontynentalnych częściami załukowych (Gibson i in., 2007).

Tab. 2 Charakterystyka złóż VMS ze względu na podział litostratygraficzny
(źródło: Gibson i in., 2007; Mosier i in., 2009; Piercey i in., 2010)

Typ	Skład / Cechy charakterystyczne	Miejsca formowania	Przykłady występowania
Mafic (zasadowy)	Złoża bogate w Cu, bądź kompleksy Cu-Zn; skały wulkaniczne (andezyty bazaltowe, bazalty) w sąsiedztwie gabr, diabazów i sekwencji ofiolitowych	Dojrzałe łuki wewnątrzoceaniczne; grzbiety śródoceaniczne	Rosja, Kanada, Troodos, Cypr, Południowa część pasma górskiego Ural, Oman
Pelitic-mafic (pelitowo-zasadowy)	Skały wulkaniczne (andezyty bazaltowe i bazalty) w sąsiedztwie skał pelitowych	Grzbiety śródoceaniczne; łuki	Japonia, Finlandia, Rosja, Środkowa i Południowa część pasma górskiego Ural
Bimodal-mafic (bimodalny-zasadowy)	Złoża bogate w Cu, bądź kompleksy Cu-Zn; skały wulkaniczne (andezyty i bazalty), z zawartością ryolitów i dacytów	Spękane łuki oceaniczne	Peru, Meksyk, Środkowa i Południowa część pasma górskiego Ural, Rosja, Kazachstan, Kanada
Bimodal-felsic (bimodalny-kwaśny)	Złoża bogate w Zn-Pb-Cu, dominują ryolity i ryodacyt, w sąsiedztwie andezytów i bazaltów (10-50%),	Kontynentalne brzegi łuków oraz powiązane z nimi części załukowe	Jezioro Finlayson, Kanada, Japonia, Turcja Tasmania,
Siliciclastic-felsic (silikoklastyczny-kwaśny)	Złoża bogate w Zn-Pb-Cu, dominują ryolity i ryodacyt, w sąsiedztwie piaskowców i kwarcytu, zawartość bazaltu poniżej 10%	Dojrzałe epikontynentalne części załukowe	Zachodnia Australia, Kazachstan, Rosja, Meksyk, Kanada, Hiszpania, Portugalia

Podsumowanie

Miedź, która jest dominującym składnikiem siarczkowych złóż masywnych, tworzy dużo złóż różnej genezy i wielkości. Wśród nich największe znaczenie mają złoża porfirowe, osadowe, likwacyjne i wulkanogeniczne. Pojedyncze złoża siarczków VMS stanowią niewielkie nagromadzenia, stąd przez długi czas nie budziły zainteresowania ekonomicznego. Jednak ich globalne zasoby sięgają ponad 5 mld rud siarczkowych, które zawierają 22% światowej produkcji Zn, 6% światowego wydobycia Cu, 9,7% Pb oraz 8,7% Ag (Singer, 1995). Ponadto występuje w nich w postaci składników śladowych, szereg innych pierwiastków takich jak: As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, Ge, Hg, In, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, Te, oraz Pt. Stanowią więc niezwykle wartościowe strefy wydobycia (Shanks i Thruston, 2012). Wraz z rozwinięciem nowoczesnych technologii wydobycia, eksploatuje się je coraz częściej, co w przyszłości może doprowadzić do wyczerpania tych cennych zasobów.

Literatura

- Dergatchev, A.L., Eremin, N.I., Sergeeva, N.E., 2011. Volcanic-associated Besshi-type copper sulfide deposits. *Moscow University Geology Bulletin*, 66(4), 274–281.
- Galley, A.G., Hannington, M.D., Jonasson, I.R., 2007. *Volcanogenic massive sulphide deposits*, [w:] Goodfellow, W.D., (red.), *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. Special Publication 5, 141–161.
- Gibson, H.L., Allen, R.L., Riverin, G., Lane, T.E., 2007. *The VMS Model: Advances and Application to Exploration Targeting*, [w:] Milkereit (red.), *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, 713–730.
- Hefferan, K., O'Brien, J., 2010. *Mineral resources and hazards* [w:] K. Hefferan, J. O'Brien (red.), *Earth Materials*, Wiley–Blackwell, 543–545.
- Höy, T., 1991. *Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in British Columbia* [w:] *Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera*, B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1991–4, 89–123.
- Jamieson, J.W., Hannington, M.D., Petersen, S., Tivey, M.K., 2014. *Volcanogenic Massive Sulfides* [w:] Harff, J., Meschede, M., Petersen, S., Thiede, J. (red.), *Encyclopedia of Marine Geosciences*, 917–923, DOI: 10.1007/978-94-007-6644-0_37-1.
- Laurence, R., 2005. *Introduction to ore forming processes*. Blackwell Publishing, 181–182.
- Mosier, D.L., Berger, V. I., Singer, D.A., 2009. *Volcanogenic massive sulfide deposits of the world; database and grade and tonnage models*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1034, 50.
- Piercey, S.J., Peter J.M., Herrington R.J., 2010. *Zn-rich Volcanogenic Massive Sulphide (VMS) Deposits*, [w:] *Proceedings of the Zinc 2010 Meeting, Irish Association for Economic Geology*, 122–125.
- Pirajno, F., 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, Springer – Verlag, 427–441.
- Pirajno, F., 2009. *Submarine Hydrothermal Mineral Systems* [w:] Pirajno, F. (red.), *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*, Springer Science+ Business Media B.V., 581–726
- Shanks, W.C. Pat, III, Thurston, R., (red.), 2012. *Volcanogenic massive sulfide occurrence model*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–C, 345.
- Singer, D.A., 1995. World-class base and precious metal deposits - a quantitative analysis. *Economic Geology*, 90, 88–104.
- Taylor, C.D., Zierenberg, R.A., Goldfarb, R.J., Kilburn, J.E., Seal, R.R. II, Kleinkopf, M.D, 1995. *Volcanic-associated massive sulfide deposits* [w:] E.A. Du Bray (red.), *Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models*, US Geological Survey Open-File Report, 137–144.

Źródła internetowe

[1] – <https://pubs.usgs.gov/bul/b1693/html/bull2qg5.htm> - [dostęp: 8.03.2017]

[2] – <http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/MineralDepositProfiles/ListbyDepositGroup/Pages/GMarineVolcanicAssociation.aspx#g06> - [dostęp: 8.03.2017]

Krótką notką o autorze: *Studentka I roku studiów magisterskich na kierunku oceanografia. Jej zainteresowania od wielu lat koncentrują się wokół biologii. Na studiach zgłębia wiedzę z zakresu biologii i ekologii organizmów morskich, w szczególności zooplanktonu obszarów polarnych. Współpracowała z IO PAN w projekcie DWARF realizowanym w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej. Swoje zainteresowania rozwija także w ramach tutoriali koncentrując się na zagadnieniach powstawania złóż na dnie oceanów w kontekście procesów geologicznych i geochemicznych.*