

WIEK MOLIBDENITÓW W POLSCE W ŚWIETLE BADAŃ IZOTOPOWYCH Re-Os

THE AGE OF MOLYBDENITES IN POLAND IN THE LIGHT OF Re-Os ISOTOPIC STUDIES

STANISŁAW Z. MIKULSKI¹, HOLLY J. STEIN^{2,3}

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki datowań metodą Re-Os wieku molibdenitów związanych z waryscyjskimi intruzjami granitoidowymi w Polsce. W masywie karkonoskim oraz w jego wschodniej osłonie metamorficznej stwierdzono dwa etapy krystalizacji molibdenitów (od 326 ± 1 do 310 ± 1 mln lat), które odzwierciedlają aktywność pneumatolityczną i hydrotermalną w okresie karbońskim od wizenu/serpuchowu do moskoku. W masywie Strzegom–Sobótka zarówno molibdenity rozetkowe występujące w formie impregnacji w granitach, jak i molibdenity w przecinających je żyłkach kwarcowych wykazują zbliżony wiek (od 309 ± 1 do 296 ± 2 mln lat). Krystalizacja molibdenitów w tym masywie była pochodną procesów pomagmowych związanych z powolnym stygnięciem magm odpowiedzialnych za powstanie monzogranitów hornblendowo-biotytowych. Zakres wiekowy krystalizacji molibdenitów ze strefy kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim mieści się w czasie od 301 ± 2 do $296,3 \pm 1,4$ mln lat. Najstarszy wiek izotopowy Re-Os krystalizacji wśród zbadanych dotychczas molibdenitów uzyskano dla próbki molibdenitu pochodzącej z Tatr – $350,5 \pm 1,2$ mln lat. Z kolei najmłodsze wieki krystalizacji molibdenitów stwierdzono w próbkach z kamieniołomu w Siedlimowicach (257 ± 1 mln lat) oraz w Miedziance (213 ± 1 mln lat). Wieki te wskazują na procesy kataklazy i remobilizacji roztworów hydrotermalnych w młodszych okresach, tj. w późnym permie i triasie. Wyniki badań izotopowych molibdenitów pozwoliły określić relacje czasowe pomiędzy poszczególnymi hydrotermalnymi etapami krystalizacji kruszców i procesami magmowo-tektonicznymi w czasie ok. 140 mln lat, tj. od missisipu (karbon) do noryku (późny trias) w różnych obszarach wystąpień waryscyjskich intruzji granitoidowych w Polsce.

Słowa kluczowe: wiek izotopowy Re-Os, molibdenit, procesy pomagmowe, granitoidy, waryscydy, Karkonosze, masyw Strzegom–Sobótka, Sudety, blok przedsudecki, blok małopolski, blok górnośląski, Tatry.

Abstract. The paper presents the results of molybdenites that closely correlate with the Variscan granite intrusions in Poland. In the Karkonosze Massif and its eastern metamorphic cover, there are two separate stages of Re-Os ages of molybdenite crystallization (326 ± 1 to 310 ± 1 Ma), which reflect pneumatolitic and hydrothermal activity in the Carboniferous (from the Viséan/Serpukhovian to the Moscovian). In the Strzegom–Sobótka Massif, both rosette-like molybdenites disseminated in granitoids and those from the quartz veinlets reveal similar Re-Os ages that range from 309 ± 1 to 296 ± 2 Ma. Molybdenite crystallization in the Strzegom–Sobótka Massif was related to the post-magmatic processes associated with a slow cooling of magma responsible for the formation of hornblende-biotite monzogranites. The time range of molybdenites crystallization from the contact zone between the Małopolska and Upper Silesian blocks is from 301 ± 2 to 296.3 ± 1.4 Ma. The oldest Re-Os isotopic age of molybdenite (350.5 ± 1.2 Ma) was received for a molybdenite sample from the Polish part of the Tatra Mountains. The molybdenites from the eastern part of the Strzegom–Sobótka Massif (Siedlimowice quarry, 257 ± 1 Ma) and from the Miedzianka abandoned Cu (-U) mine (213 ± 1 Ma) yielded the youngest Re-Os ages. These ages indicate tectonic reactivation and remobilization of hydrothermal fluids in the Late Permian and Late Triassic. The Re-Os isotopic studies of molybdenites allowed defining the time relation between successive hydrothermal stages of ore precipitation and tectonic-magmatic processes during ca. 140 million years e.g. from the Mississippian (Carboniferous) to the Norian (Late Triassic) in different areas of the occurrence of Variscan granitoid intrusions in Poland.

Key words: Re-Os isotope age, molybdenite, post-magmatic processes, Variscides, granitoids, Karkonosze Massif, Strzegom–Sobótka Massif, the Sudetes, Fore-Sudetic Block, Małopolska Block, Upper Silesian Block, Tatra Mountains.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: stanislaw.mikulski@pgi.gov.pl

² AIRIE Program Colorado State University, USA; e-mail: hstein@cnr.colostate.edu

³ Norges Geologiske Undersøkelse, 7491 Trondheim

WSTĘP

Chronologia krystalizacji minerałów kruszcowych w złożach rud polimetalicznych oparta jest głównie na szczegółowych badaniach mikroskopowych i geologicznych. Datowania wieku izotopowego rud siarczkowych stosowane było w bardzo wąskim zakresie, głównie ze względu na duże ograniczenia metod izotopowych w badaniach kruszców. W połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia zaczęto stosować metodę Re-Os do datowania molibdenitu (MoS_2) ze względu na zawartość w nim Re oraz z czasem również i do innych siarczków zawierających izotopy Re i Os. Jednak poważnym ograniczeniem są bardzo niskie koncentracje Re i Os w siarczkach ($<0,01$ ppb), które często uniemożliwiają aplikację metody Re-Os, co dodatkowo podnosi i tak wysokie koszty analityczne.

W artykule przedstawiono wyniki prac autorów dotyczące datowań wieku molibdenitów wykonane w okresie 2001–2011. Oznaczenia wykonano na kilkudziesięciu próbkach pochodzących z różnych obszarów wartyjskich intruzji granitoidowych w Polsce (Sudety, blok przedsudecki,

strefa kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim oraz Tatry). Poszczególne wyniki tych prac publikowane były sukcesywnie głównie w materiałach międzynarodowych konferencji surowcowych (SGA, SEG) i kongresowych (IGC), jednak ze względu na ich ograniczoną dostępność zestawiono w niniejszym artykule. Szczegółowe rozważania genetyczne i relacje pomiędzy etapami krystalizacji kruszców zostały omówione w materiałach źródłowych. Wszystkie badania analityczne molibdenitów przeprowadzone zostały na Uniwersytecie Stanowym Kolorado w USA. Część prac wykonano bezpośrednio podczas staży naukowych (S. Mikulski) w ramach tematów badawczych sfinansowanych przez Komitet Badań Naukowych i obecnie przez Narodowe Centrum Nauki (NN 525 393739). Wyniki oznaczeń wieku Re-Os przeprowadzone na innych siarczkach (Co-arsenopiryty, arsenopiryty, piryty i chalkopiryty) opublikowano już wcześniej (Mikulski i in., 2005a, b, c; Mikulski, 2007a).

METODYKA

Metoda datowania wieku Re-Os oparta jest na naturalnym rozpadzie β izotopu renu ^{187}Re do osmu ^{187}Os (Smoliar i in., 1996; Stein i in., 2001; Markey i in., 2003). Przełom w aplikacji tej metody nastąpił w 1998 r., gdy podczas badań wieku meteorytów żelaznych z zastosowaniem różnych metod izotopowych udało się dokładnie wyliczyć stałą rozpadu izotopu renu (^{187}Re), wynoszącą $\lambda = 1,66 \cdot 10^{-11} \text{ rok}^{-1}$. Metaliczne meteoryty zawierają znacznie więcej Re i Os ($>10\ 000$ ppb) niż meteoryty kamienne (Os <1000 ppb). Z kolei średnie zawartości renu i osmu w skałach płaszczki ziemskiego i skorupy są zdecydowanie niższe: <1 ppb dla Re oraz <3 ppb dla Os. Średni stosunek Re/Os w meteorytach żelazistych wynosi $\sim 0,06$, a w meteorytach kamiennych $\sim 0,09$. W skałach pochodzenia ziemskiego stosunek Re/Os jest zróżnicowany, dla skał z płaszczki wynosi $<0,1$, a dla skał ze skorupy kontynentalnej >10 . Płaszczki ziemski zawiera zaledwie około 0,5% zawartości chondrytowej Re i Os. Większość Re i Os została wyekstrahowana z płasz-

czki ziemskiego do jego skorupy. W konsekwencji materiał skorupowy jest w stosunku do płaszczki wzbogacony w radiogeniczny ^{187}Os wskutek rozpadu ^{187}Re . Pozwala to na oddzielenie skał pochodzących ze skorupy ziemskiej od skał pochodzących z płaszczki (Stein i in., 2001). Ze względu na fakt, że Re i Os są silnie sydero- oraz chalkofilne metodę zastosowano do nośników izotopów tych metali, którymi są również siarczki metali, a wśród nich najlepszym minerałem do badań wieku izotopowego metodą Re-Os jest molibdenit. Zbliżone rozmiary promieni atomowych oraz identyczny stopień utlenienia ułatwiają możliwość podstawień Mo^{4+} przez Re^{4+} w molibdenicie (MoS_2). Wiek molibdenitu określony metodą Re-Os jest bezpośrednim wiekiem krystalizacji tego minerału, stąd przewaga tej metody nad innymi metodami geochronologicznymi, które dają nam wieki pośrednie odnoszące się do wieku krystalizacji innych faz mineralnych, a nie rudonośnych kruszców.

DATOWANIA MOLIBDENITÓW Z MASYWU GRANITOIDOWEGO KARKONOSZY I JEGO WSCHODNIEJ OSŁONY

SZKLARSKA PORĘBA HUTA

Do najciekawszych wystąpień przejawów mineralizacji molibdenitowej w strefie górnokarbońskiej intruzji granitoidów Karkonoszy należy mineralizacja Mo-Sn-W-Cu-REE-U-Th występująca w pegmatytach, żyłkach kwarcowych oraz w aplogranicie w kamieniołomie granitu w Szklarskiej Porę-

bie Hucie (fig. 1), (Karwowski i in., 1973; Kozłowski i in., 1975; Pieczka, Gołębiowska, 2002). Podwyższone zawartości niektórych pierwiastków stwierdzono również w próbkach zmienionych granitoidów, np. do ok. 2500 ppm W, ok. 50 ppm U, czy 40 ppm Th (Mikulski, 2007b). Najwięcej przejawów okruszcowania stwierdzono w zachodniej części kamieniołomu, gdzie żyłki kwarcowe (z kruszcami) o grubości od 1 do 10

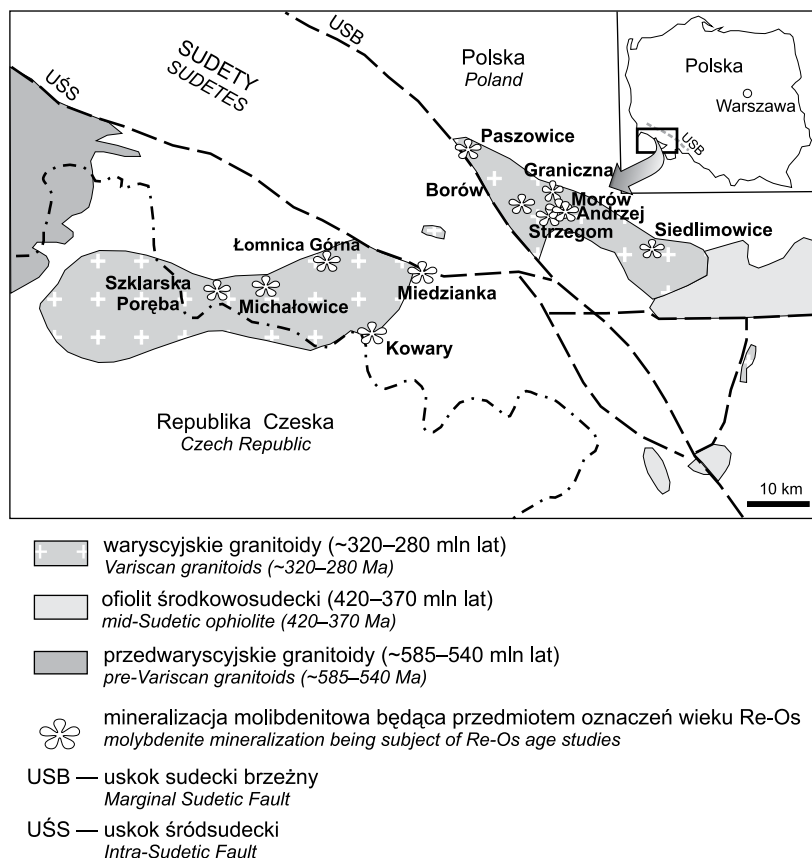


Fig. 1. Lokalizacja mineralizacji molibdenitowych w Sudetach i na bloku przedsudeckim

Location of the molybdenite mineralization in the Sudetes and the Fore-Sudetic Block

mm mają bieg głównie południkowy i zapadają prawie pionowo. Stwierdzono tu obecność takich minerałów kruszcowych, jak: molibdenit, wolframit, kasyteryt, scheelit, piryt, bizmut rodzimy, bizmutyn, pirotyn, chalkopiryt, magnetyt, ilmenit, rutyl, siarkosole bizmutowe. Ponadto występuje asocjacja minerałów U-Th (uraninit, toryt, autunit) z rzadkimi minerałami Li, Nb, REE (np. ksenotym, monacyt, cyrkon, fergusonit) oraz lokalnie z hematytem, arsenopirytem i galeną. Pierwsza próbka molibdenitu (tab. 1, próbka nr MDID-702) zbadana najwcześniej (Mikulski, Stein, 2007a) wykazała bardzo niskie koncentracje izotopu ^{187}Os (poniżej dokładności oznaczeń metody). Spowodowane to było głównie drobnoziarnistą formą występień molibdenitu i jego silnym przerastaniem się z kwarcem, co spowodowało trudności w preparatyce i analizie. Kolejna próbka (MDID-866) do badań Re-Os reprezentowała molibdenit występujący w żyłkach kwarcowych (o grubości od 0,5 do 2,5 cm) w postaci drobnoziarnistych blaszek tworzących agregaty rozetkowe (fig. 2A). Podobne formy molibdenitu opisywane były również w formie impregnacji w aplogranicie (Kozłowski i in., 1975). Trzecia zbadana próbka molibdenitu (MDT-990) pochodziła z opróbowania wykonanego w kamieniołomie w 2010 r. (Mikulski, Stein, 2011). Molibdenit ten występuje w postaci gniazdowych wprysnięć w gruboziarnistych przerostach pegmatytowych w aplogranicie (fig. 2B).

Wiek Re-Os tych 2 ostatnich molibdenitów określono na 323 ± 1 mln lat oraz na 310 ± 1 mln lat. Wykazują one niskie koncentracje Re (odpowiednio ok. 0,18 ppm i 0,32 ppm) i Os (ok. 0,6 ppb i 1,0 ppb). Wiek ok. 310 mln lat został ostatnio potwierdzony przez Mayera i in. (2012).

LOMNICA GÓRNA

Mineralizacja molibdenitowa występuje w pegmatytach oraz w żyłkach kwarcowych w górnokarbońskim granicie karkonoskim typu porfirowego w nieczynnym kamieniołomie granitu, około 3 km na południowy wschód od Jeleniej Góry. Żyłki szklisto-białego kwarcu o zmiennej grubości (1–3 cm) zapadają na północny wschód i przebiegają głównie wzdłuż kierunku NW–SE. Stwierdzono obecność molibdenitu w postaci heksagonalnych blaszek, które tworzą pojedyncze agregaty ziarniste do ok. 20 mm średnicy (fig. 2C, D). Molibdenit przerasta się z biotytem i hornblendą. Wraz z molibdenitem występuje piryt i ilmenit. Sporadycznie pojawiają się minerały bizmutu. Molibdenit jest zastępowany przez ochry molibdenowe, którym towarzyszą uwodnione tlenki i wodorotlenki Fe. Zbadana próbka agregatu molibdenitu (MDID-697) o pokroju blaszkowym (fig. 2C) wykazuje stosunkowo wysoką zawartość Re (ok.

Tabela 1

Wyniki datowań wieku molibdenitów metodą Re–Os z obszaru Polski
The results of the Re–Os age studies of molybdenites from Poland

Nr AIRIE	Lokalizacja	Re [ppm]	¹⁸⁷ Os [ppb]	Wiek mln lat	Referencje
MDID-702	Szklarska Poręba Huta	0,135 (8)	p.p.o.*	–	Mikulski, Stein, 2007
MDID-866	Szklarska Poręba Huta	0,1808(4)	0,6141(2)	323 ±1	Mikulski, Stein, 2008
MDT-990	Szklarska Poręba Huta	0,3257 (6)	1,0599 (5)	310 ±1	Mikulski, Stein, 2011
MDID-697	Łomnica Górna	36,34 (3)	124,24 (5)	326 ±1	Mikulski, Stein, 2007
MDID-755	Michałowice-1	8,540 (7)	28,26 (2)	315 ±1	
MDT-991	Miedzianka, Sudety	0,22 (1)	0,7025 (3)	305 ±15	Mikulski, Stein, 2011
MDT-998	Miedzianka, Sudety	0,225 (1)	0,5042 (2)	213 ±1	
MDID-685	Kowary	22,42 (2)	73,48 (6)	312 ±1	Mikulski, Stein, 2007
MDT-997a	Kowary	2,9700 (9)	9,718 (4)	312 ±1	Mikulski, Stein, 2011
MDID-304	Paszowice	0,932 (1)	2,975 (4)	304 ±1	
MDID-311	Paszowice	0,6847 (6)	2,219 (2)	309 ±1	Mikulski, Stein, 2005
MDID-315	Paszowice	0,5428 (1)	1,744 (3)	306 ±1	
MDID-684	Borów	11,033 (9)	34,48 (5)	298 ±1	
MDID-666	Borów	12,34 (1)	38,5 (2)	297 ±2	Mikulski i in., 2007
MDID-667	Andrzej	6,97 (1)	21,62 (9)	296 ±2	
MDID-698	Graniczna	57,59 (8)	179,62 (8)	297 ±1	
MDID-699	Siedlimowice	10,173 (8)	27,39 (1)	257 ±1	
MDID-759	Siedlimowice	5,975 (7)	16,13 (7)	257 ±1	
MDID-759	Siedlimowice (powtórzona)	5,979 (5)	16,228 (5)	258 ±1	
MDT-996a	Morów	0,2282 (1)	0,0573 (2)	317 ±1	
MDID-658	Mysłów; 20-KW, 324 m	27,63	87,4	301 ±2	Mikulski w: Oszezpalski i in., 2008
MDID-668	Mysłów; 37-WB, 352 m	36,95	114,9	301 ±2	
MDID-661	60-Z; 267 m; Myszków	21,08	66,4	300 ±2	
MDID-612	60-Z; 285 m; Myszków	87,18	274	299 ±2	
MDID-232	Pz-12; 193 m	0,8394 (1)	2,607 (3)	296 ±1	Stein i in., 2005
MDID-406	Pz-12; 193 m	0,7177 (2)	2,244 (1)	298 ±1	
MDID-186	Pz-24; 984 m	69,8 (4)	217,07 (9)	296 ±2	
MDID-233	Pz-24; 984 m	67,82 (2)	211,8 (1)	298 ±1	
MDID-235	Pz-28; 564,5 m	3,637 (5)	11,353 (9)	297 ±1	
MDID-236	Pz-29; 602,0 m	33,731 (8)	105,41 (3)	298 ±1	
MDID-237	Pz-26; 1091,5 m	60,90 (4)	190,53 (5)	298 ±1	
MDID-410	Pz-26; 1009,3 m	67,95 (6)	212,25 (8)	298 ±1	
MDID-238	Pz-35; 976,0 m	74,049 (4)	232,3 (1)	299 ±1	
MDID-239	Pz-30; 332,5 m	28,262 (9)	88,92 (1)	300 ±1	
MDID-407	Pz-27; 1296,5 m	0,5116 (1)	1,589 (1)	296 ±1	
MDID-255	Pz-20; 921,2 m	33,17 (5)	103,74 (6)	298 ±1	
MD-1262	Pilica KH-2; 805,6 m	55,82	173,62	296,3 ±1,4	
MD-1155	Tatry; Wołowiec	16,584(12)	61,038(51)	350,5 ±1,2	Mikulski i in., 2011

36 ppm) oraz Os (ok. 124 ppb). Wiek Re-Os krystalizacji molibdenitu z Łomnicy Górnej określono na 326 ± 1 mln lat (Mikulski, Stein, 2007).

MICHAŁOWICE

Mineralizacja kruszcowa z molibdenitem występuje w nieczynnym kamieniołomie granitu zlokalizowanym ok. 3 km na wschód od Szklarskiej Poręby (fig. 1). Przejaw mineralizacji kruszcowej siarczkami Mo, Fe, Cu-W-Sn-Th stwierdzono w pegmatytach oraz w żyłkach kwarcowych, tnących gruboziarnisty granit porfirowy w górnokarbońskim granitoidowym masywie Karkonoszy (Gajda, 1960a, b; Karwowski i in., 1983). Mineralizacja kruszcowa z molibdenitem i pirytem dominuje w żyłkach szarego kwarcu, które mają zmienną grubość, od kilku mm do około 2 cm. Żyłki te są prawie pionowe i biegną głównie wzdłuż kierunku południkowego. Zbadany molibdenit występuje w pegmatytowych gniazdach kwarcowo-skaleniovych, jako oddzielne agregaty gruboziarniste zbudowane z heksagonalnych blaszek, którym towarzyszy chalkopiryt, piryt, wolframit, kasyteryt oraz scheelit (fig. 5E). Dodatkowo zidentyfikowano w mikroobszarze arsenopiryt, galenę, sfaleryt, złoto oraz minerały U-Th (Mikulski, 2007a, b). Koncentracje renu i osmu są na średnim poziomie (8,5 ppm Re i ok. 28 ppb Os). Wiek izotopowy Re-Os molibdenitu (MDID-755) z Michałowic określono na 315 ± 1 mln lat (Mikulski, Stein 2007a).

MIEDZIANKA

Nieczynna kopalnia rud polimetalicznych (głównie Cu) i uranu występujących w formie siarczkowej w obrębie licznych żył kwarcowych zalegających w skałach metamorficznych (głównie łupki i amfibolity) znajduje się we wschodniej osłonie intruzji granitu Karkonoszy (fig. 1). Dotychczas rozpoznano w złożu ponad 20 większych żył, jednak o bardzo zmiennej grubości (0,05–3 m) oraz liczne mniejsze żyłki kruszcowe (Cu). Minerale rudne reprezentują: chalkopiryt, chalkozyn, bornit, kowelin, tetraedryt, burnonit, galena i magnetyt (Zimnoch, 1978). Rozpoznano również mineralizację ze złotem, towarzyszącą rudom arsenopirytowym (Mikulski, 2007a) oraz w rejonie pola rudnego w Ciechanowicach minerały srebra i rtęci (Siuda, 2012). Molibdenit w złożu jest rzadki, jednak może występować w żyłach kwarcu w postaci większych agregatowych naskorupień (do kilku cm^2). Badania izotopowe Re-Os przeprowadzono na okazie molibdenitu pochodzącego z kolekcji Muzeum Geologicznego Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Molibdenit występuje w postaci bardzo cienkich (<0,5 mm grubości) naskorupień tworzących agregatowe wydzielenia na kwarcu żyłowym (fig. 5F). Oznaczone koncentracje Re i ^{187}Os są bardzo niskie (tab. 1). W konsekwencji wykonano dwa cykle pomiarowe, które pozwoliły określić 2 różne wieki dla próbki molibdenitu z Miedzianki: 305 ± 15 mln lat i 213 ± 1 mln lat. Wiek pierwszy obarczony jest błędem ze względu na zbyt dużą ilość znacznika (Mikulski, Stein, 2011).

←
Uwagi do tabeli:

* p.p.o. – koncentracje ^{187}Os poniżej granicy oznaczalności;

Przyjęto stosunek $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ dla obliczeń wieku = $0,2 \pm 0,1$;

Dokładność oznaczeń na poziomie 2σ dla ostatniej wykazanej cyfry;

Stała rozpadu dla $^{187}\text{Re} = 1,666 \times 10^{-11} \text{ rok}^{-1}$ (Smoliar i in., 1996), obliczenie wieku wg $^{187}\text{Os} = ^{187}\text{Re} (e^{\lambda t} - 1)$;

Roztwarzanie w tubie Cariusa z zastosowaniem podwójnego znacznika Os (Markey i in., 2003), pomiary na ID-NTIMS (Triton);

2σ błąd określenia wieku oraz wszystkich oznaczeń analitycznych i stałej rozpadu ^{187}Re ;

MDID-759 reprezentują powtórne analizy próbki przy nowej separacji molibdenitu;

Próbka MDT-996a ma bardzo niską zawartość Re i znaczną koncentrację zwykłego Os pochodnego radiogenicznego Os, duży wpływ na wiek próbki ma dobór inicjalnej proporcji Os;

Próbka MDT-991 podano zbyt dużo znacznika, MDT-998 powtórna analiza tej samej próbki;

Dla próbek MDID-186, 232–239, 406–407, 410, 255 korekta wieku dla znacznika Re = $1,33 \pm 0,06$ pg, $8,41 \pm 0,57$, $1,95 \pm 0,02$ pg, całkowity Os = $1,9 \pm 0,01$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,245 \pm 0,01$, $0,388 \pm 0,01$, $0,1905 \pm 0,01$; waga próbek 10–80 mg;

Dla próbek MDID-666, MDID-667 i MDID-866 korekta wieku dla znacznika Re = $0,72 \pm 0,01$ pg, całkowity Os = $0,730 \pm 0,002$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,257 \pm 0,001$;

Dla próbek MDID-684, 685, 697–699, 755 i 759 korekta wieku dla znacznika Re = $4,88 \pm 0,06$ pg, całkowity Os = $0,69 \pm 0,01$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,37 \pm 0,01$; waga próbek od 19–292 mg;

Dla próbek MDID-311, 304 korekta wieku dla znacznika Re = $8,41 \pm 0,57$ pg, całkowity Os = $1,9 \pm 0,1$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,3 \pm 0,05$;

Dla próbki MDID-315, korekta wieku dla znacznika Re = $1,33 \pm 0,06$ pg, całkowity Os = $1,9 \pm 0,1$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,25 \pm 0,001$;

Korekta wieku dla znacznika Re = $0,488 \pm 0,06$ pg, całkowity Os = $0,69 \pm 0,01$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,37 \pm 0,01$ dla MDID-658, 661, 668 a dla MDID-612, Re = $1,73 \pm 0,03$ pg, całkowity Os = $4,06 \pm 0,01$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,261 \pm 0,001$; waga próbek 18–73 mg;

Dla próbek MDT-991, 998, 997a, 996a, 990 korekta wieku dla znacznika Re = $2,55 \pm 0,04$ pg, całkowity Os = $0,443 \pm 0,005$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,93 \pm 0,02$; waga próbek 30–337 mg;

Dla próbki MDID-1155 korekta wieku dla znacznika Re = $3,35 \pm 0,06$ pg, całkowity Os = $2,00 \pm 0,02$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,230 \pm 0,001$, a dla MDID-1262 korekta wieku dla znacznika Re = $24,22 \pm 0,15$ pg, całkowity Os = $2,00 \pm 0,02$ pg, $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os} = 0,231 \pm 0,001$.

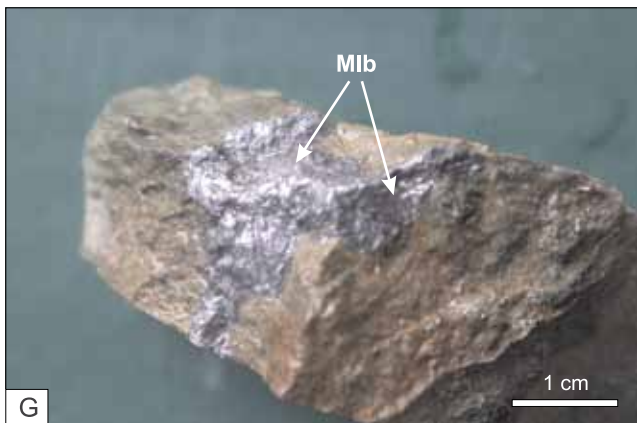
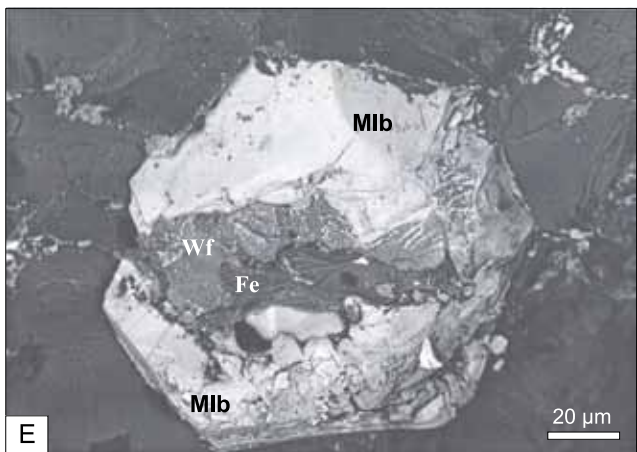
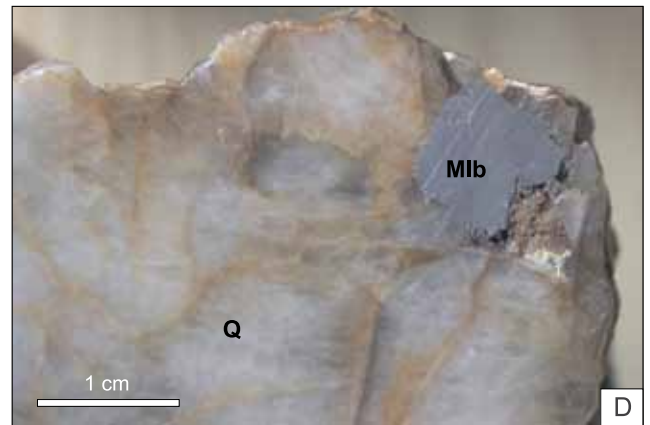
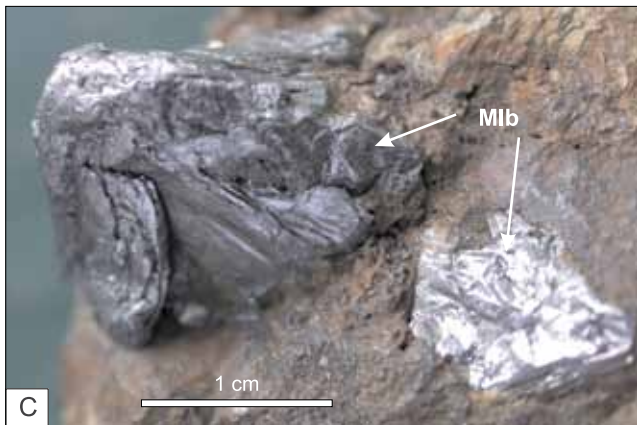
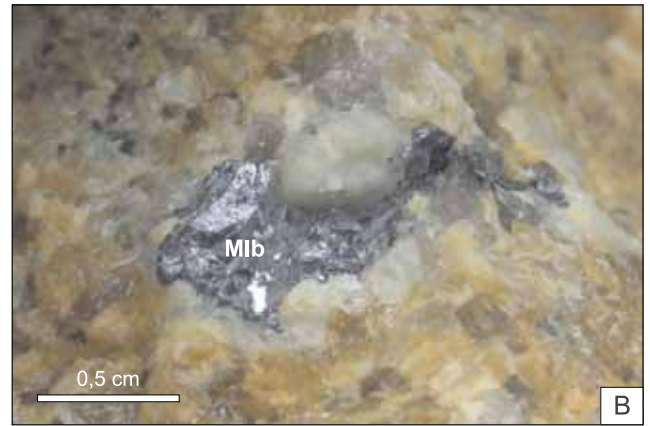


Tabela 2

Formy wystąpień mineralizacji molibdenitowej w rejonie złoża Fe (-U) w Kowarach

The form of molybdenite occurrence in the area of the Kowary Fe (-U) deposit

Miejsce występowania molibdenitu	Forma mineralizacji molibdenitowej	Skład mineralny
Hałda	agregaty ziarniste (do 3 cm średnicy) wypełniające spęknięcia w skarnach	molibdenit, arsenopiryty, chalkopiryty, pirotyn, galena, minerały bizmutu, kwarc, węglany
Kopalnia Wulkan	w apofizach granitu tnących magnetyt	molibdenit, magnetyt
Zbocze góry Sulica	molibdenit w żyłce fluorytowej	molibdenit, fluoryt
Góra Skalnik	w żyłce kwarcowej tnącej granit	molibdenit
Kowarski Grzbiet	w granicie	molibdenit

KOWARY

Molibdenit został stwierdzony w kilku miejscach, w różnych formach i postaciach (tab. 2), w rejonie dawnej kopalni rud żelaza i uranu w Kowarach (Lis, Sylwestrzak, 1986; Mikulski, Stein, 2007). Mineralizacja magnetytowa (typu stratoidalnego) występuje we wschodniej osłonie metamorficznej granitoidu Karkonoszy (fig. 1), w formie soczew w łupkach metamorficznych (łupki łuszczycowe i paragnejsy), w sąsiedztwie wkładek marmurów, skał wapniowo-krzemianowych lub amfibolitów (Zimnoch, 1961). Towarzyszy jej mineralizacja uranowo-polimetaliczna, żyłowa i drobnożyłkowa występująca w strefach zaburzeń tektonicznych (Mochacka, 1966).

W skałach węglanowo-krzemianowych stwierdzono młodsze od magnetytu siarczki takie jak piryty, pirotyn,

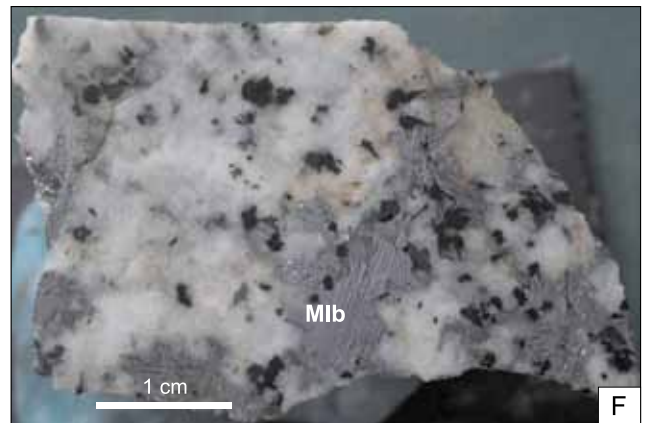
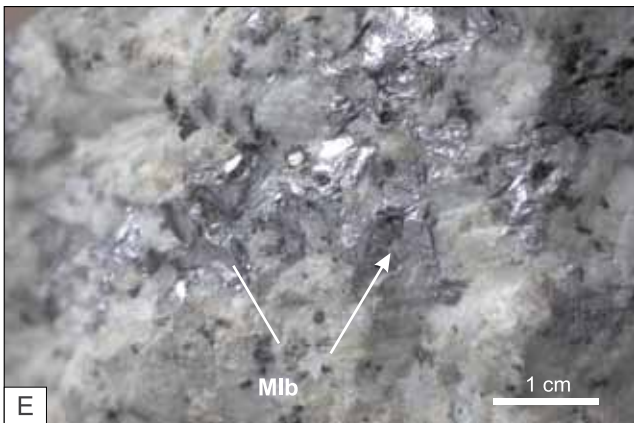
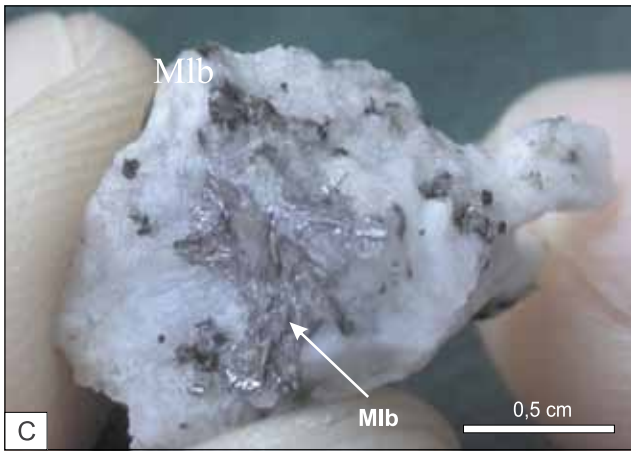
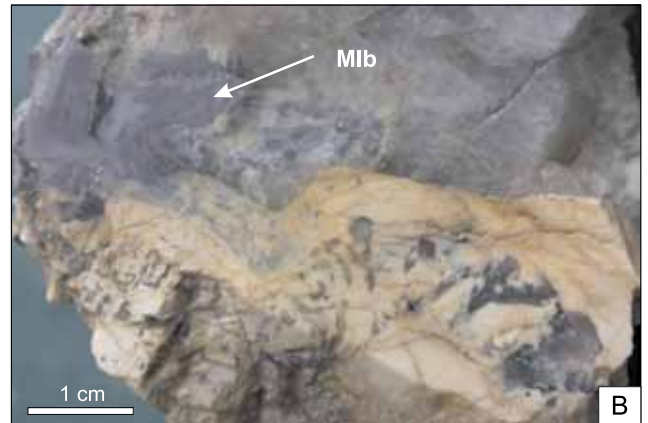
chalkopiryty, podrzędnie sfaleryty i galenę oraz sporadycznie arsenopiryty i molibdenit. Minerale te pojawiają się również w żyłkach tnących formację rudonośną z magnetytem. Pierwsza próbka (MDID-685) reprezentuje molibdenit, który występuje w skarnach, w postaci powyginanych agregatów ziarnistych (do 3 cm średnicy) wypełniających spęknięcia (fig. 2G). Molibdenit ten współwystępuje z arsenopirytem, chalkopirytem, pirotynem, pirytem, minerałami bizmutu oraz węglanami. Druga próbka molibdenitu pochodzi z hałdy w Kowarach (MDT-997a) i występuje w postaci cienkich blaszek tworzących niewielkie pojedyncze agregaty (do 0,5 cm średnicy), współwystępujące z pirytem w spękaniach, kwarcowo-skalieniowych skałach (fig. 2F). Wiek Re-Os obydwu wystąpień molibdenitów z Kowar, pomimo różnych zawartości Re i ¹⁸⁷Os (tab. 1), są identyczne – 312 ± 1 mln lat (Mikulski, Stein, 2011).

Fig. 2. Mineralizacja molibdenitowa z masywu granitoidowego Karkonoszy i jego wschodniej osłony metamorficznej

A, B – molibdenit (Mlb) występuje w żyłkach kwarcowych (0,5–2,5 cm grubości) w postaci drobnoziarnistych blaszek tworzących agregaty rozetkowe oraz bywa rozproszony w aplogranicie. Kamieniołom granitu w Szklarskiej Porębie Hucie; **C** – cienkie heksagonalne blaszki molibdenitu (Mlb) tworzą duży agregatowy kryształ. Zwraca uwagę rdzawe zabarwienie otoczenia spowodowane obecnością wtórnych minerałów molibdenu. Zarzucony kamieniołom granitu w Łomnicy Górnej; **D** – molibdenit (Mlb) w skataklazowanym szklisto-białym kwarcu (Q), tnącym granit porfirowy. Zarzucony kamieniołom granitu w Łomnicy Górnej; **E** – molibdenit w postaci heksagonalnych blaszek (Mlb) z ferberitem (Fe) i wtórnymi minerałami wolframu (Wf). Zarzucony kamieniołom w Michałowicach. Obraz BSE; **F** – agregatowe naskorupienie blaszkowatego molibdenitu (Mlb) w żyłce kwarcowej. Zarzucone złożo Cu-U w Miedziance (Sudety). Okaz (nr 5.IV.18) z kolekcji Muzeum Geologicznego PIG-PIB w Warszawie; **G** – powyginane blaszki molibdenitu (Mlb) tworzą oddzielne agregaty w spękaniach w skarnie. Hałda zarzuconego złoża Fe-U w Kowarach; **H** – molibdenit (Mlb) w paragenezie z siarczkami Fe, Cu i kwarcem w skataklazowanej skale kwarcowo-skalieniowej. Zarzucone złożo Fe-U w Kowarach. Okaz (nr 5.IV.48) z kolekcji Muzeum Geologicznego PIG-PIB w Warszawie

Molybdenite mineralization from the Karkonosze granite massif and its eastern metamorphic cover

A, B – molybdenite (Mlb) occurs in quartz veinlets (0.5–2.5 cm thick) in the form of fine-grained separate crystal aggregates and as dissemination in aplogranite. Szklarska Poręba Huta granite quarry; **C** – thin hexagonal molybdenite blades (Mlb) form large crystal aggregates. Note rusty colour of Mochre. Łomnica Górna abandoned granite quarry; **D** – molybdenite (Mlb) in a cataclased glossy-white quartz vein (Q), which cuts granite. Łomnica Górna abandoned granite quarry; **E** – molybdenite (Mlb) hexagonal tables with ferberite (Fe) and secondary tungsten minerals (Wf). Michałowice abandoned granite quarry. BSE image; **F** – molybdenite (Mlb) crusty aggregates in quartz vein from the Miedzianka abandoned Cu-U deposit. Sample (No 5.IV.18) courtesy of PGI-NRI Geological Museum in Warsaw; **G** – molybdenite (Mlb) blades are curved and form separate aggregates in fractured skarn-like rocks. Kowary Fe-U mine dump; **H** – molybdenite (Mlb) in association with Cu and Fe sulfides and quartz hosted by cataclased quartz-K-feldspar rock. Kowary Fe-U mines. Sample (No 5.IV.48) courtesy of PGI-NRI Geological Museum in Warsaw



DATOWANIA MOLIBDENITÓW Z MASYWU GRANITOIDOWEGO STRZEGOM-SOBÓTKA

PASZOWICE

W okolicach Paszowic stwierdzono występowanie zsylikowanego drobnoziarnistego leukogranitu alkalicznego z przejawami pneumatolityczno-hydrotermalnego okruszczenia (Mo-W-Sn) w obrębie granitowego masywu Strzegom-Sobótka (fig. 1). Lokalnie koncentracje Mo mogą osiągać do 1% wag., a w żyłach kwarcowych do 0,7% wag. (Pendias, Walenczak, 1956). W materiale rdzeniowym z okolic Paszowic średnie zawartości Mo (0,34%) oraz Cu (0,13%) były wysokie. Mineralizację tego rejonu zaliczono do typu sztokwerkowego z siarczkami Mo i Cu (Kanasiewicz, Mikulski, 1989).

W Paszowicach minerały kruszcowe występują w środkowej części łomu w żyłach kwarcowych o biegu 290–300° i stromym upadzie 88° na NE. Miąższość poszczególnych żyłek wynosi od 3 do 20 mm. Zaobserwowana na powierzchni miąższość strefy okruszczonej wynosi około 1,5 m. Wśród minerałów kruszcowych dominują molibdenit i chalkopiryt, rzadsze są piryt, a zupełnie sporadycznie występuje kasyteryt, hübneryt i magnetyt (Sałaciński, 1973). Ponadto w żyłach kwarcowych tnących aplogranit opisano bizmut rodzimy, bismutytnit, bornit i minerały wtórne.

Przedmiotem badań Re-Os były 3 próbki molibdenitów (tab. 1) pochodzące z cienkich żyłek kwarcowych (do 3 mm grubości), tnących zmieniony aplogranit. Wiek Re-Os molibdenitów z Paszowic określono od 309 ±1 do 304 ±1 mln lat (Mikulski, Stein, 2005). Wykazują one niskie koncentracje renu (ok. 0,5–0,9 ppm) i osmu (ok. 1,7–2,9 ppb).

STRZEGOM

W bezpośrednim rejonie Strzegomia znajduje się wiele czynnych lub zarzuconych kamieniołomów i łomów z dominującym granitem hornblendowo-biotytowym. Lokalnie stwierdzano śladowe przejawy mineralizacji molibdenitowej w żyłkach kwarcowych, pegmatytach lub w postaci impregnacji w skałach (Sałaciński, 1978). Do badań wieku Re-Os molibdenitu z rejonu Strzegomia wybrano 2 próbki, z których jedna pochodziła z kamieniołomu Andrzej (MDID-667), a druga z kamieniołomu Morów (MDT-996a). Molibdenit z kamieniołomu Andrzej został wyseparowany z żyły kwarcowej o grubości około 3 cm, biegnącej wzdłuż kierunku NW–SE i zapadającej na NE. Żyła ta przecinała skałę pegmatytową z charakterystycznymi mikrograficznymi przerostami kwarcu i skaleni potasowego. Blaszki molibdenitu są powyginane i tworzą oddzielne agregaty, do 2–3 cm średnicy (fig. 3A, B). Wraz z molibdenitem zaobserwowano automorficzny piryt oraz rzadziej pojedyncze ziarenka chalkopirytu. Koncentracje Re i ¹⁸⁷Os w molibdenicie wynoszą odpowiednio: około 7 ppm Re i około 22 ppb ¹⁸⁷Os. Wiek izotopowy molibdenitu wynosi 296 ±2 mln lat (tab. 1). Z kolei drugi molibdenit (fig. 3G), który również pochodził z żyły kwarcowej, tnącej zmieniony granit hornblendowo-biotytowy, wykazuje śladowe koncentracje renu i osmu (odpowiednio ~0,23 ppm Re i 0,057 ppb ¹⁸⁷Os) i w efekcie uzyskano problematyczny wiek (317 ±1 mln lat).

Fig. 3. Mineralizacja molibdenitowa z masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka

A – molibdenit (Mlb) w postaci wygiętych blaszek tworzących pojedyncze agregaty w granicie pegmatytowym. Kamieniołom Andrzej w Strzegomiu; **B** – molibdenit w żyłkach kwarcowych przecina pegmatytową skałę z charakterystycznymi przerostami kwarcowo-skalieniowymi. Kamieniołom Andrzej w Strzegomiu; **C** – Molibdenit (Mlb) występuje postaci drobnoziarnistych blaszek tworzących agregaty rozetkowe. Kamieniołom granitu w Borowie; **D** – molibdenit (Mlb) występuje w postaci blaszek tworzących agregaty rozetkowe w granicie. Kamieniołom granitu w Borowie; **E** – mineralizacja molibdenitowa (Mlb) występuje w postaci blaszkowych naskorupień w monzogranicie. Kamieniołom granitu w Granicznej; **F** – mineralizacja molibdenitowa (Mlb) występuje w postaci gniazdowych impregnacji w monzogranicie biotytowo-hornblendowym. Kamieniołom granitu w Granicznej; **G** – powyginany agregat blaszkowy molibdenitu (Mlb) w kwarcu. Kamieniołom Morów k/Strzegomia; **H** – molibdenit (Mlb) tworzy cienkie blaszki na powierzchni spękań i w kataklazytach. Kamieniołom granitu dwulfosyfkowego w Siedlimowicach

Molybdenite mineralization from the Strzegom-Sobótka granite massif

A – molybdenite (Mlb) blades are curved and form separate aggregates in pegmatitic granite. The Andrzej granite quarry in Strzegom; **B** – molybdenite-bearing quartz veins cut pegmatitic rocks with characteristic micrographic intergrowths of quartz and K-feldspar. The Andrzej granite quarry in Strzegom; **C** – molybdenite (Mlb) fine-grained flakes form irregularly distributed aggregates within granite. Borów quarry; **D** – molybdenite (Mlb) fine-grained flakes form irregularly distributed aggregates within granite. The Borów quarry; **E** – molybdenite (Mlb) rosette-like aggregates disseminated within monzogranite. Graniczna granite quarry; **F** – molybdenite (Mlb) rosette-like aggregates disseminated within biotite-hornblende monzogranite. The Graniczna granite quarry; **G** – molybdenite (Mlb) blades are curved and form separate large aggregate in quartz. The Morów granite quarry near Strzegom; **H** – molybdenite (Mlb) thin wafers on fractured surfaces and within cataclastic rocks. Siedlimowice two-mica granite quarry

BORÓW

W rejonie Borowa, około 6 km na zachód od Strzegomia, stwierdzono molibdenit w kilku kamieniołomach, przy czym najciekawsze wystąpienie zlokalizowano w południowo-wschodniej części największego łomu (fig. 1). W obrębie silnie zmienionych granitów hornblendowo-biotytowych stwierdzono bogate nagromadzenia molibdenitu osiągające od 0,90 do 1,32% Mo (Pendias, Walenczak, 1956). W zmienionych partiach granitu (albityzacja, serycytyzacja, chlorytyzacja) występują kilkucentymetrowej średnicy agregaty ziarniste siarczków Mo (Sałaciński, 1978; Mikulski, Stein, 2005). Molibdenit występuje również w żyłkach kwarcowych (o kierunku NW–SE i grubości do kilku cm). Molibdenit w żyłkach występuje samodzielnie. Molibdenit występujący na powierzchniach spękań tworzy rozetki do 2 cm średnicy, a molibdenit stwierdzony w żyłkach kwarcowych nawet do 3 cm średnicy. Większe blaszki molibdenitu przerastają się z plagioklazami. Piryty jest najczęściej występującym siarczkiem. Pirytowi podrzędnie towarzyszą ilmenit, rutyl oraz markasyt. Chalkopiryty oraz bizmut rodzimy stwierdzano rzadko w paragenezie mineralnej z molibdenitem. Jednak chalkopiryty tworzy głównie niewielkie ziarenka występujące razem ze sfalerytem w postaci wprysnięć w żyłkach kwarcowych i w druzach. Bizmut rodzimy obecny jest również w postaci niewielkich wydzieleni w obrębie siarkosoli bizmutu i ołowiu. Molibdenit występuje w postaci blaszkowatych agregatów ziarnistych w przerostach kwarcowo-skalieniowych w granitach hornblendowo-biotytowych (fig. 3C, D). Koncentracje Re i ^{187}Os są na średnim poziomie (odpowiednio ok. 11–12 ppm Re i 34–38 ppb ^{187}Os ; tab. 1). Wiek Re-Os dwóch próbek molibdenitów z Borowa jest zbliżony i wynosi odpowiednio: 298 ± 1 i 297 ± 2 mln lat (Mikulski, Stein, 2007).

GRANICZNA

Mineralizacja molibdenitowa występuje w kilku kamieniołomach na stoku wzgórza 323,5 m n.p.m., w odległości około 1 km na północny zachód od wioski Graniczna, w NW części granitowego masywu Strzegom–Sobótka (fig. 1). W okolicach Granicznej stwierdzono występowanie biotytowego granitu monzonitowego wraz z fragmentami zmetamorfizowanych skał łupkowych oraz z przejawami pneumatolityczno-hydrotermalnego okruszczenia (Sałaciński, 1978). Lokalnie w obrębie silnie zmienionych granitów monzonitowych stwierdzono bogate nagromadzenia molibdenitu, osiągające do 1,2%

Mo (Mikulski, Stein, 2005). Minerale kruszcowe występują w postaci rozproszonych impregnacji w strefach zsercytyzowanych, zalbityzowanych i schlorotyzyzowanych. W tak zmienionych partiach granitu występują rozetkowe agregaty ziarniste molibdenitu oraz w mniejszej ilości bizmut rodzimy, bizmutynit oraz chalkopiryty (fig. 3E, F). Ilmenit i rutyl występują licznie w granitach. Molibdenit tworzy rozetki od 5 do 10 mm średnicy. Większe blaszki molibdenitu przerastają się z plagioklazami oraz zawierają przerosty bizmutu. Minerale bizmutu obecne są również w postaci skupień rozsianych w minerałach skałotwórczych, głównie w plagioklazach. Chalkopiryty tworzy niewielkie ziarenka występujące razem z molibdenitem. Koncentracje Re i Os w zbadanej próbce molibdenitu są stosunkowo wysokie, ponieważ wynoszą około 58 ppm Re i około 180 ppb ^{187}Os (tab. 1, próbka nr MDID-698). Wiek Re-Os molibdenitu określono na 297 ± 1 mln lat (Mikulski, Stein, 2007).

SIEDLIMOWICE

Mineralizację kruszczową z molibdenitem stwierdzono w łomie granitu, około 1,5 km na zachód od wioski Siedlimowice, w NE części masywu Strzegom–Sobótka, gdzie występuje granit dwulyszczkowy. W stosunku do innych skał tego masywu, granit z Siedlimowic zawiera duże ilości muskowitu oraz niekiedy drobne ziarna granatów. W granitach dwulyszczkowych dość często spotyka się żyły kwarcowe i strefy pegmatytowe osiągające od kilku do kilkudziesięciu centymetrów miąższości i kilka metrów długości. W partiach pegmatytowych obserwuje się znaczny wzrost zawartości muskowitu i kwarcu. Tutaj również często pojawiają się drobne granaty (spessartyn, almandyn) oraz spotyka się niewielkie kryształy berylu czy molibdenitu. Kwarc na ogół nie tworzy osobników automorficznych, najczęściej jest ksenomorficzny, szary i bardzo silnie spękany. Wśród minerałów kruszczowych dominuje molibdenit oraz ilmenit, rzadziej pojawiają się piryt, bizmut rodzimy oraz bizmutynit. Molibdenit występuje rzadko, tworząc srebrzyste, cienkie blaszki o grubości poniżej 2 mm i średnicy do 25 mm, ułożone płasko lub promieniście (fig. 3H). Sporadycznie pojawia się beryl w postaci sześciobocznych słupków. Muskowit występuje w postaci srebrzystoszarych kilkucentymetrowych pakietów, ułożonych niekiedy wachlarzowato. W zbadanych próbkach molibdenitu koncentracje Re są od około 6 do 10 ppm, a koncentracje ^{187}Os od około 16 do 27 ppb (tab. 1). Wiek izotopowy Re-Os molibdenitów z Siedlimowic określono na $257\text{--}258 \pm 1$ mln lat (Mikulski, Stein, 2007).

DATOWANIA MOLIBDENITÓW ZE STREFY KONTAKTU BLOKU MAŁOPOLSKIEGO Z BLOKIEM GÓRNOŚLĄSKIM

REJON MYSŁOWA

Oznaczenia wieku Re-Os wykonano w dwóch próbkach molibdenitów pochodzących z wierceń 20-KW i 37-WB, zlokalizowanych około 5 km na zachód od Myszkowa (fig. 4). Rejon Mysłowa usytuowany jest w obrębie ząbiających się tektonicznie segmentów bloku górnośląskiego i małopolskiego strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec (Buła i in., 2002). Magmatyzm jest tu silnie rozwinięty i reprezentowany przez waryscyjskie kwaśne skały magmowe oraz liczne dajki diabazów, porfirów ryolitowych i dacytowych. Wszystkie nawiercone w tym rejonie skały paleozoiku uległy lokalnie intensywnym zmianom metasomatycznym, a skały węglanowe oskarnowaniu i lokalnie okruszczeniu (Truszel, Karwowski, 2003, Karwowski i in., 2004; Oszczeplski i in., 2010). Przedmiotem badań wieku Re-Os molibdenitu z otworu 20-KW była próbka pochodząca z głębokości 324 m. W próbkach z tej głębokości molibdenit występuje w żyłkach kwarcowych z pirytem i chalkopirytem, które tną zbrekcowany ryolit. Mikrożyłki molibdenitu o rozmiarze do ok. 1–2 mm tworzą sieć pajęczą w zmienionym ryolicie (fig. 5A). Kwarc w żyłkach jest ciemnoszary. Skalenie w ryolicie są zastąpione przez illit. Powszechne są naskorupienia

węglanów. W zbadanym molibdenicie zawartości Re (ok. 27 ppm) oraz ^{187}Os (ok. 87 ppb) są na poziomie średnich koncentracji, a oznaczony wiek Re-Os wynosi 301 ± 2 mln lat (tab. 1, próbka nr MDID-658).

W otworze 37-WB wiek molibdenitu oznaczono w próbce pochodzącej z głębokości 352 m. Molibdenit występuje tu także w paragenezie z pirytem i chalkopirytem w żyłkach kwarcowych przecinających metałowce. Molibdenit obecny jest w formie cienkich łuseczek o długości do 2 mm w obrębie brunatnych żyłek (do 1 mm grubości, tnących szarozielony skarn (fig. 5B). Molibdenit ten zawiera podobne do molibdenitu z otworu 20-KW średnie koncentracje Re i Os (tab. 1, próbka nr MDID-668). Jego wiek jest zbliżony do wieku molibdenitu z otworu 20-KW i wynosi 301 ± 2 mln lat.

REJON NOWEJ WSI ŻARECKIEJ

Przedmiotem badań Re-Os były dwie próbki molibdenitów pochodzące z głębokości 267 m i 285 m z wiercenia 60-Ż, zlokalizowanego około 4 km od strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec, w waryscyjskiej intruzji granitoidowej (fig. 4). Najbogatszą mineralizację kruszcową, typową

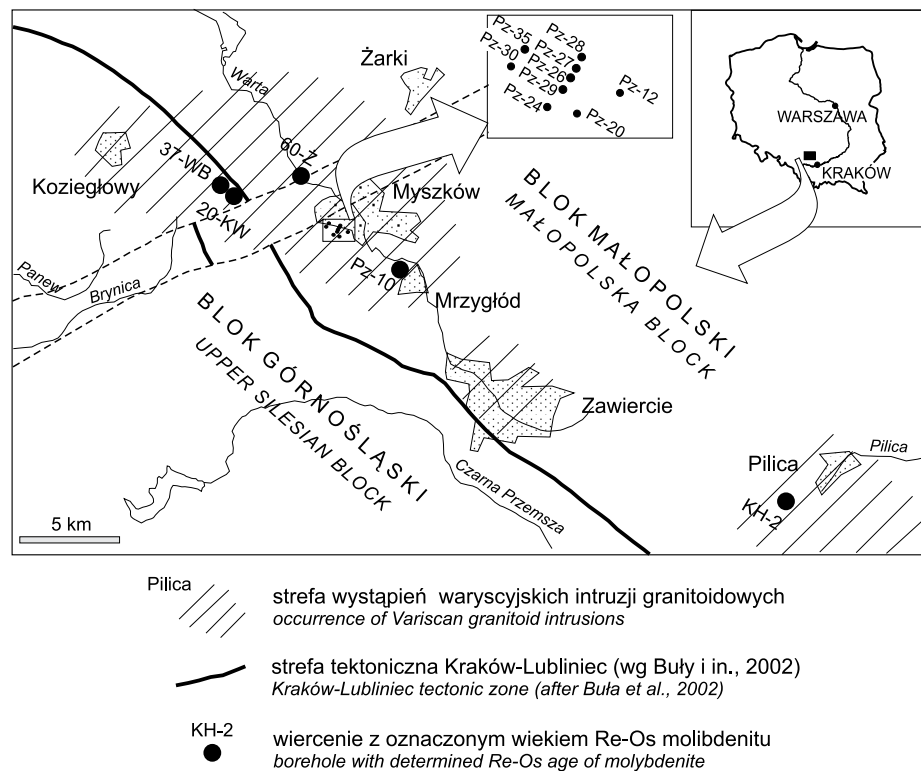


Fig. 4. Lokalizacja otworów w strefie kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim, z których pobrano molibdenity do określenia wieku metodą Re-Os

Location of the boreholes from the contact zone of the Małopolska Block with the Upper Silesian Block, from which molybdenite samples for Re-Os studies were collected

dla formacji porfirowej, rozpoznano w wierceniach Pz-38 i Pz-40 (Markowiak i in., 1994; Oszczepalski i in., 2008; Mikulski i in. 2009). W otworze 60-Ż dominuje również mineralizacja impregnacyjno-żyłkowa, jednak nie jest ona zbyt intensywna. Molibdenit najczęściej występuje w postaci blaszek i pręcików o długości 1–2 mm wraz z chalkopirytem oraz w granitoidach (głębokość: 212 m i 240 m) w postaci gruboziarnistych agregatów z scheelitem.

Pierwsza próbka molibdenitu do badań Re-Os (tab. 1, próbka nr MDID-661) pochodziła z głębokości 267,2 m. Molibdenit występuje w formie naskorupienia o grubości 1 mm na powierzchni około 5 cm², w brązowo-cielistym ryolicie (fig. 5C). Molibdenitowi towarzyszy kwarc, impregnacja pirytem i pojedyncze ziarenka scheelitu. Ryolit jest silnie zwiętrzały, zawiera liczne pseudomorfozy kaolinitu po plagioklazach. Koncentracje Re i ¹⁸⁷Os w analizowanym molibdenicie wynoszą odpowiednio: około 21 ppm i 66 ppb. Oznaczony wiek krystalizacji tego molibdenitu wynosi 300 ± 2 mln lat.

Druga próbka molibdenitu pochodzi z głębokości 285 m. Molibdenit w postaci niewielkich pojedynczych blaszek i agregatów ziarnistych występuje w żyłce kwarcowo-skaleniowej w obrębie czerwonego granitu porfirowego. Granit jest silnie sfeldspatyzowany i zargilityzowany oraz pocięty młodszą generacją żyłek pirytowych. Koncentracje Re i ¹⁸⁷Os w analizowanym molibdenicie (MDID-612) wynoszą odpowiednio: około 87 ppm Re i 274 ppb Os, a wiek jego krystalizacji wynosi 299 ± 2 mln lat.

REJON ZŁOŻA MYSZKÓW

W centralnej części omawianej strefy kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim występuje złożo Mo-Cu-W Myszków. Jest to złożo typu porfirowego, związane z waryscyjskimi granodiorytami (Piekarski, 1994a; 1995; Markowiak i in., 1994, 2009; Podemski i in., 2001; Lasoń, 2003; Karwowski i in., 2005; Oszczepalski i in., 2008, 2010). Bogata mineralizacja kruszcowa jest związana z procesami kontaktowo-metasomatycznymi i pomagmowo-hydrotermalnymi wokół górnokarbońskich intruzji granodiorytowych oraz młodszych subwulkanicznych – dacytowych. Odnośnie genezy mineralizacji molibdenitowej były przedstawiane również i inne poglądy, np. Harańczyk (1979; 1983) czy Piekarski (1982), którzy nie wykluczali powstania przynajmniej części rozpoznanych mineralizacji kruszczowych również przed uformowaniem się granitoidowych intruzji waryscyjskich. Odmienny model genetyczny dla mineralizacji w złożu Myszków, na podstawie badań zawartości izotopów Re i Os w molibdenitach, przedstawili również Stein i inni (2005). Łączyli oni genezę mineralizacji zbadanych molibdenitów z rejonu złoża w Myszkowie z procesami magmowo-metamorficznymi związanymi z szybkim wynoszeniem górotworu waryscyjskiego i metasomatozą skał w czasie jego ekshumacji.

Zbadano 12 próbek molibdenitów pochodzących z 9 otworów wiertniczych, zlokalizowanych w obrębie złoża Myszków (fig. 4, tab. 1). Przedmiotem badań były głównie molibdenity występujące w żyłkach kwarcowych w paragenzie z chalkopirytem i pirytem, tnące skały granitoidowe (fig. 5D), jak również skały metaklastyczne w szerokim zakresie głębokości, od 330 m (wiercenie Pz-30) do ok. 1300 m (wiercenie Pz-27). Jedna próbka molibdenitu pochodziła ze skarnu, z głębokości ok. 193 m z wiercenia Pz-12. Koncentracje Re i Os w zbadanych próbkach molibdenitów są w szerokim zakresie: od ok. 0,5 ppm (Pz-27) do ok. 74 ppm (Pz-35) dla Re i w zakresie od ok. 1,6 ppb (Pz-27) do ok. 217 ppb (Pz-24) dla ¹⁸⁷Os. Pomimo zróżnicowanej koncentracji Re i ¹⁸⁷Os, ich stosunki izotopowe są zbliżone i dlatego charakteryzują się one wąskim zakresem wieku krystalizacji. Wiek izotopowy Re-Os w zbadanych molibdenitach z obszaru złoża Myszków znajduje się w przedziale od 300 ± 1 mln lat (Pz-30) do 296 ± 1 mln lat (wiercenia Pz-12 i Pz-27) (Stein i in., 2005).

REJON PILICY

Magmatyzm rejonu Pilicy, podobnie jak w rejonie Myszkowa, koncentruje się w południowo-zachodniej, krawędziowej części bloku małopolskiego (fig. 4). Związany jest on z aktywnością strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec, od której hipotetyczne centrum intruzji granitoidowej oddalone jest około 4 km (Bukowy, Ślusarz, 1975; Piekarski, 1994b; Oszczepalski i in., 2010). Na mapie odkrytej paleozoiku rejon Pilicy leży na podmezozoicznych wychodniach ediakaru (Buła i in., 2002).

Molibdenit będący przedmiotem badań pochodził z otworu KH-2, z głębokości 805,6 m. Przejawy mineralizacji kruszczowej stwierdzone w tym otworze mają charakter impregnacyjno-żyłkowy. Wśród głównych minerałów należy wymienić piryty, chalkopiryty i molibdenit. W skałach metaklastycznych dominuje drobnoziarnista impregnacja pirytem, a w skałach granodiorytowych głównie chalkopiryty. Skały magmowe cechują intensywne przeobrażenia (feldspatyzacja i biotytyzacja, a lokalnie serycytyzacja i kaolinityzacja). W żyłkach kwarcowych (głębokość 1071,5 m), grubości do kilku mm, stwierdzono obecność molibdenitu w formie średniej wielkości łuseczkowych agregatów (do 1 cm długości), któremu towarzyszą piryty i chalkopiryty. W silnie zmienionych granitoidach stwierdzono również drobnoziarnisty wolframit oraz pseudomorfozy minerałów tytanu po ilmenicie. Zbadany molibdenit występuje w postaci drobnoziarnistych agregatów naskorupień na zsylikowanych powierzchniach spękań (fig. 5E). Zawartości Re i Os są wysokie i wynoszą odpowiednio: około 56 ppm i powyżej 173 ppb ¹⁸⁷Os. Wiek izotopowy Re-Os molibdenitu (MD-1155) z wiercenia KH-2 określono na 296,3 ± 1,4 mln lat (tab. 1).

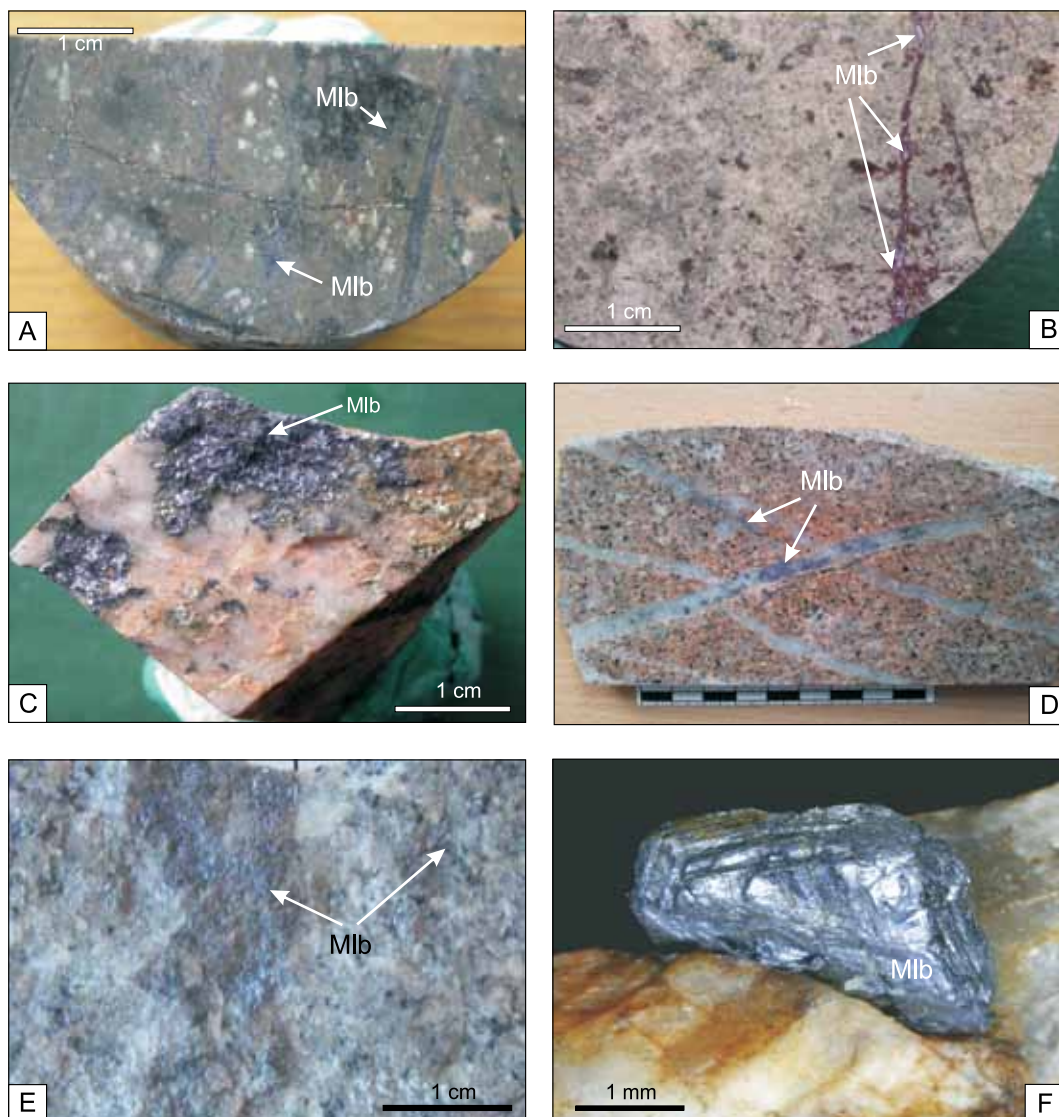


Fig. 5. Mineralizacja molibdenitowa ze strefy kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim i z Tatr, będąca przedmiotem badań Re-Os

A – żyłkowo-impregncyjna mineralizacji molibdenitowa w asocjacji z chalkopirytem i pirytem. Rejon Mysłowa. Wiercenie 20 KW, głębokość 324,2 m; **B** – żyłki molibdenitu wypełniające spękania w skarnie. Rejon Mysłowa. Wiercenie 37-WB, głębokość 352 m; **C** – żyłka kwarcowa z molibdenitem (Mlb) i chalkopirytem wypełnia spękanie w zmienionym porfirze. Rejon Nowej Wsi Żareckiej. Wiercenie 60-Ż, głębokość 267,2 m; **D** – mineralizacja molibdenitowa (Mlb) w sztokwerku kwarcowym. Rejon Myszkowa, wiercenie Pz-29, głębokość 1009,4 m; **E** – żyłkowo-impregncyjna mineralizacja molibdenitowa w asocjacji z chalkopirytem i pirytem. Rejon Pilicy. Wiercenie KH-2, głębokość 805,6 m; **F** – molibdenit w postaci cienkich heksagonalnych blaszek tworzących niewielki agregat krystaliczny. Gołoborze na Wołowcu, Tatry

Molybdenite mineralization from the contact zone of the Małopolska Block and the Upper Silesian blocks and from the Tatra Mountains studied for Re-Os isotopes

A – molybdenite mineralization of veinlet-impregnation type associated with chalcopyrite and pyrite. Region of Mysłów, 20-KW borehole, 324.2 m depth; **B** – molybdenite veinlets filling fractures within skarn. Region of Mysłów, 37-WB borehole, depth 352 m; **C** – quartz veinlet with molybdenite (Mlb) and chalcopyrite cut altered porphyre. Region of Nowa Wieś Żarecka, 60-Ż borehole, 267.2 m depth; **D** – molybdenite (Mlb) mineralization in quartz stockworks. Region of Myszków, Pz-29 borehole, 1009.4 m depth; **E** – molybdenite mineralization of veinlet-impregnation type associated with chalcopyrite and pyrite. Region of Pilica, KH-2 borehole, 805.6 m depth; **F** – thin hexagonal blades of molybdenite form small crystal aggregate. Debris slope of Wołowiec Mt., in the Polish Tatra Mountains

DATOWANIA MOLIBDENITU Z TATR

Pierwsze datowania wieku molibdenitu z polskiej części Tatr przedstawiono na konferencji Goldschmidt w 2011 r. (Mikulski i in., 2011). Molibdenit dostarczony przez A. Gawędę został znaleziony w gołoborzu, na północnym zboczu Wołowca (ok. 1580 m n.p.m.) (fig. 6). Molibdenit występuje w postaci pojedynczych izolowanych blaszek (<3 mm dłu-

gości) lub tworzy małe agregaty ziarniste (<5 mm średnicy) w pegmatycie, w obrębie gruboziarnistego zbrekcjowania leukokratycznego granitu porfirowego (fig. 5F). Wraz z molibdenitem występują: skałen potasowy, albit, kwarc i gruboziarnisty muskowit. Molibdenit zawiera około 16,5 ppm Re i około 61 ppb ^{187}Os . Obliczony wiek izotopowy Re-Os wynosi $350,5 \pm 1,2$ mln lat.

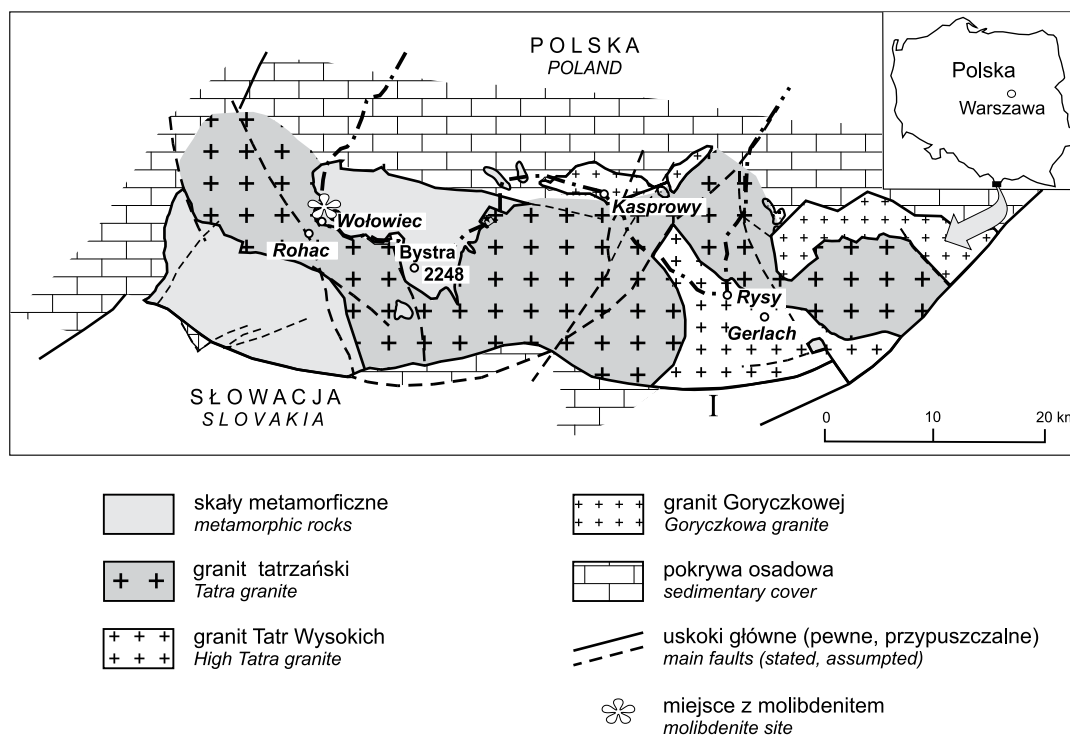


Fig. 6. Uproszczonego schematu geologicznego Tatr (według Burdy i Gawędy, 2009)

Simplified geological sketch of the Tatra Mountains (after Burda and Gawęda, 2009)

WNIOSKI

1. W artykule przedstawiono wyniki 38 oznaczeń wieku izotopowego Re-Os molibdenitów pochodzących z różnych obszarów warwicyjskich intruzji granitoidowych w Polsce (Sudety, blok przedsudecki, strefa kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim oraz Tatry). Większość wyników była sukcesywnie publikowana, we współautorstwie z innymi autorami, w różnych materiałach konferencyjnych w okresie 2005–2011 (patrz bibliografia). W tych publikacjach szczegółowo opisano sukcesje mineralizacji kruszców z odniesieniem do procesów magmowo-tektonicznych w poszczególnych obszarach.

2. Najstarszy wiek izotopowy Re-Os krystalizacji wśród zbadanych molibdenitów uzyskano dla próbki pochodzącej z Tatr – $350,5 \pm 1,2$ mln lat.

3. Wiek Re-Os krystalizacji molibdenitów w masywie karkonoskim (od 326 ± 1 do 310 ± 1 mln lat) jest starszy od

wieku krystalizacji molibdenitów w masywie strzegomskim (od 309 ± 1 do 296 ± 2 mln lat).

4. Zakres wiekowy krystalizacji molibdenitów ze strefy kontaktu bloku małopolskiego z blokiem górnośląskim mieści się w czasie od 301 ± 2 mln lat do $296,3 \pm 1,4$ mln lat.

5. Wiek Re-Os krystalizacji molibdenitów z wyżej wymienionych obszarów wskazuje na rozwój procesów magmowych przejawiających się silną aktywnością pneumatolityczną i hydrotermalną w czasie od wczesnego missisipu (karbon) po wczesny cisural (perm).

6. Najmłodszy izotopowy wiek Re-Os krystalizacji molibdenitów stwierdzono w próbkach pochodzących ze wschodniej części masywu Strzegom–Sobótka (kamieniołom w Siedlimowicach) – 257 ± 1 mln lat oraz ze wschodniej osłony masywu Karkonoszy (zarzucone złożo Cu–U Miedzianka) – 213 ± 1 mln lat. Wieki molibdenitów wskazują na

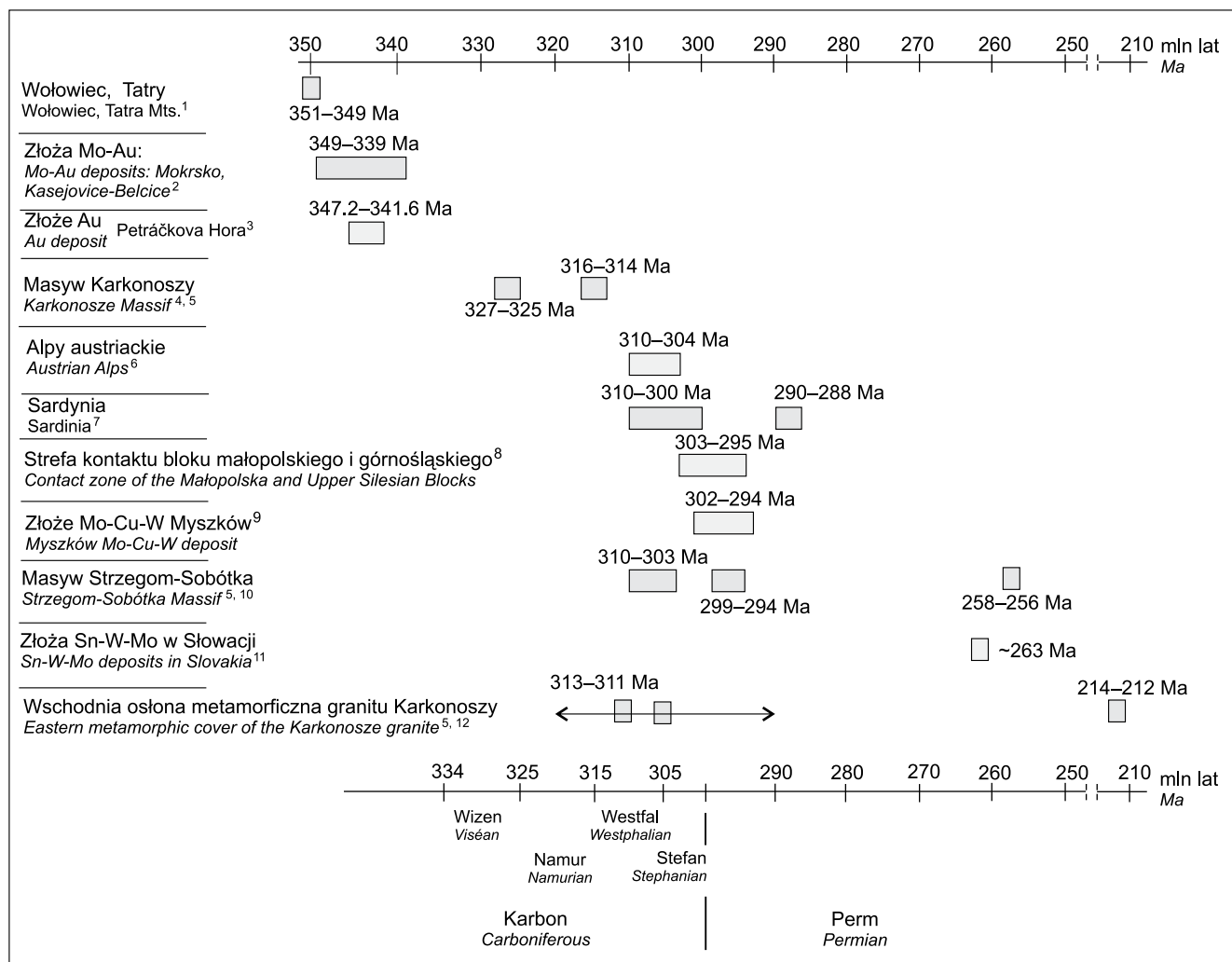


Fig. 7. Porównanie wieku Re-Os mineralizacji molibdenitowej występującej na obszarze Polski z innymi obszarami w europejskich waryscydach

The comparison of Re-Os age of molybdenites from Poland with other areas from the European Variscides

1 – Mikulski i in., 2011; 2 – Zachariaš, Stein, 2001; 3 – Zachariaš i in., 2001; 4 – Mikulski i in., 2005c; 5 – Mikulski, Stein, 2007; 6 – Langthaler i in., 2004; 7 – Boni i in., 2003; 8 – ten artykuł, this article; 9 – Stein i in., 2005; 10 – Mikulski, Stein, 2005; 11 – Kohút, Stein, 2005; 12 – Mikulski, Stein, 2011

procesy kataklazy i remobilizacji roztworów hydrotermalnych również w młodszych okresach, tj. w późnym permie i triasie.

7. Dotychczasowe wyniki badań izotopowych molibdenitów z obszaru Polski pozwoliły określić relacje czasowe pomiędzy poszczególnymi etapami krystalizacji kruszców, procesami magmowo-hydrotermalnymi oraz tektonicznymi w ciągu ok. 140 mln lat, tj. od missisipu (karbon) do noryku (późny trias) w różnych obszarach wystąpień waryscyjskich intruzji granitoidowych w Polsce.

8. Przeglądowe porównanie wyników datowań wieku Re-Os mineralizacji molibdenitowych na obszarze Polski z obszarami w europejskich waryscydach (fig. 7) wskazuje na zbieżność czasową krystalizacji molibdenitów oraz ich korelację z regionalnymi i lokalnymi procesami magmowo-tektonicznymi wokół intruzji granitoidowych.

Przedstawione w artykule najnowsze wyniki badań wykonano w ramach grantu badawczego N N 525 393739, sfinansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

LITERATURA

- BONI M., STEIN H.J., ZIMMERMAN A., VILLA I.M., 2003 — Re-Os age for molybdenite from SW Sardinia (Italy): A comparison with $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Variscan granitoids. *W: Mineral Exploration and Sustainable Development* (red. D. Eliopoulos i in.): 247–250. Millpress, Rotterdam.
- BUKOWY S., ŚLÓSZARZ J., 1975 — Profil paleozoiku i mezozoiku w Smoleniu koło Pilicy. *Biul. Inst. Geol.*, **282**: 419–446.
- BUŁA Z. (red.), HABRYN R., KRIEGER W., KUREK S., MARKOWIAK M., WOŹNIAK P., 2002 — Atlas geologiczny paleozoiku bez permu w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BURDA J., GAWĘDA A., 2009 — Shear-influenced partial melting in the Western Tatra metamorphic complex: geochemistry and geochronology. *Lithos*, **110**, 373–385.
- GAJDA E., 1960a — Żył pegmatytowe okolic Szklarskiej Poręby (Karkonosze). *Kwart. Geol.*, **4**, 3: 546–564.
- GAJDA E., 1960b — Minerale żył pegmatytowych okolic Szklarskiej Poręby (Karkonosze). *Kwart. Geol.*, **4**, 3: 565–587.
- HARAŃCZYK C., 1979 — Metallogenic evolution of the Silesia-Cracow region. *Pr. Inst. Geol.*, **95**: 109–132.
- HARAŃCZYK C., 1983 — Paragenety mineralne w złożach krakowidów i ich pokrywy. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **53**, 1–4: 91–126.
- KANASIEWICZ J., MIKULSKI S.Z., 1989 — O możliwości występowania złóż molibdenu formacji miedziowo-molibdenowej w strzegomskim masywie granitowym. *Prz. Geol.*, **37**, 3: 129–134.
- KARWOWSKI Ł., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., TRUSZEL M., 2005 — Geochemiczno-petrologiczne przesłanki Mo-W-Cu mineralizacji typu złóż porfirowych rejonu krakowsko-lublinieckiego. *Przew. 76 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Rudy k/Rybnika: 75–79. Warszawa.
- KARWOWSKI Ł., MARKIEWICZ J., TRUSZEL M., 2004 — Preliminary data of intrusive breccia from Mysłów (Kraków–Lubliniec tectonic zone). *Pr. Spec. PTMin.*, **24**: 215–218.
- KARWOWSKI Ł., OLSZYŃSKI W., KOZŁOWSKI A., 1973 — Mineralizacja wolframitowa z okolic Szklarskiej Poręby Huty. *Prz. Geol.*, **14**, 12: 633–637.
- KARWOWSKI Ł., WŁODYKA R., KURDZIEL M., 1983 — Warunki powstawania minerałów druzowych w Michałowicach (Karkonosze). *Arch. Mineral.*, **39**, 1: 29–39.
- KOHÚT M., STEIN H.J. 2005 — Re-Os molybdenite dating of granite-related Sn-W-Mo mineralisation at Hnilec, Gemeric Superunit, Slovakia. *Mineral. Petrol.*, **85**: 117–129.
- KOZŁOWSKI A., KARWOWSKI Ł., OLSZYŃSKI W., 1975 — Tungsten-tin-molybdenum mineralization in the Karkonosze massif. *Acta Geol. Polon.*, **25**, 3: 415–430.
- LANGTHALER K.J., RAITH J.G., CORNELL D.H., STEIN H.J., MELCHER F., 2004 — Molybdenum mineralization at Alpeiner Scharte, Tyrol (Austria): results of in-situ U-Pb zircon and Re-Os molybdenite dating. *Mineral. Petrol.*, **82**: 33–64.
- LASOŃ K., 2003 — Geochemia molibdenowo-wolframowego złoża porfirowego Myszków. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **405**: 87–108.
- LIS J., SYLWESTRZAK H. 1986 — Minerale Dolnego Śląska: 1–791. Wyd. Geol., Warszawa.
- MARKEY R., HANNAH J.L., MORGAN J.W., STEIN H.J., 2003 — A double spike for osmium analysis of highly radiogenic samples. *Chem. Geol.*, **200**: 395–406.
- MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., MIKULSKI S.Z., 2009 — Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w prekambryjsko-paleozoicznych utworach strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prz. Geol.*, **57**, 4: 308.
- MARKOWIAK M., PIEKARSKI K., ŚLÓSZARZ J., HABRYN R., MARKIEWICZ J., TRUSZEL M., LASOŃ K., JURA D., BADERA J., 1994 — Wyniki badań geologicznych i złożowych paleozoicznego podłoża w obszarze Myszków–Mrzygłód. *Przewodnik 65 Zjazdu Pol. Tow. Geol. w Sosnowcu. Pr. Nauk. UŚl.*, **1431**: 173–217.
- MAYER W., CREASER R., MOCHNACKA K., OBERC-DZIEDZIC T., PIECZKA A., 2012 — Isotopic Re-Os age of molybdenite from the Szklarska Poręba Huta quarry (Karkonosze, SW Poland). *Geol. Quart.*, **56**, 3: 505–512.
- MIKULSKI S.Z., 2007a — The late Variscan gold mineralization in the Kaczawa Mountains, Western Sudetes. *Pol. Geol. Inst. Sp. Pap.*, **22**: 1–162.
- MIKULSKI S.Z., 2007b — Metal ore potential of the parent magma of granite – the Karkonosze massif example. *W: Granitoids in Poland* (red. A. Kozłowski, J. Wiszniewska). *Arch. Mineral. Monogr.*, **1**: 123–145.
- MIKULSKI S.Z., STEIN, H.J., 2005 — The Re-Os age for molybdenite from the Variscan Strzegom–Sobótka massif, SW Poland. *W: Mineral deposit research: Meeting the global challenge* (red. J. Mao, F.P. Bierlein): 789–792. Springer.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2007 — Re-Os age for molybdenite from the Western Sudetes, SW Poland. *W: Granitoids in Poland* (red. A. Kozłowski, J. Wiszniewska). *Arch. Mineral. Monogr.*, **1**: 203–216.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2008 — Re-Os age of molybdenite from the Karkonosze massif (SW Poland). 33rd IGC, 6-14 August 2008 Oslo, Norway. Abstract CD-ROM.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J., 2011 — Re-Os ages for molybdenites from the Variscan Karkonosze massif and its eastern metamorphic cover (SW Poland) *W: Let's talk ore deposits* (red. F. Barra, M. Reich, E. Campos, F. Tornos). Volumen I: 130–133. Ediciones Universidad Catolica del Norte, Antofagasta.
- MIKULSKI S.Z., MARKEY R.J., STEIN H.J., 2005a — The first Re-Os ages of auriferous sulfides from European Variscides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69** (10S): A572.
- MIKULSKI S.Z., MARKEY R.J., STEIN H.J., 2005b — Re-Os ages for auriferous sulfides from the gold deposits in the Kaczawa Mountains (SW Poland). *W: Mineral deposit research: Meeting the global challenge* (red. J. Mao, F.P. Bierlein): 793–796. Springer.
- MIKULSKI S.Z., MARKEY R.J., STEIN H.J., 2005c — Determination of sulfide ages from Lower Silesia using the Re-Os method. *Mineral. Soc. Poland. Sp. Pap.*, **26**: 215–218.
- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., STARNAWSKA E., GIRO L., 2009 — Nowe dane o mineralizacji tellurkowej z obszaru kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prz. Geol.*, **57**, 4: 310.
- MIKULSKI S.Z., GAWĘDA A., STEIN H.J., 2011 — Re-Os age of a molybdenite from the Tatra Mts., Poland. *Mineral. Mag.*, **75**, 3: 1470.

- MOCHNACKA K., 1966 — Minerale kruszcowe złoża polimetalicznego w Kowarach (Dolny Śląsk). *Pr. Mineral. PAN Oddz. w Krakowie Kom. Nauk Min.*: 1–71.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., BUŁA Z., LASOŃ K., MIKULSKI S., HABRYN R., TRUSZEL M., PAŃCZYK M., SIKORA R., WOŹNIAK P., MUCHA J., WASILEWSKA M., KARWOWSKI Ł., MARKIEWICZ J., WOJCIECHOWSKI A., URBAŃSKI P., SATERNUS A., CUDAK J., BRAŃSKI P., 2008 — Prognoza złożowa podłoża paleozoiczno-prekambryjskiego NE obrzeżenia GZW. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., LASOŃ K., BUŁA Z., HABRYN R., 2010 — Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w prekambryjsko-paleozoicznych utworach – analiza prognostyczna strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **429**: 339–354.
- PENDIAS H., WALENCZAK Z., 1956 — Objawy okruszcowania w północno-zachodniej części masywu strzegomskiego. *Biul. Inst. Geol.*, **227**: 209–228.
- PIECZKA A., GOŁĘBIEWSKA B., 2002 — Pegmatites of the Szklarska Poręba Huta granite quarry: preliminary data on REE mineralization. *PTMin. Sp. Pap.*, **20**: 175–177.
- PIEKARSKI K., 1982 — Łupki molibdenonośne z okolic Myszkowa. *Prz. Geol.*, **30**, 7: 335–340.
- PIEKARSKI K., 1994a — Pozycja strukturalna i budowa złoża rud molibdenowo-wolframowo-miedziowych Myszków. *Przew. 65 Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Sosnowiec. Pr. Nauk. UŚI., **1431**: 58–68.
- PIEKARSKI K., 1994b — Ocena wyników poszukiwań złóż polimetalicznych obszaru Pilicy. *Prz. Geol.*, **42**, 8: 621–624.
- PIEKARSKI K., 1995 — Geologic setting and ore mineralisation characteristics of the Myszków area (Poland). *Geol. Quart.*, **39**, 1: 31–42.
- PODEMSKI M. (red.), BUŁA Z., CHAFFEE M. A., CIEŚLA E., EPPINGER R., HABRYN R., KARWOWSKI Ł., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., SNEE L. W., ŚLÓSZARZ J., TRUSZEL M., WYBRANIEC S., ŻABA J., 2001 — Paleozoic porphyry molybdenum-tungsten deposit in the Myszków area, southern Poland. *Pol. Geol. Inst. Sp. Pap.*, **6**: 1–87.
- SALAĆIŃSKI R., 1973 — Mineralizacja kruszcowa w aplogranicie rejonu Paszowic na Dolnym Śląsku. *Acta Geol. Pol.*, **23**: 587–596.
- SALAĆIŃSKI R., 1978 — Mineralizacja kruszcowa i jej geneza w granitoidowym masywie strzegomskim. *Biul. Inst. Geol.*, **308**: 41–90.
- SIUDA R., 2012 — Minerale srebra z kopalni Friederike Juliane w Ciechanowicach (Sudety). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **448**: 315–324.
- SMOLIAR M.I., WALKER R.J., MORGAN J.W., 1996 — Re-Os ages of group III, IIIA, IVA and IVB iron meteorites. *Science*, **271**: 117–133.
- STEIN H.J., MARKEY R.J., MORGAN J.W., HANNAH J.L., SCHERSTÉN A., 2001 — The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works. *Terra Nova*, **13**: 479–486.
- STEIN H.J., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., 2005 — Metamorphic to magmatic transition captured at the Myszków Mo–W deposit, southern Poland. *W: Mineral deposit research: Meeting the global challenge* (red. J. Mao, F.P. Bierlein): 833–836. Springer.
- TRUSZEL M., KARWOWSKI Ł., 2003 — Skarns and skarn mineralisation in the Cracow-Lubliniec region (Southern Poland). *Pr. Spec. Pol. Tow. Min.*, **23**, 2: 175–178.
- TRUSZEL M., KARWOWSKI Ł., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., ŻABA J., 2006 — Magmatyzm i metamorfizm strefy tektonicznej Kraków-Lubliniec jako przesłanki występowania złóż polimetalicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **418**: 55–103.
- ZACHARIÁŠ J., STEIN H., 2001 — Re-Os ages of Variscan hydrothermal gold mineralizations, Central Bohemian Metallogenic Zone, Czech Republic. *W: Mineral deposits at the beginning of the 21st century* (red. A. Piestrzyński i in.): 851–854. A.A. Balkema Publishers.
- ZACHARIÁŠ J., PERTOLD Z., PUDILOVÁ M., ZÁK K., PERTOLDOVÁ J., STEIN H., MARKEY R., 2001 — Geology and genesis of Variscan porphyry-style gold mineralization, Petrůvkova hora deposit, Bohemian Massif, Czech Republic. *Mineral. Dep.*, **36**: 517–541.
- ZIMNOCH E., 1961 — Seria magnetytowa Kowar. *Biul. Inst. Geol.*, **171**: 1–91.
- ZIMNOCH E., 1978 — Mineralizacja kruszcowa złoża Miedzianka w Sudetach. *Biul. Inst. Geol.*, **308**: 91–122.

SUMMARY

(1) The paper shortly presents results of 38 Re-Os isotopic ages of molybdenites related to different Variscan granitoid intrusions throughout Poland (the Sudetes, Fore-Sudetic Block, contact zone of the Małopolska and Upper Silesian blocks and Tatra Mts.). More detailed information about the relation between molybdenites and other ore minerals, as well as their relation to regional magmatic-tectonic processes, have already been published for the specific regions during the last few years (see References). Most of the molybdenite mineralization described here are of mineralogical importance, however isotopic ages of molybdenites from the documented Mo-Cu-W Myszków deposit are also given.

(2) The oldest Re-Os isotopic age among the whole population of the studied molybdenites from Poland has been

yielded by a molybdenite sample from the Tatra Mountains, 350.5 ± 1.2 Ma.

(3) The Re-Os ages of molybdenite crystallization hosted by the Karkonosze Massif (326 ± 1 and 310 ± 1 Ma) are older than the ages of molybdenites hosted by the Strzegom-Sobótka Massif (from 309 ± 1 to 296 ± 2 Ma).

(4) The molybdenite crystallization from the contact zone of the Małopolska and Upper Silesian blocks are within in the time range from 301 ± 2 to 296.3 ± 1.4 Ma.

(5) All presented above results of Re-Os isotopic molybdenite ages suggests a strong development of magmatic and post-magmatic processes accompanied by pneumatolitic and hydrothermal activities from the Early Mississippian (Carboniferous) to the Early Cisuralian (Permian) in all regions.

(6) The youngest Re-Os molybdenite ages have been yielded by samples from the eastern part of the Strzegom–Sobótka Massif (Siedlimowice quarry) – 257 ± 1 Ma, and from the eastern metamorphic cover of the Karkonosze Massif (Miedzianka abandoned Cu-U deposit) – 213 ± 1 Ma. These results indicate a tectonic reactivation and re-mobilization of hydrothermal fluids in the younger periods (Late Permian and Triassic).

(7) All presented Re-Os results of molybdenite isotopic investigation from Poland allowed defining the time relation between specific stages of ore precipitation and successive

tectonic-magmatic processes during ca. 140 million years e.g. from the Mississippian (Carboniferous) to the Norian (Late Triassic) in different areas of Variscan granitoids intrusion in Poland.

(8) The review comparison of Re-Os isotopic ages of molybdenites from Poland with molybdenites from other parts of the European Variscides (Fig. 7) indicates a comparable time of molybdenite crystallization and their close correlation with regional and local tectonic-magmatic activities related to granitoid intrusions.