

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů



Křemenné žíly se zlatem v okrajových částech jílovského rudního revíru a jejich porovnání s mineralizací typu "orogenic gold"

Gold-bearing quartz veins in peripheral parts of the Jílové ore district and their comparison with the orogenic gold type of mineralization

Bakalářská práce

Tomáš Žitný

Vedoucí bakalářské práce Doc. RNDr. Jiří Zachariáš, CSc

Praha 2016

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne 31. 8. 2016

.....

Tomáš Žitný

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této práce, Doc. RNDr. Jiřímu Zachariášovi, CSc., za cenné rady a konzultace nejen při výzkumu v terénu, ale také za umožnění proniknutí do problematiky studia fluidních inkluzí.

Abstrakt

Tato práce přehledně shrnuje ložiskové typy ložisek zlata, uvádí historické přístupy v klasifikaci těchto ložisek a podrobněji se věnuje současným poznatkům. Je provedeno rozdělení ložisek zlata na jednotlivé typy, přičemž dále je věnována pozornost ložiskovému typu orogenic gold. V základních rysech jsou popsány všechny důležité charakteristiky tohoto ložiskového typu.

Další část práce je věnována ložisku Jílové u Prahy, je rozebrána jeho geologie a historie dolování v tomto historicky nejdůležitějším zlatonosném revíru v Čechách. Na jeho okraji leží méně významné zlatonosné oblasti, které nejsou dosud podrobně geologicky a geneticky zpracovány.

Tyto historicky těžené zlatonosné oblasti, konkrétně Radlík a Zahořany jsou v této práci blíže studovány. Jsou uvedena strukturní měření v těchto oblastech, a to jak na povrchových výchozech, tak strukturní měření z několika důlních děl, která se do dnešní doby dochovala. Dále jsou uvedeny geologické mapy části důlních děl, které by mohly mít význam pro interpretaci ložiskového typu. Poslední část se zabývá studiem některých odebraných vzorků, a to jednak studiem pod mikroskopem, a jednak studiem fluidních inkluzí v křemenu.

V závěru je provedeno srovnání s ložiskovým typem orogenic gold, naměřená data však nejsou dostačující k tomu, aby mohla být tato příslušnost jednoznačně potvrzena, žádný z naměřených údajů však neodporuje charakteristikám tohoto ložiskového typu.

Abstract

This thesis discusses gold deposit types, reviews historical approaches to their classification, and focuses in more detail on modern classification approaches. A new classification of gold deposits is presented, and the orogenic deposit type is described in detail. All important characteristics and features of this deposit type are presented.

The second part of this thesis discusses the geology and mining history of Jílové u Prahy, which historically has been the most important gold-bearing district in the Czech Republic. A number of other, less important gold-bearing areas are located at periphery of this district, but these areas have yet to be geologically studied in detail.

The Radlík and Zahořany gold-bearing areas are studied in detail in this thesis. Structural measurements in these areas are presented, some of which are from outcrops, while others come from several adits that have been preserved to the present day. Geological maps of parts of some these adits are presented, focusing on those that could be useful for deposit type identification. The thesis goes on to discuss gangue samples, which were studied microscopically, with fluid inclusions in quartz also subjected to study.

The final part of the thesis presents a comparison between the orogenic gold deposit type and measured data. However, the data collected as part of this thesis is insufficient to clearly identify the study areas as representing orogenic gold deposits or not. Nevertheless, the collected data do not contradict the classification of these gold-bearing areas as orogenic.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	2
Seznam obrázků.....	3
1. Úvod.....	4
2. Zlato a jeho ložiskové typy.....	5
2.1 Zlato jako minerál a prvek v zemské kůře.....	5
2.2 Ložiskové typy Au ložisek v metamorfovaných terénech.....	6
2.2.1 Ložiska typu orogenic gold.....	7
2.2.2 Ložiska vázaná na redukované intruze.....	7
2.2.3 Ložiska vázaná na oxidované intruze.....	8
2.3 Ostatní typy ložisek zlata.....	8
3. Ložiskový typ orogenic gold.....	9
3.1 Tektonické a strukturní vymezení.....	9
3.2 Globální časové vymezení vzniku.....	10
3.3 P-T podmínky vzniku.....	13
3.4 Fluidní roztoky.....	14
3.5 Mineralogie.....	14
3.6 Zdroje rudních prvků (s důrazem na Au).....	15
4. Rudní revír Jílové u Prahy.....	17
4.1 Geologie jílovského rudního revíru.....	17
4.2 Historie dobývání zlata v jílovském revíru.....	18
4.3 Radlák.....	19
4.4 Zahořany.....	20
5. Strukturně-geologická charakteristika vybraných lokalit.....	22
5.1 Radlák.....	22
5.1.1 Hluboká radlická štola.....	22
5.1.2 Strukturní měření.....	23
5.2 Zahořany.....	23
5.2.1 Štola Marie Pomocné.....	23
5.2.2 Štola Nový Vilém.....	24
5.2.3 Štola ve svahu naproti štole Nový Vilém.....	25
5.2.4 Strukturní měření.....	26
6. Studium vzorků žiloviny z oblasti Zahořan.....	26
6.1 Mikroskopie.....	26
6.2 Fluidní inkluze.....	27
7. Diskuze – porovnání okrajových částí jílovského revíru s ložisky orogenic gold.....	29
8. Závěr.....	29

Seznam použitých zkratk

BIF	Banded Iron Formation, páskovaná železná ruda
hm. % NaCl _{ekv}	Salinita vodného roztoku ~ NaCl ekvivalentu
T _{h-tot} (L)	Teplota celkové homogenizace (na kapalinu)
VMS	Volcanogenic Massive Sulphides, vulkanosedimentární ložisko

Seznam obrázků

Obr. 1 – Schématický řez hlavními typy zlatonosných ložisek s vyznačením geologické pozice a hloubky vmístění.....	6
Obr. 2 – Schéma ložisek typu orogenic gold v závislosti na hloubce vzniku a strukturním uspořádání.....	9
Obr. 3 – Rozložení prekambričských kratonů, štítových oblastí a mobilních zón fanerozoického stáří na světě.....	10
Obr. 4 – Porovnání stáří ložisek s množstvím vytěženého zlata.....	13
Obr. 5 – Schéma struktury zlatonosného žilného hydrotermálního systému.....	16
Obr. 6 – Ložisková geologická mapa jílovského revíru.....	18
Obr. 7 – Zájmové území v oblasti Radlík.....	19
Obr. 8 – Geologická mapa zájmového území v oblasti Radlík.....	20
Obr. 9 – Zájmové území v oblasti Zahořan.....	21
Obr. 10 – Geologická mapa zájmového území v oblasti Zahořan.....	22
Obr. 11 – Tektonická měření v oblasti Radlíku.....	23
Obr. 12 – Geologická mapa (horizontální průmět) štoly Marie Pomocné v Zahořanech.....	24
Obr. 13 – Příklad porušení křemenné žíly v poruchovém (zlomovém) pásmu ve štole Nový Vilém v Zahořanech.....	25
Obr. 14 – Geologická mapa (horizontální průmět) části štoly naproti štole Nový Vilém.....	25
Obr. 15 – Tektonická měření v oblasti Zahořan.....	26
Obr. 16 – Vzorek křemenné žiloviny, rovnoběžné nikoly.....	27
Obr. 17 – Vzorek křemenné žiloviny, zkřížené nikoly.....	27
Obr. 18 – Ukázka fluidních inkluzí ve studovaném vzorku.....	28
Obr. 19 – Histogram teplot celkové homogenizace na kapalinu ve studovaném vzorku.....	28

1. Úvod

Zlato je velmi důležitým kovem v historii lidstva. V počátcích bylo získáváno rýžováním na vodních tocích, později, když byla rýžovatelná ložiska vyčerpána, se začalo zlato získávat těžbou. Ložiska zlata mohou vznikat za velmi rozdílných podmínek a vždy byla snaha konkrétní ložiska nějak porovnávat a vyčlenit určité ložiskové typy. Zásadní změny tato problematika zaznamenala v období posledních zhruba 35 let, kdy byla vypracována nová klasifikace ložisek zlata, a některé ložiskové typy byly sdruženy do větších skupin. Jednou z těchto skupin je i ložiskový typ orogenic gold. Ložiska tohoto typu obsahují velké světové zásoby zlata a množství ložisek zlata v Čechách spadá právě do této kategorie. Jedním z nich je ložisko Jílové u Prahy.

Rudní revír Jílové u Prahy je historicky nejvýznamnějším zlatonosným revírem v Čechách. Těžba zlata zde má dlouhou historii, její počátky sahají zřejmě až do dob před 2000 lety. V době největšího rozkvětu, ve 13. a 14. století, byly Čechy jednou z nejdůležitějších produkčních zemí zlata v Evropě. Poslední období intenzivní těžby zde probíhalo v letech 1958-1968, kdy byly centrální části revíru geologicky zpracovány na velmi dobré úrovni, jeho okrajové části však zůstávaly poněkud stranou.

Tato práce se snaží přinést nové poznatky o některých těchto oblastech, konkrétně se jedná o oblasti Radlíku a Zahořan. Použitými metodami jsou strukturní měření v terénu, geologické mapování a studium odebraného mineralogického materiálu včetně studia fluidních inkluzí. Tyto poznatky budou použity ke srovnání studovaných lokalit s ložisky zlata typu orogenic gold.

2. Zlato a jeho ložiskové typy

2.1 Zlato jako minerál a prvek v zemské kůře

Zlato je drahý kov žluté barvy. Je chemicky odolné, poměrně měkké (2,5 dle Mohse), a vyniká velmi dobrou elektrickou i tepelnou vodivostí. Zajímavá je také jeho hustota (19,32 g·cm⁻³), díky které patří zlato mezi prvky s největší hustotou. V historii lidstva sehrálo zlato důležitou roli jako materiál pro výrobu šperků, ozdobných předmětů, a také jako platidlo. V současnosti je zlato mimo jiné velmi důležité jako materiál pro výrobu kontaktů v elektrotechnice, integrovaných obvodů aj. (právě díky jeho vynikající elektrické vodivosti).

V zemské kůře se zlato vyskytuje poměrně vzácně, jeho klarkový obsah je dle různých autorů v intervalu zhruba 0,004 ppm až 0,005 ppm. Největší obsahy zlata se nacházejí v sedimentárních horninách, naopak nejméně zlata je v suboceánských oblastech (kontinentální svahy apod.). V horninách Českého masivu uvádí Morávek et al. (1992) medián 3 ppb Au, přičemž nejvyšší obsahy zlata byly zjištěny v proterozoických sedimentech (medián obsahu Au ve vzorcích proterozoických silicitů je 7 ppb), naopak nejnižší obsahy Au vykazují granitoidní horniny (medián 1 ppb Au).

V přírodě se zlato vyskytuje nejvíce v ryzí formě, případně jako slitina, a to zejména s prvky Ag (elektrum), Cu, Pd, Rh, Ir, Pt a Bi. Mezi minerály, kde se zlato vyskytuje ve sloučeninách, patří zejména teluridy (např. sylvanit (Au,Ag)₂Te₄ nebo kalaverit AuTe₂), sloučeniny s antimonem, bismutem, rtutí (amalgám), sírou a selenem. Krystalová soustava ryzího zlata je kubická, v krystalované formě se však vyskytuje zřídka (Boyle, 1979).

Zlato se obvykle vyskytuje ve třech oxidačních stavech, jako Au⁰, Au¹⁺ a Au³⁺. Jsou známy také další oxidační stavy – Au²⁺ a Au⁵⁺, tyto se však v přírodě zřejmě vůbec nevyskytují. Zlato v základním stavu (Au⁰) se vyskytuje v přírodě jako ryzí zlato, případně ve slitinách. Obecně je zlato v tomto oxidačním stavu nemobilní, nicméně v jemně rozptýlené formě může být mobilní. Přírodní sloučeniny se zlatem v oxidačním stavu +1 (Au¹⁺) nejsou známy, zlato může být v tomto stavu přítomno jako součást zlatnatých komplexů (např. [Au(CN)₂]⁻, [AuCl₂]⁻ a [Au(S₂O₃)₂]⁻). Tyto komplexy jsou obecně stabilní ve vodném roztoku a zřejmě hrají důležitou roli při transportu zlata v endogenních procesech. Trojmocné zlato Au³⁺ opět nevytváří přírodní sloučeniny, ale je přítomno jako součást anorganických komplexů (např. [Au(OH)₄]⁻, [AuCl₄]⁻ a [AuCl₃OH]⁻).

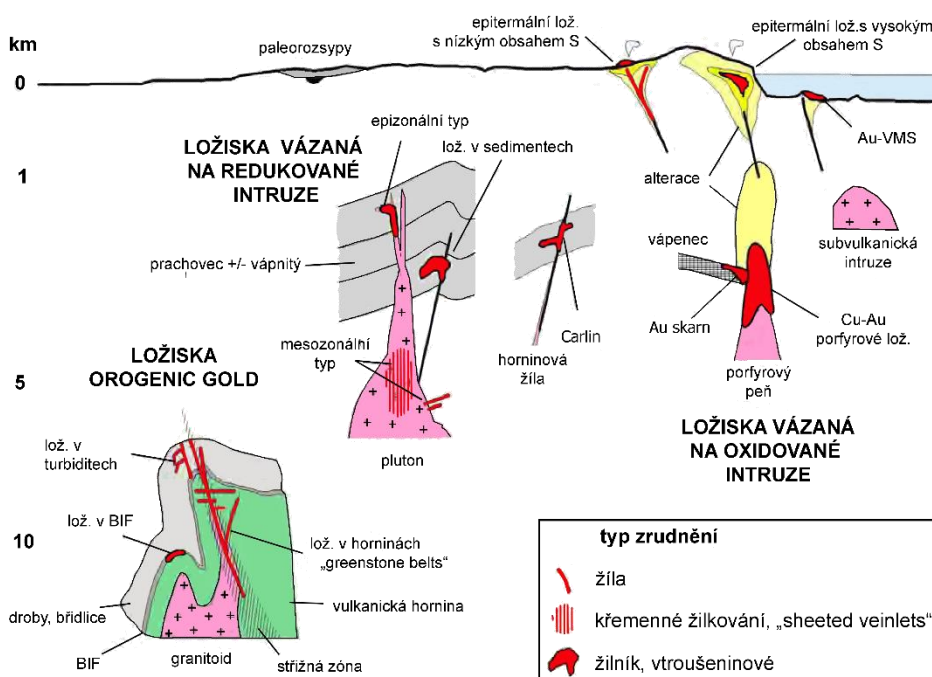
Existuje také množství komplexních sloučenin se zlatem, kde se zlato vyskytuje v neznámém oxidačním stavu, nebo v několika oxidačních stavech najednou (Boyle, 1979).

2.2 Ložiskové typy Au ložisek v metamorfovaných terénech

Názory na klasifikaci ložisek zlata se během času postupně vyvíjely a zejména v době od roku zhruba 1980 byly v těchto názorech zaznamenány zásadní změny. V dřívějších dobách byla ložiska klasifikována na základě hloubky a teploty vzniku, stáří, hostitelské horniny aj. Například Slavík (1952) uvádí dělení ložisek zlata na dvě skupiny, a to na tzv. mladou a starou zlatonosnou formaci, přičemž mladé zlatonosné žíly jsou spjaty s terciérním vulkanismem, starší zlatonosné žíly souvisí s vmisťováním plutonů (zejm. granitových).

Lindgren (1933) ve své klasické práci rozděluje obecně ložiska rud v závislosti na vzdálenosti od intruze a na teplotě vzniku. Vyčleňuje tak ložiska přímo v intruzi, ložiska metasomatická, v pegmatitech, a dále ložiska hypotermální, mesotermální a epitermální. V české terminologii byla dle staré klasifikace k epitermálním ložiskům řazena mladá zlatonosná formace. Tato ložiska zlata se v ČR nevyskytují (ložiska tohoto typu se nacházejí např. na Slovensku v okolí Banské Štiavnice a v Kremnici), naše ložiska byla řazena k mesotermálnímu typu ložisek.

Výzkumy prováděné v poslední době ukazují, že je možné ložiska zlata v metamorfních oblastech rozdělit na tři základní skupiny (např. Groves et al., 2003), které sdílejí některé společné znaky, a to na ložiska typu „orogenic gold“, na ložiska vázaná na intruze („intrusion-related“) a na ložiska se specifickými chemickými prvky („atypical metal associations“). Jiní autoři později označují poslední dvě jmenované skupiny jako ložiska vázaná na redukované intruze a ložiska vázaná na oxidované intruze (Robert et al., 2007). Mezi další ložiskové typy patří např. typ Carlin, Au bohatá ložiska VMS a ložiska typu Witwatersrand. Obecně je v současné době známo celkem 13 hlavních ložiskových typů, jejich geologická pozice je nastíněna na (Obr. 1).



Obr. 1 – Schématický řez hlavními typy zlatonosných ložisek s vyznačením geologické pozice a hloubky vmisťení, (Robert et al., 2007, upraveno).

2.2.1 Ložiska typu orogenic gold

Název tohoto ložiskového typu byl zaveden v roce 1998 (Groves et al., 1998). Tímto termínem bylo nahrazeno dříve používané označení mesotermálních ložisek. Tato ložiska jsou spjata s regionálně metamorfovanými oblastmi různého stáří. Zlatonosná mineralizace zde vznikala na konvergentních rozhraních v akrečních nebo kolizních orogénech, v kompresním nebo transpresním režimu. Migrace hydrotermálních roztoků se zde uplatňuje na velké vzdálenosti, což vede k neobvyklému hloubkovému rozsahu vzniku zlatonosné mineralizace v porovnání s jinými hydrotermálními ložisky. Hloubkový rozsah vzniku ložisek typu orogenic gold se pohybuje od hloubek zhruba 15-20 km pod povrchem, až po hloubky v blízkosti zemského povrchu. Autoři také navrhují dělení tohoto ložiskového typu dle hloubky vzniku na tři dílčí skupiny, a to na epizonální (< 6 km), mesozonální (6–12 km) a hypozonální (> 12 km). Do této skupiny patří více než 75 % dosud objevených zásob zlata (Phillips, 2013 in Tomkins, 2013). Frimmel (2008) uvádí, že ložiska typu orogenic gold obsahují pouze 32 % objeveného zlata, toto je způsobeno nejistým zařazením některých ložisek do daných skupin. Týká se to zejm. ložiska Witwatersrand, které může představovat erodované ložisko typu orogenic gold.

V tomto ložiskovém typu můžeme vyčlenit další podtypy (Obr. 1), a to ložiska v turbiditech, ložiska v páskovaných železných rudách (BIF) a velmi rozšířená ložiska, která se vyskytují v horninách typu greenstone belts.

2.2.2 Ložiska vázaná na redukované intruze

Ložiska této skupiny se vyznačují asociací kovů Au-Bi-Te-As a prostorovou i časovou vazbou na mírně redukované granitické intruze (Robert et al., 2007). Tato ložiska se vyskytují zejména v sekvencích siliciklastických sedimentárních hornin. Vyznačují se nízkým obsahem sulfidů (< 5 %) a typickými minerály jsou arsenopyrit, pyrhotin a pyrit. Naopak není přítomen magnetit a hematit. Hydrotermální alterace v okolí ložiska je nevýrazná (Hart, 2005).

Tento ložiskový typ je možné v závislosti na hloubce vzniku a také na vzdálenosti od intruze dále rozdělit na další podskupiny (Obr. 1), a to na ložiska v sedimentech a ložiska epizonální a mesozonální. Ložiska v sedimentech se vyskytují ve zvrásněných komplexech siliciklastických sedimentů, které jsou postiženy zlomovou tektonikou. Typická je blízkost intruzí granitoidů a přítomnost hlubinných zlomů. Epizonální a mesozonální ložiska bývají často sdružena s ložisky W-Sn±Mo a/nebo Sb.

Podobnost některých aspektů této skupiny ložisek se skupinou ložisek typu orogenic gold způsobila, že některá ložiska jsou různými autory řazena k různým ložiskovým typům.

2.2.3 Ložiska vázaná na oxidované intruze

Skupina těchto ložisek zahrnuje porfyrová ložiska (Au, Cu-Au), epitermální ložiska s vysokým obsahem sulfidů, skarnová ložiska a ložiska typu mantos (metasomatická ložiska v karbonátech). Tato skupina ložisek vznikala na konvergentních rozhraních oceán-kontinent a byla zřejmě součástí prostorově rozsáhlých hydrotermálních systémů. Charakteristická je přítomnost regionálních zlomů.

Pro zlatonosná porfyrová ložiska je typický vápenato-alkalický až alkalický magmatismus a v porfyrových pních přítomnost magnetitu a biotitu či amfibolu, typická je asociace prvků Au-Ag a Cu. Epitermální ložiska s vysokým obsahem sulfidů jsou typická také vápenato-alkalickým až alkalickým nebo andezitickým až dacitickým magmatismem a asociací prvků Au-Ag, As, Cu, Sb, Bi a Hg (Robert et al., 2007).

2.3 Ostatní typy ložisek zlata

V současnosti známe i další ložiska zlata, která nelze přiřadit do žádné ze zmiňovaných skupin. Jsou to epitermální ložiska s nízkým obsahem sulfidů, ložiska typu Carlin, zlatonosná VMS (Volcanogenic Massive Sulphide) ložiska a paleorozsypy.

Epitermální ložiska s nízkým obsahem sulfidů vznikala v extenzním režimu a je pro ně typický subaerický bimodální (bazalt-ryolit) vulkanismus a přítomnost zlomů (v extenzním režimu, tedy poklesy, popř. posuny nebo jejich kombinace). Typický je poměr $Au < Ag$, dále jsou přítomny prvky Zn, Pb, Cu, As a Hg.

Jako ložiska typu Carlin se označují ložiska zlata v sedimentech, kde je zlato přítomno ve formě vtroušeninového zrudnění. Jedná se o tzv. neviditelné zlato, neboť je přítomno v mikroskopické velikosti a/nebo ve formě pevného roztoku v ostatních minerálech (např. pyrit, arsenopyrit nebo markazit). Název tohoto ložiskového typu pochází z názvu dolu v Nevadě, kde byl tento ložiskový typ poprvé rozpoznán a těžen. Sedimentem jsou prokřemenělé prachovité vápence a vápnité prachovce. Přítomny jsou prvky As, Sb, Hg, Tl a poměr $Au/Ag > 1$. Hloubka vzniku mineralizace poměrně malá, pohybuje se od asi 0,3 km do 3 km (Cline et al., 2005).

Zlatonosná VMS ložiska vznikala v podmínkách mafického až felsického submarinního vulkanismu. Charakteristická je přítomnost prvků Cu, Zn a As, poměr $Au/Ag < 1$.

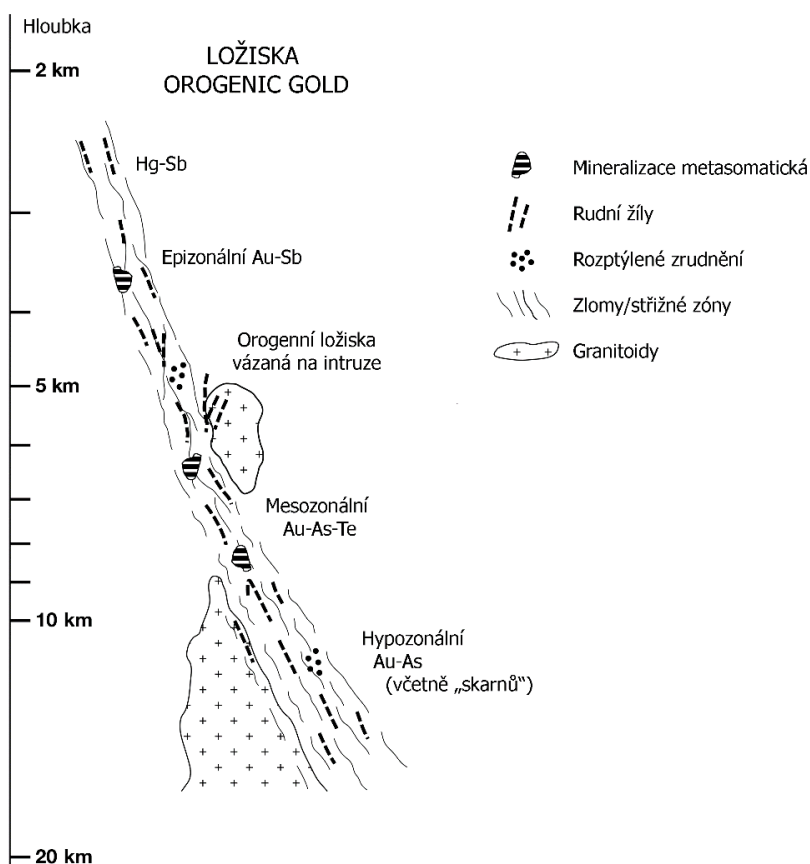
Paleorozsypy bývají také označovány jako ložiskový typ Witwatersrand. Vznikaly v prostředí předobloukové nebo zaobloukové pánve a sedimentovaný materiál je velmi vyzrálý. Sediment je nejčastěji velmi hrubozrný (arenit). Typický je poměr $Au/Ag > 1$ a také přítomnost uranu.

3. Ložiskový typ orogenic gold

3.1 Tektonické a strukturní vymezení

Ložiska Au ve skupině ložisek orogenic gold jsou spjata s hlubokými zlomovými systémy prvního řádu se složitým vývojem, které mají typicky směrnou délku až stovek kilometrů a mocnosti v řádu stovek metrů. Nemusí jít nutně o jeden zlom, často se jedná o segmentované zlomové struktury. Migrace fluid podél těchto systémů byla řízena fluktuací tlaku během seismických událostí. Vlastní zlatonosná ložiska tvoří žilné systémy vázané na křehké struktury (zlomy a střížné zóny) druhého a třetího řádu. Nabohacení rudními minerály ve strukturách nižších řádů je patrné zejména v místech křížení zlomů prvního řádu a v místech, kde tyto zlomy mění svůj směr nebo se rozdvíhají.

Typy mineralizace jsou různé a odrážejí hloubku vzniku; v mělkých, křehkých částech kůry jsou to žilníky a brekcie, v křehce-duktilních oblastech laminované žíly typu crack-seal nebo sigmoidálně zakřivené žíly, a v hlubších, duktilních částech kůry vtoušeninové zrudnění (případně metasomatická tělesa, Goldfarb et al., 2005). Schématické znázornění ložiskového typu orogenic gold v závislosti na hloubce vzniku a strukturním uspořádání je uvedeno na (Obr. 2).

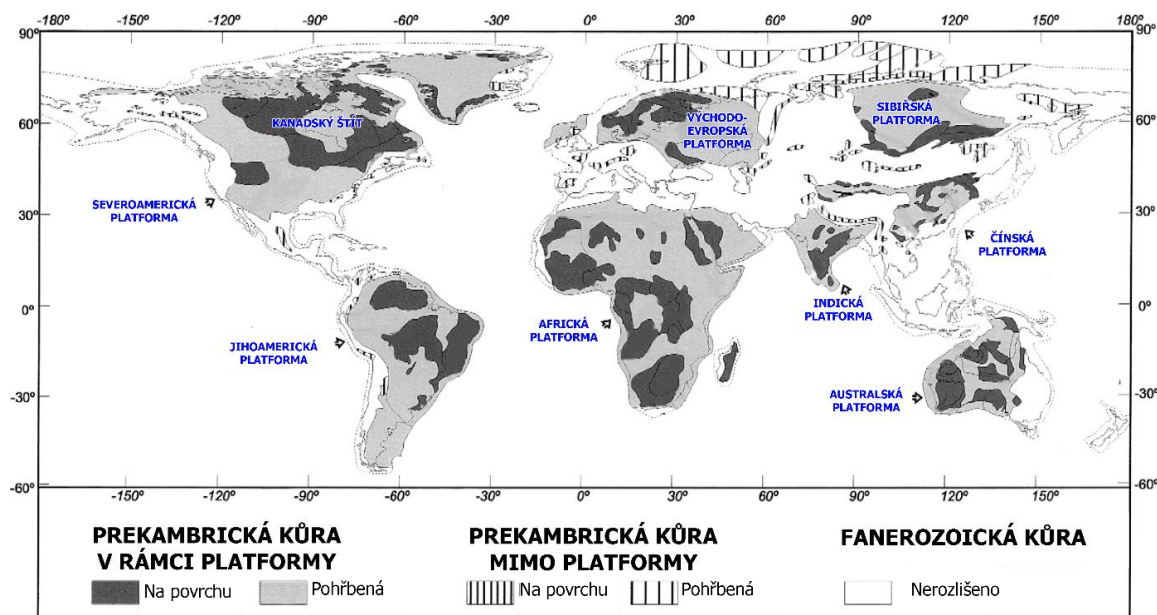


Obr. 2 – Schéma ložisek typu orogenic gold v závislosti na hloubce vzniku a strukturním uspořádání (Groves et al., 2003; převzato a upraveno).

Rudní tělesa světových ložisek jsou typicky 2 – 10 km dlouhá, široká okolo 1 km a těžena do hloubek 2 – 3 km (Goldfarb et al., 2005).

3.2 Globální časové vymezení vzniku

Tento ložiskový typ vznikl v různých časových obdobích v historii Země a celkový rozsah stáří těchto ložisek je více než 3 miliardy let. Nejstarší ložiska jsou známa ze středního archaika (Goldfarb et al., 2001). Některá období byla pro vznik ložisek zlata typu orogenic gold obzvláště příznivá. Důvodem je zejména úzká vazba na globální tektoniku. Přehledná mapa stáří kontinentální kůry při současném rozložení kontinentů je uvedena na (Obr. 3).



Obr. 3 – Rozložení prekambričských kratonů, štítových oblastí a mobilních zón fanerozoického stáří na světě (Goldfarb et al., 2001; upraveno).

Nejstarší spolehlivě rozpoznané ložisko typu orogenic gold (asi 3,1 – 3,0 Ga dle Ronde et al., 1991 a Harriss et al., 1993 in Goldfarb et al., 2001) se nachází v jižní Africe, v oblasti kaapvaalského kratonu (k amalgamací kratonu došlo asi před 3,1 Ga). Je možné, že v této době došlo v jižní Africe ke vzniku dalších ložisek Au, která se však nedochovala pro jejich pozdější erozi. Výjimečné fosilní rozsypové ložisko Au Witwatersrand v Jihoafrické republice (dosud vytěženo 45 kt Au), které se vyskytuje v sedimentech stáří 2,89–2,71 Ga (Robb a Meyer, 1995 in Goldfarb et al., 2001), a jehož geneze je nejasná, obsahuje možná zlato původem z ložisek typu orogenic gold v kaapvaalském kratonu. Další menší (a nejisté) výskyty ložisek středního archaika jsou v kratonu Pilbara v západní Austrálii (3,4 Ga) a možná také v ukrajinském štítu východoevropské platformy.

Část období svrchního archaika (zhruba 2,80–2,55 Ga) byla pro vznik ložisek zlata orogenic gold mimořádně příznivá. Ložiska tohoto stáří se nacházejí v západní Austrálii, Indii, jižní

a centrální Africe, na severu jihoamerického kontinentu a na severu Severní Ameriky, přičemž tato ložiska vážou velký objem světových zásob zlata. Nejvíce prozkoumaná jsou ložiska v yilgarnském kratonu v západní Austrálii a ložiska v centrální části kanadského štítu. Stáří většiny zlatonosné mineralizace v yilgarnském kratonu je 2,63 Ga (Groves, 1993 in Goldfarb et al., 2001). Centrální část kanadského štítu o stáří 3,1-2,6 Ga je po kaapvaalském kratonu oblastí s největším množstvím vytěženého zlata. Kraton Dharwar v Indii obsahuje další četná ložiska zlata, zejména ekonomicky významnou oblast Kolar s minimálním stářím zlatonosné mineralizace 2,55 Ga (Hamilton a Hodgson, 1986 in Goldfarb et al., 2001). Další ložiska jsou v zimbabwském kratonu (s nejistým stářím, pravděpodobně někdy mezi 2,67 až 2,60 Ga), v kratonu São Francisco (sever Jižní Ameriky, stáří zřejmě mezi 2,71 a 2,58 Ga; Lobato et al., 2001 in Goldfarb et al., 2001), a jinde na světě, tato ložiska však nemají takový ekonomický význam a jsou obvykle málo prozkoumána.

V paleoproterozoiku nastalo další příznivé období pro vznik ložisek orogenic gold, které je spjato s růstem kontinentální kůry, časově v přibližném rozmezí 2,1-1,8 Ga. Ložiska se nacházejí v metasedimentárních horninách v Austrálii, v severozápadní Africe, na severu Jižní Ameriky, v Grónsku, kanadském štítu a ve Skandinávii (svekofenidy). Stáří afrických ložisek v oblasti Ashanti v Ghaně, která byla nejvýznamnějším světovým producentem zlata v době zhruba od 14. do 18. stol., je 2105-2080 Ma (Oberthur, 1998 in Goldfarb et al., 2001). Podobná ložiska typu orogenic gold, obdobného stáří, se nacházejí v Mali, a další menší ložiska také v Senegal, Burkině Faso, Guineji a na Pobřeží slonoviny. Výskyty Au ložisek paleoproterozoického stáří ve východní části afrického kontinentu reprezentují málo prozkoumaná ložiska v Tanzánii. Jihoamerická ložiska zlata se nacházejí v paleoproterozoických horninách severovýchodní části kratonu São Francisco, další ložiska jsou v amazonském kratonu, se stářím mineralizace v rozmezí 2,0-1,85 Ga v různých oblastech. V Severní Americe jsou ložiska zlata vázána na oblasti, které vznikly při paleoproterozoické kolizi bloků archaické kůry za vzniku severoamerického kratonu (Laurentie) a orogénu Trans-Hudson, jejich stáří je v intervalu zhruba 1,8-1,7 Ga. Množství ložisek se nachází též v Austrálii.

Období mesoproterozoika a neoproterozoika (1600-541 Ma) je téměř 1 miliardou let dlouhým obdobím, ve kterém ložiska zlata naopak téměř nevznikala. V tomto geologickém období celosvětově převládal režim extenze, intrakontinentální rifting a s ním spojený magmatismus. Malé množství ložisek zlata vzniklo během formování superkontinentu Rodinie na konci mesoproterozoika, a tak se nacházejí nevýznamná ložiska typu orogenic gold tohoto stáří v Brazílii, Kanadě, a zřejmě také v Burundi a Rwandě. Během neoproterozoika došlo k zformování východoafrického orogénu (přibližně 800-550 Ma), ve kterém vznikla ložiska zlata v Saudské Arábii o stáří zhruba 700-600 Ma, menší ložiska leží více na západ, a to v Egyptě a v Súdánu. Další orogén, který se formoval od neoproterozoika až do mladšího paleozoika (750-500 Ma), trans-saharský orogén, obsahuje také drobnější ložiska Au (Alžírsko). V Jižní Americe se vyskytují další ložiska zlata, nejistého stáří, snad na rozhraní proterozoika a paleozoika, v 1200 km dlouhém orogenním pásmu přiléhajícím k západnímu okraji kratonu São Francisco (Brazílie). V severozápadní Austrálii jsou neoproterozoického stáří ložiska patřící k orogénu Paterson, který se formoval v době 620-540 Ma. Jako neoproterozoické je nejčastěji uváděno stáří velkých ložisek zlata při jižním

okraji sibiřské platformy. Nicméně některá data jsou s tímto v rozporu a uvádějí stáří ložisek okolo 450 Ma.

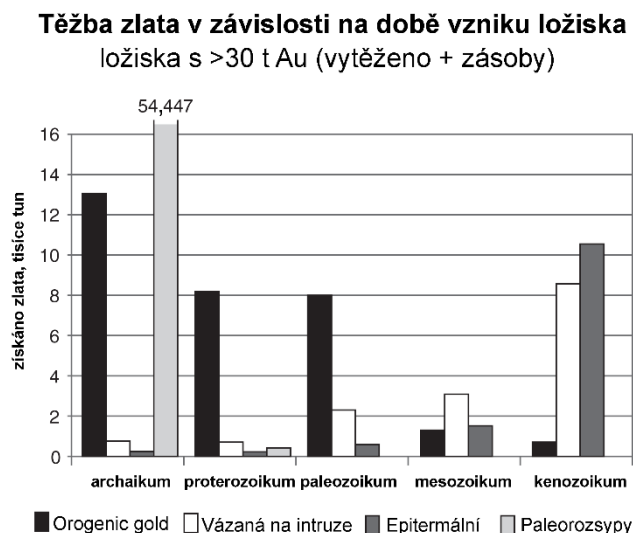
Paleozoikum je obdobím, které je opět pro vznik ložisek zlata typu orogenic gold příznivé. V tomto období se vyvíjel kontinent Pangea a uzavíral se oceán Paleo-Tethys. Vznikla tak ložiska v Austrálii, na Novém Zélandu, v Antarktidě a na jihu Jižní Ameriky (Tasmánský orogenní pás). Během kaledonské orogeneze ve starším paleozoiku vznikla mj. ložiska v Kazachstánu, při uzavírání oceánu Iapetus vznikla ložiska v Kanadě, Walesu a Irsku. Variská orogeneze dala vzniknout četným ložiskům v jižní a střední Evropě, ve střední Asii a na severozápadě Číny. Během uralské orogeneze (Grenvillské vrásnění) vznikla ložiska zlata v Rusku na Urale. Tasmánský orogenní pás byl oblastí, kde bylo vytěženo nejvíce zlata (přes 2000 t) fanerozoického stáří, jedná se o ložiska ve Viktorii v jižní Austrálii. Menší ložiska v tomto orogenním pásu leží v Queenslandu a Novém Jižním Walesu (taktéž Austrálie) a na jižním ostrově na Novém Zélandu. Pás s menšími ložisky pokračuje podél bývalého Gondwanského okraje do Antarktidy a Jižní Ameriky. Stáří zlatonosné mineralizace většinou spadá do intervalu 460-440 Ma, ale některá ložiska vznikala i v době před 370 Ma (např. Arne et al., 1998 in Goldfarb et al., 2001). Při vzniku mikrokontinentu Kazachstánie v pozdním ordoviku sérií kolizí a akrečních procesů vznikala také ložiska zlata (stáří okolo 445 Ma). Ložiska se táhnou z území severu dnešního Kazachstánu (přes 800 t Au, z toho ložisko Vasilkovsk asi 360 t Au) přes Altaj až do Číny. Variský orogenní pás se táhne z jižní Evropy až do střední Asie. V jižní Evropě má pás délku asi 3000 km. Četná ložiska zlata se nacházejí ve francouzském masivu Massif Central, v Českém masivu a v Iberském masivu. Během 20. století zde bylo vytěženo asi 180 t Au, přičemž zde zůstávají zásoby asi 300 t (zejména v Českém masivu).

V mesozoiku nastává rozpad superkontinentu Pangea a vývoj pacifické oceánské domény. Na jejím okraji jsou založeny subdukční zóny, na východním okraji vznikají v kordillerském orogénu četná ložiska zlata. Ta se táhnou po západním okraji severoamerického kontinentu od Kalifornie až po Aljašku. Na západním okraji Pacifiku vznikají ložiska zlata v oblasti dnešního Ruska a na východě Číny, podobně je tomu i na Novém Zélandu. Ložiska na západním okraji Severní Ameriky začala vznikat před asi 180 Ma, v okamžiku kdy došlo ke konvergenci litosférických desek. Vznikla tak ložiska na Aljašce, Yukonu a v Britské Kolumbii, konkrétně mj. ložiska Seventymile, Klondike, Atlin, Cassiar a Cariboo. Původní zlatonosné žíly podlehly erozi, jedná se tedy o ložiska rozsypová, s poměrně velkými zásobami zlata (např. Klondike 300 t Au). V oblasti jižně od Britské Kolumbie došlo v době před 150-80 Ma k intruzi magmatu a k vzniku pohoří Sierra Nevada, do této doby také spadá vznik zdejších zlatonosných žil (datovány 144-110 Ma, Bohlke a Kistler, 1986 in Goldfarb et al., 2001). Z podhůří Sierra Nevady (patří sem také známá oblast Mother Lode) bylo celkem získáno celkem okolo 3000 t Au, z čehož asi 2/3 pocházejí z rozsypů. Zlatonosná mineralizace vznikala ve stejném období také na severu Kalifornie, a v Oregonu a na severozápadu Nevady. Podobné procesy probíhaly na západním okraji Pacifické oceánské domény, výsledkem těchto procesů je vznik rozsypových ložisek s obsahy zlata 3500 t na ruském dálném východě a asi 1000 t zlata v žilách, které doposud nepodlehly erozi (např. ložisko Natalka 400 t Au). Vznik ložisek zlata spadá do období před 140-100 Ma (Parfenov, 1995 in Goldfarb et al., 2001). Na území Číny vznikla ložiska zlata typu orogenic gold v období spodní křídly. Nejvýznamnější

oblastí je poloostrov Liaodong s 800 t zlata a stářím plutonů, které hostí zlatonosnou mineralizaci 165-125 Ma (Qiu et al., 2002 in Goldfarb et al., 2001).

Raně terciárního stáří jsou ložiska zlata v jižní Aljašce (56-53 Ma) a souvisejí s kolizemi bloků na západním okraji Severní Ameriky. Světově nejmladší ložiska typu orogenic gold spadají do alpsko-himalájského geotektonického cyklu. Patří sem například ložiska v oblasti Monte Rosa na severozápadu Itálie, stará 33-10 Ma (Diamond a Wiedenbeck, 1986 in Goldfarb et al., 2001). Další ložiska se nacházejí v rakouských (oligocénní stáří) a švýcarských (miocénní stáří) Alpách. S vulkanickými horninami spjaté zlatonosné mineralizace (epitermální ložiska) se nacházejí také v Karpatech (Slovensko, Rumunsko, Řecko).

Porovnání stáří vzniku ložiska s množstvím vytěženého zlata (a doposud objevených zásob) je na (Obr. 4). Obrovská množství archaického zlata z paleorozsypů jsou způsobena existencí ložiska Witwatersrand v Jihoafrické republice.



Obr. 4 – Porovnání stáří ložisek s množstvím vytěženého zlata (Goldfarb et al., 2005, upraveno).

3.3 P-T podmínky vzniku

Ložiska zlata typu orogenic gold vznikala v poměrně širokém rozsahu teplot, asi od 200 °C do 600 °C a tlacích zhruba od 0,5 do 4,5 kbar. Tyto p-T podmínky jsou nicméně u většiny těchto ložisek v užších intervalech teplot ($350^{\circ} \pm 50^{\circ} \text{C}$) a tlaků ($1,5 \pm 0,5 \text{ kbar}$, Groves et al., 2003). Existuje také pravděpodobně závislost mezi p-T podmínkami a stářím ložisek. Velké množství ložisek fanerozoického a proterozoického stáří vznikalo za teplot 250-350 °C, archaická ložiska spíše vznikala za poněkud vyšších teplot, v rozsahu 325-400 °C, i když v obou skupinách existují i ložiska, jejichž teplota vzniku nespadá do uvedených intervalů (Goldfarb et al., 2005). Odhady tlaků se v literatuře často liší, jednak kvůli fluktuaci tlaku během vzniku mineralizace, jednak také kvůli obtížnosti odhadu tlaku jako takového.

3.4 Fluidní roztoky

Nástroje, kterými lze zkoumat chemické složení fluidních roztoků, které přinášely rudní prvky, jsou v podstatě dva. Prvním je přímá analýza fluidních inkluzí v minerálech. Je však nutné dokázat správně vybrat ty inkluze, které se časově vážou ke studované mineralizační události, a také studovat pouze ty inkluze, u kterých po jejich zachycení nedošlo ke změně chemického složení, což nemusí být vždy jasně patrné. Druhou možností je vypočítat složení fluidních roztoků na základě chemického a izotopového složení koexistujících hydrotermálních minerálů v žilovině a blízké alterační zóně (Ridley a Diamond, 2000).

Pomocí obou výše zmiňovaných metod bylo zjištěno, že fluidní roztoky, které přinášely rudní prvky, měly nízkou salinitu, téměř neutrální pH a složením odpovídaly $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2\pm\text{CH}_4$ roztokům (Groves et al., 1998). Groves et al. (2003) také uvádějí možnou přítomnost dusíku ve fluidech. Zlato je zřejmě transportováno ve formě redukováného sulfidového komplexu $\text{Au}(\text{HS}_2)$.

Koncentrace CO_2 se pohybují se v širokém rozsahu 0,05-0,90 mol. %, nejčastěji však od 0,10 do 0,25 mol. %. Salinita je nízká a pohybuje se v rozsahu asi 1-15 hm. % NaCl_{ekv} , většina hodnot opět leží v užším intervalu 3-7 hm. % NaCl_{ekv} . Podrobnějšími analýzami bylo zjištěno, že dominantním kationtem je Na^+ , kationt K^+ se vykytuje v asi o řád nižší koncentraci, dále se podřadně vyskytují kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} , a to v koncentracích pod 100 ppm. Nejvýznamnějším aniontem je Cl^- , následovaný pravděpodobně aniontem HCO_3^- . Fluidní roztoky jsou téměř neutrální, pH se pohybuje kolem hodnoty 5,5 (Ridley a Diamond, 2000).

Většina měření izotopů kyslíku vykazuje hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ v intervalu 4-15 ‰. Izotopy vodíku δD jsou v rozsahu -80 až -5 ‰. To naznačuje, že se hydrotermálního procesu ve větší míře neúčastní meteorické vody.

3.5 Mineralogie

Zlatonosná ložiska mohou být obohacena mnoha prvky, jsou to zejména S, Cu, Mo, Sb, Bi, W, Pb, Zn, Te, Hg, As a Ag (Goldfarb et al., 2005). Takováto ložiska se označují jako tzv. gold-plus ložiska, většina ložisek typu orogenic gold však spadá do druhé skupiny, tzv. gold-only, která je obohacena S a As, obohacení dalšími prvky není tak výrazné.

Hlavním minerálem žiloviny je křemen, dále se vyskytuje ryzí zlato, pyrit, galenit, sfalerit, chalkopyrit a arsenopyrit. Může být přítomen pyrhotin. Lokálně se mohou vyskytovat teluridy, scheelit, bismut, tetraedrit, antimonit, molybdenit nebo fluorit. Zrudněný křemen často nabývá našedlé nebo namodralé barvy, což je způsobeno jemně rozptýlenými sulfidy. Hojně jsou také karbonáty Ca, Mg a Fe (Cox a Singer, 1986).

Obsahy sulfidů v žilovině jsou $\leq 3-5\%$, jedná se zejména o Fe sulfidy, obsahy karbonátů jsou $\leq 5-15\%$. Pokud jsou hostitelskou horninou mineralizace horniny metamorfované ve facii zelených břidlic, může být součástí žiloviny i albit, muskovit nebo fuchsit, chlorit a

turmalín. Poměry Au/Ag jsou v rozsahu 10 (nejběžnější) až 1. Obsahy zlata v rudnině jsou poměrně vysoké, v historii byly dobývány žíly s obsahy Au průměrně 5-30 g/t.

Hydrotermální alterace v okolí žil jsou zonální a zasahují do vzdálenosti řádu jednotek metrů. Jejich charakter (minerální složení a intenzita) je značně závislý na složení okolní horniny. Mezi minerály, které se zde uplatňují, patří karbonáty (ankerit, dolomit, kalcit), sulfidy (pyrit, pyrhotin, arsenopyrit), může docházet k sericitizaci a albitizaci (Groves et al., 1998).

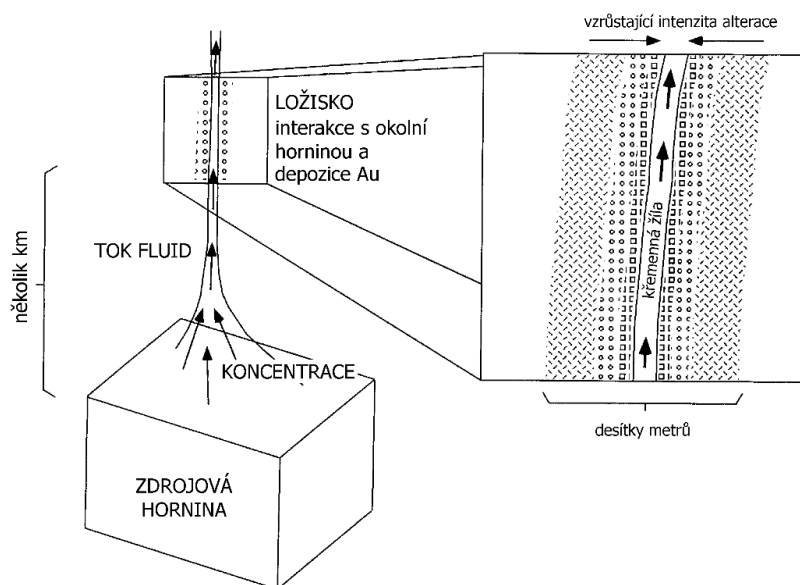
3.6 Zdroje rudních prvků (s důrazem na Au)

Jako zdroj Au připadají při současné míře poznání v úvahu tyto dvě možnosti – metamorfované horniny, ze kterých jsou fluida uvolněna zvýšením teploty, nebo felsická až intermediální magmata, ze kterých jsou uvolňována fluida během jejich krystalizace (Tomkins, 2013). V současnosti převládá názor, že zdrojem prvků jsou metamorfované horniny.

Podle tohoto názoru jsou fluida uvolňována během progradní metamorfózy z vodnatých minerálů a z karbonátů (Ridley a Diamond, 2000). Protože střížné zóny a ostatní ložiskové struktury obsahují příliš malý objem alterovaných hornin vzhledem k množství zlata, které se na ložiscích vyskytuje, zlato musí pocházet z jiného zdroje, než z alterovaného bezprostředního okolí ložiska. V úvahu přichází buď vyluhování z dehydratovaných hornin, nebo vyluhování z hornin, které se nacházejí v blízkosti přírodních struktur rudonosných fluid ještě před tím, než se fluida koncentrují do jednoho přírodního kanálu (např. do střížné zóny). Jako nejvíce vhodné horniny, ze kterých je zlato uvolňováno, se zdají být mafické horniny, případně horniny s velkým podílem mafické složky (např. droby) při přechodu z facie zelených břidlic do amfibolitové facie (Powell et al., 1991; Phillips and Powell, 1993 in Ridley a Diamond, 2000). Bez ohledu na typ zdrojové horniny výpočty ukazují, že pro vznik většího Au ložiska je potřeba uvolnit fluida z několika desítek kilometrů krychlových zdrojové horniny (Kerrich, 1996; Phillips et al., 1987 in Ridley a Diamond, 2000). Vlastní depozice rudních minerálů (a zlata) je řízena změnou vnějších podmínek, zejména změnou teploty (ochlazením). Celkové ideové schéma takového hydrotermálního systému je uvedeno na (Obr. 5). Fluida migrují na velké vzdálenosti, vzdálenost ze zdrojové horniny do oblasti ložiska je v řádu kilometrů. Tento model je v souladu i se situací, kdy jsou zdrojovou horninou felsická magmata (dále v textu) a neexistuje blízká prostorová vazba mezi ložiskem a granitickou horninou.

Některé výzkumy naznačují, že by zdrojem rudních prvků mohla být felsická až intermediální magmata. Například studiem izotopů $\delta^{33}\text{S}$ některých archaických ložisek bylo zjištěno jako pravděpodobný zdroj granitické magma (Xue et al., 2013 in Tomkins, 2013). Podobné výsledky byly zjištěny studiem vzácných plynů a halogenů ve fluidních inkluzích některých ložisek archaického stáří. Tento model je založen na podobnosti chemického složení žilných ložisek orogenic gold s ložisky vázanými na granitické intruze a na analýzách izotopického složení prvků. Předpokládá se uvolnění fluid během krystalizace

magmatu. Ke koncentraci zlata ve fluidech pak dochází v důsledku toho, že zlato je inkompatibilní prvek (Ridley a Diamond, 2000).



Obr. 5 – Schéma struktury zlatonosného žilného hydrotermálního systému (Ridley a Diamond, 2000, upraveno). Ze zdrojové horniny je vyluhováno zlato, vzniklá fluida se zlatem jsou koncentrována do jednoho kanálu, kterým se následně pohybují až do oblasti ložiska. Ložisko může být vzdáleno až několik kilometrů, dochází zde k disperzi a difuzi fluid do okolního horninového prostředí.

Existují ještě některé další modely vzniku fluid transportujících rudní prvky, jsou však více či méně problematické (Ridley a Diamond, 2000). Jsou to například:

- Uvolnění fluid během krystalizace šošonitických lamprofyrových magmat nebo při jejich interakci s korovými horninami. Nicméně bylo zjištěno, že lamprofyry nemusí být nutně obohaceny zlatem, a také že neexistuje přímá prostorová a časová vazba mezi těmito horninami a ložisky zlata (Kerrick a Wyman, 1994 in Ridley a Diamond, 2000).
- Obohacení plášťových fluid (bohatá CO_2) rudními prvky a zlatem při metamorfóze v granulitové facii ve spodní kůře. Tato teorie je založena na vzájemné časové souvislosti mezi vznikem Au mineralizace a metamorfóze v granulitové facii a také na souvislosti mezi geochemickým ochuzením granulitů a obohacením Au ložisek o příslušné prvky (Cameron, 1988, 1993; Krogh, 1993 in Ridley a Diamond, 2000). Je však otázkou, zda vůbec během metamorfózy v granulitové facii k ochuzení o dané prvky vůbec dochází (Knudsen a Andersen, 1999 in Ridley a Diamond, 2000).
- Cirkulace meteorických vod ve velkých hloubkách. Tato teorie byla založena zejména na analýze izotopů vodíku ve fluidních inkluzích. Později se však ukázalo, že naměřená data nebyla odrazem složení původních (rudonosných) fluid, ale pravděpodobně fluid, která infiltrovala ložisko až po jeho vzniku (Taylor et al., 1991 in Ridley a Diamond, 2000).

4. Rudní revír Jílové u Prahy

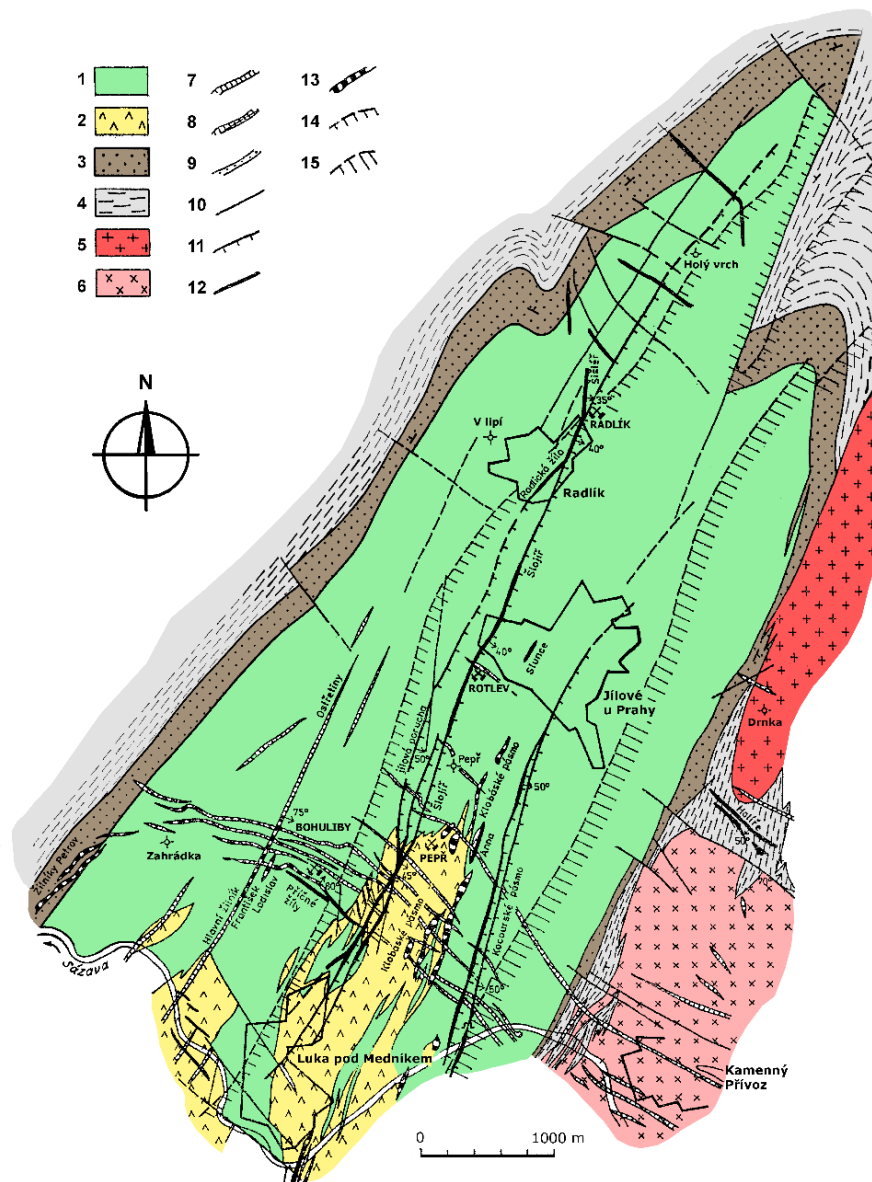
4.1 Geologie jílovského rudního revíru

Rudní revír Jílové u Prahy se nachází převážně v horninách jílovského pásma, částečně se zde uplatňují také nadložní horniny svrchního proterozoika. Jílovské pásmo je asi 3 km široké a zhruba 60 km dlouhé pásmo magmatických hornin proterozoického stáří, protažené ve směru SV-JZ, přičemž vlastní jílovský revír se nachází na jeho severovýchodním okraji. V oblasti Jílového má jílovské pásmo antiklinální stavbu, nejčastějšími horninami jsou efuzivní bazické až kyselé horniny (bazalty, andezity, dacity a ryolity). V centrální části antiklinály se nachází těleso plagiogranitu (Obr. 6). Směrem na JV od jílovského pásma se nacházejí granitoidy středočeského plutonu, které se pod jílovské pásmo zanořují a pokračují i pod ním. Uplatňují se zde také žilné intruze kadomského a variského stáří.

Základní podoba jílovského pásma je kadomská (antiklinální stavba), v této době také vznikla tzv. jílovská kliváž, jedná se o zbrídlíčnatění hornin ve směru 30° se strmým úklonem k VJV. Během variského geotektonického cyklu došlo k vmístění středočeského plutonického komplexu a ke kontaktní metamorfóze, která se uplatňuje asi ve 2/3 jílovského pásma. Její intenzita je různá v různých částech oblasti a největší intenzita metamorfózy spadá do facie amfibolových rohovců (Morávek, 1971).

Zdejší zlatonosná mineralizace je variského stáří a jílovské ložisko patří do ložisek typu orogenic gold. Pro vznik zlatonosné mineralizace jsou důležité mj. směrné přesmyky, které vznikly v závěrečných fázích variských pochodů. Jejich směr je téměř paralelní s jílovskou kliváží (20-30°), jejich průběh ale není tak strmý (průměrně 45° k VJV). Zrudnění je přítomno hlavně v horninách jílovského pásma, částečně také v nadložním vulkanosedimentárním souvrství a v horninách svrchního proterozoika, v horninách středočeského plutonického komplexu se nevyskytuje. Jsou známy celkem tři morfologické typy zlatonosného zrudnění (Morávek et al., 1992), a to:

- Rudní žíly spjaté se směrnými přesmyky. Existují dvě hlavní pásma (šlojířské a kocourské), místy zrudněná. Novodobě těžené šlojířské pásmo má žilnou výplň mocnou průměrně $x \text{ dm} - 1 \text{ m}$, průměrná kovnatost je poměrně vysoká, 3-10 g/t.
- Žilníky, vázané na žilné horniny ssv. a příčného směru. Vyskytují se zejména v západní části revíru (důl Bohuliby, štola Petrov). Žilníky jsou strmé, mocné 2-10 m a jejich kovnatost je nižší než v rudních žilách, průměrně 2-4 g/t.
- Neostře ohraničené žilníky až impregnace. Vyskytují se ve východní oblasti dolu Pepř, jsou zde vyvinuty jako strmá, čočkovitá tělesa o mocnosti až 20 m. Jejich kovnatost je nízká, průměrně pouze 1-2 g/t.



Obr. 6 – Ložisková geologická mapa jílovského revíru. 1 - vulkanity jílovského pásma; 2 - plagiogranity jílovského pásma; 3 - vulkanosedimentární souvrství v nadloží jílovského pásma; 4 - břidlice a droby svrchního proterozoika; 5 - granodiorit sázavského typu; 6 - granodiorit požárského typu; 7 - bazické a intermediární vyvřeliny kadomského a variského stáří; 8 - gabrové až křemenné dioritové porfýrity (variské); 9 - aplity a pegmatity; 10 - poruchy všeobecně; 11 - variské směrné přesmyky; 12 - zlatonosné žíly; 13 - zlatonosné žilníky až impregnace; 14 - rozsah kontaktní přeměny ve facii albito-epidotických rohoveců; 15 - rozsah kontaktní přeměny ve facii amfibolických rohoveců (Morávek, 1971; převzato a upraveno).

4.2 Historie dobývání zlata v jílovském revíru

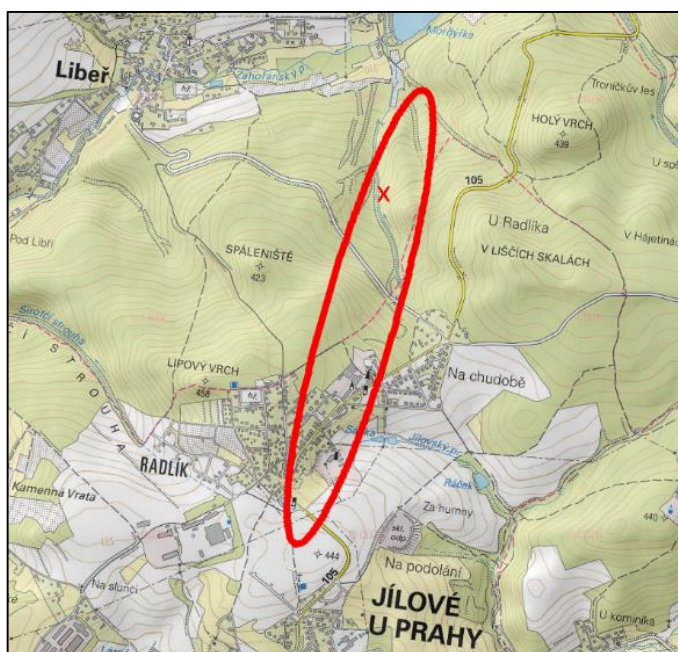
Jílovský revír je historicky nejvýznamnějším zlatonosným revírem na našem území. První nejisté doklady o těžbě zlata rýžováním pocházejí z doby keltského osídlení Čech před zhruba 2000 lety. Další zmínky o těžbě pocházejí z 10. a 11. stol., přičemž největší rozmach nastává v polovině 14. století, kdy bylo Jílové povýšeno na královské horní město, touto dobou byla v Jílovém v provozu i mincovna. Během husitských válek potkal jílovské doly podobný osud, jako i jiná ložiska u nás; doly byly poničeny a opuštěny. V následujících dobách byly doly obnoveny, ale již nikdy nedosáhly svého dřívějšího rozmachu.

V 16. století se dolovalo hlavně v oblasti Radlík a následně také na kocourském pásmu. V 19. století byl založen v obci Studené nový důl Pepř a od Sázavy byla ražena odvodňovací štola Václav. Po druhé světové válce nastává období rozsáhlých průzkumných prací, hlavní jáma na Pepři je prohloubena na hloubku 300 m a je provedeno vysledování hlavních žil Šlojíř a Tobola v tomto hloubkovém rozsahu. V západní části revíru je vybudován důl Bohuliby a proveden průzkum zlatonosných žilníků v horninách jílovského pásma. V severní části revíru jsou hloubeny doly Radlík a Rotlev. V roce 1958 je zahájena těžba na dole Pepř, v roce 1959 probíhá těžba i na dole Bohuliby, kam se postupně přesouvá její těžišť. Zlato se těží až do roku 1968, kdy je z ekonomických důvodů (zejména nízká cena zlata v té době) provoz závodu ukončen. Celkem bylo v tomto období vytěženo 420 kt rudy o průměrné kovnatosti 3,2 g/t a vyrobeno 1133 kg zlata (Morávek, 1971).

Celkové množství vytěženého zlata v jílovském revíru je neznámé, ale odhaduje se, že zde mohlo být vytěženo asi 7-10 t Au.

4.3 Radlík

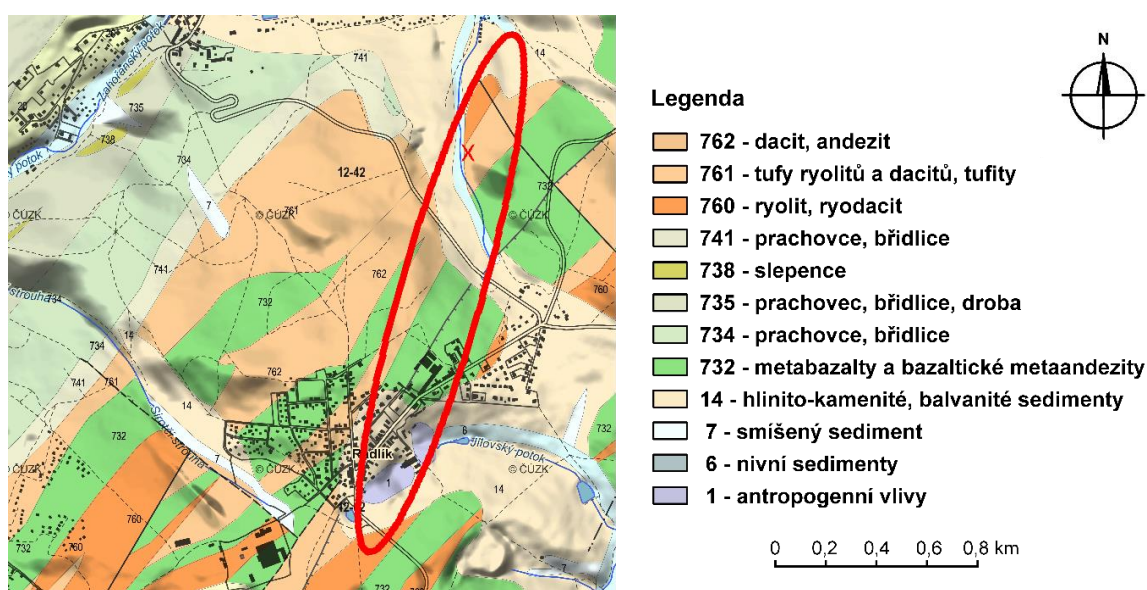
Oblast Radlíku leží v severní části jílovského revíru (Obr. 7), její jižní okraj zasahuje až k Jílovému u Prahy. Oblast, kde se dolovalo zlato je protažena ve směru SSV-JJZ v délce přes 2 km a leží v pokračování Šlojířského pásma. Z horninových typů zde vystupují vulkanity jílovského pásma, zejména metabazické horniny a ryolity, příp. dacity a jejich tufy a tufity (Obr. 8). Šlojířská žila je v oblasti Radlíku téměř jalová, zrudněny jsou však její podložní kosé odžilky – Šišléřská žila (směr S – J) a Radlická žila (směr SV – JZ).



Obr. 7 – Zájmové území v oblasti Radlík. Elipsou vyznačen přibližný rozsah těžebních prací, křížek označuje Hlubokou radlickou štolu. Topografický podklad - Národní geoportál INSPIRE.

Těžba zlata zde nejintenzivněji probíhala ve 14. století, v roce 1422 však bylo povrchové zařízení dolu vypáleno husitským vojskem a těžba až do 20. století nedosáhla svého původního rozmachu. Ve 20. století se dolovalo na dole Radlák, v letech 1958-1968 zde bylo získáno celkem 16,5 kg zlata (Morávek a Litochleb, 2002).

Do současné doby se v této oblasti zachovaly zbytky po dolování ve formě pinek a obvalových pásem a také jedno přístupné důlní dílo. Jedná se pravděpodobně o tzv. Hlubokou radlickou štolu, problematiku názvu štoly řešil Vaněk (2004). Celková délka do současnosti zachovaných chodeb je asi 200 metrů. Tato štola sloužila jako dědičná štola, sloužila k odvádění důlních vod z oblasti nalezného dolu Radlák, který se nalézal na severním okraji obce Radlák, přímá vzdálenost od ústí Hluboké radlické štoly a jámy nalezného dolu Radlák je asi 800 m.



Obr. 8 – Geologická mapa zájmového území v oblasti Radlák. Geologický podklad - Česká geologická služba.

4.4 Zahořany

Studovaná oblast se nachází jižně od obce Zahořany, asi 2,5 km severozápadně od Jílového (Obr. 9). Geologicky leží již mimo jílovské pásmo, v nadložních svrchnoproterozoických horninách štěchovické skupiny. Ty jsou zde reprezentovány zejména břidlicemi, méně prachovci a místy také polohami slepenců a drob. Jihovýchodně od zájmové oblasti se nalézá styk těchto hornin s horninami jílovského pásma, v němž vystupují černé tufitické břidlice, tzv. lečické vrstvy (Obr. 10). Pro zlatonosnou mineralizaci je významný také výskyt žilných hornin, zejména žilných bazaltů a také granodioritových porfyrů. Horninové žíly mají směr paralelní s jílovskou kliváží okolních hornin, jejich stáří není jisté, předpokládá se, že jsou převážně staropaleozoické (Morávek et al., 1994).



Obr. 9 – Zájmové území v oblasti Zahořan. Topografický podklad - Národní geoportál INSPIRE.

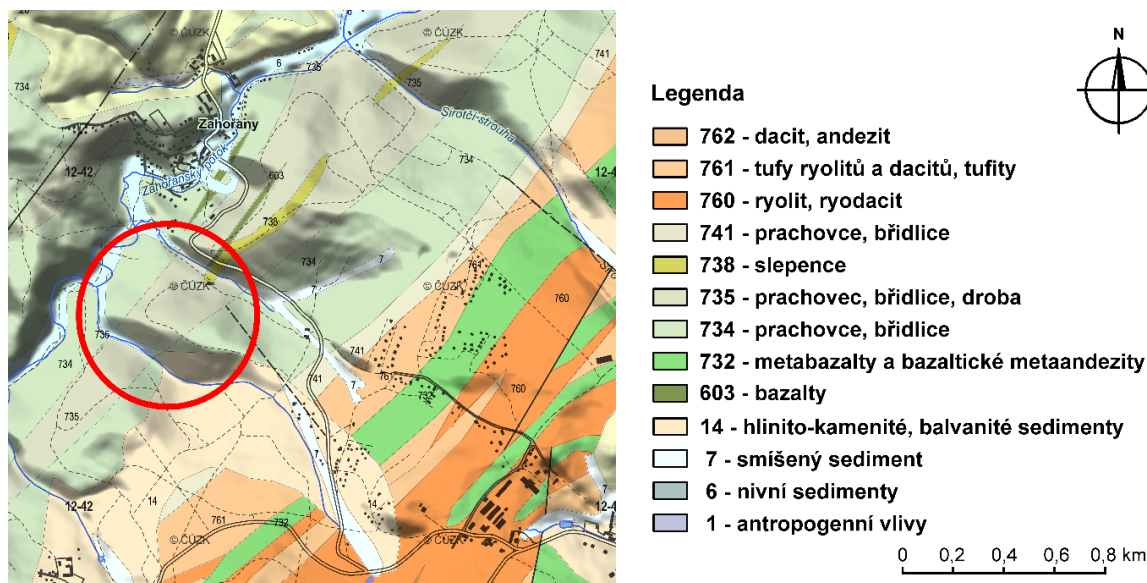
Problematiku Zahořanské zlatonosné mineralizace studoval podrobněji Kučera (2000) a vyčlenil v této oblasti celkem 3 morfologické typy zrudnění:

- Sulfidy vázané na křemenné žíly, které jsou vázány na žilné bazalty. Bazalty jsou uloženy paralelně s jílovskou kliváží. Mocnost křemenných žil je 1-4 cm, ojediněle 22 cm. Jedná se o nejrozšířenější typ mineralizace ve studované oblasti. Průměrný obsah zlata je 0,7-2,7 g/t, maximálně až 9 g/t.
- Křemenné žilníky v alterovaných mikrogranodioritech s obsahem arsenopyritu. Uloženy paralelně s jílovskou kliváží, zjištěný obsah Au 4,6 g/t (jeden vzorek).
- Křemenné žíly vázané na břidlice nebo slepence, místy s obsahy arsenopyritu. Uloženy jsou jednak ve směru jílovské kliváže, jednak ve směru VSV-ZJZ. Obsahy Au jsou pod 0,01 g/t, u vzorků s arsenopyritem až 1,5 g/t.

Kratochvíl (1964) ze Zahořan uvádí arsenopyrit, chalkopyrit, pyrit a zlato.

Těžba zlata zde probíhala zřejmě od 14. století, kdy bylo zlato získáváno rýžováním na Zahořanském potoce, během husitských válek rýžování ustalo a bylo obnoveno spolu s těžbou zlata až v 16. století, všechna důlní díla byla opuštěna na přelomu 18. a 19. stol.

Do současné doby se dochovalo několik důlních děl, převážně malého rozsahu (jednotky metrů), výjimku tvoří štola Nový Vilém s délkou chodeb necelých 200 m.



Obr. 10 – Geologická mapa zájmového území v oblasti Zahořan. Geologický podklad - Česká geologická služba.

5. Strukturně-geologická charakteristika vybraných lokalit

5.1 Radlík

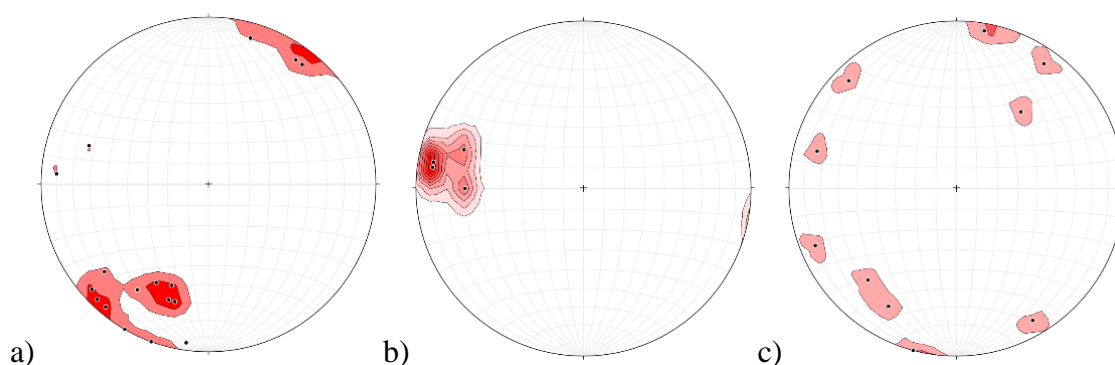
V oblasti Radlíku byla provedena terénní pochůzka a změřeny dostupné strukturní prvky. Následně byly změřeny strukturní prvky v prostoru Hluboké radlické štoly. Změřeny byly zejména foliace a pukliny, dále pak křemenné žíly, které se zde vyskytují.

5.1.1 Hluboká radlická štola

Tato štola se do současné doby zachovala v přístupné délce všech chodeb asi 200 m, zbytek štoly je zavalen. Je ražena po zlomovém pásmu, v několika místech štola narazila na další poruchová pásma, která místy obsahují křemenné žíly, a ty jsou krátce sledovány. Jedno z pásem obsahuje nejmocnější nalezenou křemennou žílu, jejíž mocnost je 20 cm. Směr pásma 40° a jeho sklon 50° k JV přibližně odpovídá směru hlavních přesmykových zlomů, na které jsou vázány jílovské zlatonosné žíly. Ve štole byly nalezeny i další křemenné žíly menších mocností, některé byly paralelní s puklinovým systémem.

5.1.2 Strukturní měření

Naměřené hodnoty jílovské kliváže zhruba odpovídají hodnotám, které jsou pro jílovskou oblast typické, tedy směr asi 30° a strmý úklon k VJV (Kap. 4.1). Puklinový systém je vyvinut v jednom hlavním směru, který je velmi strmý, upadá směrem k JZ nebo SV a svírá s jílovskou kliváží úhel asi 45° . U křemenných žil se pro různorodost orientace a malý počet měření nepodařilo vysledovat jasný trend, nicméně některé žíly mají podobně směry jako jílovská kliváž, některé jsou zhruba paralelní s puklinovým systémem. Stereogramy v projekci na spodní polokouli jsou na (Obr. 11).



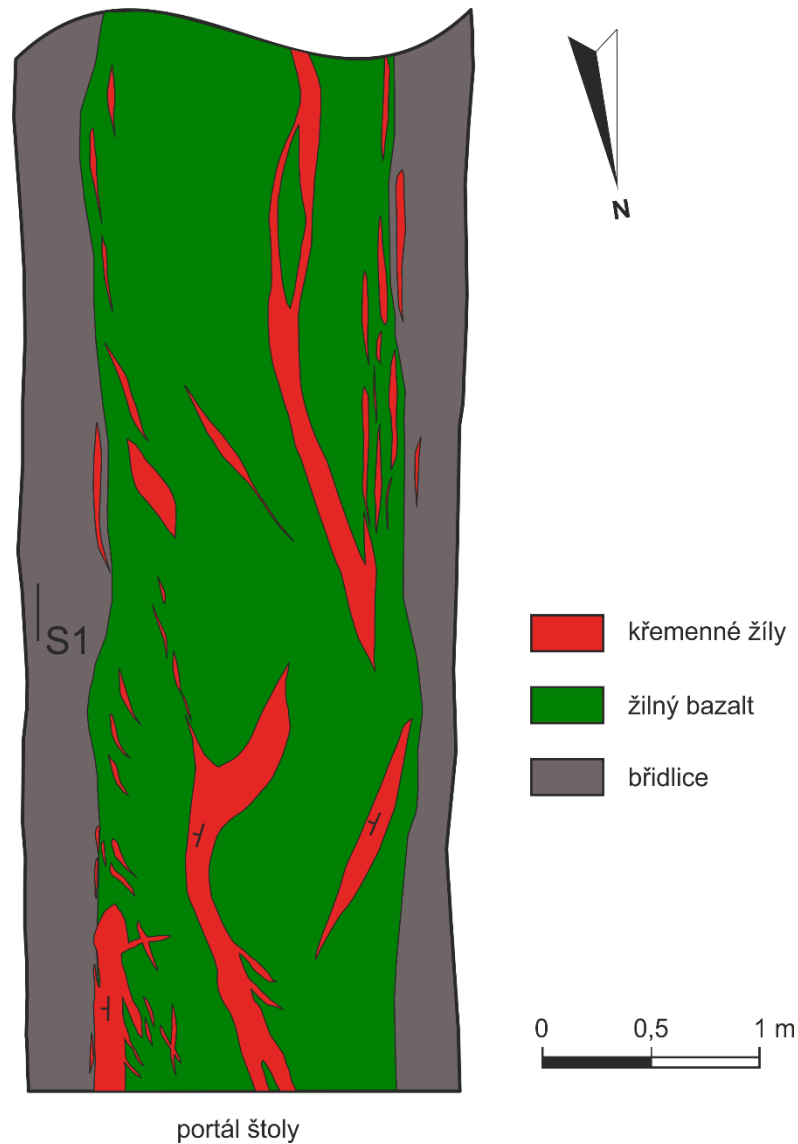
Obr. 11 – Tektonická měření v oblasti Radlíku, a) – póly puklin (n=17), b) – póly jílovské kliváže (n=4), c) – póly křemenných žil (n=10).

5.2 Zahořany

V oblasti Zahořan byla rovněž provedena terénní pochůzka a navštívena dostupná důlní díla. Byla navštívena štola Marie Pomocná, štola Nový Vilém a jedná bezejmenná štola vyražená ve svahu naproti štole Nový Vilém. Byly opět měřeny tektonické prvky, jak ve štolách, tak i na výchozech.

5.2.1 Štola Marie Pomocné

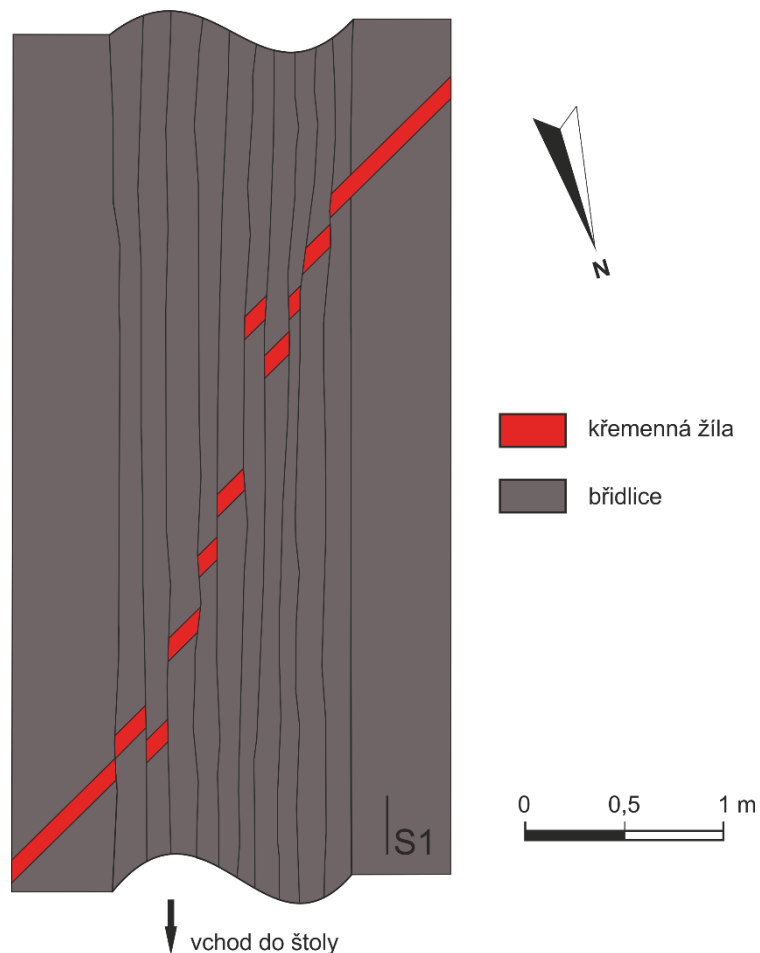
Jedná se o asi 13 m dlouhé důlní dílo z konce 17. století. Štola sleduje žílu bazaltu, který je pronikán křemennými žilami o mocnosti do 10 cm, výjimečně až 20 cm. Křemenné žíly se v malé míře vyskytují i v okolní břidlici. Žíla bazaltu je uložena ve směru jílovské kliváže. Podél bazaltové žíly docházelo zřejmě k opakovaným tektonickým pohybům, možná se jedná o dextrální posun. Geologická mapa části štoly v blízkosti vstupu je na (Obr. 12).



Obr. 12 – Geologická mapa (horizontální průřez) štoly Marie Pomocné v Zahořanech, S1 označuje směr jílovské kliváže.

5.2.2 Štola Nový Vilém

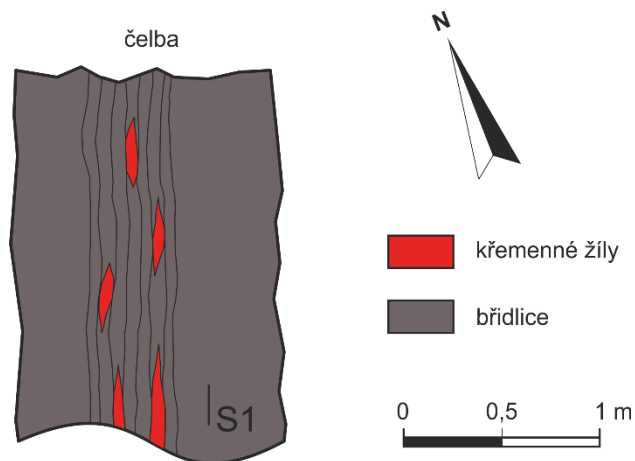
Štola Nový Vilém pochází z konce 18. století. Je dlouhá asi 160 m, na jejím konci je boční rozrážka o délce 14 m a sleduje dvě poruchová pásma. Štola kříží velké množství křemenných žil, jejich mocnosti jsou od 0,5 cm do 10 cm. Místa jsou zrudněna arsenopyritem a obsahují též malé množství karbonátů. Žíly jsou v místě křížení s poruchovým pásmem porušeny, podél poruchových pásem tedy docházelo k opakovaným pohybům. Pohyby zřejmě nebyly pouze jednostranné, nicméně převažuje sinistrální složka pohybu s celkovým přemístěním 3,4 m (Obr. 13).



Obr. 13 – Příklad porušení křemenné žíly v poruchovém (zlomovém) pásmu ve štole Nový Vilém v Zahořanech, horizontální průřez, S1 označuje směr jílovské kliváže.

5.2.3 Štola ve svahu naproti štole Nový Vilém

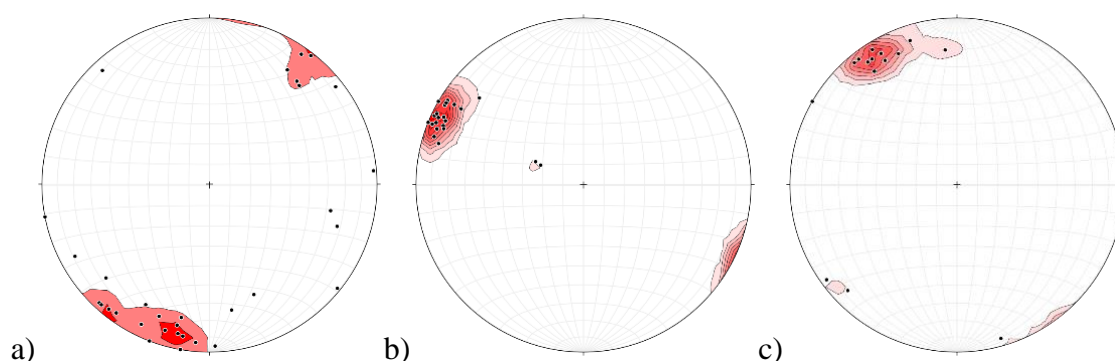
Jedná se o asi jen 6 metrů dlouhou štolu. Štola sleduje poruchové pásmo paralelní s jílovskou kliváží a na něj vázané křemenné žíly, které jsou podél něj rozvečeny (Obr. 14).



Obr. 14 – Geologická mapa (horizontální průřez) části štoly naproti štole Nový Vilém, S1 značí směr jílovské kliváže.

5.2.4 Strukturní měření

Stereogramy všech měření jsou uvedeny na (Obr. 15), projekce na spodní polokouli. Ačkoli tato oblast již neleží v jílovském pásmu, ale v nadložních proterozoických horninách, je zde jílovská kliváž dobře vyvinuta a její směr a sklon odpovídá směru ve zbytku revíru. Puklinový systém je stejné orientace jako puklinový systém v oblasti Radlíku, křemenné žíly jsou v Zahořanech orientovány ve dvou směrech, přičemž jeden naprosto převládá. Je velmi strmý až subvertikální a s jílovskou kliváží svírá úhel asi 30° (Obr. 15 b, c).



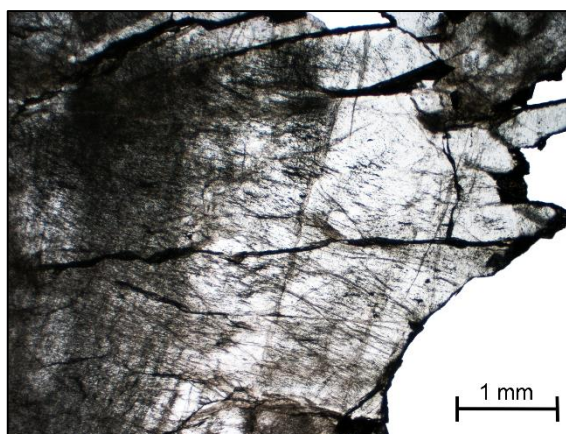
Obr. 15 – Tektonická měření v oblasti Zahořan, a) – póly puklin (n=32), b) – póly jílovské kliváže (n=28), c) – póly křemenných žil (n=20).

6. Studium vzorků žiloviny z oblasti Zahořan

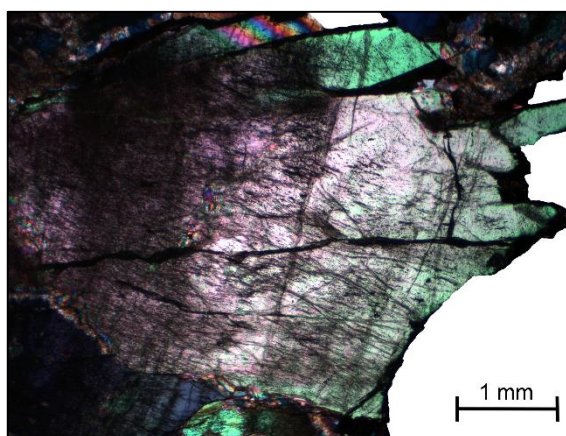
Pro účely bližšího studia křemenných žil v oblasti Zahořan byly odebrány jejich vzorky. Vzorky byly odebrány ve štolě Nový Vilém a také z vytěženého materiálu, který se nacházel před bezejmennou štolou nedaleko štoly Nový Vilém. Ze vzorků materiálu byly vyrobeny výbrusy a ty byly studovány pod mikroskopem. V jednom vzorku byly později zkoumány fluidní inkluze. Vzorky žiloviny byly nápadné přítomností dvou makroskopicky odlišných variant křemene – jedna byla šedé barvy a neprůhledná, druhá byla čirá.

6.1 Mikroskopie

Vzorek křemenné žiloviny obsahuje množství křemenných zrn, na okraji výbrusu bylo pozorováno jedno větší zrno (Obr. 16 a Obr. 17). Zrno je hypautomorfně omezené, jeho báze je šedé barvy, bohatá na fluidní inkluze, jeho okraj (mladší část) je čirý a obsahuje minimum fluidních inkluzí. Protážení inkluzí je paralelní s protážením zrna (s jeho osou *c*), skupinky inkluzí vytvářejí slabě nápadné trailly kolmé na osu *c*. Z mikroskopického studia vzorku vyplývá, že obě varianty křemene (šedá i čirá) patří do jedné generace.



Obr. 16 – Vzorek křemenné žiloviny, rovnoběžné nikoly.



Obr. 17 – Vzorek křemenné žiloviny, zkřížené nikoly.

V dalším vzorku byl pozorován taktéž křemen a karbonát (kalcit). Kalcit byl na některých místech porušen a tahové pukliny byly vyplněny křemenem. Z toho vyplývá, že kalcit je starší než křemen, je však možné, že toto bylo součástí jednoho procesu. Na hranicích zrn byl dále identifikován chlorit. V kalcitu byly zjištěny rudní fáze, jedná se pravděpodobně o pyrit nebo pyrhotin a arsenopyrit.

6.2 Fluidní inkluze

Vzorek žiloviny byl následně rozlámán na několik kusů a byly studovány přítomné fluidní inkluze. Mikrotermometrické měření bylo provedeno na aparatuře Linkam THMSG 600 a mikroskopu Olympus BX-40. Studovaný vzorek fluidních inkluzí obsahoval velké množství, jejich velikost však většinou nedosahovala ani 10 μm , ve většině případů se jejich velikost pohybovala pouze okolo 5 μm , což poněkud ztěžovalo pozorování během mikrotermometrických měření.

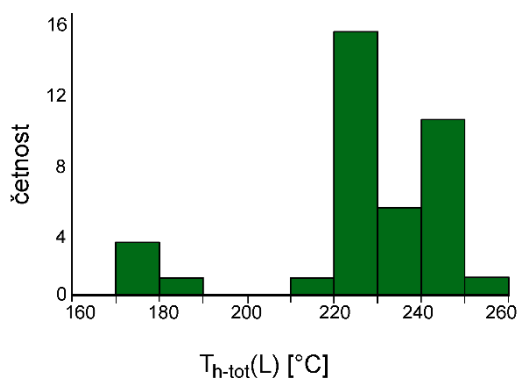
Všechny pozorované inkluze byly dvoufázové (kapalina-plyn), některé byly plynem bohaté, ale většina jich byla bohatá kapalinou. Stupeň zaplnění se pohyboval okolo 0,8-0,95 (Obr. 18). Mikrotermometrická měření neprokázala přítomnost CO_2 v plynné fázi fluidních

inkluzí. Stopová množství CO_2 (< 1-2 mol. %) však nelze vyloučit. Roztoky odpovídají systému H_2O -soli.



Obr. 18 – Ukázka fluidních inkluzí ve studovaném vzorku.

Ve vzorku byly nalezeny homogenní populace primárních fluidních inkluzí o počtech 19, 7 a 10 inkluzí, na kterých bylo provedeno měření. Vzorek byl nejprve ochlazován, vymrznutí inkluzí nastalo při teplotě $-40\text{ }^\circ\text{C}$. Následně byl vzorek zahříván, roztátí ledu nastalo při teplotě $-2,0\text{ }^\circ\text{C}$ a indikuje tak salinitu 3,4 hm. % NaCl_{ekv} (podle Bodnar, 1993). Teplotu prvního tání se bohužel pro malou velikost inkluzí nepodařilo naměřit. Vzorek byl dále zahříván, histogram teplot celkové homogenizace na kapalinu je na (Obr. 19). Střední hodnota $T_{\text{h-tot}}(\text{L})$ je $+229\text{ }^\circ\text{C}$, směrodatná odchylka je $18,4\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 19 – Histogram teplot celkové homogenizace na kapalinu ve studovaném vzorku.

7. Diskuze – porovnání okrajových částí jílovského revíru s ložisky orogenic gold

Vzhledem k tomu, že se obě studované oblasti nacházejí na okraji jílovského zlatonosného revíru, jsou zde projevy mineralizace poměrně málo výrazné. Styl mineralizace a její mineralogické složení není v rozporu s mineralizací ložisek typu orogenic gold. Tektonická vazba není příliš patrná, nicméně je zde v relativní blízkosti revíru, stejně jako ve vlastním jílovském revíru přítomen hlubinný zlom (středočeská střížná zóna), což je jednou z charakteristických vlastností ložisek typu orogenic gold.

Studiem fluidních inkluzí bylo zjištěno, že neobsahují CO₂, případně ho obsahují pouze stopové množství. Salinita je 3,4 hm. % NaCl_{ekv.}. Obě tato zjištění také nejsou v rozporu s vlastnostmi fluid u ložisek typu orogenic gold. Naměřená střední teplota celkové homogenizace dobře koreluje s daty, která byla naměřena v centrálním jílovském revíru, Fričová (1997) uvádí pro primární inkluze v křemenu rozsah teplot homogenizace od +220 do +230°C.

8. Závěr

Ložiska typu orogenic gold jsou ložiska zlata, ze kterých bylo získáno nejvíce zlata (pokud neuvažujeme ložisko Witwatersrand, jehož geneze není dosud zcela objasněna) v historii lidstva. Tento ložiskový typ byl definován teprve v nedávné historii, kdy nové přístupy a metody umožnily ložiska lépe klasifikovat. Je proto snaha najít u ložisek shodné znaky a na jejich základě ložisko zařadit do příslušného ložiskového typu.

Okrajové části jílovského zlatonosného revíru, konkrétně oblasti Radlíku a Zahořan jsou oblastmi, kde se zlato dobývalo spíše historicky a podrobné geologické a genetické zpracování dosud chybí. Proto byla některá dostupná důlní díla geologicky zmapována, byly naměřeny tektonické strukturní prvky jak na povrchu, tak v podzemí a na některých místech byly odebrány vzorky, které byly podrobeny studiu pod mikroskopem a studiu fluidních inkluzí.

Na základě všech získaných údajů není možno studované okrajové části jílovského revíru jednoznačně zařadit do ložiskového typu orogenic gold, nicméně žádné naměřené skutečnosti nejsou v přímém rozporu s charakteristikami tohoto typu ložiska. Jelikož jsou studované lokality prostorově odlehle od centrálního jílovského revíru a projevy mineralizace nejsou příliš výrazné, je přesná klasifikace těchto lokalit problematická, nicméně pravděpodobně by byla umožněna dalším, podrobnějším studiem.

Reference

- BODNAR, R.J., (1993) *Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution*. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 57, str. 683-684.
- BOYLE, R.W., (1979) *The Geochemistry of Gold and its Deposits*, *Bulletin (Geological Survey of Canada)*, 280, str. 9-22.
- CLINE, J.S., HOFSTRA, A.H., MUNTEAN, J.L., TOSDAL, R.M., HICKEY, K.A., (2005) *Carlin-Type Gold Deposits in Nevada: Critical Geologic Characteristics and Viable Models*. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, str. 451-484.
- COX, D.P. a SINGER, D.A., (1986) *Mineral Deposit Models*. U.S. Geological Survey bulletin 1693, str. 239-243.
- FRIČOVÁ, A., (1997) *Studium plynokapalných uzavřenin na ložisku Jílové u Prahy*. Diplomová práce. Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, str. 190-112.
- FRIMMEL, H.E., (2008) *Earth's continental crustal gold endowment*. *Earth and Planetary Science Letters*, č. 267, str. 45–55.
- GROVES, D.I., GOLDFARB, R.J., GEBRE-MARIAM, M., HAGEMANN, S.G. a ROBERT, F., (1998) *Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types*. *Ore geology Reviews* 13, str. 7-27.
- GROVES, D.I., GOLDFARB, R.J., ROBERT, F. a HART, C.J.R., (2003) *Gold Deposits in Metamorphic Belts: Overview of Current Understanding, Outstanding Problems, Future Research, and Exploration Significance*. *Economic Geology*, Vol. 98, str. 1–29.
- GOLDFARB, R.J., GROVES, D.I., GARDOLL, S., (2001) *Orogenic gold and geologic time: a global synthesis*. *Ore Geology Reviews* 18, str. 1-75.
- GOLDFARB, R. J., BAKER, T., DUBÉ, B., GROVES, D.I., HART, C.J.R., a GOSSELIN, P., (2005) *Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes*. *Economic geology*, 100th Anniversary Volume, str. 407-450.

- HART, C.J.R., (2005) Classifying, Distinguishing and Exploring for Intrusion-Related Gold Systems: *The Gangue MDD Newsletter*, Issue 87, 1, str. 4-9.
- KRATOCHVÍL, J., (1964) *Topografická mineralogie Čech*. Díl U-Ž, 2. vydání, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, str.256-257.
- KUČERA, J., (2000) *Zhodnocení zlatonosné mineralizace v oblasti Zahořan u Jílového*. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně, Katedra geologie a paleontologie, str. 1-35.
- LINDGREN, W., (1933) *Mineral Deposits*, 4th edition, Mc-Graw-Hill Book Company, New York and London, str. 114-122.
- MORÁVEK, P., (1971) Ložiskové poměry a mineralizace jílovského zlatonosného revíru. *Ložisková Geologie*. Ústřední ústav geologický, Praha, str. 7-170.
- MORÁVEK, P., AICHLER, J., DOŠKÁŘ, Z., DUDA, J., ĎURIŠOVÁ, J., HAUK, J., JANATKA, J., KALENDA, F., KLOMÍNSKÝ, J., KVĚTOŇ, P., LITICHLEB, J., MALEC, J., MRÁZEK, I., NOVÁK, F., POUBA, Z., PUDILOVÁ, M., PUNČOCHÁŘ, M., SKÁCEL, J., SOUKUP, B., STUDNIČNÁ, B., SZTACHO, P., ŠPONAR, P., TÁSLER, R. ml., VÁŇA, T., VANĚČEK, M. a VESELÝ, J., (1992) *Zlato v Českém masívu*. Vydavatelství Českého geologického ústavu, Praha, str. 157-161.
- MORÁVEK, P., FEDIUK, F., RÖHLICH, P. a VÁŇA, T., (1994) *Jílovské pásmo, Geologická mapa 1:25 000 a vysvětlivky*. Nakladatelství Gabriel, Praha.
- MORÁVEK, P. a LITICHLEB, J., (2002) *Jílovské zlaté doly*. Regionální muzeum v Jílovém u Prahy, Jílové u Prahy, str. 171-177.
- RIDLEY, J. R. a DIAMOND, L. W., (2000) Fluid chemistry of orogenic lode-gold deposits and implications for genetic models. *Reviews in Economic Geology*. 2000, **13**, str. 141-162.
- ROBERT, F., BROMMECKER, R., BOURNE, B. T., DOBAK, P. J., McEWAN, C.J., ROWE, R. R. a ZHOU, X., (2007) Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types *Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, str. 691-711.

SLAVÍK, F., (1952) *Vznik a výskyt nerostů*. Přírodovědecké nakladatelství, Praha, str. 84-86.

TOMKINS, A. G., (2013) On the source of orogenic gold. *Geology* 2013, **41**(12), str. 1255-1256. DOI: 10.1130/focus122013.1. ISSN 0091-7613. Dostupné také z: <http://geology.gsapubs.org/cgi/doi/10.1130/focus122013.1> [cit. 2016-06-28]

VANĚK, V., (2004) Hluboká dědičná štola na Radlíku u Jílového: Vývoj názorů na historii a lokalizaci v průběhu 20. století. *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea*, č.12, Praha, str. 206-213.

ZACHARIÁŠ J., (2000). *Úvod do studia plynokapalných inkluzí*. Ústav geologie, mineralogie a nerostných zdrojů, PřFUK, Praha.