

Nastanek svinčeve in cinkove rude mežiških rudišč

Uroš Herlec, Darja Komar

V Geoparku Karavanke in celotnem območju geotektonske enote Severnih Karavank sta znana dva načina nastanka svinčevih in cinkovih orudenj – mežiški tip (imenovan po Mežici, najpomembnejšem kraju in rudniku v regiji) in topelski tip (poimenovan po majhnem rudišču Topla v slikoviti istoimenski dolini, ki je hkrati krajinski park). Prevladujoč in gospodarsko najpomembnejši je mežiški tip orudenja z debelozrnato rudo, ki so jo odkopali skoraj 19 milijonov ton. Iz nje so pridobili več kot en milijon ton kovinskega svinca in približno 500.000 ton cinka. Razmerje med svincom in cinkom je 2 : 1, povprečna vsebnost (svinca

in cinka) v rudi je bila okrog 6 odstotkov. Rudišča mežiškega tipa se razprostirajo na površini več kot 10 kvadratnih kilometrov med Mežico in Črno in med Peco in Uršljo goro. Na tem prostoru so odkrili več kot 350 rudnih teles, ki se med seboj lahko zelo razlikujejo po velikosti in/ali obliki. Ti sta odvisni od načina nastanka prostorov, v katerih so se izločili rudni minerali. Prostor za rast so imeli v razpokah prelomnih con, kraških votlinah in v pogosto zelo majhnih, med seboj povezanih porah v bolj prepustnih različnih več kot 600 metrov debelega zaporedja plasti Wettersteinske formacije ladinijske starosti. Kovine so prinesle vroče

Krajinski park Topla. Foto: Tomo Jeseničnik.



slane rudne raztopine, ki so vsebovale prosti kisik, ki je onemogočal transport železa. Rudni in sočasno izločani jalovinski minerali so bili izločeni pri temperaturah od 122 do 159 stopinj Celzija zaradi postopnega padanja temperature in zasičenja raztopine, reakcije kisle raztopine z apnenčasto prikamnino, zaradi katere so bile votline dodatno korozivno razširjene, rudni raztopini pa se je dvignila vrednost pH, ter bakterijske redukcije sulfata v sulfid, ki jo je omogočila v kamninah prisotna razpadajoča organska snov, ki je porabila prosti kisik in vzpostavila anaerobne razmere z negativno vrednostjo redoks potenciala (Eh). Proces orudenja je potekal v velikih globinah v zaporedju trdnih apnencev in dolomitov. Tak proces nastanka imenujemo **epigeneza**.

Topelski tip rudišča je gospodarsko manj pomemben, saj so iz njega pridobili le nekaj več kot 250.000 ton rude, vendar je **izjemna geološka naravna dediščina svetovnega pomena**, saj je do sedaj edino znano rudišče cinka in svinca, kjer je uspelo dokazati njegov nastanek v času sedimentacije. Sedimenti so se odlagali med srednjim in mlajšim anizijem v medplimskem in nadplimskem okolju na plitvinah karbonatne platforme, ki je obrobjala obsežni ocean Tetido, na kateri je sicer nastala večina mezozojskih apnencev in dolomitov v Dinaridih in Vzhodnih Alpah. Drobnozrnati rudni minerali tvorijo valovito laminirane, nagubane in splazele – pretrgane rudne plasti, ki dokazujejo gravitacijske deformacije na pobočju sedimentacijskega prostora iz časa, ko je bil sediment še nevezan. Cink in svinec, ki sta

Profil zabodnega rudnega telesa v Topli. Foto: Uroš Herlec.



bila najprej vezana v karbonatih in sulfatih, sta se odlagala sočasno z zelo drobnozrnatim kalcijevim karbonatom – aragonitom, ki je bil ob vplivu magnezija iz slanic spremenjen v mineral dolomit, ki je kalcijev in magnezijev karbonat. Obogatitev sedimenta s kovinami je torej potekala hkrati z odlaganjem karbonatnega sedimenta. Prva faza nastanka je torej sočasna s sedimentacijo oziroma **sinsedimentna**, medtem ko so rudni minerali – cinkovi, svinčevi in železovi sulfidi (sfalerit, galenit in pirit) – nastajali nekoliko kasneje oziroma globlje v sedimentu. Ob razpadu v sedimentu prisotnih organskih snovi, ki je vzpostavil anaerobne razmere, in bakterijski redukciji v porni vodi in sedimentu prisotnega sulfata se je izvršil proces strjevanja kamnine, ki ga imenujemo zgodnja diageneza. Zato je druga faza nastanka rudišča **zgodnjediagenetska**. V rudi je razmerje med svincem in cinkom enako 1 : 5. Ruda je bila bogatejša od mežiške, saj je imela skupaj več kot 10 odstotkov (cinka in svinca), vendar je bila zaradi drobnozrnatosti in zraščенosti zrn sfalerita in galenita zelo zahtevna za predelavo. Učinkovitost ločevanja sfalerita in galenita pri predelavi rude v rudne koncentrate je bila slabša. Manjši je bil tudi izkoristek, saj se mnogo manjših rudnih zrn ni dalo ločiti od jalovinskih dolomitnih in jih pridobiti v rudni koncentrat. Čeprav ležijo rudna telesa obeh načinov nastanka le približno 2.000 metrov vsaksebi, so mežiška v ladinjskih plasteh del Severnokaravanškega nariva, medtem ko so rudna telesa Tople v anizijskih plasteh Pecinega nariva. Torej ju poleg različnih starosti kamnin, v katerih sta nastala, rudnih tekstur in velikosti in zraščенosti rudnih mineralov, razmerij med svincem in cinkom ter načinov nastanka loči tudi pripadnost različnim tektonskim enotam.

Pa si pogledjmo najprej značilnosti mežiških rudišč. Večino rudnih teles najdemo v zgornjih 600 metrih Wettersteinske formacije, ki pripada sicer kar 2.200 metrov debelemu zaporedju ladinjskih skladov. Wetterstein-

ska formacija je bila odložena v treh različnih (faciesih) karbonatnih sedimentov, ki so se odlagali v predgrebenskem, grebenskem in lagunskem sedimentacijskem okolju takratne obširne karbonatne platforme na plitvinah oceana Tetida.

Rudna telesa delimo po obliki in legi glede na zaporedje plasti, v katerih so nastala, na diskordantna in konkordantna. Diskordantna rudna telesa so nastala v strmih razpokah – v odprtih prelomnih conah, ki ležijo bolj ali manj prečno na plastnatost –, medtem ko so konkordantna, imenovana tudi medplastna rudna telesa, bolj ali manj vzporedna s plastnatostjo. Nastala so v plasteh v tistih delih, kjer so bile v času dotoka rudnih slanic porozne in zato zanje dovolj prepustne. Večinoma so to nivoji sedimentnih okopnitvenih (tudi emerzijskih) breč v lagunskem faciesu Wettersteinske formacije. Mineralna sestava obeh tipov rudnih teles (prevladujejo galenit in sfalerit, dolomit in kalcit, podrejena pa sta barit in fluorit) in zaporedje izločanja rudnih in jalovinskih mineralov sta enaki, kar kaže, da so rudna telesa obeh tipov nastajala sočasno kot rezultat istega procesa. Nekoliko se razlikuje vsebnost nekaterih slednih prvin v konkordantnih rudnih telesih, ki jo razlagamo s prvinami, odloženimi na paleokraških površinah z brečami, ki so vsebovale netopni ostanek kraške korozije.

Kamnine lagunskega razvoja Wettersteinske formacije so nastajale v območju plimskega okolja (stromatolitni apnenci in dolomiti), podplimskega okolja odprtih lagun z bogatim življenjem, o katerem pričajo fosili v drobnozrnatih, mikritnih apnencih, ter nadplimskega okolja z nivoji okopnitvenih breč in paleokraškimi površinami. Konkordantna rudna telesa sledijo poroznim okopnitvenim brečam, ki so omogočila prepustnost rudonosnih raztopin, ki so jih iz globin vodile strme razpoke. S selektivnim raztapljanjem kalcita iz apnencev si je rudonosna raztopina, ki je vsebovala žvepleno kislino, najprej razširila poti – kanale, kasneje pa so



Galenit – svinčev sulfid s kalcitom in dolomitom v diskordantnem žilnem mežiškem tipu orudenja.

Foto: Tomo Jeseničnik.

se v tako razširjenih votlinah iz rudonosnih raztopin izločili debelozrnati rudni in jalovinski minerali. Konkordantna rudna telesa sledijo drugim prepustnim conam v plasteh na primer stromatolitnih apnencev z izsušitvenimi porami in so nastala v njih, vendar rudni minerali ne tvorijo sedimenta, kot je to v Topli, ampak le zapolnjujejo prvotno poroznost.

Izjemno zanimiva so rudna telesa, ki so nastala v kraških votlinah. Te so nastale v daljših okopnitvenih fazah karbonatne platforme v že trdnih apnencih. Nad večjimi kraškimi jamami je povečani tlak, ki je nastal zaradi teže kasneje odloženih sedimentov, povzročil postopno rušenje njihovih stropov in v že trdnih kamninah so nastala do več deset metrov visoka stebričasta podorna porozna brečasta telesa, ki imajo lahko precej veliko površino. V primerih, ko so v tako porozno brečo dotekale rudonosne

raztopine, so se rudni minerali izločili kot cement med ostrorobnimi odlomki. Najbolj znan primer takega nastanka je rudno telo Graben.

Rudne minerale, ki so bili izločeni kot cement v poroznih brečah med manj prepustnimi plastmi meljevcev in muljevcev, so našli tudi v predgrebenskih različnih kamnin.

V grebenskih različnih Wettersteinskega razvoja, ki ga tvorijo skeleti koral in stromatopor, rudni minerali zapolnjujejo ostalo skeletno poroznost grebenskih organizmov, predvsem koral.

Ponekod najdemo drobne rudne minerale tudi v laminiranih lagunskih sedimentih, vendar podrobne mikroskopske analize vedno pokažejo, da gre za zapolnitve učinkovito poroznih sedimentov, ki pa niso nastali sinsedimentno tako kot v Topli. Prav nivoji rahlo orudenih poroznih stromatolitov so

dolgo zavajali raziskovalce, ki so skušali te rudne pojave razložiti na enak način kot nastanek rudišča Topla. Šele s podrobnimi mikroskopskimi raziskavami z metodo katodoluminescence so dokazali, da gre za rudi s povsem različnim nastankom.

Enako zaporedje rudnih zrn galenita in sferlita ter spremljajočih generacij dolomita in kalcita ne najdemo samo v Wettersteinskih plasteh, ampak tudi v tankih žilicah več kot 1.000 metrov višje v zgornjetriasnih in spodnjejurskih plasteh, kar kaže na njihov sočasni epigenetski nastanek. Čeprav je mežiško rudišče nastalo v ladinjskih plasteh, zaradi česar so mu dolgo pripisovali ladinjsko starost, prav najnižja starost kamnin s takimi žilicami dokazuje njegovo pozno spodnjejursko–plienbachijsko starost, ki se ujema s takratnim izjemnim regionalnim tektonskim procesom. Nastopila je obsežna raztezna (ekstenzijska) tektonska faza z razpiranjem globokih razpok, ki so omogočile dvigovanje vročih rudnih slanice iz zaporedja poroznih klastičnih kamnin v velikih globinah, iz katerih je nastalo epigenetsko svinčevo-cinkovo orudjenje v Mežici. Razpiranje je sočasno oziroma sestavni del odpiranja jurskega oceana Penninicum, imenovanega tudi Severna Tetida.

Le zelo majhna vsebnost železovih sulfidov v rudi dokazuje, da je imela rudonosna raztopina dovolj prostega kisika, ki je preprečeval transport železa. V takem okolju je namreč oksidno trivalentno železo Fe^{3+} imobilno. S podrobnimi geokemičnimi raziskavami so ugotovili, da so se sulfidi izločili zaradi padanja temperature, zmanjševanja kislosti zaradi topljenja apnenca na poti in reakcije rudonosne raztopine z organskimi snovmi v okoliških kamninah, s čimer se je porabil prosti kisik. To je omogočilo anaerobne razmere in bakterijsko dejavnost - redukcijo raztopljenih svinčevih in cinkovih sulfatov, kar smo dokazali z analizami izotopske sestave žvepla v izločenih sulfidnih rudnih mineralih.

V svetovnem merilu edinstveno cinkovo-

-svinčevo rudišče v Topli so odkrili zgolj v anizijskih drobnozrnatih plastnatih dolomitih na južnih pobočjih Pece. Z intenzivnimi raziskavami in rudarjenjem so začeli po drugi svetovni vojni. Sprva so sklepali, da gre v rudišču za kar 14 cinkovo-svinčevih rudnih teles, vendar so s kasnejšimi odkopavanji ugotovili, da gre pravzaprav le za tri. To so: Staro, Vzhodno in Zahodno rudno telo, katerih deli so ob navpičnih prelomih zamaknjeni, kar je na začetku raziskav dalo vtis, da jih je več.

Poleg mikroskopskih značilnosti dokazujejo sinsedimentni nastanek sedimentne strukture in teksture rude – plastnatost ter vzporedna, navzkrižna in valovita laminacija -, ki so nastajale v karbonatnem mulju plimskih kanalov priobrežne plimske in nadplimske cone na karbonatni platformi, ki je bila pod občasnim vplivom nevihtnih valov. Njihovo veliko transportno moč dokazujejo večji drobci fosilov in odlomki dolomita, z valovi prinašeni z bližnjih kopnih območij v kotanje, kjer tvorijo plasti breč med drobnozrnatimi sedimenti. Plimski tokovi so prinašali iz oceana še hladnejšo vodo s povečano vsebnostjo raztopljenega karbonata. Laminirani karbonatni mulj se je izločal iz slane vode ob vsakem Sončevem ogrevanju sveže oceanske vode, ki jo je plima prinesla na plitvine. Postopoma je povsem zapolnil tri bolj ali manj podolgovate plitve kotanje z zakraselim dnom. Rudne plasti dosegajo največjo debelino do 11 metrov, vendar se v vseh smereh bočno izklinijo že na razmeroma kratkih razdaljah. Strma pobočja kotanj so omogočala pogoste zdrse in plazenje še mehkih sedimentov. Vzrok za nastanek kotanj je bila predrudna prelomna tektonska deformacija območja, ki je ustvarila relief in povzročila začasno okopnitev. Gladina morja je bila tudi v času plime toliko nižja, da območja kotanj in kasnejšega rudišča viški plime z vsakokratnim transportom sveže morske vode, bogate z raztopljenim karbonatom, niso dosegali in poplavljali. Začela se je kraška korozija v pred tem odloženi,



a že povsem strjeni, v kamnino dolomit vezani dolomitni mulj. Na korodirani površini je bilo odloženega tudi nekaj netopnega in z železovimi oksidi obogatenega kraškega sedimenta – *terra rosse*.

Visoke plime so v kotanje ponavljajoče pri-

našale morsko vodo, ki se je zaradi omejenega stika s takratnim oceanom Tetido v času oseke in pospešenega izhlapevanja hitro obogatila s soljo. Iz slanice se je najprej izločil kalcijev karbonat - aragonit, ki mu je verjetno sledila drobnozrnata sadra – kal-



Skorjasti sfalerit – cinkov sulfid, v diskordantnem – mežiškem tipu orudenja. Foto: Tomo Jeseničnik.

kopnega. Večji del sadre pa se je ohranil, saj je bilo v njej vsebovano žveplo osnova za kasnejši nastanek kovinskih sulfidov.

Cinkovi in svinčevi karbonati so se v Topli usedali sočasno z nestabilnim aragonitnim muljem (aragonit se v kamnini ni ohranil), ki je bil sprti nadomeščen s stabilnim dolomitom in z laminami organskih snovi, za katere so z izotopskimi in organsko geokemičnimi raziskavami ugotovili, da so večinoma na mestu nastanka oziroma rasti odloženi ostanki združbe fotosintetskih modrozelenih cepljivk – cianobakterij. Podobno združbo, ki je najmanj občutljiva za visoko slanost, njeno hitro spremenljivost zaradi občasne deževnice in nihanje temperature, poznamo v današnjih solinah iz petole solnih bazenov. Drugih fosilnih ostankov v kotanjah niso našli. Le v eni od redkih jalovih plasti med plastmi rude, ko se je dotok kovin očitno začasno prekinil, so bili sledovi lazenja nekega organizma – (ihnofosil), ki je živel v mehkem

cijev sulfat. Aragonit je bil zaradi stalnega vpliva magnezija iz slanice že na površini sedimenta hitro nadomeščen z dolomitom – kalcijevim in magnezijevim karbonatom, precej topna sadra pa je bila deloma raztopljena v času občasnega dotoka deževnice s

silnih ostankov v kotanjah niso našli. Le v eni od redkih jalovih plasti med plastmi rude, ko se je dotok kovin očitno začasno prekinil, so bili sledovi lazenja nekega organizma – (ihnofosil), ki je živel v mehkem

sedimentu in se hranil z organskimi snovmi v njem. V mulju je tudi nekaj glinenih mineralov in drobcev kopenskih rastlin, ki jih je prinašalo občasno močnejše deževje s takrat kopnega zaledja, ko se je zaradi začasnega zmanjšanja slanosti ob dotoku sladke vode sedimentacija avtohtonega kalcijevega karbonata iz slanice prekinila, povečan pa je bil dotok detritičnega sedimenta s kopna. Močno pooglenele drobce rastlin in minerale glin najdemo v najtemnejših laminah sedimenta. V zelo drobnozrnatem in tudi zaradi vmesnih lamin gline slabo prepustnem sedimentu le nekaj milimetrov pod stikom med slanico in površino sedimenta so razpadajoče organske snovi hitro porabile prosti kisik v porni vodi in vzpostavilo se je redukcijsko okolje brez prisotnosti prostega kisika. Na račun lahko topnih cinkovih in svinčevih karbonatov in sulfatov ter sadre (kalcijevega sulfata) so se začeli izločati cinkovi, svinčevi in zelo podrejeno še železovi sulfidi. Več pirita in markazita je predvsem tik na stiku s talnino, kjer je bilo na voljo več železa iz kraške jerovice. Orudjenje – obogatitev s kovinami – je torej nastajalo sočasno (singenetsko) z muljem, odloženim v kotanjah, vendar je bila večina topnih primarnih rudnih mineralov v sedimentu hitro nadomeščeno s sulfidi, ki so se izločali v procesu strjevanja še nevezanega sedimenta v kamnino (zgodnjediagenetsko). Diageneza je proces, ki vključuje vse, biološke, fizikalne in kemične procese strjevanja nevezanega sedimenta v trdno kamnino. Prvotni rudni minerali se večinoma niso ohranili. Našli smo le nekaj mikrometrov velike nenadomeščene ostanke v sulfidnih rudnih mineralih, nastalih v zgodnji diagenezi.

Velika spremenljivost sicer nižjih vsebnosti cinka in svinca v zaporedju plastnatih drobnozrnatih sedimentov pod rudnimi lečami rudišča Topla in nad njimi kaže, da sta bili obe kovini, cink in svinec, tudi v karbonatnem mulju, ki se je odlagal že pred okopnitvijo in zakrasevanjem ter v sedimentu nad zapolnjenimi kotanjami, vendar je

kovine premalo, da bi jo lahko gospodarno pridobivali.

Razlaga izvora kovin je najdlje povzročala probleme. Menimo, da so kovine prinesle močno slane vroče rudonosne raztopine iz globin po prelomnih razpokah skozi karbonatne kamnine v podlagi. V kotanjah se je rudonosna raztopina mešala s slanico, nastalo z izhlapevanjem morske vode. Isto tektonsko dogajanje, ki je odprlo pot rudonosnim raztopinam skozi kamnine v podlagi, je povzročilo tudi reliefno razgibanost površine komaj odloženih sedimentov na karbonatni platformi. V enako starih plasteh Javorskega potoka je v plasteh dolomita več kot sto nivojev intraformacijskih breč, ki dodatno dokazujejo intenzivno tektoniko, ciklično dvigovanje in erozijo ter sočasno sedimentacijo v tem času.

Akademik Matija Drovenik je s podrobnimi mikroskopskimi raziskavami, ko je v rudi uspel ločiti poleg navedenih dveh generacij rudnih mineralov še sedem kasnejših generacij, dokazal, da je bilo rudišče Topla po nastanku še večkrat bolj ali manj preoblikovano v kasnejših tektonsko-termalnih razvojnih fazah, ki so potekale v kamninah Severnih Karavank do danes. To so nadaljnje faze diageneze, epigeneze ter predvsem večkratna mobilizacija – premeščanja rudnih mineralov – ter nazadnje tudi proces oksidacije, ki poteka ob razpokah, po katerih teče meteorna voda, bogata z atmosferskim kisikom, zato v vseh treh rudnih telesih nastajajo sekundarni rudni minerali, kot so cezuzit, anglezit in smithsonit.

Izvor rudonosnih raztopin

Širok razpon izotopske sestave žvepla v sulfidih navedenih rudišč povsem izključuje kakršnokoli povezavo z žveplom magmatskih ali vulkanskih rudnih procesov, ki so jih za razlago nastanka predlagali prvi raziskovalci. Zaradi obsežnih območij močno hidrotermalno spremenjenih ladinjskih vulkanskih kamnin v osrednji Sloveniji se je to sprva zdela najverjetnejša razlaga na-

stanka mežiških rudišč in izvora rudonosnih raztopin. V kamninah Severnih Karavank je ostankov ladinjskih vulkanskih procesov zanemarljivo malo. Z izotopi žvepla je bila tovrstna hipoteza povsem ovržena. Za vulkanogene rudne raztopine so značilne visoka vsebnost in raznovrstnost slednih prvin in z rastjo temperatur nastanka vedno večja prisotnost bakrovih sulfidov. Odsotnost bakrovih mineralov in nizke vsebnosti slednih prvin v mežiških in topelskih rudiščih, nekoliko več je le kadmija in molibdena, ter analiza temperature homogenizacije in zmrzovanja tekočinskih vključkov pričajo o razmeroma nizkih temperaturah nastanka (od 122 do 159 stopinj Celzija) in veliki slanosti rudonosnih raztopin. Pri obeh rudiščih gre za največjo podobnost z raztopinami, ki so povzročile nastanek rudišč tipa »Mississippi valley« (kratica »MVT«). Tam so rudišča, kjer je bil ta tip prvič podrobno opisan.

Rudišči Topla in Mežica sta nastali iz zelo podobnih nizkotemperaturnih in močno slanih raztopin, ki jih je po sistemu razpok dovajal podobni obširni, regionalni tektonski proces raztezne ali ekstenzijske tektonike, vendar sta nastali v različnem času in na različni način.

Orudjenje v Topli je povzročila ista tektonska faza kot orudjenje z živim srebrom v Idriji, torej Idrijska tektonska faza na meji med srednjim in mlajšim anizijem. Ko je nastajal Idrijski tektonski jarek, ki so ga zapolnjevali s posameznih dvignjenih blokov erodirani sedimenti, je na območju Bleda in Bohinjske Bele potekala intenzivna erozija. Povzročila je izrazito startigrafsko vrzel med srednjepermskim neoschwagerinским apnencem in zgornjeanizijskim dolomitom, kjer manjka približno 500 metrov sedimenta. Ko so erozijski procesi učinkovito erodirali omenjene sedimente, je deževnica lahko pronicala v bočno ležeče precej porozne in zato prepustne grödenske peščenjake. Deževnica se je s pronicanjem v globino postopoma segrevala in topila bolj topne svinčeve in cinkove minerale ter soli, ki so se pred

tem odložili v suhem, aridnem podnebnju srednjega perma. Ker so bili grödenski peščenjaki zelo porozni in slabo sprijeti klastični sedimenti z medzrnsko poroznostjo, menimo, da je voda skozi pronicala daleč v globino. Tam se je porna voda z rastjo temperature kamnine zaradi geotermalnega gradienta še dodatno ogrevala in je zato še lažje raztapljala v sedimentu prisotne svinčeve in cinkove ter druge soli. Več deset ali sto kilometrov od območja ponikanja meteoritnih voda se je segrevala in slana rudonosna raztopina lahko ob strmih prelomih, ki jih je odprla ekstenzijska tektonika, izlila na površje karbonatne platforme in mesto današnjega rudišča. Večji del je sicer odtekel v takratno anizijsko morje, o čemer priča povečanje vsebnosti cinka in svinca ter njuna spremenljivost v talninskih in krovninskih plastnatih dolomitih. Le v depresijah, kot so bile omenjene tri kotanje, se je slanica ujela. Kovine so se skupaj s karbonati in sulfati »ujele« v sedimentu. Kot posledica kopičenja organske snovi oziroma ostankov odmrlih modrozelenih cepljivk in porabe prostega kisika je v kotanjah nastalo redukcijsko okolje brez prisotnosti prostega kiska. Ob anaerobni bakterijski redukciji sulfatov je bilo sproščeno žveplo in z reakcijo s kovinami v raztopini so nastali primarni sulfidi – sfalerit, galenit in podrejeno pirit.

Orudjenje v Mežici je torej nastalo bistveno kasneje kot Topla.

Uroš Herlec: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana.

Darja Komar: Delovna skupnost Geoparka Karavanke, Železna Kapla/Bad Eisenkappel.