

Nastanek in značilnosti kremenovih in drugih kristalov pri Crngrobu

Uroš Herlec, France Stare, Aleksander Rečnik, Mirjan Žorž

V pobočju severovzhodno od cerkve v Crngrobu izdajajo zgornjepermske kamnine žažarske formacije. To so deloma okremenjeni črni apnenci z redkimi kolonijskimi koralami vrste *Waagenophyllum indicum*. Ob pokritem prelomu v prečnodinarski severovzhodno-jugozahodni smeri mejijo na votlikave karnijske dolomitizirane in okremenjene apnenčeve brečaste konglomerate, plastnate julske in tuvalske črne apnence s fosili ter skrilave glinavce, laporovce in peščenjake. Karnijske plasti, ki izdajajo v redkih golicah v pobočju, so večinoma pokrite z debelo pobočno preperino. Nad cerkvijo in severozahodno od nje so po razpoklinskih sistemih delno dolomitizirane in okremenjene. V črnih različnih kamnin z več organskimi



Selektivno izlužen apnenčev in dolomitni karnijski konglomerat z opalnokalcedonskimi in kremenovimi geodami; 30 x 18 cm. Najdba Gregorja Tomca. Zbirka Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Foto: Miha Jeršek



Ko ni bilo več pogojev za nadaljevanje ukrivljene rasti, se je nastala deformacija kompenzirala z nastankom več manjših kristalov, ki skušajo slediti ukrivljenosti osnovnega kristala. Vrhovi kristalov se divergentno razširjajo od c-osi v obliko vzbrstelega ali brstičnega kremenca, 25 x 16 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miran Udovč

snovmi so zgodnjediagenetski kristali pirita in markazita. Skupki kockastih kristalov pirita so veliki nekaj centimetrov, markazit pa je v obliki smrekastih skupkov, velikih do 2 cm; oba minerala sta večinoma v drobnozrnatih konkrecijah okrog fosilov. V preperini sta močno oksidirala, ne glede na to pa so njune kristalne oblike kljub psevdomorfozi v limonit lahko še vedno dobro ohranjene. Zgornjetriasna norijska in retijska baška formacija leži v pobočju nad karnijskimi plastmi, deloma ob prečnodinarskem prelomu, deloma pa ob normalni, večinoma pokriti meji. To so plastnati in skladnati votlikavi dolomiti s plastmi ter gomolji rožencev. V najnižjem delu pobočja, delno še tik nad cerkvijo in vse do dolinske uravnave, ležijo na opisanem zaporedju kamnin erozijsko diskordantno zakraseli oligocenski bazalni, večinoma apnenčevi konglomerati in peščenjaki z vrtačami. Te plasti niso okremenjene.

Najlepši in najbolj raznoliki kristali **kremenca** so nastali v votlikavih karnijskih dolomitiziranih in okremenjenih apnenčevih brečastih konglomeratih. Manj raznolike so zapolnitve v delno dolomitiziranih in okremenjenih apnenicah s fosili. Na istem nahajališču so lahko zelo različne oblike kremenca. Našli smo vse od kalcedonskih (nekdaj opalnih) in drobnozrnatih kremenovih zapolnitev do posameznih geod z nekaj centimetrov velikimi kristali. Kljub kratkim razdaljam med geodami so bodisi skoraj enaki ali pa imajo zelo različno morfologijo, velikost, vključke in barve. Nekdo, ki ne pozna nahajališča, bi jih zlahka pripisal povsem različnim okoljem in pogojem rasti. Za naše razmere oblikovno izredno pestra in zaenkrat, kot kaže tudi število najdenih primerkov, najbogatejša okremenitev votlinic je posledica posebnih in za posamezno geodo značilnih razmer pri njihovem nastanku.



Sosednja lega ploskev bipiramide in značilna lamelasta površina ploskev prizem sta značilni za brazilsko dvojčenje; dolžina 57 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek



Pentljasti (dvojno zdvojeni) kristali so posebnost nahajališča. Prizemske ploskve se navidezno konkavno ukrivljajo od sredinskega dela proti romboedriskim terminacijam, medtem ko so ploskve romboedra videti konveksno napete. Kristal je zato na sredini ožji kot na terminacijah, zaradi česar je podoben pentlji; 37 x 31 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miran Udovč

Ustrezen prostor za rast kristalov so bile votlinice, ki so nastale s selektivnim raztapljanjem najbolj topnega dela kamnine. V klastičnih različnih kamnin so to bili aragonitni in/ali kalcitni skeleti fosilov; na njihovem mestu so nastale votlinice, ki pogosto v največjih podrobnostih odražajo predhodno obliko fosila in ustvarjajo moldično poroznost. To pomeni, da se je po raztopitvi fosila na njegovem mestu ohranil njegov podrobni kremenov »odlitek«. Površinsko preperevanje večinoma karbonatnih kamnin je povzročilo selektivno raztapljanje karbonatov. Zato so se slabše topni kremenovi odlitki nakopičili v preperini v tako dobrem stanju, da lahko fosil taksonomsko določimo.

Največje kroglaste do oglate geode v karnijskih plasteh so posledica selektivnega raztapljanja brečastih konglomeratov z raznovrstnimi prodniki. V majhnem izdanku v spodnjem delu največjega in najbolj pestrega nahajališča smo našli v brečastem konglomeratu še povsem nedotaknjene dolomitne prodnike, v neposredni bližini pa so bili nekdanji apnenčevi prodniki in/ali prodniki apnenčevih peščenjakov selektivno raztopljeni.

Različnost kristalov v posameznih geodah je mogoče razložiti z razlikami v odprti poroznosti in s tem z razliko v količini in koncentraciji raztopin, ki so prinašale kremenico in druge ione ter z različnim številom kristalnih jeder, ki so bila na voljo. Več tisoč povsem podobnih biterminiranih kristalov v posamezni geodi je verjetno zraslo okrog jeder kremenovih zrn v netopnem ostanku selektivno raztopljenega kremenovo-apnenčevega peščenjaka.



V zadnjih fazah so nastali najbolj prozorni kristali ali deli kristalov z najmanj vključki. Iz siromašnejših, a čistejših raztopin, so zrasli značilni, kot čista voda prozorni kratkoprizmatski kristali kremenca, ki jih zaradi njihove popolne prozornosti in diamantnega sijaja imenujemo crngrobški diamanti; 10 x 6 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miran Udovč



Črna fantomska oblika prvotnega biterminiranega kristala v posameznih kristalih kaže na obdobja visoke koncentracije vključkov ogljikovodikov. Prerasla jih je plast bolj prozornega kremenca; višina 12 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek

Netopni ostanek v geodi je s svojo značilno kemično sestavo v okviru mikrookolja posamezne geode deloval kot pospeševalec ali zaviralec razvoja določenih kristalnih ploskev, barv ipd. Kjer v netopnem ostanku ni bilo dovolj zrn kremenca, ki bi lahko bila kristalizacijska jedra, ali pa tam, kjer je zaradi selektivnega raztapljanja hitro nastala večja votlina, so se iz raztopin izločali kristali na stenah geode že v začetni fazi. Večina geod je sploščenih, pretrtih ali počenih, kar kaže, da je selektivno raztapljanje kamnine zmanjšalo njeno trdnost, zato so se posamezni deli posedli, geode pa so se strle in sploščile.

V geodah, ki so nastale z raztapljanjem apnenčevih produktov in kalcitnih fosilov, je prvi kristalil **dolomit** po površinah prekristaljene dolomitne kamnine v obliki nekaj milimetrov velikih, okrasto obarvanih sedlastih romboedričnih kristalov. To kaže, da so imele raztopine, ki so povzročale selektivno raztapljanje in votlikavost, drugačne lastnosti kot kasnejše raztopine.

Dolomitu so sledili sicer redki, do 5 mm veliki kristali dolgo-prizmatskega **adularja**. Po značilni obliki, sijaju in beli barvi jih zlahka ločimo od sedlastih okrastih kristalov dolomita.

Sledila sta izločanje **opala** in verjetno **kalcedona** ter kristalizacija kremenca. Zunanji deli z opalom/kalcedonom zapolnjenih geod imajo po površini značilno ritmično skorjasto pa tudi povsem koncentrično natečno strukturo, če se je hkrati z njunim izločanjem nadomeščala še prikamnina; če so pa površine gladke ali bolj ali manj hrapave, se je zapolnjevala le votlina, ni pa potekalo hkratno nadomeščanje. Kalcedonske kroglice merijo manj kot milimeter, največje pa merijo 15 cm v premeru. Za opal in ritmično izmenjevanje opala in kalcedona je sicer značilno, da nastajata iz koloidnih raztopin z veliko kremenice. Menimo, da sta se izločala tam, kjer je bila največja odprta poroznost in največja koncentracija kremenice v hidrotermalnih raztopinah. V obrobni predelih in tam, kjer je bila zaradi postopno zmanjšane poroznosti kamnine na voljo le siromašnejša ionska raztopina, se je brez opala in kalcedona ter neposredno na dolomitu in adularju izločal kremen v kristalih, kar nam dokazujejo značilni odtisi omenjenih kristalov v opalno-kalcedonskih skorjah in kremenovih kristalih, ki so rastle preko njih.

Dolgoprizmatski prozorni kristali kremenca sestavljajo naključno preraščene skupke, dolge do 81 mm, najtežji pa ima maso 98 g. Kristale kremenca najbolj zanesljivo najdemo v temnordeči ilovici, ki zapolnjuje geode. S preperevanjem kamnine ostane na prvotnem mestu le še ilovica s kristali, zato takrat, kadar naletimo nanjo, previdnost ni odveč. Zaradi hitrega preperevanja lahko pričakujemo originalno priraščene kristale na bituminoznem dolomitu le v izdankih sveže kamnine.

Geode v preperini so največkrat sploščene, včasih pa tudi izrazito diskaste. Doslej smo našli približno 2500 geod. Mnogokrat

so med seboj sprijete, zapolnjene s kristali ali s kalcedonskimi konkrecijami. Našli smo tudi popolnoma votle primerke.

Osnovna značilnost kremenovih kristalov v tem nahajališču je biterminirana rast in veliko bitumenskih, tekočinskih in plinskih vključkov. Jedra in/ali cone kristalov z bitumenskimi vključki kažejo na rast pri temperaturah, ko so vključki najbolj mobilni, to pa so v temperaturnem območju *naftnega okna* (angl.: oil-window) med 80-250° C; deloma skeletno rast, ki je povzročila nepopolno zapolnitev kristalnih ploskev pa kaže, da so rasli hitro. Najvišja temperatura homogenizacije plinsko-tekočinskega vključka je bila 300° C, ki sta jo v kristalih s Crngroba določila Sibila Borojević in Ladislav Palinkaš s Prirodoslovno matematične fakultete v Zagrebu.

Pogosta sosednja lega ploskev bipiramide in značilna lameliranost na prizemskih ploskvah potrjujeta brazilsko dvojčenje. Poleg tega pa so pogosti kristali, ki so dvojno zdvojni in so posebnost tega nahajališča – zanje je značilna pentljasta rast. Prizemske ploskve takšnih kristalov se konkavno ukrivljajo od sredinskega dela proti romboedri terminacijam, sami romboedri pa so konveksno napeti. Kristal je zato na sredini ozek in na terminacijah odebeljen ter podoben pentlji. Dvojno zdvojni kristali so med največjimi; našli smo do 5 cm dolge.

Ko ni več pogojev za ukrivljeno rast, se nastala deformacija kompenzira z nastankom več manjših kristalov, ki skušajo slediti ukrivljenosti osnovnega kristala. Vrhovi takšnih kristalov se divergentno razširjajo od c-osi osnovnega kristala. Zaradi takšnega razraščanja je videti, kakor da bi osnovni kristal vzbrstel, zato mu včasih pravimo tudi *brstični kremen*.

V zadnjih fazah kristalizacije so kristali rasli iz siromašnejših, a čistejših raztopin, zato so nastali najbolj prozorni kristali ali deli kristalov z najmanj vključki. Značilni so kot čista voda prozorni kratkoprizmatski kristali kremenca, ki jih zaradi njihove popolne prozornosti in diamantnega sijaja imenujemo *crngrobski diamanti*.

V kristalih, kjer je bila v začetni fazi rasti koncentracija bituminoznih vključkov zelo visoka, opazimo v njihovi notranjosti črno fantomsko obliko prvotnega biterminiranega kristala, ki ga je kasneje prerasla plast povsem prozornega kremenca brez vključkov. V primerih, ko je zadnja faza kristalizacije kremenca zajela geode z že formiranimi pentljastimi kristali, so se na terminacijah prvotnih kristalov razvili povsem prozorni betičasti kristali. Tak kristal predstavlja sklepno fazo kompenzacije njegove ukrivljenosti.

Da so bila na crngrobskemu nahajališču zelo različna mikrokemijska okolja in veliko spremenljivih pogojev rasti, pričajo najdbe vseh prehodnih oblik od pentljastih do zaporedno betičastih kristalov, ki so videti kakor pagode zaradi enega za drugim nanizanih kristalov kremenca v smeri c-osi. Pagodast



Ko je končna faza kristalizacije kremenca zajela pentljaste kristale, so se na njihovih terminacijah razvili prozorni betičasti; 12 x 5 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miran Udovč



Pagodasti kristali so nastali, kadar je v segmentih pentljastega kristala vzdolž c-osi kristalil tudi betičasti pas; 23 x 12 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek



V redkih primerih, ko je bila koncentracija raztopin v sklepnih fazi kristalizacije povišana, so se lahko zaradi nepopolne »zapolnitve« kristalnih ploskev razvili skeletni ali oknasti kristali kremenca; 25 x 15 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek



Brstični kristal kremenca je v sklepnih fazi rasti prerasel skupek vzporedno raščeni prozornih crngrobskih diamantov in nastal je betičast kristalni skupek kremenca; 14 x 7 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek



Redki kratkoprizmatski kristali kremenca z lepo vidnimi kristalnimi ploskvami romboedra so bili vrh betičastega kristala kremenca; 11 x 14 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek

kristal se razvije takrat, ko v vsakem segmentu pentljestega kristala vzdolž c-osi prične kristaliti betičasti pas.

Mnogi kristali zadnje generacije so rahlo čadavi, intenzivneje po robovih. V redkih primerih, ko je bila koncentracija raztopin v zadnji fazi kristalizacije povišana, so se lahko razvili skeletni ali oknasti kristali kremenca. So zelo redki in v veliko veselje najditelju in poznavalcem, poleg tega pa ključni pri študiju morfogeneze kristalov s tega nahajališča.

Na kristalih kremenca v geodah redko najdemo priraščene črne kristale **brookita**. Največji kristal brookita je dolg 3 mm, večina pa jih ne presega 1 mm. So ploščati in značilno vzdolžno narebreni.



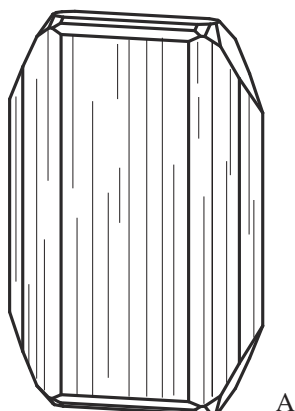
Na veliko spremenljivost pogojev rasti pričajo najdbe vseh prehodov od pentljestih do zaporedno betičastih kristalov, ki so videti kakor pagode zaradi enega za drugim nanizanih kristalov kremenca v smeri c-osi; 31 x 16 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek.



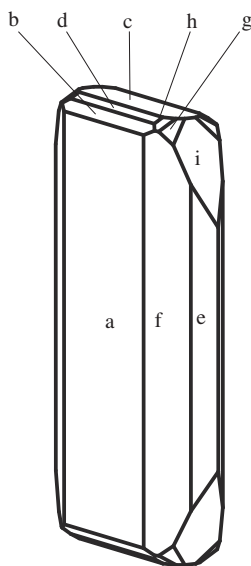
4 mm velik kristal brookita je delno vraščen v kremenca. Dobro vidna je značilna narebrenost na široki ploskvi pinakoida {010}. Najdba in zbirka Vilija Rakovca. Foto Miha Jeršek.

Skorjast in krogljčast kalcedon ter do nekaj milimetrov veliki kristali kremenca zapolnjujejo poleg geod, nastalih na mestu nekdanjih apnenčevih prodnikov, tudi moldično poroznost na mestu raztopljenih fosilnih skeletov. Za Slovenijo je to edinstven primer regionalne izomorfne okremenitve karbonatnih skeletov karnijskih fosilov.

Tudi v spodnjem delu baške formacije nad Crngrobom je kamnina izrazito votlikava, kar je značilno za kamnine spodnjega dela te formacije vse do Tolminskega. Na stenah do nekaj centimetrov velikih votlinic so kristali sedlastega dolomita in kremenca. Votlikavost je posledica selektivnega raztapljanja kamnine z regionalnim tokom korozivskih fluidov. V večjem delu zahodne Slovenije in Slovenskega jarka ležita pod baško formacijo karnijska amfiklinska formacija in pod njo ladinjska psevdofiljska formacija z značilnimi globljevodnimi drobnozrnatimi klastičnimi sedimenti in ladinjskimi piroklastiti. Na zgornji strani prehaja baška formacija postopno v spodnjekrasne liasne karbonate z večinoma distalnimi karbonatnimi turbiditi s polami in gomolji rožencev. Ponekod je večji del liasnega zaporedja močno okremenjen. Kremen je kristaliziral po votlinicah zgornjetriasnega baškega dolomita z roženci, ki je ob meji s sicer spodaj ležečimi karnijskimi plastmi tudi tektonsko pretrt, in z žilicami dolomita, kremenca in redko pirita. Ta tip votlikave kamnine si velja zapomniti, ker je na vseh podobnih nahajališčih in je zanesljiv znak za možnost najdbe kremenovih in/ali drugih kristalov.



A



B

Ploskovno razgibani kristali brookita iz Crngroba imajo značilno sploščeno obliko in narebrenost (A). Narebrenost je posledica medsebojnega izmenjavanja ploskev pinakoida $a\{100\}$ in prizem $f\{210\}$ ter $e\{110\}$. Razvite so še ploskve pinakoida $c\{001\}$, prizem $b\{101\}$, $d\{102\}$ in $i\{021\}$ ter bipiramid $g\{122\}$ in $h\{326\}$ (B). Risbi: Mirjan Žorž



Pagodasti kristali kremenca po pentljestem kremenju; 27 x 8 mm. Najdba in zbirka Franceta Stareta. Foto: Miha Jeršek

Okremenitev litološkega zaporedja od permskih pa vse do liasnih kamnin dokazuje njihovo regionalno epigenetsko mineralizacijo. Ker v oligocenskih plasteh ni okremenitve, na nastanek nahajališča oligocenska vulkansko-hidrotermalna faza ni vplivala. To pomeni, da nastanka še ne znamo razložiti. Vsaj časovno ga bomo lahko določili, ko bodo znani rezultati izotopskih radiometričnih datacij kristalov adularja.

Literaturni viri

- VOSS, W., 1895: *Die Mineralien des Herzogthums Krain* (omemba nahajališča Crngrob, str. 42). Kleinmayr & Bamberg, Laibach.
- VIDRIH, R., V. MIKUŽ, 1995: *Minerali na Slovenskem* (kremen, str. 26; adular, str. 322). Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- STARE, F., 1998: *Mineraloške in fosilne najdbe nad Crngrobom* (oknasti kristal s Crngroba, str. 8-12). Slovensko geološko društvo, Škofja Loka.
- ŽORŽ, M., A. REČNIK, 1998: *Kremen in njegovi pojavi v Sloveniji* (morfogeneza pentljestih kristalov, str. 53-55). Galerija Avsenik, Begunje.
- HERLEC, U., F. STARE, 1998: *Naravovarstveni in znanstveni pomen kremenovih kristalov in okremenjenih fosilov iz Crngroba* (pagodasto oknasti kristal kremenca, str. 65-69). Zvezek 6. razstave mineralov Begunje, Galerija Avsenik, Begunje.
- HLAD, B., 1998: *Nahajališče Crngrob v luči nastajajoče naravovarstvene zakonodaje* (pagodasti kristal kremenca, str. 70-75). Zvezek 6. razstave mineralov Begunje, Galerija Avsenik, Begunje.
- FLORJANČIČ, A. P., 2001: *Rudnine na Škofjeloškem* (markazit in pirit, str. 19-22; kremen, str. 38-39). Muzejsko društvo Škofja Loka, Škofja Loka.
- ŽORŽ, M., 2004: *Kremenovi dvojčki prerasčanja* (fotografija pentljestega kristala s Crngroba, str. 69; dvojna interpenetracija, str. 71). Proteus, let. 67, št. 2-3, Ljubljana.