

Mineralogie „očkových“ opálů z Nové Vsi u Oslavan (moldanubikum, Český masív)

Mineralogy of „eye-like“ opals from Nová Ves near Oslavany (Moldanubian Zone, Bohemian Massif)

ŠÁRKA KONÍČKOVÁ^{1)*}, ZDENĚK LOSOS¹⁾, VLADIMÍR HRAZDIL²⁾, STANISLAV HOUZAR²⁾
A DALIBOR VŠIANSKÝ¹⁾

¹⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno;
*e-mail: 327669@mail.muni.cz

²⁾Mineralogicko-petrografické oddělení, Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37 Brno

KONÍČKOVÁ Š., LOSOS Z., HRAZDIL V., HOUZAR S., VŠIANSKÝ D. (2016) Mineralogie „očkových“ opálů z Nové Vsi u Oslavan (moldanubikum, Český masív). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 24, 1, 144-152. ISSN: 1211-0329.*

Abstract

The locality Nová Ves near Oslavany, situated in Moldanubian zone of western Moravia, represents the only known occurrence of zonal „eye-like“ (concentric) opals in Bohemian Massif. This specific type of opal is characterized by a concentric zonal texture with white core („eye“), brown massive translucent inner rim and locally also white porous outer rim. These opals occur in residual sediments in small area along the contact of serpentinitized peridotite and granulite. Optical microscopy, Raman spectroscopy, X-ray powder diffraction and electron microprobe analysis of these individual zones showed that white and grey „eye“ and brown inner zone contains mainly opal-CT. Quartz and moganite are present in part in white aggregates of the „eye“ only. White outer rim of opals is composed of calcite with disseminated opal relics and this zone is younger as core and rim (calcite replaces opal). X-ray powder diffraction analysis proved presence of sepiolite admixture in brown part and accessory amount of sepiolite and chlorite in white rim. Origin of „eye-like“ opals from Nová Ves is not typical product of serpentinite weathering, but it is result of multistage weathering process on the boundary between peridotite and granulite. Source of younger calcification of opals remains unknown.

Key words: „eye-like“ concentric opal, quartz, moganite, calcite, mineralogy, residual rock, weathering, serpentinite, granulite, Moldanubian Zone, Bohemian Massif, Moravia

Obdrženo: 2. 6. 2016; přijato: 31. 7. 2016

Úvod

Opály představují vedle mikrokrytalického křemene (chalcedonu) nejčastější formu křemičitých produktů zvětrávání ultrabazických hornin. Na území moldanubika Českého masívu se vyskytují v reziduích serpentinitů na mnoha lokalitách, převážně v jižních Čechách a na jihozápadní Moravě. Mají masivní nebo nepravidelně skvrnitou až neostře páskovanou texturu. Barevně jsou variabilní, převážně žlutohnědě, zelenohnědě, hnědočerveně, hnědě a zeleně zbarvené jemně dispergovanou příměsí oxidických minerálů železa nebo jílových minerálů. Vzácnější jsou bílé až šedobílé průsvitné opály, někdy prostoupené černými dendrity oxidů manganu („mléčné a dendritické opály“) a zcela výjimečně světle zelené průsvitné opály zbarvené silikáty niklu (např. Ďudča, Pauliš 2006).

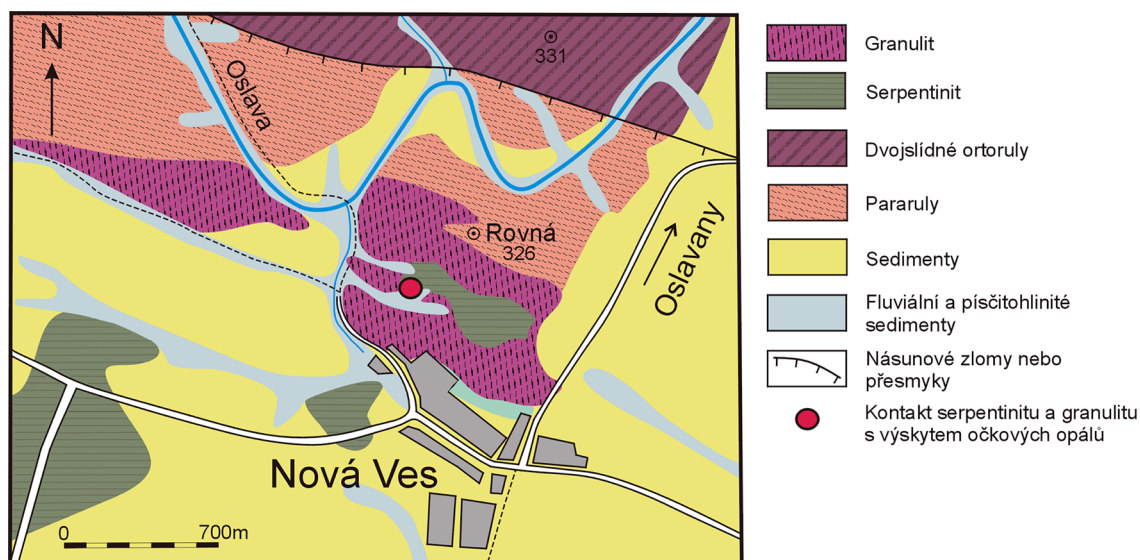
Zcela ojedinělý, v rámci Českého masívu pravděpodobně jediný výskyt, představují opály se zonální koncentrickou texturou z Nové Vsi u Oslavan (jihozápadní Morava), které jsou tradičně označovány jako „očkové“, někdy jako „achátové“ (Klausal 1724; Burkart 1953; Mrázek, Rejl 1991). Morfologicky specifickou formou SiO₂ hmot s podobně zonální stavbou a s podílem zeleně zbarveného opálu, jsou tzv. plazmy. Svým výskytem se omezují na úzký pás reziduí ultrabazik mezi Novou Vsí u Oslavan a Moravskými Budějovicemi (Koničková 2014; Koničková et al. 2015).

„Očkové“ opály z Nové Vsi jsou již přes 100 let oceňovány sběrateli minerálů, avšak o jejich mineralogii a zejména genezi není takřka nic známo. Cílem předložené práce je doplnit dosavadní informace o těchto unikátních opálech o výsledky studia moderními metodami a vyjádřit se k prostředí jejich vzniku.

Geologická situace lokality

Reziduální horniny s „očkovými“ opály jsou situovány na severovýchodním okraji hrubšického tělesa serpentinitizovaných peridotitů, které zde jsou společně s felsickými granulity, migmatity a amfibolity součástí gföhlské jednotky moldanubika (obr. 1). Toto těleso serpentinitu, v němž převládají typy s pyroxenem a spinelem, je považováno za tektonický fragment suboceánského pláště, vmístěný do dnešní úrovně při variské orogenezi (Medaris et al. 2005). Na východě hraničí ultrabazika hrubšického tělesa s permokarbonem Boskovické brázdy.

Na části ultrabazického tělesa, zejména podél kontaktu a zlomu, jsou vyvinuta terciární jílovitá rezidua s křemičitými hmotami (Karásek 1996; Mrázek, Rejl 2010; Koničková 2014). Hlubší zvětralinu, částečně přepravené, včetně ložiska magnezitu doprovázeného sepiolitem a opálem, vystupují v části hrubšického tělesa na levém břehu řeky Jihlavy jihozápadně od Nové Vsi. Nejmladší jsou v blízkém okolí lokality také reliktu mladoterciálních



Obr. 1 Geologické schéma lokality a blízkého okolí (upraveno podle Matějovské, Minaříkové 1992). Pramen „U Běra“ s mocnými polohami (sub)recentních pěnovců, zmíněný níže v diskusi, leží 400 m zsz. od lokality.

marinálních jílu a pleistocénních štěrků s redeponovanými vltaviny (Kettner 1919; Burkart 1953; Mrázek, Rejl 1991; Kovář et al. 2008).

Historický přehled

První zmínky o výskytu „achátů u Oslavan“, (pozn. šlo nepochybně o novoveské „očkové“ opály), se objevují již počátkem 18. století (Klausal 1724) a jde tedy o jedny z prvních minerálů zmiňovaných z území Moravy. Roku 1885 uvádí F. Dvorský v seznamu minerálů ve sbírkách Františkova muzea „achátový rohovec“ od Nové Vsi u Oslavan. Postupně lokalitu navštěvují, případně stručně popisují, další sběratelé jako Dvorský (1898) a A. Hanisch, dále V. Tolar, Kučera (1923), Bouček (1930, 1938), aj. V třicátých letech dvacátého století byla novoveskými horníky vykopána hlavní kumulace opálů z dvoumetrové hloubky a vytěženo více než 500 hlíz kvalitního „očkového“ opálu (Mrázek, Rejl 2010).

Burkart (1953) považuje zdejší opály za nejkrásnější na Moravě a popisuje toto naleziště kolem roku 1940 jako již zcela „vykořistěné“. Na lokalitě však nadále sbírali například V. Gross, F. Pokorný, S. Wolf a S. Šilt (Karásek 1996). Později, v roce 1986, byly na lokalitě prováděny rozsáhlé technické práce společností Unigeo Brno (Mátal in Skrbek et al. 1989). Geologickou pozici lokality se zabýval Karásek (1996). Popisuje výskyt a vznik opálů z bělavé zvětraliny v místě styku zvětralého serpentinitu s granulitovou rulou, obsahující bílé konkrce karbonátu, všeobecně tehdy pokládaného za magnezit. Některé tyto konkrce v sobě uzavírají temně hnědé opálové jádro. Toto „jádro“ je od karbonátového okraje někdy ostře odděleno, jindy je hranice nezřetelná, s přechodnou zónou složenou ze směsi obou minerálů (Karásek 1996). Tyto opály ze zvětralé, údajně hadcové horniny, uvádí rovněž Mejzlík (2005) při pravé straně cesty z Nové Vsi k řece Oslavě.

Podrobnější charakteristiku zdejších opálů včetně možností jejich praktického využití jako ozdobných kamenů přinesli až Mrázek, Rejl (1991, 2010). Uvádějí, že výskyt opálů je vázán na reziduum serpentinitu (pásmo zeleného zvětrávání). Produktem zvětrávání je bělavé reziduum s „magnezitem“, opálem a chloritem. V podloží bílé zvětraliny se nachází zelenavá zvětralina bez „magnezitových konkrací“ (Karásek 1996).

Na lokalitě byly opály zastíženy jen v desetimetřovém úseku úzké zóny směru S - J o celkové délce 15 m a šířce 0.5 - 1 m a neznámé hloubce. Opály se vyznačují zonální texturou; střídáním barev a zón mohou připomínat acháty. Typické novoveské opály jsou makroskopicky charakterizovány vnitřním bílé či šedě zbarveným opálovým jádrem („okem“). U některých vzorků je vnitřní jádro tvořeno bezbarvým nebo namodralým průsvitným chalcedonem, vnější jádro zónami hnědého opálu (v některých případech s bělavými subzónami) a obal „magnezitem“ (= kalcit, tato práce). V jedné opálové konkraci se může vyskytovat vzácněji i více ok. Okrajová část je tvořena nejčastěji světle nebo tmavě hnědou opálovou hmotou. Mezi jádrem a okrajem může být vyvinuta tenká bílá mezivrstva. Některé opály se vyznačují nepravidelným střídáním jednotlivých zón hnědého a světlého opálu. Bělavý okraj opálů je podle Mrázka a Rejla (2010) většinou tvořen směsí magnezitu a opálu, místy byly v bělavé zvětralíně nalezeny i drobné kousky sepiolitu. Z gemologického hlediska jsou „očkové“ opály z Nové Vsi surovinou vhodnou k plastickému vybrušování, kde vynikne jejich kombinace jemných odstínů hnědé barvy a skelný lesk. Velmi efektní sbírkové opály se vyznačují výraznými světlými oky, nejlépe zastíženými v průřezu konkrací. Nicméně novější nálezy nedosahují zdaleka kvality opálové hmoty, vytěženo ve třicátých letech 20. století (Mrázek, Rejl 1991, 2010).

Metodika

Ke studiu byly využity jak historické vzorky ze sbírek mineralogicko-petrografického oddělení Moravského zemského muzea, tak i nový materiál ze soukromých sbírek. Z reprezentativních vzorků byly zhotoveny leštěné výbrusy, na kterých byla provedena mikroskopická pozorování a fotodokumentace vybraných fenoménů na mikroskopu NU-2 fy Carl Zeiss Jena s digitálním fotoaparátem Canon EOS 1100D.

Bodové analýzy chemického složení byly provedeny v jednotlivých makroskopicky odlišných zónách opálů na společném pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PŘF MU a ČGS (analytik R. Škoda) za použití přístroje Cameca SX 100. Měření probíhalo za těchto podmínek: vlnově disperzní mód, urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA, velikost svazku 5 μm . Při

analýze jednotlivých oxidů a silikátů bylo využito těchto standardů: albit (Na); sanidin (Si, Al, K); wollastonit (Ca); spessartin (Si, Mn); titanit (Ti); almandin, pyrop (Fe); topaz (F); chromit (Cr); gahnit (Zn); Mn_2SiO_4 (Mn); $ScVO_4$ (V); pyrop (Mg); baryt (Ba); vanadinit (Cl, Pb); Ni_2SiO_4 (Ni); $SrSO_4$ (Sr); fluorapatit (Ca, P).

Práškové rtg-difrakční (PXR) analýzy byly provedeny na aparatuře RigakuSmartlab s Cu-anodou ($\lambda_{K\alpha} = 0.15418$ nm) a 1-D pozičně citlivým detektorem při konvenční Bragg-Brentano parafokusační $\Theta - \Theta$ reflexní geometrii (analytik D. Všíanský). Úhlová oblast 4 - 80 °2 θ , krok - 0.02 °2 θ , čas na krok - 0.3 s (celková doba měření jednoho skenu - 1125 s), napětí: 40 kV, proud 30 mA. Vyhodnocení difraktogramů bylo provedeno pomocí software HiScore 3 plus a databáze difrakčních spekter ICSD 2012.

Ramanova spektra SiO_2 fází opálů v leštěných nábrusech byla změřena na mikrospektrometru HORIBA LabRam HR Evolution s konfokálním optickým mikroskopem Olympus BX, na ÚGV PřF MU (analytik Z. Losos) a vyhodnocena za použití softwaru LabSpec 6 a PeakFit 4. Podmínky měření: červený laser 633 nm, zelený laser 532 nm, zvětšení objektivu 100 \times a 50 \times LWD, mřížka 600/mm, apertura 400, štěrba 100, kalibrace na Si, filtr 25 - 100%, délka načtení 2 \times 5 až 2 \times 80s, rozsah 80 - 2000 cm^{-1} .

Výsledky

Terénní situace a stav lokality

Dnes vyčerpané, zasuté a zarostlé naleziště opálů je situováno v lese, na pravé straně erozní rýhy při drobném toku, který vytéká z pramene „Svatá voda“ ssz. od Nové Vsi. Patrně malé satelitní tělíčko ultrabazika v granulitech, oddělené od hlavního hrubšíckého tělesa, bylo na kontaktu s granulitem v minulosti několikrát překopáno. Přesto byla v letech 2001 - 2002 lokalita opět v hledáčku místních sběratelů, kteří uskutečnili dlouhodobější práce. Přimo na kontaktu tělesa granulitu a serpentinitu byly provedeny výkopy do hloubky až 5 m (obr. 2). Rýha sledující kontakt



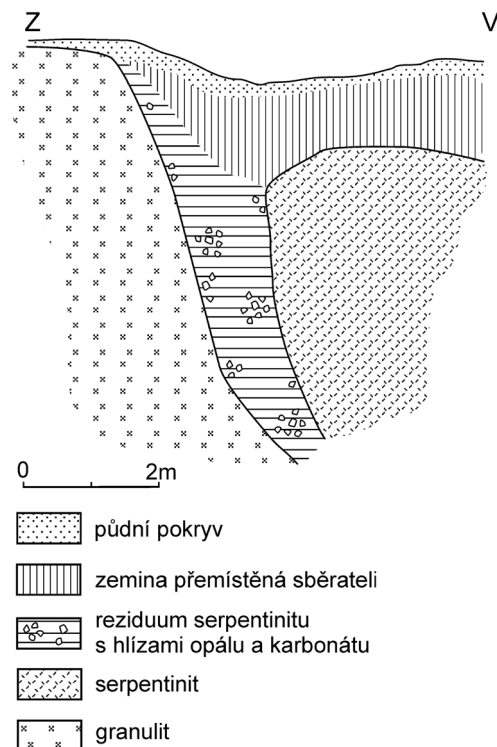
Obr. 2 Průzkumná rýha sledující reziduální horniny na kontaktu serpentinitu (vpravo) a granulitu (vlevo), rok 2002, foto V. Hrazdil.

byla přes 10 m dlouhá a 1 - 2 m široká. Po překopání cca 2 m sutě, která zde byla jako pozůstatek po předešlých výkopech prováděných za pomoci těžké techniky v roce 1986, bylo dosaženo reziduální zjilovatělé horniny šedo-zelené barvy na kontaktu serpentinitu a granulitového tělesa. V této hloubce se objevovaly hlízy velmi kvalitního opálu s jasně vymezeným bílým středem „očkem“ a hnědým až béžovým opálovým lemem. Jednalo se o konkrce velikosti do 20 cm.

Při dalším postupu do hloubky mělo reziduum charakter světlejší bělavě zelené hlíny s bílými rozpadavými i zpevněnými konkrkami karbonátu, tehdy pokládaného všeobecně za *magnezit* nebo dolomit (srov. práce starších autorů). V hloubce pod 3.5 m v něm byly nalezeny hlízy opálu o velikosti do 30 cm, avšak ty byly ve svém středu místo bílého oka vyplněny výhradně nahnědlou SiO_2 -bohatou hmotou; klasické „očkové“ opály se zde nacházely jen výjimečně. Výkop prokázal, že nejkvalitnější hlízy „očkových“ opálů se nacházely do hloubek okolo 3 m a tvořily shluky v jílovém reziduu šedo-zelené barvy. Některé hlízy byly redeponované a posunuté směrem od kontaktu serpentinitu s granulitem a nacházely se jako jednotlivé kusy (obr. 3). Celkově se dá říci, že se jednalo o hlízy v průměru do 15 cm a menší, často popraskané s lasturnatě se odlupujícím hnědým až béžovým opálem od bílého jádra („očka“). Během roku 2001 a 2002 bylo z lokality vytěženo cca 300 - 400 ks opálového materiálu, avšak kvalitních vzorků bylo z tohoto množství pouze 15 - 20 %.

Textura a struktura opálů

Studované opály tvoří nepravidelné oválné či kulovité konkrce (hlízy) o velikostech 2 - 20 cm a vyznačují se charakteristickou zonální stavbou. Obvykle lze rozlišit tři hlavní zóny: a) světlé jádro („oko“), b) vnější hnědý, různě široký lem a c) bělavý okraj, který může u druhotně zaoblených, možná redeponovaných konkrce, chybět. Většinou jsou podstatně zastoupeny jen tyto hlavní zóny, v některých případech je však zonální textura komplikov-

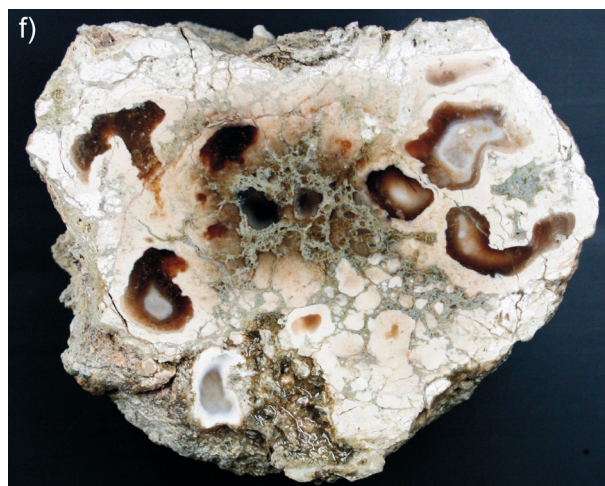
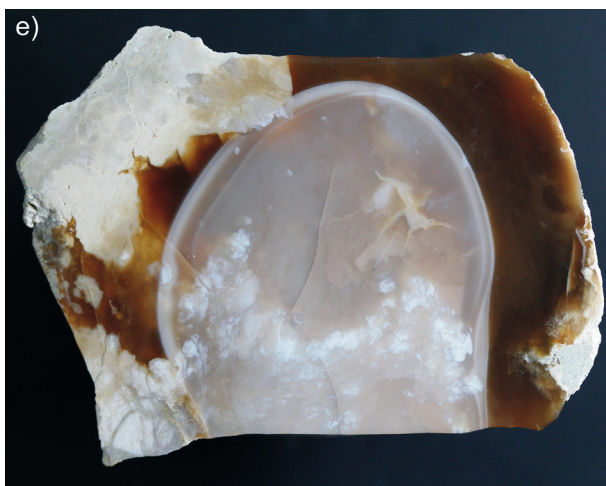
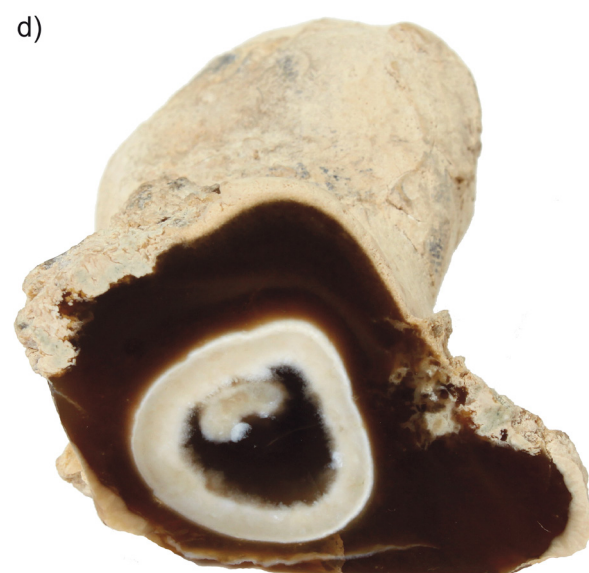
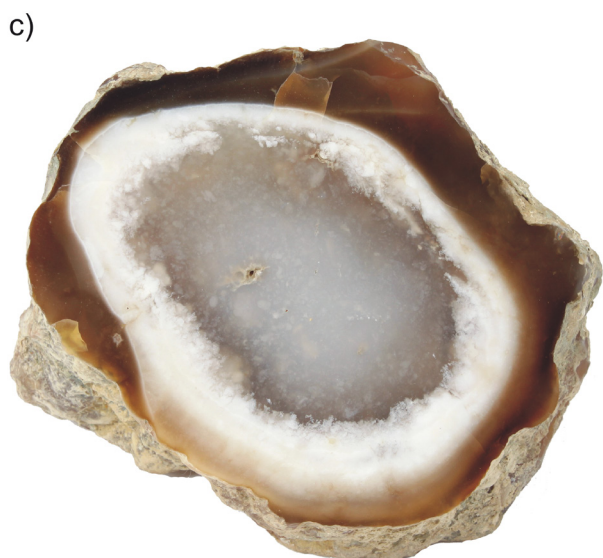


Obr. 3 Profil lokality (upraveno podle Karáska 1996).

vanější (obr. 4a - e). Hlízy mají zřetelně koncentrickou stavbu, ale ne s mnohonásobným střídáním úzkých zón, jak tomu bývá u typických achátů; zón je pouze několik a různě širokých, barevně vesměs ostře oddělených. Chybí, na rozdíl od některých achátů, také centrální dutina s krystalovaným, respektive krystalickým křemenem.

a) Jádro je tvořeno v centru převážně opálem, případně křemenem (obr. 4a - c). Bílých „ok“ může být vzácně i několik. Častý je i případ opačný, kdy má jádro šedou

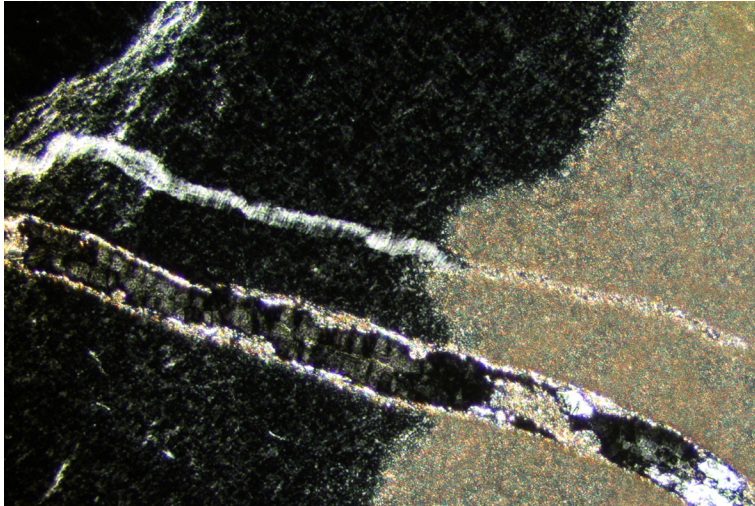
barvu a bílý je pouze jeho okraj. Vzácnější je případ, kdy je jádro opálové konkrce hnědé, při okraji bílé (obr. 4d)
b) Lem má tmavě hnědou barvu, je neprůhledný a na jeho styku s jádrem může být u nejtýpčtějších opálů vyvinut úzký (1 - 3 mm) křídově bílý prstenec (obr. 4e). Někdy lze opály charakterizovat jako nevýrazně zónální hnědé barvy, se světlým okem; to v případech, že hnědý lem je nepravidelný a zaujímá až přes 80 % celé konkrce.



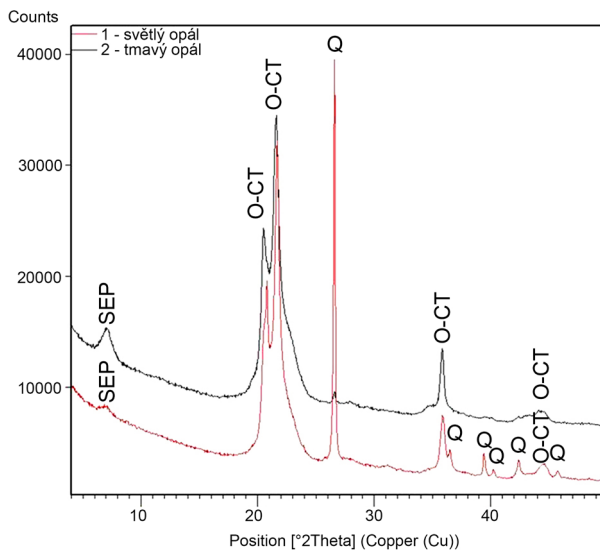
Obr. 4 a) opál se složitější zónalností, velikost vzorku 15 × 9 cm; b) jednoduše zónální opál, velikost vzorku 5 × 3 cm; c) typický „očkový“ opál, velikost vzorku 8 × 6 cm; d) netypicky zónální „očkový“ opál s hnědým jádrem, velikost vzorku 6 × 5 cm; e) typický vývoj „očkového“ opálu (studovaný vzorek NV2), v jádře jsou patrné bílé nepravidelné agregace, velikost vzorku 6 × 4 cm; f) uložení drobných opálů ve světlé reziduální hornině (studovaný vzorek NV4), velikost vzorku 9 × 7 cm. Foto a, b, d, e a f V. Hrazdil, foto c J. Čága.

c) Okrajová zóna opálu (dále v textu označená jako okraj) je světlejší, bílé nebo nahnědlé barvy, široká až 1 cm, někdy až slabě pórovitá a kromě opálu obsahuje podstatný podíl kalcitu. Jde často o zřetelně mladší zónu zatlačující od okrajů hnědý lem a místy porušující hranici zón jádro - lem (obr. 4e).

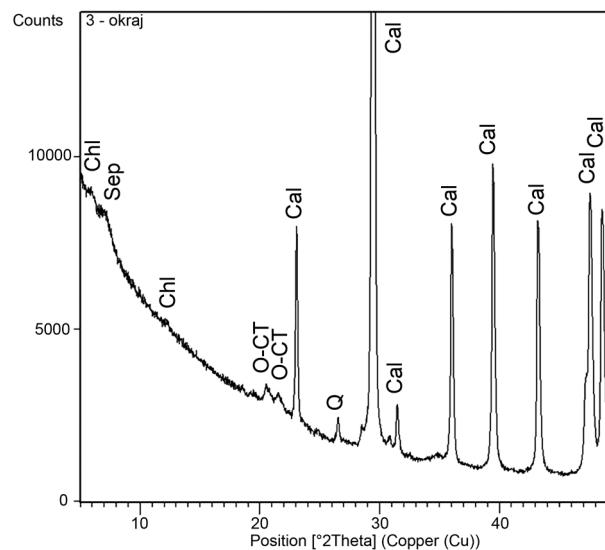
Hranice jednotlivých zón jsou ostré i difúzní. Jen v některých případech se projevuje i složitější barevná zonalnost. Jako příklad lze uvést, od středu k okraji: bílé jádro → hnědá úzká zóna → bílá zóna → hnědá úzká zóna → bílý okraj, nebo střídání zón, podobné achátům - neostře omezených světlých a tmavých zón s neostře omezeným



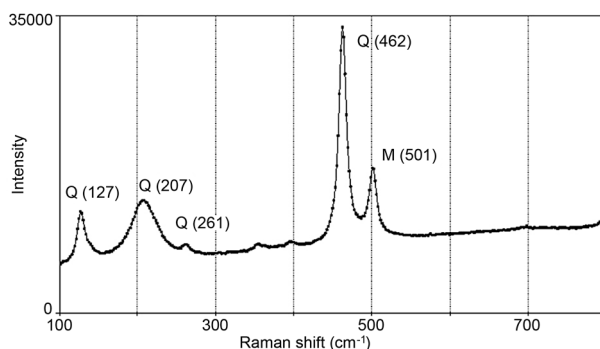
Obr. 5 Hnědý lem tvořený opticky izotropním opálem (vlevo) na styku s vnější světlou zónou, sestávající z mikrokrytalického kalcitu s vysokými interferenčními barvami (vpravo). Obě zóny prostupují mladší žilky chalcedonu s lokálními agregáty karbonátu. XPL foto Z. Losos.



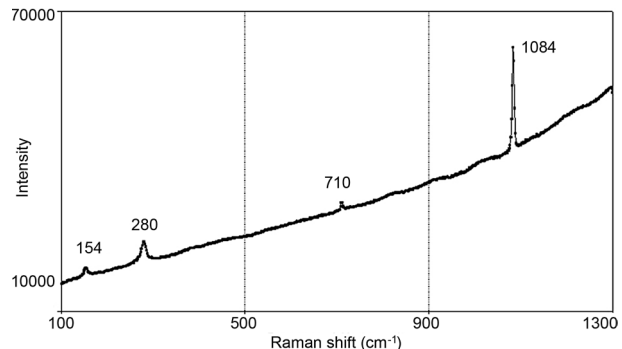
Obr. 6 Výřezy RTG-difrakčního záznamu světlého jádra (1 červená křivka) a okolního hnědého lemu (2 černá křivka), vzorek NV2, s vyznačením difrakčních linií determinovaných fází dle databáze ICSD 2012 a údajů Graetsche (1994) pro CT-opál. Vysvětlivky: Sep - sepiolit?, Q - křemen, O-CT - CT-opál.



Obr. 7 Výřez RTG-difrakčního záznamu vnějšího světlého okraje (3) vzorku NV2 s vyznačením determinovaných fází. Vysvětlivky: Sep - sepiolit, Q - křemen, Chl - chlorit, Cal - kalcit.



Obr. 8 Ramanovo spektrum bělavé agregace světlého jádra (vz. NV2), vykazující směs křemene a moganitu.



Obr. 9 Ramanovo spektrum kalcitu ze světlého okraje vzorku NV2.

světlým okrajem. Někdy větší blok reziduální horniny obsahoval několik opálových konkréci. Je to zřejmé na obr. 4f), z něhož si lze také vytvořit konkrétní celkovou představu o uložení jednotlivých „očkových“ opálů v reziduální hornině bohaté světlým karbonátem.

Jádro i lem opálů jsou ve výbrusech většinou homogenní, bezbarvé, v polarizačním mikroskopu navzájem nerozlišitelné, tvořené velmi jemnozrnným izotropním opálem. V makroskopicky tmavě hnědém lemu nebyl identifikován žádný jemně dispergovaný barvicí pigment. Lokálně se objevuje chalcedon a křemen. Nejčastěji je jemnozrnný rozpraskaný opál protkán úzkými žilkami radiálně paprscitého chalcedonu. Mikroskopicky odlišný je zejména světlý okraj opálu, tvořený směsí kalcitu s jemně dispergovaným opálem. Sukcesně nejmladší jsou drobné žilky chalcedonu, které protínají všechny zóny opálu (i karbonatizované okraje) a zasahují i do okolního rezidua (obr. 5).

Rentgenová difrakční data

Ze vzorku NV2 byly pořízeny difrakční záznamy světlého jádra (typického „oka“), okolního hnědého lemu a světlého okraje. Jádro odpovídá směsi křemene a opálu-CT (obr. 6). Hnědý lem je dominantně tvořen opálem-CT s podružnou příměsí sepiolitu a pouze minoritního množství křemene (obr. 6). Světlý okraj opálu je složen z kalcitu (dominantní krystalická fáze) s akcesorickou příměsí sepiolitu a chloritu, amorfni část vzorku je tvořena opálem-CT (obr. 7).

Pro posouzení celkové mineralogie jílového rezidua z lokality opálů byly provedeny RTG- difrakční analýzy následujících nově odebraných vzorků s výsledkem:

- bílá hlína - dominantní montmorillonit, podružně karbonáty (více dolomitu než kalcitu), příměs tvoří minerály skupiny serpentinu a reliktní aktinolit
- zelenavá hlína - dominují minerály serpentinové skupiny, podružný je kalcit, příměs tvoří montmorillonit či vermikulit
- zeleno-žlutá hlína - dominantní smektit, příměs tvoří minerály skupiny serpentinu a karbonáty (dolomit převládá nad kalcitem)
- celistvý bílý „magnezit“ - směs opálu a dolomitu, s příměsí sepiolitu, kalcit není přítomen
- bílé pórovité konkréce v reziduu - převládá kalcit, příměs tvoří křemen a živce

Ramanova spektroskopie

Jádro béžové barvy (vz. NV2) sestává z homogenní části, tvořené Raman-amorfním opálem a heterogenní části s makroskopicky viditelnými bělavými oblastmi (obr. 4e). Bělavé oblasti (v mikroskopu mají vyšší odraznost) odpovídají směsi křemene a moganitu (obr. 8), ostatní méně odrazná hmota odpovídá opět Raman-amorfnímu opálu.

Hnědý lem je z hlediska odraznosti homogenní a patří Raman-amorfnímu opálu.

Vnější světlý okraj vzorku NV2 je podobně jako v BSE-obrazce (viz kapitola Elektronová mikrosonda) opticky nehomogenní: méně odrazné domény odpovídají opálu, odraznější fáze je karbonát ve směsi s opálem, přítomné Ramanovské píky (154, 280, 710 a 1084) odpovídají kalcitu (obr. 9).

Ve vzorku NV4 byly změřeny pouze opálem tvořené hnědé lemy a kalcit - opálové okraje. Navíc byly proměřeny jemné žilky (opticky chalcedon - obr. 5), pronikající

vnější zóny opálů až do mezerní nehomogenní reziduální hmoty, naměřená spektra žilek odpovídají směsi křemene a moganitu.

Elektronová mikroanalýza

V tmavě hnědých zónách opálu NV1 (obr. 4b) převažoval SiO_2 (cca 98 hm. %), CaO pod mezí detekce. Blíže k okraji byl obsah SiO_2 podstatně nižší (cca 89 hm. %) a rostl CaO (3.5 - 4.7 hm. %), (body 25, 26, tab. 2), MgO 1.5 - 2.6 hm. %, Al_2O_3 max. 0.2 hm. %.

Světlé okraje vzorků NV1 a NV2 odpovídaly chemicky kalcitu s příměsí Mg (body 21 - 24, obr. 10, tab. 3). Obsah CaO zaujímal 50 - 55 hm. %, MgO 2.4 - 2.8 hm. %, SiO_2 1 - 2.9 hm. %, CO_2 42 - 43.9 hm. %, FeO 0.3 - 0.4 hm. %, MnO max. 0.18 hm. %.

Na hranici hnědého lemu a okraje opálu (vzorku NV2) jsou v odražených elektronech dobře rozeznatelné agregáty chemicky odlišného světlejšího kalcitu od prorůstající tmavší SiO_2 hmoty (obr. 11). V tmavých částech s pozitivním reliéfem zcela převažuje SiO_2 (97 hm. %, an. 32, 33, tab. 3). Světlé části odpovídají svým složením kalcitu (an. 34, 35, tab. 2) s obsahem CaO (50 - 54.5 hm. %), MgO 0.9 hm. %, FeO 0.17 - 0.26 hm. %, MnO 0.3 hm. %. V levé části obrázku je vidět hranice karbonátové části s příměsí SiO_2 hmoty.

Na vzorku NV4 byl sledován měnící se chemismus „očkového“ opálu na přechodu z hnědého lemu do vnějšího světlého okraje (světlé jádro nebylo měřeno). Obsahy SiO_2 v hnědém lemu opálu dosahují 92 - 93 hm. % (body 36 a 37 - obr. 12, tab. 1), v přechodné zóně, která je v odražených elektronech zřetelně složena ze dvou jemně dispergovaných fází, klesají na 70 - 74 hm. % (body 38, 39 - obr. 7, tab. 1). Ve světlém okraji přibývá na úkor SiO_2 jemně zrnitého karbonátu ve směsi s opálem, a to se (v analýze směsi z plochy o průměru 5 μm) projevuje dalším poklesem SiO_2 až na 54 - 55 hm. % (body 40, 41 - detail na obr. 13, též tab. 1). V opačném trendu narůstají ve sledovaných zónách obsahy MgO a CaO (MgO: hnědý lem 1.1 - 1.4 hm. %, přechodná zóna 5.0 - 5.2 hm. %, vnější světlý okraj 8.1 - 8.7 hm. %), (CaO: hnědý lem 0.05 hm. %, přechodná zóna 6.8 - 6.9 hm. %, vnější světlý okraj 12.4 - 14.2 hm. %), dokumentují přítomnost karbonátů Mg a Ca (kalcit > dolomit) ve vnější zóně opálů.

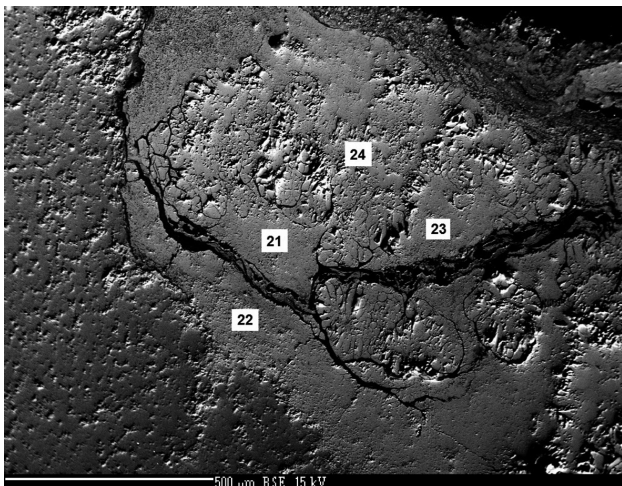
Matrix opálů (karbonát-jílové reziduuum) je na vz. NV4 zastoupena jen v reliktech (obr. 4c) a je v odražených elektronech tvořena směsí morfologicky zřetelných světlých fylosilikátů, tmavé měkké „mezihmoty“ a tvrdšími oblastmi SiO_2 hmot (obr. 14).

Světlé fylosilikáty s výraznou štěpností dosahují velikosti 50 \times 10 μm (v řezu kolmém na bázi) a chemicky jsou charakterizovány obsahy K_2O kolem 8 hm. %, FeO 19 - 21 hm. %, 9 - 10 hm. % MgO, Al_2O_3 14 - 15 hm. % a SiO_2 34 - 36 hm. %; pozoruhodné jsou obsahy TiO_2 3 - 4 hm. % - tab. 1, body 44, 45, resp. 49, 50). Analýzy se blíží navětralému Ti-bohatému *biotitu* (Ti-Mg-annit). V BSE-tmavá „mezihmota“ odpovídá chemismem pravděpodobně tektitu (body 42, 43 tab. 1) má relativně vysoké obsahy MgO (16 - 19 hm. %), FeO (5 - 8 hm. %), SiO_2 (59 - 50 hm. %) a Al_2O_3 kolem 5 hm. %. BSE-homogenní ostrůvky a žilky chalcedonu, nacházející se v popísované reziduální hmotě mezi opálovými centry, obsahují 91 - 97 hm. % SiO_2 (body 47, 48 - obr. 14). Ojedinele uzavírají světlejší granulóvní agregace (bod 46 - obr. 14) stejného chemismu.

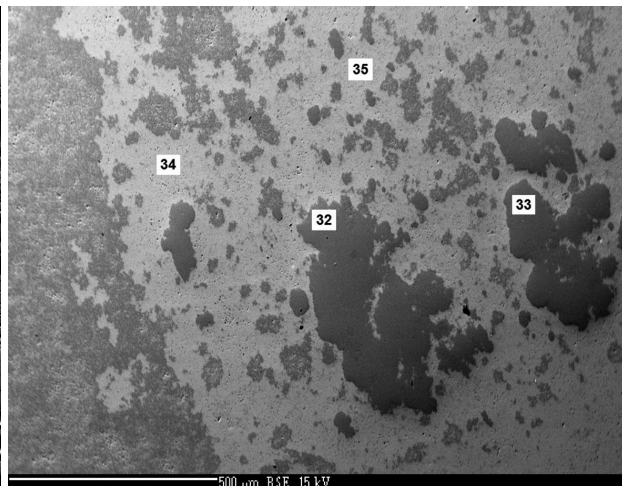
Tabulka 1 Reprezentativní WDS-analýzy (hm. %) jednotlivých zón opálu NV4: hnědý lem: an. 36, 37; přechodná zóna: an. 38, 39; světlý okraj: an. 40,41; hmota mezi „očkovými“opály: an. 42 - 50

	36 (l)	37 (l)	38 (o)	39 (o)	40 (o)	41 (o)	42	43	44 (Bt)	45 (Bt)	46	47	48	49 (Bt)	50 (Bt)
SiO ₂	92.36	92.47	70.14	73.55	54.01	55.41	49.24	59.61	33.97	35.46	95.76	91.1	97.04	36.02	35.11
TiO ₂	0.01	b.d.	b.d.	b.d.	0.01	b.d.	0.04	0.03	3.19	3.85	0.01	0.01	b.d.	3.47	4.04
Al ₂ O ₃	0.04	0.08	0.05	0.06	0.06	0.17	5.42	4.59	15.21	13.92	0.02	0.02	b.d.	15.25	14.42
Cr ₂ O ₃	b.d.	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	b.d.	b.d.	0.08	0.07
V ₂ O ₃	b.d.	0.05	0.01	0.03	0.03	b.d.	b.d.	0.01	0.05	0.05	0.01	0.03	b.d.	0.06	0.08
FeO	0.12	0.14	0.19	0.17	0.11	0.26	8.02	4.72	20.55	18.81	0.07	0.13	0.03	20.29	19.95
MnO	b.d.	b.d.	0.5	0.55	0.84	0.85	0.04	0.01	0.35	0.29	b.d.	b.d.	b.d.	0.36	0.32
MgO	1.14	1.40	5.15	5.02	8.73	8.10	19.45	16.11	9.50	9.69	0.01	0.02	0.02	9.85	9.10
CaO	0.05	0.05	6.81	6.92	14.23	12.39	1.44	1.35	0.08	0.25	0.04	0.02	0.01	0.1	0.16
NiO	0.04	0.02	0.02	0.05	0.01	0.01	0.04	0.11	0.04	b.d.	b.d.	b.d.	0.02	0.03	0.02
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.23	0.25	b.d.	b.d.	b.d.	0.27	0.25
ZnO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0.04	b.d.	0.07	0.09	b.d.	b.d.	b.d.	0.05	0.06
Na ₂ O	0.04	0.06	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.02	0.04	0.11	0.01	0.1	0.03	0.09	0.12
K ₂ O	0.01	b.d.	0.02	0.01	0.01	b.d.	0.13	0.07	7.78	8.43	0.02	0.01	0.01	8.33	8.72
F	0.05	0.03	0.08	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.17	0.15	b.d.	b.d.	b.d.	0.19	0.17
Cl	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	b.d.	0.02	0.01	0.05	0.05		0.11	0.01	0.05	0.05
Total	93.85	94.34	83.00	86.48	78.20	77.30	84.05	86.78	91.51	91.47	95.95	91.55	97.18	94.47	92.63

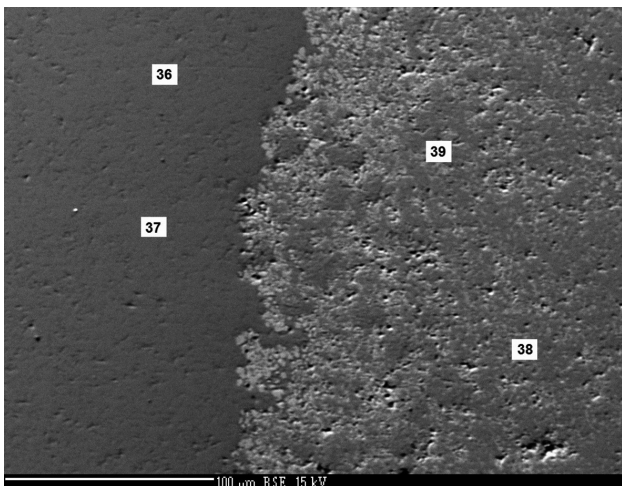
(l) = hnědý lem; (o) = hranice se světlým okrajem; (Bt) = Ti-bohatý chloritizovaný biotit (Mg-annit)



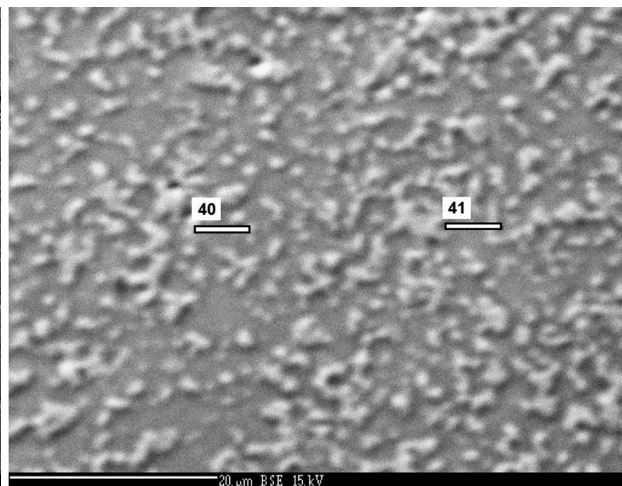
Obr. 10 Okraj vzorku NV1- agregát karbonátu, obklopený opálem. BSE foto R. Škoda.



Obr. 11 Hranice hnědého lemu a okrajové zóny opálu NV2, tmavé reliktky (?) SiO₂, světlá část kalcit. BSE foto R. Škoda.



Obr. 12 Rozhraní hnědého homogenního lemu (vlevo) a světlého okraje - směsné zóny opálu s kalcitem (vpravo), vz. NV4. BSE foto R. Škoda.



Obr. 13 Detail směsné zóny (okraje), vyznačen průměr analyzovaného pole. BSE foto R. Škoda.

Tabulka 2 Reprezentativní WDS analýzy (hm. %) tmavě hnědých lemů opálů (vzorky NV1 a NV2)

vzorek	NV1/25	NV1/26	NV2/32	NV2/33
SiO ₂	89.39	90.41	97.9	97.91
TiO ₂	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Al ₂ O ₃	0.34	0.18	0.01	b.d.
Cr ₂ O ₃	b.d.	0.01	0.01	0.03
V ₂ O ₃	b.d.	b.d.	b.d.	0.02
FeO	0.24	0.24	0.04	0.03
MnO	0.03	0.04	0.01	b.d.
MgO	1.49	1.53	0.01	0.02
CaO	4.68	3.48	0.03	0.05
NiO	0.01	0.04	b.d.	b.d.
BaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
ZnO	0.02	b.d.	0.13	0.07
Na ₂ O	0.06	0.07	0.01	0.01
K ₂ O	0.08	0.02	0.02	0.02
F	0.06	0.05	b.d.	b.d.
Cl	0.01	b.d.	b.d.	0.02
Total	96.39	96.06	98.18	98.18

Tabulka 3 Reprezentativní WDS analýzy (hm. %) světlého okraje opálů (vzorky NV1 a NV2)

vzorek	NV1/21	NV1/22	NV1/23	NV1/24	NV2/34	NV2/35
P ₂ O ₅	0.04	0.05	0.05	0.10	0.14	0.12
SiO ₂	2.34	2.94	0.98	b.d.	0.05	7.62
FeO	0.36	0.40	0.29	b.d.	0.26	0.17
MnO	0.14	0.18	0.14	0.87	0.24	0.30
MgO	2.36	2.46	2.76	2.35	0.93	0.91
CaO	50.55	51.75	51.92	55.14	54.49	50.78
SrO	0.08	0.04	0.11	0.08	0.06	0.05
BaO	0.04	0.02	0.05	0.03	0.01	0.05
ZnO	0.09	b.d.	b.d.	0.06	0.2	0.04
Na ₂ O	0.03	0.02	0.01	0.05	b.d.	0.01
SO ₂	0.03	0.03	0.02	0.15	0.03	0.01
Cl	0.02	0.01	b.d.	0.02	0.02	b.d.
*deficit	43.93	42.07	43.67	41.02	43.56	39.96
Total	100	100	100	100	100	100

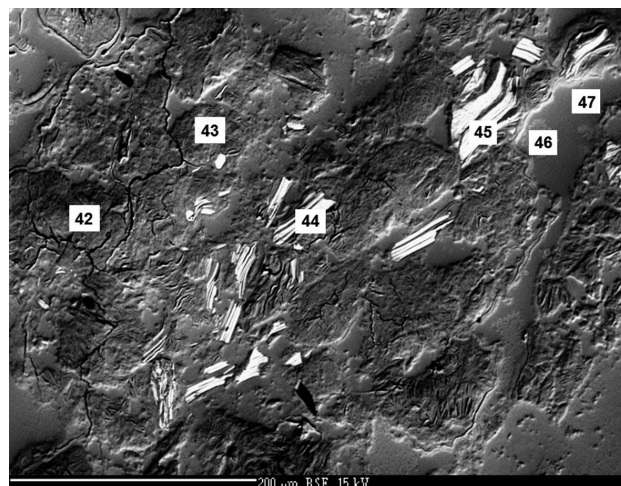
*deficit analýz do 100 % zahrnuje CO₂ a H₂O, SiO₂ je pravděpodobně heterogenní příměsí, pod mezí stanovení: TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, V₂O₃, NiO, K₂O a F

Souhrn a diskuse

Studium mineralogie texturně unikátních „očkových“ opálů z Nové Vsi u Oslavan přineslo některé poznatky, upřesňující jejich ojedinělé postavení mezi výskyty křemičitých hmot v tercierních jílovitých reziduích na jihozápadní Moravě. Že nešlo o geochemicky vyhraněné „lateritické zvětrávání“ čistých serpentinizovaných serpentinitů, jak je tomu na většině podobných západomoravských lokalit (srovn. Mrázek a Rejl 1991) je dostatečně dokumentováno novějšími výkopovými pracemi i jejich minerálním složením.

Původní matečná hornina karbonát-jílovitého rezidua s „očkovými opály“ není známa, a to ani v reliktech. V úvahu připadají: (a) *biotit-amfibolické horniny* („gabrodiarity“) známé z okrajů hrubšického tělesa například od Templštejna a Biskoupek (Urban 1988; Hrazdil 2001); (b) *aktinolit (tremolit-flogopit-chloritické reakční lemy* na kontaktech felsických magmatitů (plagioklasitů), které jsou z hrubšického tělesa rovněž známy; (c) *alterované tektonické brekcie*, tvořené klasty mylonitizovaného granulitu a serpentinitu s mladším přínosem Ca níže temperovaných roztoky, cirkulujícími podél kontaktu obou hornin.

Zvětrávání, spojené se vznikem „očkových“ opálů, probíhalo nejpravděpodobněji v prostředí úzké, hluboce rozpukané tektonické zóny v několika etapách. Také dílčí chemické podmínky za relativně vysoké rychlosti drenáže fluid mohly sehrát rozhodující úlohu, neboť v případech běžného lateritického zvětrávání ultrabazik vznikly pouze barevné nebo vzácněji bílé („mléčné“) nezonální „obecné opály“ (srovn. Burkart 1953; Mrázek, Rejl 1991; Ďuďa, Pauliš 2006). Hořčík, ale zejména vápník jsou v podmínkách zvětrávání ultrabazik vysoce mobilní při vysokém pH a mohou být zcela odneseny, naopak menší pohyblivost Si vede k silicifikaci reziduí; málo pohyblivé Fe a Mn zůstávají v jiných částech zvětrávacího profilu. Hořčík je ve studovaném reziduu s opálovými konkrécemi vázán pouze na jílové minerály (smektity) a chlority, jen výjimečně na dolomit a sepiolit. Magnezit, uváděný ve veškeré dosavadní literatuře nebyl zjištěn vůbec a to ani v opálech, ani v okolních reziduálních jílech různých typů a rozdílné pozice v profilu.



Obr. 14 Mineralogické složení „mezihmoty“, vz. NV4 (44 a 45- Ti-Mg-annit, 42 a 43 - tmavá „mezihmota“, 46 a 47 chalcedon). BSE foto R. Škoda.

Výrazným, zřetelně mladším procesem je na lokalitě kalcitizace okrajů opálových konkrécí, časově zřejmě analogická vzniku kalcitových konkrécí a geod v reziduální jílovité hornině. Okrajová zóna „očkových“ opálů se vyznačuje podstatným zastoupením kalcitu, který zatlačuje opál a někdy laločnatě proniká směrem k jádru a ojediněle zřetelně porušuje hranici jádra a lemu (srovn. obr. 4e). Kalcit krystalizoval v podmínkách fluid deficitních Si a Mg, avšak bohatých CO₂ při vysokém pH (Stanger 1985). Zdroj Ca zůstává nevysvětlen, neboť jediným podstatnějším místním zdrojem jsou pouze plagioklasy granulitu, případně plagioklasy metadioritu, který mohl vystupovat podél kontaktu (srovn. Urban 1988, Hrazdil 2001). Ani v přilehlých serpentinizovaných peridotitech nebyl kalcit zjištěn. Názory o epigenetickém přínosu Ca do původních zvětralin ultrabazik při interakci s mořskou vodou (v nadloží byly pravděpodobně v některé etapě vývoje tercierní marinní sedimenty; Kettner 1919 aj.) spojeném s úplným odnosem Mg (srovn. např. Milliken, Morgan 1996) nebo

přinášeným slabě mineralizovanými uhličitými prameny (např. nedaleký pramen „U Berana“, z něhož se dlouhodobě srážejí mocnější polohy „pěnovce“, zůstávají bez studia stabilních izotopů O a Sr jen hypotézami).

Vznik novoveských opálů s koncentrickou stavbou je pravděpodobně způsobený rytmickým elektrochemickým srážením SiO₂ gelu při uplatnění Liesegangova jevu (Heaney, Davis 1995; Moxon 2002; Petránek 2004). Zonální textura opálů souvisí také patrně s objemovými změnami - vznikem pórů a možná až dutin v reziduální hornině. Ty mohly být následně postupně vyplněny amorfním SiO₂ (opál-A) za vzniku samostatných center nukleace mikrokrystalického křemene (Moxon, Carpenter 2009). Jádra novoveských opálů by byla tedy původně nejstarší, tvořená křemenem (příp. nestabilním moganitem) a za spolupůsobení difúze Si, Mg a Fe by kolem jader postupně narůstaly různě zbarvené zóny opálu, který postupně ztlačil i SiO₂ hmotu jádra. Příčina tmavohnědé zbarvení opálu lemujícího (výjimečně i tvořícího) světlé jádro, zůstává však nevysvětlena, žádné samostatné barvicí složky nebyly zjištěny.

Pokud bychom uvažovali o texturní analogii koncentricky zonálních „očkových“ opálů s jinými křemičitými hmotami zvětralín ultrabazických hornin moldanubika, jeví určitou texturní podobnost pouze s konkrétními zonálními plazem. Nehledě na fakt, že jednotlivé zóny jsou v plazem odlišně zbarveny (jádra jsou zelená, příp. lemy nazelenalé), je však hlavním rozdílem přítomnost specifických silicifikovaných vermiformních útvarů v plazmách a ani v jejich vnějším světlém okraji nebyl prokázán žádný karbonát. Často je však v okrajích plazem zastoupen opál (Koničková 2014; Koničková et al. 2015). Vermiformní útvary v novoveských opálech zcela chybějí, jejich okrajová zóna je dominantně kalcitová a vůči zonálním opálům zřetelně mladší (tato práce).

Poděkování

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862). Analytické práce byly finančně podpořeny prostředky specifického výzkumu ÚGV PŘF MU.

Literatura

- Bouček J. (1930) Nerostná naleziště v okolí Velkého Meziříčí. *Výroční zpráva Reálného gymnázia ve V. Meziříčí za školní rok 1929 - 1930*, 3-14.
- Bouček J. (1938) Nerostná bohatství Horácka, výstava Horácko, 231-249.
- Burkart, E. (1953) Moravské nerosty a jejich literatura. *Mährens Minerale und ihre Literatur. Nakl. ČSAV Praha, 1-1008.*
- Đuđa R., Pauliš P. (2006): Opály Slovenské a České republiky a možnosti jejich sběru. *Vyd. Kuttna, Kutná Hora, 1-92.*
- Dvorský F. (1895) Moravské nerosty a horniny Františkova muzea a jich žádoucí doplnění. *Annales Musei Franciscae, 45-58.*
- Dvorský F. (1898) O předních nalezištích nerostů na západní Moravě. *Annales Musei Franciscae, 91-106.*
- Graetsch, H. (1994) Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. *In: Reviews in Mineralogy, vol. 29, Silica - Physical behavior, geochemistry and materials applications. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., 209-232.*
- Heaney P. J., Davis A. M. (1995) Observation and Origin of Self-Organized Textures in Agates. *Science 269, 1562-1565.*
- Hrazdil V. (2001) Minerální asociace alpských žil od Templštejna u Jamolic, západní Morava. *Acta Mus. Morav., Sci. geol. 86, 75-84.*
- ICSD (2012) Inorganic Crystal Structure Database. *FIZ-Karlsruhe, Germany, and the National Institute of Standards and Technology, USA.*
- Karásek J. (1996) Opál z Nové Vsi u Oslavan. *Minerál 4, 4, 243-247.*
- Kettner R. (1919) O genesi magnésitu u Nové Vsi jihozápadně Oslavan. *Čas. Morav. zem. muzea 17-19, 169-177.*
- Klausal J. (1724) *Curiosa natura arcana inclyti regni Bohemiae et appertinentium provinciarum Moraviae et Silesiae, Dissertationibus et quaestionibus philosophicis indigata admixtis thesibus ex universa Aristotelis Philosophia. Pragae.*
- Koničková Š. (2014) Výskyt a mineralogie zeleného chalcedonu (plazmy) v reziduích moravských serpentinitů (moldanubikum, Český masiv). *Acta Musei Moraviae, Sci. geol. 99, 2, 3-36.*
- Koničková Š., Losos Z., Houzar S. (2015) Geneze zelené plazmy - specifického mikrokrystalického křemičitého produktu zvětrávání serpentinitů (moravské moldanubikum, Český masiv). *Bull. mineral - petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 23, 1, 81-91.*
- Kovář O., Losos Z., Houzar S., Zeman J. (2008) Hydromagnetit, brugnatellit a coalingit v minerální asociaci puklin serpentinitu z kamenolomu „U Pustého mlýna“ u Hrubšic, moldanubikum, západní Morava. *Acta Mus. Morav., Sci. geol. 93, 19-35.*
- Kučera B. (1923) Seznam nerostů moravských a jich nalezišť. *Sborník klubu přírodověd. v Brně 5, 206.*
- Matějovská O., Minaříková D. (1992) Geologická mapa ČR 1:50 000, list 24 - 33 Moravský Krumlov. *Český geologický ústav.*
- Medaris G., Jr., Wang H., Jelínek E., Mihaljevič M., Jakeš P. (2005) Characteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. *Lithos 82, 1-2, 1-23.*
- Mejzlík Z. (2005) Nerosty z hadců, moravské geody a po stopách rudních dolů na západní Moravě. - *Minerál 13, 5, 366-371.*
- Milliken K. L., Morgan J. K. (1996) Chemical evidence for near-seafloor precipitation of calcite in serpentinites (site 897) and serpentinite breccias (site 899), Iberia abyssal plain. *In: Whitmarsh R. B., Sawyer D. S., Klaus A., Masson D. G. (eds): Proceed. Ocean Drilling Program, Scientific Results 149, 553-558.*
- Moxon T. (2002) Agate: Study of Ageing. *Eur. J. Mineral. 14, 1109-1118.*
- Moxon T., Carpenter M. A. (2009) Crystallite growth in nanocrystalline quartz (agate and chalcedony). *Mineral. Mag 73, 551-568.*
- Mrázek I., Rejl L. (1991) Drahé kameny Českomoravské vrchoviny. *Muzejní a vlastivědná společnost v Brně a Západo-moravské muzeum v Třebíči, 1-135.*
- Mrázek I., Rejl L. (2010) Drahé kameny Moravy a Slezska. *Nakl. Aventinum, 1-301. Praha.*
- Petránek J. (2004) Gravitationally Banded („Uruquay type“) agates in Basaltic Rocks - where and when?. *Bull. Geosci. 79, 4, 195-204.*
- Stanger G. (1985) Silicified serpentinite in the Semail nappe of Oman. *Lithos 18, 13-22.*
- Skrbek J., Fejfarová J., Gabriel Z., Mátl V., Ševčík J., Žežulka J. (1989) Drahé a ozdobné kameny ČSR. *MS, Ústř. Úst. geol. 1-100.*
- Urban M. (1988) Chemický a strukturní vývoj granulitu na kontaktu s peridotitem jz. od Biskoupek, Moldanubikum. *Acta Univ. Carol., Geol. 2, 161-179.*