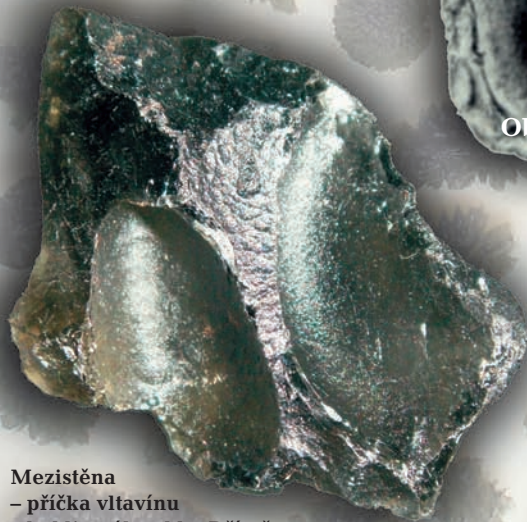


Kolektiv autorů

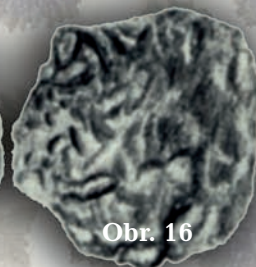
Vltavíny 2009



Mezistěna
– příčka vltavínu
z bublinatého skla, Dříteň.



Obr. 15



Obr. 16

Vyobrazení vltavínu s bublinou
od J. OSWALDA 1935:“
Vltavín Radomilice – Čechy, miskovitý tvar
s hlubokým negativním otiskem bubliny.
Vnější strana na obr. 16 je hluboce
skulptována, částečně mechanicky
otřena, bez lesku, kdežto vnitřní
strana na obr. 15 jest neporušena
s původním leskem.

ISBN: 978-80-87520-00-0

Vltavíny 2009

Kolektiv autorů

*Sborník vybraných příspěvků
účastníků vltavínové konference
konané 26. - 27. září 2009
v Novém dvoře u Týna nad Vltavou.*

Vybral a uspořádal RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.

OBSAH

J. Jirásek & V. Jirásek: Další nález vltavínu na katastrálním území Byňova v třeboňské pánvi <i>Another Moldavite Find in Byňov Cadastre in the Třeboň Basin</i> <i>(Bohemia, Czech Republic)</i>	5
P. Kalenda, J. Borovička & P. Spurný: Dynamika a fragmentace meteoroidů při průletu atmosférou <i>Dynamics and fragmentation of meteoroids in flight through the atmosphere</i>	9
V. Knobloch, Z. Řanda, A. Langrová & Z. Urbanec: Lechatelieritové inkluze ve vltavínech <i>Lechatelierite inclusions in moldavites</i>	23
V. Knobloch, Z. Řanda, A. Langrová & Z. Urbanec: Příspěvek k problematice vzniku vltavínů <i>Contribution to the issue of moldavites origin</i>	35
V. Pavlíček, M. Sedlák & M. Sedlák: Vltavíny v železvcích a železitých konkrécích <i>The moldavites in the ferruginous concretions</i>	47
V. Knobloch, V. Procházka & A. Langrová: Skulptace lechatelieritu: vztah k chemickému složení? <i>Is the lechatelierite sculptation related also to chemical composition?</i>	53
P. Rajlich: Vltavíny jako Měsíční meteority (selenity) <i>Moldavites as Lunar meteorites (selenites)</i>	61

Další nález vltavínu na katastrálním území Byňova v třeboňské pánvi

*Another Moldavite Find in Byňov Cadastre in the Třeboň
Basin (Bohemia, Czech Republic)*

Jakub JIRÁSEK

*Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská
– Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2172, 708 00 Ostrava-Poruba*

E-mail: jakub.jirasek@vsb.cz

Vladislav JIRÁSEK

Pod Zámečkem 1519/6, 500 12 Hradec Králové

E-mail: vladislavjirasek@seznam.cz

Abstract: Single piece of moldavite – size 41×27× 26 mm, weight 34,7 g – was found in a new occurrence close to Byňov which belongs to relative small number of moldavite localities in the south-east corner of the Třeboň Basin and probably also to the relicts of Koroseky gravels and sands (Middle Miocene).

Keywords: moldavite, Třeboň Basin, Southern Bohemia, Czech Republic

Abstrakt: Na pravděpodobně novém nalezišti poblíž Byňova byl nalezen vltavín o váze 34,7 g a rozměrech 41x27x26 mm. Nález rozšiřuje malý počet známých vltavínových lokalit na jv. okraji Třeboňské pánve a pochází pravděpodobně ze zbytků středně miocenních Koroseckých štěrkopísků.

Klíčová slova: vltavín, třeboňská pánev, jižní Čechy, Česká republika

Úvod

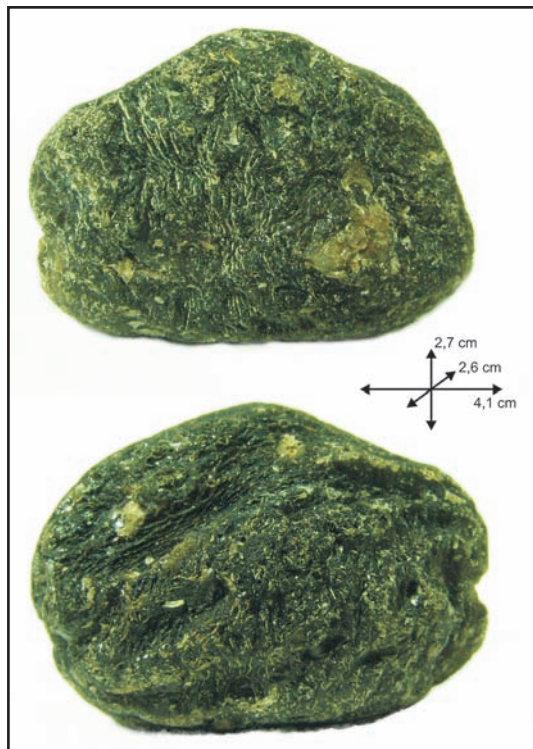
V jv. cípu většího z terciérních reliktních třeboňské pánve, v podhůří Novohradských hor, jsou již od sedmdesátých let 20. století známy nálezy vltavínů. Jejich geologická pozice není zcela jistá, ale je velmi pravděpodobně primární a výskyty pocházejí z usazenin obdobných koroseckým štěrkopískům, známých z klasické oblasti j. okolí Českých Budějovic. Nálezy z nedalekých teras řeky Lužnice jsou prokazatelně mladší a vltavíny v nich byly rozneseny dále k severu. V okolí Byňova byl v nedávné době nalezen vltavín, o kterém pojednává tento příspěvek.

Popis nálezu

Vltavín tvaru nepravidelného trojosého elipsoidu (celotvar) má rozměry 41×27×26 mm a hmotnost 34,7 g (obr. 1). Byl nalezen druhým z autorů při prohlídce pole naproti závodu HBSW, a.s. (stáčírna Dobré vody, u Tomkova mlýna) v září roku 2005. Pole se nachází na pravém břehu říčky Stropnice v nadmořské výšce přibližně 468 m n.m., 1500 m ssz. od Byňova na katastrálním území Byňova, náležícího obci Nové Hrady. Vltavín je prakticky celý tmavě zelený, jen na několika štěpných trhlinách prosvítá světle zeleně. Má matný lesk. Jsou na něm dobře patrné dva typy makroskulptace – starší jsou hluboké ostře řezané žlábkové, které původně pokrývaly celý povrch vltavínu. Ty jsou z části setřené transportem ve vodním toku, při kterém vznikla na povrchu řada obloukovitých až kruhových jamek o průměru prvních milimetrů, které představují nárazové trhliny. Vzhledově je tak podobný zejména vltavínům z radomické oblasti, kde také většina vltavínů nese stopy starší hluboké skulptace setřené přeplavením říčními toky. Mikroskulptace vltavínu byla sledována na konfokálním mikroskopu Olympus LEXT OLS3000 Institutu geologického inženýrství HGF VŠB-TU Ostrava. Byl zjištěn zcela převládající jamkovitý až žlábkovitý typ (obr. 2). V místech čerstvějších odlomů vltavínu byly v jeho přívěškové vrstvě pozorovány hojnější protáhlé bubliny velikosti setin až desetin milimetru.

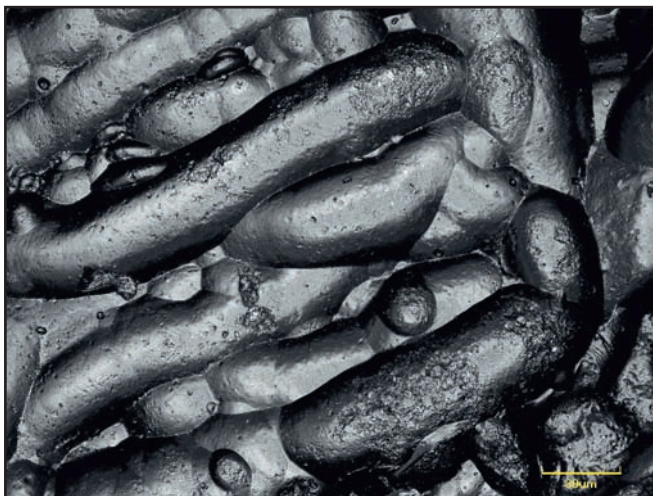
Obr. 2 – Mikroskulptace vltavínu z lokality Byňov. Foto: D. MATÝSEK.

Fig. 2 – Microsurface relief of the moldavite from Byňov. Photo: D. MATÝSEK.



Obr. 1 – Tvar a skulptace vltavínu z lokality Byňov. Foto: J. Jirásek.

Fig. 1 – Shape and surface relief of the moldavite from Byňov. Photo: J. Jirásek.



Poloha nálezu v rámci třeboňské pánve

Sedimentární výplň třeboňské pánve je v okolí Byňova tvořena svrchnokřídovým klikovským souvrstvím, jehož kaolinické žáruvzdorné a kameninové jíly byly těženy v nedaleké Lipnici, Jílovicích a Klikově. Jejich svrchní část tvoří kaolinické pískovce až slepence. Na ně místy nasedají šedé až hnědé jíly, které se střídají s jílovitými písky až štěrkopísky zlivského souvrství (spodní miocén) a písky a štěrkopísky mydlovarského souvrství (spodní až střední miocén). V lese Jakule se v jejich nadloží dále nacházejí ostrůvky koroseckých „štěrkopísků“ (střední miocén), křemen-živcových štěrkopísků s dokonale opracovanými valouny a hranci při povrchu, které místy obsahují vltavíny (STANÍK & al. 1991). Z nich pochází i popisovaný nález.

PRCHAL (1980) popisuje tři lokality v okolí Jakule u Nových Hradů. První je na nálezy vltavínů bohatá pískovna sv. od obce při silnici do Šalmanovic, objevená dr. K. ŽEBEROU v roce 1975. Ta poskytla, hlavně za dob své těžby, řádově stovky nalezených kusů. Druhou představuje místo terénních úprav j. od obce u silnice do Hranic, objevená autorem zprávy v roce 1978, ze které pocházel jediný nález. Třetí lokalitou byl výkop j. od místní pily vlevo od silnice do Hranic, opět s jediným nálezem autora z roku 1978. Na tyto lokality přímo navazuje ojedinělý nález vltavínu S. CÍFKEM ze staré pískovny v lesním komplexu v Jiříkově údolí, který zmiňuje stejný autor. Dále k severu je známá bohatá lokalita vltavínů Bor s vyššími stovkami nalezených kusů a chudší lokality v jejím blízkém okolí – Borpískovna a Synochov. Vltavínonosné sedimenty mezi Suchdolem nad Lužnicí a Hrdlořezy a dále po proudu řeky jsou geologicky mladší a nejspíše obsahují vltavíny transportované drobnějšími vodními toky do Lužnice (ŠEVČÍK 1980, VAMBEROVÁ & ŠEVČÍK 1990). Severozápadně a západně od Byňova jsou známy vltavíny z lokalit Jílovice, Hluboká u Borovan, Třebeč, Lhotka u Borovan a Olešnice (např. PRCHAL 1980, PÁTEK 1997).

Závěr

Nově nalezený vltavín představuje další doklad výskytu těchto zajímavých hmot v j. části třeboňské pánve. I když jsou zde podle geologické mapy rozsáhlá tělesa terciérních uloženin nenáležející terasám řeky Lužnice, díky poměrně špatně odkrytému terénu jsou z této oblasti známy až na výjimky (lokality Jakule a Bor) spíše ojedinělé nálezy vltavínů. Každý další dokumentovaný nález tak umožní propojení výskytů a pochopení jejich geologické situace. Místo nálezů se v posledních letech přestalo orat, takže šance na rozšíření nálezů z tohoto konkrétního místa jsou velice omezené.

Literatura

- PÁTEK Z., 1997: Zamyšlení nad pojmy lokalita a naleziště vltavínů. Přírodovědný sborník Západo-moravského muzea v Třebíči, 31, 108 - 117. Třebíč.
- PRCHAL M., 1980: Nová naleziště vltavínů v jižních Čechách. Přírodovědný sborník Západo-moravského muzea v Třebíči, 11, 223 - 228. Třebíč.
- STANÍK E., GABRIELOVÁ N., LÍBALOVÁ J., MALECHA A., ŠALANSKÝ K. & ŽEBERA K., 1991: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSFR 1:25 00033-131 Nové Hradky. – Český geologický ústav, Praha, 43 pp.

ŠEVČÍK J., 1980: Nové nálezy vltavínů v Třeboňské pánvi. Přírodovědný sborník Západoomoravského muzea v Třebíči, 11, 245 - 248. Třebíč.

VAMBEROVÁ O. & ŠEVČÍK J., 1990: Výsledky statistického zpracování vltavínů z lokalit Bor, Hrdlořezy a Jakule. – In: Sborník referátů 5. konference o vltavínech v Č. Budějovicích 20. - 21. října 1987, pp. 106 - 124, Jihočeské muzeum v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Dynamika a fragmentace meteoroidů při průletu atmosférou

Dynamics and fragmentation of meteoroids in through the atmosphere

Pavel KALENDA

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8
E-mail: pkalenda@irms.cas.cz

Jiří BOROVIČKA

Astronomický ústav AV ČR, Fričova 298, 251 65 Ondřejov
E-mail: Jiri.Borovicka@asu.cas.cz

Pavel SPURNÝ

Astronomický ústav AV ČR, Fričova 298, 251 65 Ondřejov
E-mail: spurny@asu.cas.cz

Abstract: During the flight of the meteoroids through the atmosphere we observe phenomena associated with their ablation, ionization, fragmentation and destruction. All of these events depend on the material composition of meteoroids and on the angle and speed of their entry into the atmosphere. Only when at least some initial conditions are fulfilled, the meteorites will impact the Earth's surface. The same applies for the origin of tektites, so not all material is able to leave the Earth's atmosphere and give rise to the tektites of the moldavites type or australites.

Key words: meteoroids, fragmentation, tektites

Abstrakt: Při průletu meteoroidů atmosférou jsou pozorovány jevy, související jak s ablací, ionizací, tak i s jejich fragmentací a destrukcí. Všechny tyto jevy závisí jak na materiálovém složení meteoroidů, tak na úhlu a rychlosti vstupu do atmosféry. Pouze při splnění alespoň některých počátečních podmínek dojde k dopadu meteoritu na zemský povrch. Stejně předpoklady platí i pro vznik tektitů, takže ne všechny materiál je schopen opustit zemskou atmosféru a dát vzniknout tektitům typu vltavínů nebo australitů.

Klíčová slova: meteoroidy, fragmentace, tektity

Úvod

Fakt, že se meteoroidy rozpadají v průběhu jejich letu atmosférou Země, je dobře znám (např. CEPLECHA & al. 1993, BROWN & al. 1994). Téměř všechny přístrojově zaznamenané pády normálních chondritů (Příbram, Lost City, Innisfree, Peekskill, Morávka, Jesenice, Košice) ukazují různý stupeň fragmentace. V některých případech rozpadů byly pozorovány desítky fragmentů (bolid Peekskill; BEECH & al. 1995 nebo Košice).

Pozorované fragmentace meteoroidů nám mohou pomoci při analýze průletu tektitů zemskou atmosférou, které jsme jako lidstvo neměli možnost pozorovat, protože nejmladší tektity – Irgizity – vznikly dopadem meteoritu na zem a vytvořením kráteru Zhamanshin před cca 800 tisíci lety (OSTERMANN & al. 1996).

Pozorované dynamiky a fragmentace meteoroidů

První práce ukázaly, že u části meteoroidů k první fragmentaci dochází již při dynamickém tlaku, počítaném podle vztahu $p = \rho_a v$, kde ρ_a je hustota atmosféry v daném bodě rozpadu a v je rychlost meteoroidu, menší než 0,14 MPa a k hlavní fragmentaci dochází při dynamickém tlaku 0,7 – 1 MPa (CEPLECHA & al. 1993).

Hustotu atmosféry můžeme spočítat z údajů výškových profilů podle vztahu $\rho_a = p_a / (287,05 \cdot T)$, kde p_a je tlak a $T[K]$ je teplota vzduchu.

SVETSOV & al. (1995) ukázali, že pevnosti v tahu u kamenných meteoritů jsou mezi 2 a 62 MPa se střední hodnotou 29 MPa. Analýza dynamické fragmentace 80 meteoroidů zaznamenaných bolidovou sítí Prairie Meteorite Network (PN) ukázala, že pouze 4 meteoroidy nepodlehly fragmentaci ani při dynamickém tlaku větším než 1,5 MPa a jen jeden meteoroid vydržel tlak větší než 5 MPa (CEPLECHA & al. 1993). Extrémním případem byl dopad atypického monolitického kamenného meteoritu Carancas na zemský povrch bez výrazné fragmentace, který vydržel dynamické tlaky 20 – 40 MPa (BOROVIČKA & SPURNÝ 2008).

Ze záznamu pohybu meteoroidu a analýzy částí jeho trajektorie, ve kterých nedochází k rozpadům, je možno určit hmotnost daného tělesa podle vztahů uvedených v CEPLECHA & al. (1998), strany 349-350, za předpokladů, že nedochází ke změnám ostatních parametrů, jako jsou ablační koeficient σ a parametr K , které se mění převážně s tvarem tělesa. Vstupními parametry pro řešení pohybových rovnic jsou: čas, výška nad povrchem Země a rychlost v tomto bodě, ablační koeficient σ a parametr $Km^{-1/3}$, kde m je hmota meteoroidu a K je koeficient tvaru a hustoty.

Dynamika letu závisí pouze na kombinaci $Km^{-1/3}$, kde parametr K můžeme vyjádřit jako $K = \Gamma A \rho_a^{-2/3}$, kde ρ_a je objemová hustota meteoroidu, Γ je koeficient odporu prostředí a koeficient A je tvarový koeficient. Pro sférická tělesa je koeficient $A=1,21$. Pro meteoroid Lost City byl odhadnut koeficient $\Gamma A=1,10 \pm 0,04$ (CEPLECHA 1996). Pro naše případy můžeme předpokládat, že koeficient $\Gamma A=1,0$. Protože ve skutečnosti je tvar fragmentů meteoroidu různý od sférického tvaru, promítne se tato skutečnost do nepřesnosti v určení hmotnosti fragmentů s normálním rozložením chyb.

V následujících odstavcích uvedeme údaje o některých významných blidech.

Bolid Příbram

Příbram (7. 4. 1959) byl prvním meteoritem s „rodokmenem“, kdy na základě pozorování bolidu byla spočtena jeho trajektorie a ve vypočteném pádovém poli byly nalezeny meteority (CEPLECHA 1961, CEPLECHA & al. 1998 p. 424). Nejjasnější svítivost byla ve výšce 46 km (CEPLECHA 1994, CANAVAN 1997) při rychlosti 20,4 km/s (CEPLECHA 1961). Tomu odpovídá dynamický tlak cca 0,7 MPa. Ve výškách mezi 44 – 23 km byly pozorovány rozpady na úlomky, ale průběh rychlosti v nižších výškách není znám. Odhaduje se, že dynamický tlak mohl dosáhnout 10 – 14 MPa (POPOVA & al. 2011).

Bolid Lost City (PN40590)

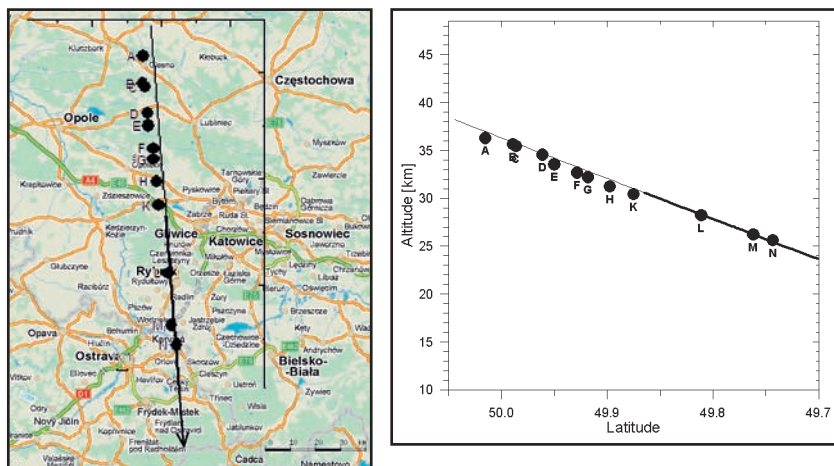
Bolid Lost City (3. 1. 1970) byl první meteorit v USA, který byl nalezen na základě výpočtu jeho trajektorie pomocí bolidové sítě Prairie Meteorite Network (PN; McCROSKY & al. 1971). Dynamický tlak dosáhl maxima 2,8 MPa při rozpadu ve výšce 28 km (CEPLECHA & ReVELLE 2005).

Bolid Benešov (EN070591)

Jedním z největších a nejlépe dokumentovaných bolidů byl bolid Benešov (7. 5. 1991; BOROVIČKA & al. 1998). Dosáhl jasnosti téměř -20 mag (tisíckrát více než Měsíc v úplňku). Let byl téměř vertikální. Z průběhu brždění lze usuzovat, že meteoroid začal fragmentovat již ve výškách 50 – 60 km. Geometricky byly zaznamenány fragmentace ve výškách 38 – 31 km a k největšímu rozpadu došlo ve výšce 24 km při dynamickém, tlaku okolo 9 MPa. Úlomky se od sebe vzdalovaly laterální rychlostí až 300 m/s. Poslední sledovaný úlomek pronikl do výšky cca 19 km rychlostí 5 km/s (BOROVIČKA & al. 1998). Žádný meteorit se bohužel nepodařilo nalézt.

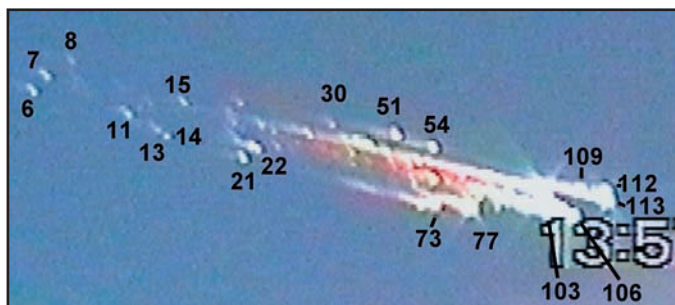
Bolid Morávka

Bolid Morávka prolétl nad jižním Polskem a severní Moravou dne 6. 5. 2000 v 11:52 UT (BOROVIČKA & al. 2003). Jeho průlet atmosférou byl zachycen třemi videi, infrazvukovou stanicí a seismickými sítěmi DPB Paskov, dolů OKD a také národní seismickou sítí. Počáteční rychlost bolidu byla 22,5 km/s a dráha byla skloněná o 20° vzhledem k horizontální rovině. Původní hmotnost meteoroidu byla asi 1500 kg. Bylo nalezeno 6 meteoritů, obyčejných chondritů typu H5.



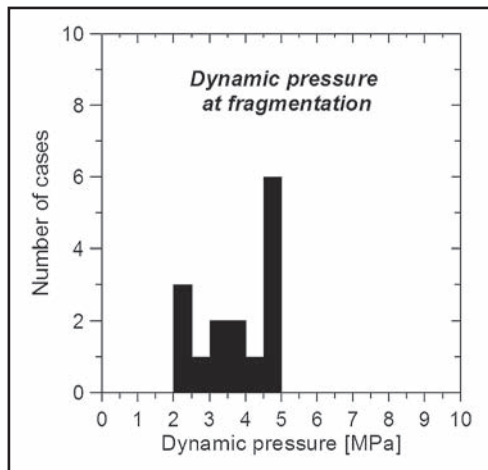
Obr. 1a – Lokace rozpadů meteoroidu Morávka ze seismických dat v mapě a vertikálním řezu. Hlavní trajektorie, určená na základě videí, je znázorněná tenkou linií. Tlustá část linie označuje část trajektorie, pokrytou videem z Kunovic, ze kterého se určovala dynamika rozpadů.

První fragmentace meteoroidu musela nastat ještě ve výšce vyšší než 50 km, protože hmotnost a průběh rychlosti hlavy meteoroidu na videu z Janova (výšky mezi 45,7 a 40 km) odpovídá hmotnostem těles 100 – 200 kg, což je v rozporu s celkovou hmotností meteoroidu cca 1500 kg, zjištěnou pomocí luminosity, infrazvuku a seismických dat (BOROVIČKA & al. 2003).



Obr. 1b – Detail bolidu Morávka na jednom záběru videa J. MIŠÁKA z Kunovic.

K největší fragmentaci podle seismických dat došlo ve výškách 37 – 30 km, avšak fragmentace pokračovala ještě ve výškách okolo 20 km a jak ukazují zcela nebo alespoň zčásti neabladované plochy ruptur, některé z nich mohly vznikat i v temné části trajektorie, nezachycené na videu. Dynamický tlak se v době analyzovaných rozpadů pohyboval mezi 2,2 a 5 MPa (BOROVIČKA & al. 2003). Histogram dynamického tlaku (viz obr. 2) ukazuje, že meteoroid má jasný limit své pevnosti 5 MPa, při kterém došlo v největším počtu případů k rozpadům.



Obr. 2 – Histogram dynamického tlaku bolidu Morávka (převzato z BOROVIČKA & al. 2003).

2.5. Bolid Břeclav

Druhý bolid, který byl zaregistrován seismickými stanicemi národní seismické sítě, byl bolid Břeclav, který vstoupil do atmosféry u Břeclavi 4. 2. 2007 v 22:59:15 - 18 (viz obr. 3).

Počáteční rychlost bolidu byla 22 km/s a dráha byla velmi strmá se sklonem 72° k horizontále. Původní hmotnost meteoroidu byla asi 500 kg.

Obr. 3 – Trajektorie bolidu Břeclav. Čtverečkem označen hlavní rozpad ve výšce cca 36 – 37 km. Poslední seismicky detekovaná část trajektorie byla ve výšce 30,6 km.



Záznamy seismických stanic spolu se záznamem zvukové stopy jedné bolidové stanice pomohly lokalizovat hlavní bod destrukce a závěrečný bod nadzvukové části trajektorie, který se nacházel ve výšce 30,6 km.

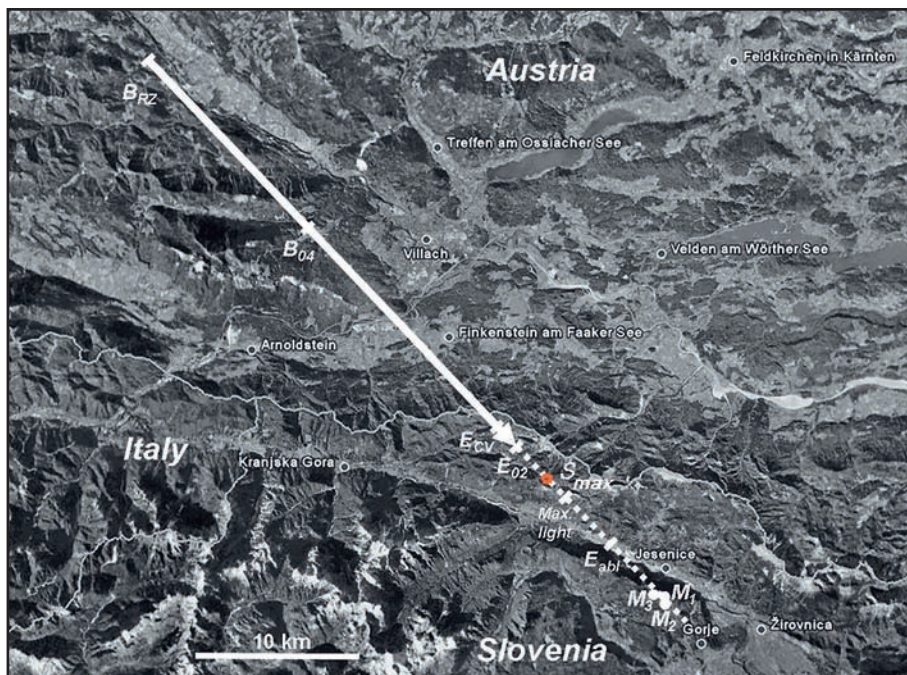
K prvním rozpadům došlo ve výšce 47,7 km při dynamickém tlaku 0,6 MPa a k hlavnímu rozpadu došlo při dynamickém tlaku cca 2,8 MPa ve výšce 36,2 km. Pravděpodobně v důsledku velkého hustotního gradientu ve směru trajektorie (vlivem jejího velkého sklonu) a malé pevnosti materiálu meteoroidu došlo ke kompletnímu vypaření veškerého materiálu do výšky 30 km nad zemským povrchem, jak bylo pozorováno na odrazech rádiových vln od ionosféry ve výšce 30 – 50 km (R. SLOŠIAR – ústní sdělení, SLOŠIAR & HUDEC 2008).

2.6. Bolid Carancas

Bolid Carancas (15. 9. 2007) byl mezi všemi ostatními bolidy výjimečný tím, že při průletu atmosférou nedošlo k jeho podstatnému rozpadu a malá část kamenného meteoroidu H4-5 (CONNOLLY 2008) o původní hmotnosti 900 – 4000 kg dopadla na zemský povrch rychlostí 2 – 4 km/s, takže se vytvořil impaktní kráter o průměru 13 m na náhorní planině v Peru (BOROVIČKA & SPURNÝ 2008, KENKMANN & al. 2009, TANCREDI & al. 2009). Trajektorie a rychlost bolidu jsou bohužel známy jen velmi přibližně, nicméně meteoroid v každém případě vydržel dynamický tlak nejméně 20 MPa, který odpovídá teoretické pevnosti chondritů v tahu. Jedná se tedy o výjimečný případ pádu téměř neporušeného – monolitického – meteoroidu (BOROVIČKA & SPURNÝ 2008).

2.7. Bolid Jesenice

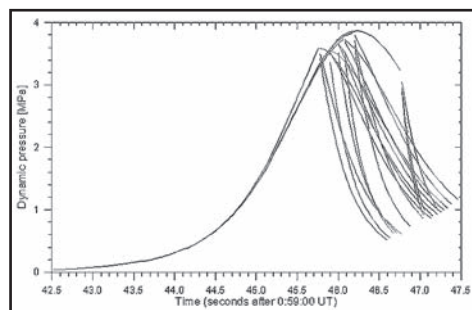
Bolid Jesenice prolétl nad jižním Rakouskem a severním Slovinskem 9. 4. 2009 v 0:59:46 UT (SPURNÝ & al. 2010). Jeho trajektorie byla určena ze stanic bolidové sítě ČR a Slovinska a zvukové vlny byly zachyceny řadou seismických stanic v okruhu minimálně 150 km.



Obr. 4 – Trajektorie bolidu Jesenice. Kroužkem (S_{max}) označen hlavní rozpad podle seismických vln. Křížkem (Max light) označen bod největší svítivosti bolidu. B_{RZ} a B_{04} označují počátky záznamu stopy a E_{cv} E_{02} konce záznamu stopy na bolidových kamerách RZ – Rezman, 04 – Churáňov, CV – Črni Vrh, 02 – Kunžak. M1-3 místa nálezů meteoritů.

Počáteční rychlost bolidu byla 13,8 km/s a dráha byla skloněna o 59° vzhledem k horizontální rovině. Původní hmotnost meteoroidu byla asi 170 kg.

Analýza seismických záznamů ukázala, že k primárnímu rozpadu meteoroidu došlo ještě ve výšce cca 46 km při dynamickém tlaku pouze 0,3 MPa, takže meteoroid se rozpadl na 6 menších kusů s hmotnostmi 25 – 40 kg (SPURNÝ & al. 2010). Protože tento rozpad nebyl doprovázen tvorbou prachu, nebyl výrazně pozorovatelný na světelné křivce. K hlavnímu rozpadu s velkým uvolněním prachu (až 90% původní hmotnosti) došlo ve výškách 23 – 26,5 km při dynamickém tlaku až 3,9 MPa (viz obr. 5). Kusy, které přečkaly v pevném stavu hlavní rozpadů, měly podle modelu hmotnosti 0,1 – 8 kg. Toto odpovídá nálezům obyčejných chondritů L5 (BISHOFF & al. 2010) o hmotnostech 0,36 – 2,3 kg. Relativně velké procento „přeživší“ hmoty, která dopadla na zemský povrch, souvisí pravděpodobně s malou vstupní rychlostí meteoroidů do atmosféry.

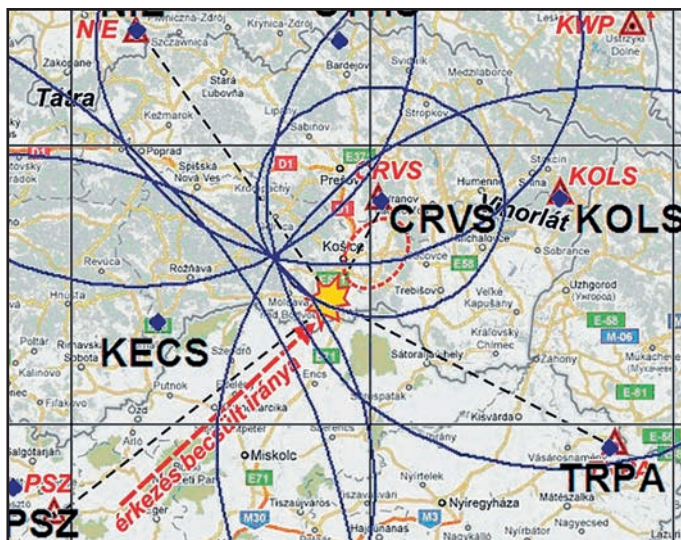


Obr. 5 – Modelované dynamické tlaky na čele jednotlivých meteoroidů jako funkce času (převzato ze SPURNÝ & al. 2010).

Bolid Košice

Bolid Košice prolétl nad Slovenskem 28. 2. 2010 v 21:24:46 UT (SPURNÝ – ústní sdělení). Jeho trajektorie byla určena ze záznamu bezpečnostních kamer z Maďarska a potvrzená lokací hlavního rozpadu pomocí seismických stanic ze Slovenska, Maďarska, Ukrajiny, Polska a Česka (viz obr. 6).

K hlavním rozpadům meteoroidu došlo ve výškách 39 – 34 km při poměrně nízkém dynamickém tlaku cca 1 – 1,5 MPa. Celková pevnost meteoroidu byla tudíž malá, nicméně některé fragmenty byly dostatečně pevné a nalezené meteority typu H5 (MERC 2010, TOTH & al. 2010) jsou podobné meteoritům Morávka a Příbram.



Obr. 6 – Lokalizace hlavního rozpadu ze seismických stanic. Červeně čárkovaně – prvotní (a nesprávný) odhad trajektorie z maďarských a Slovenských seismických stanic (L.TÓTH, G.TIMÁR & F.HORVÁTH – <http://www.origo.hu/i/1003/20100304meteorbec1.jpg>).

K hlavním rozpadům meteoroidu došlo ve výškách 39 – 34 km při poměrně nízkém dynamickém tlaku cca 1 – 1,5 MPa. Celková pevnost meteoroidu byla tudíž malá, nicméně některé fragmenty byly dostatečně pevné a nalezené meteority typu H5 (MERC 2010, TOTH & al. 2010) jsou podobné meteoritům Morávka a Příbram.

Tunguský meteorit

Přestože většina dat o trajektorii tunguského bolidu a jeho materiálu má spekulativní charakter, některé údaje, jako například o výšce hlavního rozpadu nad zemí a celkové energii výbuchu, jsou nezpochybnitelné a doložené na rozsahu a geometrii polomu. Proto zařazujeme i tento bolid mezi pozorování s tím, že se svými všemi projevy nejvíce blíží bolidu Břeclav, přestože hloubka penetrace atmosféry byla v tomto případě podstatně větší.

Bolid Tunguska, který explodoval 30. června 1908 poblíž vesnice Vanavary ve výšce 6 – 10 km (CHYBA & al. 1993, WASSON & BOSLOUG 2000), patřil pravděpodobně do rodiny chondritů (SEKANINA 1983, CHYBA & al. 1993), jak je možno také usuzovat na základě hloubky penetrace atmosféry a kompletní destrukce teprve při dynamickém tlaku 20 MPa (SEKANINA 1983), resp. 80 MPa (MEDVEDEV & al. 1985), ačkoli BRONSHTEN (2000) argumentuje nedostatkem nálezů meteoritů o hmotnostech cca 5 kg, které by v takovém případě musely být nalezeny. FARINELLA & al. (2001) ukázali, že průletem tělesa podobného planetce Mathilda atmosférou by vznikl jev, shodný se všemi pozorováními.

Jestliže předpokládáme, že průměrná hustota meteoroidu byla 2 g cm⁻³, pak by bylo možno odhadnout průměr bolidu na 40 m a elevační úhel 20 – 45° při vstupu do atmosféry (BRONSHTEN 1999). LYNE & al. (1996) a HILLS & GODA (1999) ukázali na modelech, že při pevnosti materiálu v tahu v řádu 1 MPa (komety) by musel být

její průměr 100 m a rychlost vstupu do atmosféry by musela být mnohem menší než odhadovaná.

Doposud se nenašel žádný meteorit, odpovídající tomuto bolidu, což může být vysvětleno jeho kompletní fragmentací na kousky o průměru 1 – 10 cm a jejich kompletním vypařením v průběhu dalšího letu po hlavním rozpadu jak ukázal na modelech SVETSOV (1996). Nalezeny byly pouze kovové sférule, které mohou představovat produkty kondenzace evaporátů. Stejně byly nalezeny v ledu poblíž jižního pólu při vrtném průzkumu ledu (GANAPATHY 1983).

Diskuze

Téměř všechny bolidy vykazovaly různou míru fragmentace, mnohé z nich ještě ve vysokých výškách nad 50 km, což svědčí o tom, že materiál většiny kamenných meteoritů je porušen různě velkými puklinami, které mohou pocházet ze vzájemných kolizí mezi asteroidy (BALDWIN & SHEAFFER 1971). Jednou z mála výjimek byl monolitický bolid Carancas, který prakticky bez fragmentace dokázal prorazit atmosféru a vytvořit impaktivý kráter. V tomto případě se blížil dynamický tlak při průletu hustými vrstvami atmosféry pevnosti materiálu v tahu. Pokud by ale rychlost vstupu tohoto meteoroidu do atmosféry byla o málo vyšší, pravděpodobně by došlo k jeho rozpadu a celkové destrukci tak, jako u řady pozorovaných bolidů (BOROVIČKA & SPURNÝ 2008). Mezní podmínky takových explozivních fragmentací ukazuje empirický vztah $\sqrt{32}$, odvozený SEKANINOU (1983).

Jedním z příkladů těchto dynamických explozivních fragmentací byl bolid Břeclav, k jehož kompletní destrukci a vypaření většiny materiálu došlo na úseku cca 4 km dlouhém za dobu menší než 1 s.

Největším příkladem dynamické explozivní destrukce může být Tunguzský bolid, který se také kompletně rozpadl téměř v jednom okamžiku na velice malém úseku dráhy, přestože byl její sklon k zemskému povrchu velice malý (5 – 25°) a těleso mělo průměr desítky metrů (SEKANINA 1983).

Z tohoto pohledu je možno říci, že větší šanci na průlet atmosférou a dopad na zemský povrch mají meteoroidy s menšími hmotnostmi, ale s pevnějším materiálem, které jsou primárně porušené, takže se již v průběhu letu rozpadají na řadu menších fragmentů, které se rychleji brzdí aerodynamickým třením a dynamický tlak nedosahuje hodnot, blížících se pevnosti materiálu samotného. Naproti tomu větší a neporušené meteoroidy, vstupující do atmosféry většími rychlostmi se nestačí brzdit ve vyšších výškách aerodynamickým třením a překročení dynamického tlaku na čele meteoroidu se projeví jeho rychlou celkovou fragmentací a destrukcí.

Můžeme nastínit mechanismus dynamické explozivní fragmentace tak, jak byla pozorována v případě bolidů:

- 1) K největším úbytkům hmoty meteoroidu dochází při fragmentaci, spojené s uvolněním velkého množství prachu. Toto bylo pozorováno na všech bolidech, nejvýrazněji v případě Morávky a Jesenice. V obou případech nebyly prvotní rozpady primárních těles opticky výrazné a i seismické projevy byly velice nevýrazné. Dynamický tlak byl v případě prvotních rozpadů velice malý, pod 0,1 MPa. Také úbytky hmotností byly velice malé. Naopak, v případě hlavních rozpadů obou meteoroidů došlo k uvolnění velkého množství prachu,

kteřý řádově zvýšil svítivost bolidů v době své evaporace. Také seismické projevy byly nejvýraznější v době hlavního rozpadu, který se stal bodovým zdrojem explozivních seismických vln (BOROVIČKA & KALENDA 2003). Úbytky hmotnosti při těchto fragmentacích s uvolněním prachu byly i více než 50% primární hmotnosti meteoroidů (BOROVIČKA & KALENDA 2003, SPURNÝ & al. 2010).

- 2) Explozivní fragmentace probíhá rychlostmi srovnatelnými s rychlostmi zvukových vln, jak bylo ukázáno na prostorové separaci fragmentů, která byla menší než 300 m/s například v případě bolidu Benešov (BOROVIČKA & al. 1998).
- 3) K uvolňování prachu při fragmentaci dochází zejména při vyšším dynamickém tlaku, který se blíží mezi pevnosti materiálu meteoroidu v tahu. V tomto případě nedojde ke vzniku trhliny na omezené ploše oslabené zóny materiálu, ale vznikají zárodky trhlin v celém objemu materiálu. Po vzniku primární trhliny se vlivem změny geometrie tělesa (nových těles) změní i napěťové poměry v celém objemu materiálu a může dojít k překročení Coulombova kritéria současně na dalších místech, která se opět stávají zdrojem dalších puklin. Tento proces se lavinovitě šíří až do té doby, dokud se dynamické napětí na čele dceřiných fragmentů nesníží pod mez pevnosti materiálu v tahu.
- 4) Při uvolnění prachu při dynamické fragmentaci dojde vlivem jeho setrvačnosti při současném zvětšení aktivního profilu k jeho rychlému zabrzdění a evaporaci (POKROVSKIJ 1966, CRAWFORD & BOSLOUGH 1996). Při tomto procesu ovšem dochází ke zvětšení objemu plynných složek systému (přehřátých ionizovaných par), které expandují rychlostmi zvuku nebo mírně nadzvukovými (ReVELLE 1976) a vytvářejí tak superkritickou oblast Machových vln s teplotami vysoko nad bodem varu, se superkritickým tlakem a rychlostmi. Tato superkritická oblast se nachází převážně na čele meteoroidu a zpětně působí na vlastní těleso (FOSCHINI 2000b) zejména tím, že zvyšuje tlak na jeho čele, což může dále vést k dalším rozpadům a uvolňování dalšího prachu. Celý tento cyklus tak může mít pozitivní zpětnou vazbu a končit celkovou destrukcí meteoroidu.

Pokud aplikujeme znalosti z průletu meteoroidů atmosférou na impaktní proces a vznik tektitů, musíme uvažovat v každém případě počáteční rychlosti vyvržených hornin do atmosféry přibližně rovné rychlosti impaktorů, tedy 5 – 40 km/s. Rychlosti vyvržení hmoty do atmosféry můžeme taky odhadnout na základě výpočtu balistické křivky (KALENDA & PECINA 1997, 1999). Pro vltaviny se musely počáteční rychlosti pohybovat minimálně okolo 3500 – 4500 m/s. Mohly by být i větší, ale materiál, vyvržený takovými rychlostmi a v tak relativně malém množství (srovnej s australiany), by se pravděpodobně většinou vypařil a neprolétl atmosférou do kosmického prostoru. Pro australiany byly spočteny odhady počátečních rychlostí okolo 5000 – 10000 m/s, které umožnily dolet některých tektitů z jv Asie až do Austrálie. Těmto počátečním rychlostem taky odpovídá množství vyvržené hmoty, které v případě

vltavínů bylo podle modelu (KALENDA & PECINA 1997) $2 - 15 \times 10^6$ kg, což koresponduje s odhadovaným množstvím vltavínů $(1 - 9) \times 10^5$ kg (BOUŠKA & ROST 1968). V případě indočinitů a australitů bylo podle modelu vyvrženo cca 10^{12} až 10^{13} kg, což koresponduje s odhady SCHMIDTA & WASSONA (1993) – 2×10^{13} kg, ale je větší než odhad publikovaný GLASSEM & al. (1979) – 10^{11} kg.

Jak ukázal modelový výpočet, v případě jak vltavínů, tak i indočinitů a australitů, musely tektity vznikat v průběhu prvního průletu atmosférou ve shluku pevných nebo částečně šokově natavených úlomků terciérních hornin a nezpevněných sedimentů (prachu a písku; BOUŠKA 1994, STÖFFLER & al. 2002), který se dále tavit, mísil, homogenizoval a posléze diferencioval podle hustoty a tepelné odolnosti jednotlivých komponent (KALENDA & PECINA 1997). Tento shluk však nebyl od samého počátku tvořen taveninou, jak předpokládají např. PIERAZZO & MELOSH (2000) nebo STÖFFLER & al. (2002), protože ta by se při průletu atmosférou chovala podobně jako kometární jádra s malou pevností v tahu – došlo by k jejímu „rozprsknutí“ a velice rychlému vypaření v průběhu několika málo kilometrů letu i v případě vyvržení celého objemu materiálu jedním směrem (ten by se vešel v případě vltavínů do koule o průměru cca 20 – 30 m). Výsledek průletu taveniny pozemskou atmosférou by se tedy podobal spíše Tunguskému bolidu nebo bolidu Benešov, po kterých se našly pouze mikrotektity, kovové sférule a oblak ionizovaného plynu ve stratosféře (R. SLOŠIAR).

Vyvržený shluk úlomků hornin a nezpevněných sedimentů se s největší pravděpodobností podobal tomu, který dal vznik všem nalezeným měsíčním meteoritům, u nichž je možno rozpoznat horniny, ze kterých vznikaly – přetavené a utuhlé lávy, vzniklé staršími impakty na měsíčním povrchu a regolith (jako v případě meteoritu Sayh al Uhaymir SaU 169; GNOS & al. 2004) nebo samotná regolitová brekcie (FUKUOKA & al. 1986). Absence atmosféry na Měsíci pravděpodobně vedla k tomu, že se dosud nenašel mezi cca 143 (únor 2011 – KOROTEV 2011) nalezenými měsíčními meteority žádný, který by byl pozůstatkem vyvržené impaktové taveniny, která by následně utuhla v kosmickém prostoru do izometrické koule, přestože úniková rychlost z Měsíce (cca 2,4 km/s) je srovnatelná s počátečními rychlostmi vyvržení při vzniku vltavínů (3,5 – 4,5 km/s) a pochody vzniku vyvržení byly podobné (impakty se vznikem kráterů o průměru několika km; GNOS & al. 2004).

Závěr

Analýzou pozorovaných fragmentací bolidů bylo potvrzeno, že většina z nich fragmentuje už při nízkých dynamických tlacích na čele meteoroidu. Při překročení dynamického tlaku přes mez pevnosti materiálu v tahu v celém objemu meteoroidu dochází k tzv. dynamické explozivní fragmentaci, při které dochází k vývinu značného množství prachu, který se následně vypaří a exploduje. Tím dochází k úbytku největší části hmoty meteoroidu.

Pokud aplikujeme poznatky z průletů meteoroidů atmosférou na impaktový proces a vznik tektitů, ukazuje se, že je vysoce nepravděpodobné, aby do atmosféry byla vyvržena tavenina, ze které by vznikaly tektity, protože ta pro svou nulovou pevnost v tahu by podlehla explozivní fragmentaci a to i při vyvržení značného objemu materiálu o průměru srovnatelném s Tunguským bolidem. Pravděpodobnější je, že do atmosféry je vyvržen shluk úlomků hornin a nezpevněných sedimentů, které

se následně taví a mísí při průletu atmosférou. V tomto případě je nutnou podmínkou pro vznik taveniny tektitů vyvržení značného objemu materiálu, který by na čele shluku nepodlehł v celém svém objemu destrukci a umožnil zbytku taveniny „přežití“ průletu atmosférou. Tomuto scénáři odpovídají i nalezené měsíční meteority, které nevykazují známky tuhnutí v beztížném stavu po opuštění povrchu Měsíce po impaktu.

Literatura

- ARTEMIEVA N. A. & SHUVALOV V. V., 2001: Motion of a fragmented meteoroid through the planetary atmosphere. *J. Geophys. Res.* 106, 3297 - 3309.
- BALDWIN B. & SHEAFFER Y., 1971: Ablation and breakup of large meteoroids during atmospheric entry. *J. Geophys. Res.* 76, 4653 - 4668.
- BISCHOFF A., JERŠEK M., GRAU T., MIRTIČ B., OTT U., KUČERA J., HORSTMANN M., LAUBENSTEIN M., HERRMANN S., ŘANDA Z., WEBER M. & HEUSSER G., 2010: Jesenice – A new meteorite fall from Slovenia. *Meteoritics & Planetary Science* 45 – in press.
- BOROVÍČKA J. & SPURNÝ P., 1996: Radiation study of two very bright terrestrial bolides and an application to the comet S-L 9 collision with Jupiter. *Icarus* 121, 484 - 520.
- BOROVÍČKA J., POPOVA O. P., NEMTCHINOV I. V., SPURNÝ P. & CEPLECHA Z., 1998: Bolides produced by impacts of large meteoroids into the Earth's atmosphere: comparison of theory and observations. I. Benesov bolide dynamics and fragmentation. *Astron. Astrophys.* 334, 713 - 728.
- BOROVÍČKA J. & KALENDA P., 2003: The Morávka meteorite fall: 4. Meteoroid dynamics and fragmentation in the atmosphere. *Meteoritics & Planetary Science* 38, 1023 - 1043.
- BOROVÍČKA J. & SPURNÝ P., 2008: The Carancas meteorite impact – Encounter with a monolithic meteoroid. *Astronomy and Astrophysics*, 485, L1-L4.
- BOSLOUGH M. B. E. & CRAWFORD D. A., 2008a: New simulations suggest that Tunguska yield has been overestimated. In: *Intl. Conf. "100 years since Tunguska Phenomenon: Past, Present and Future"* (Abstracts), Moscow; p. 81.
- BOSLOUGH, M. B. E. & CRAWFORD, D. A., 2008b: Low-altitude airbursts and the impact threat. *Intl. J. Impact Engng.* 35, 1441 - 1448.
- BOUŠKA V. & KONTA J., 1990: Moldavites – vltavíny (in czech). Charles Univ. press, Praha, 127 pp.
- BOUŠKA V., 1994 : Moldavites – the Czech tektites. Stylizace, Praha. 70 pp.
- BOUŠKA V. & ROST R., 1968: Celková váha vltavínů (in czech). *Sbor. Nár. Mus. řada B*, 24, 4, Praha, pp. 153 - 181.
- BRONSHTEN V. A., 1983: *Physics of Meteor Phenomena*. Reidel, Dordrecht, the Netherlands. 356 pp.
- BRONSHTEN V. A. 2000: On the nature of the Tunguska meteorite. *Astron. Astrophys.* 359, 777 - 779.
- BROWN P., CEPLECHA Z., HAWKES R. L., WERTHERILL G., BEECH M. & MOSSMAN K., 1994: The orbit and atmospheric trajectory of the Peekskill meteorite from video records. *Nature* 367, 624 - 626.
- CANAVAN G. H., 1997: Comparison with european observations of meteor impact. Los Alamos contract No. W-7405-ENG-36.
- CEPLECHA Z., 1961: „Multiple fall of Příbram meteorites photographed“. *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia* 12: 21 - 46.
- CEPLECHA Z., SPURNÝ P., BOROVÍČKA J. & KECLÍKOVÁ J., 1993: Atmospheric fragmentation of meteoroids. *Astron. Astrophys.* 279, 615 - 626.
- CEPLECHA Z., 1994: Impacts of meteoroids larger than 1 m into the Earth's atmosphere. *Astronomy and Astrophysics*, 186, p. 967 - 970.
- CEPLECHA Z., 1995: Interactions of Large Meteoroids and Small Interplanetary Bodies with the Earth's Atmosphere: Theories and Observational Constraints. *Earth, Moon, and Planets*, Volume 68, Issue 1 – 3, pp. 107 - 126.

- CEPLECHA Z., 1996: Luminous efficiency based on photographic observations of the Lost City fireball and implications for the influx of interplanetary bodies onto Earth. *Astron. Astrophys.* 311, 329 - 332
- CEPLECHA Z. & ReVELLE D. O., 2005: Fragmentation model of meteoroid motion, mass loss, and radiation in the atmosphere. *Meteoritics & Planetary Science* 40, 35 - 54
- CEPLECHA Z., BOROVÍČKA J., ELFORD W. G., ReVELLE D. O., HAWKES R. L., PORUBČAN V. & ŠIMEK M., 1998: Meteor phenomena and bodies. *Space Sci. Rev.* 84, 327 - 471.
- CONNOLLY H. C., 2008: The Meteoritical Bulletin, No. 93.
- HAROLD C., CONNOLLY Jr., ZIPFEL J., FOLCO L., SMITH C., GRETCHEN K. B., RIGHTER K., YAMAGUCHI A. & CHENNAOUI-AOUDJEHANE H., 2008: Meteorit. Planet. Sci. 43, 571 - 632.
- CRAWFORD D. A. & BOSLOUGH M. B., 1996: A model of meteoroid atmospheric entry with implications for the NEO hazard and the impact of comet Shoemaker-Levy 9 on Jupiter. *Engineering, Construction and Operations in Space V. Proceedings of the Fifth International Conference on Space*, 96. Albuquerque, New Mexico.
- FARINELLA P., FOSCHINI L., FROESCHLÉ Ch., GONCZI R., JOPEK TJ., LONGO G. & MICHEL P., 2001: Probable asteroidal origin of the Tunguska cosmic body. *Astron. Astrophys* 377, 1081 - 1097.
- FOSCHINI L., 2000a: The impact hazard from small asteroids: current problems and open questions. arXiv:astro-ph/9910109v3 21 Jul 2000.
- FOSCHINI L., 2000b: On the atmospheric fragmentation of small asteroids. arXiv:astro-ph/0012256v2 13 Dec 2000.
- FUKUOKA T., LAUL J. C., SMITH M. R., HUGHES S. S. & SCHMITT R. A., 1986: Chemistry of Yamato-791197 Antarctic meteorite: Evidence for its lunar highlands origin. *Memoirs of the National Institute of Polar Research, Special Issue* 41, 84 - 95.
- GANAPATHY R., 1983: The Tunguska explosion of 1908: Discovery of meteoritic debris near the explosion site and at the South Pole. *Science* 220, 1158 - 1161.
- GLASS B. P., SWINCKI M. B. & ZWART P. A., 1979: Australasian, Ivory Coast and North American tektite strewn fields: size, mass, and correlation with geomagnetic reversals and other earth events. *Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.*, 10th, pp. 2535 - 2545.
- GNOS E., HOFMANN B. A., AL-KATHIRI A., LORENZETTI S., EUGSTER O., WHITEHOUSE M. J., VILLA I., JULL A. J. T., EIKENBERG J., SPETTEL B., KRÄHENBÜHL U., FRANCHI I. A. & GREENWOOD G. C., 2004: Pinpointing the source of a lunar meteorite: Implications for the evolution of the Moon. *Science* 305, 657-659.
- CHYBA C. F., THOMAS P. J. & ZAHNLE K. J., 1993: The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid. *Nature* 361, 40 - 44.
- KALENDA P. & PECINA P., 1997: Poznámky k fyzice vzniku vltavínů. 7. konference o vltavínech, Třebíč, 45 - 53.
- KALENDA P. & PECINA P., 1999: Mathematical model of tektite formation. 8. Tagung über Moldavite, Schr. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden, 50 - 51.
- KENKMANN T., ARTEMIEVA N. A., WUNNEMANN K., POELCHAU M. H., ELBESHAUSEN D. & NUNES del PRADO H., 2009: The Carancas meteorite impact crater, Peru: Geologic surveying and modeling of crater formation and atmospheric passage. *Meteorit. Planet. Sci.* 44, 985 - 1000.
- KOROTEV R. L., 2011: List of lunar meteorites. http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites_list_alumina.htm.
- LYNE J. E., TAUBER M. E. & FOGHT R. M., 1996: A computer model of the atmospheric entry of the Tunguska object. *Planetary and Space Science*, Vol. 46, No. 2 - 3, 245 - 252.
- MERC J., 2010: Bolid "Košice" bol nájdený, bude mať aj rodokmeň. S dalkohladam na cestách. http://www.dalekohladnacestach.sk/?menu=encyklopedia_astronovinky&page=100411_bolid_kosice_bol_najdeny.
- McCROSKY R. E., POSEN A., SCHWARTZ G., & SHAO C. Y., 1971: Lost City Meteorite-Its Recovery and a Comparison with Other Fireballs, *J. Geophys. Res.*, 76(17), 4090 - 4108.
- MEDVEDEV R. V., GORBATSEVICH F. F. & ZOTKIN I. T., 1985: Determination of the physical properties of stony meteorites breakup, *Meteoritika*, 44, 105 - 110.

- OSTERMANN M., DEUTSCH A. & MASAITIS V. L., 1996: Geochemistry and Nd-Sr isotope signature of tektites (Indochinites, Urengoite) and impact melt glasses (Zhamanshinites, Irghizites). *Lunar Planet. Sci.* 27, 987 - 988.
- PIERAZZO E. & MELOSH H. J., 2000: Melt production in oblique impacts. *Icarus* 145, 252 - 261.
- POKROVSKIJ G. I., 1966: On the explosion of the meteoric bodies moving in the atmosphere. *Meteoritika*, 27, 103 - 108 (in Russian).
- POPOVA O., BOROVIČKA J., HARTMANN W. K., SPURNÝ P., GNOS E., NEMTCHINOV I. & TRIGORODRIGUEZ J., 2011: Very low strengths of interplanetary meteoroids and small asteroids. *Meteoritics & Planetary Science* (submitted).
- POVENMIRE H., 1996: Tunguska: petrology and specific gravity. Lunar and Planetary Institute. LPSC XXVII, abstract 1525, p. 1049.
- ReVELLE D. O., 1976: On meteor-generated infrasound. *Journal of Geophysical Research*, 81, 1217 - 1230.
- ReVELLE D. O., 1979: A quasi-simple ablation model for large meteorite entry: theory versus observations. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* 41, 453 - 473.
- SCHMIDT G. & WASSON J. T. 1993: Masses of the impactor, the Australasian tektites, and size estimates of the main source crater. *MAPS*, July 1993, Vol. 28, No. 3, A430.
- SEKANINA Z. 1983: The Tunguska Event: No Cometary Signature in Evidence. *Astronomical Journal* Vol. 88, No. 9 (Sept.) 1383 - 1414.
- SLOŠIAR R. & HUDEC R. 2008: On the Possibility of the Amateur Detection of GRBs by Ionospheric Response. *Open European Journal on Variable stars*, 2008, č. 95, s. 67 - 69.
- SPURNÝ P., BOROVIČKA J., KAC J., KALENDA P., ATANACKOV J., KLADNIK G., HEINLEIN D. & GRAU, T. 2010: Analysis of instrumental observations of the Jesenice meteorite fall on 9th April, 2009. *Meteoritics & Planetary Science* 45, Nr 8, 1392 - 1407 (2010). doi: 10.1111/j.1945-5100.2010.01121.x.
- STÖFFLER D., ARTEMIEVA N. A. & PIERAZZO E., 2002: Modeling the Ries-Steinheim impact event and the formation of the Moldavite strewn field. *Meteoritics Planet. Sci.* 37, 1893 - 1908.
- STULOV V. P. & TITOVA L. Yu., 2001: Comparative analysis of models for disintegration of meteoric bodies. *Solar Sys.Res.* 35, 315-319 (translated from *Astron. Vestnik* 35, 345 - 349).
- SVETSOV V. V., NEMTCHINOV I. V. & TETEREV A. V., 1995: Disintegration of large meteoroids in Earth's atmosphere: Theoretical models. *Icarus* 116, 131 - 153.
- SVETSOV V. V., 1996: Total ablation of the debris from the 1908 Tunguska explosion. *Leters to Nature* 383, 697 - 699.
- TANCREDI G., ISHITSUKA J., SCHULTZ P. H., HARRIS R. S., BROWN P., REVELLE D. O., ANTIER K., Le PICHON A., ROSALES D., VIDAL E., VARELA M. E., SÁNCHEZ L., BENAVENTE S., BOJORQUEZ J., CABEZAS D. & DALMAU A., 2009: A meteorite crater on Earth formed on September 15, 2007: The Carancas hypervelocity impact. *Meteoritics & Planetary Science*, vol. 44, Issue 12, p. 1967 - 1984
- TOTH J. & al., 2010: The fall of Košice meteorite. Poster presented at Meteoroids 2010 Conference, May 24-28, 2010, Breckenridge, Colorado USA; <http://www.daa.fmph.uniba.sk/meteoritEN.html>.
- WASSON J.T. & BOSLOUGH M. B. E., 2000: Large aerial bursts; an important class of terrestrial accretionary events. *Catastrophic Events Conference*.



Tvary vyleptaných lechatelieritových uzavření ve vltavínech z Brusné a Besednice. Vyleptané lechatelieritové uzavření jsou nejlépe uchovány pro pozorování uvnitř brázd v „přetnutých“ vltavínech. Sběrka B. STAŇKA, foto P. RAJLICH.



Lechatelieritové inkluze ve vltavínech

Lechatelierite inclusions in moldavites

Vladimír KNOBLOCH

K nádraží 155, 251 66 Mirošovice

E-mail: knobloch.v@volny.cz

Z. ŘANDA

Ústav jaderné fyziky AVČR, Řež

E-mail: randa@ujf.cas.cz

Anna LANGROVÁ

Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 269, 165 00 Praha 6

E-mail: langrova@gli.cas.cz

Zdeněk URBANEC

Malinová 29, 106 00 Praha 10

E-mail: zu13@post.cz

Abstract: The contribution presents a brief description of basic shapes of lechatelierite inclusions in moldavites, lechatelierite protrusions at their surface, shapes of lechatelierite fragments found in sediments, and their sculptation. All these shapes document conditions and processes of moldavite formation. Element abundances measured by electron microprobe in the diffusion layer which was created among moldavite glass and lechatelierite inclusions are given. Obtained results lead the authors to a model of the moldavite mother layers structure and composition and of the conditions which controlled the formation of moldavite mass together with the mechanical processes which formed the moldavites.

Key words: moldavites, lechatelierite, diffusion, analysis, shapel

Abstrakt: Předložený příspěvek předkládá stručný popis základních tvarů lechatelieritových inkluzí ve vltavínech, dále lechatelieritových výčnělků na jejich povrchu, tvarů lechatelieritových úlomků ze sedimentů, a jejich skulptaci. Výčet je doplněn obrázky. Tyto tvary dokumentují podmínky a procesy, při kterých vznikly vltavíny. Vedle toho jsou v příspěvku uvedeny výsledky analýzy difúzní vrstvy mezi základní vltavínovou hmotou a lechatelieritovou inkluzí na mikrosondě. Na základě těchto získaných údajů si autoři vytvořili představu o složení mateřských vrstev vltavínů a podmínkách, které panovaly při vzniku vltavínové hmoty i mechanických procesech, při kterých došlo k formování vltavínů.

Klíčová slova: vltavíny, lechatelierit, difúze, analýza, tvary

Úvod

Frakce inkluzí v tektitech, které mají nízký index lomu (v oblasti 1,460), byly identifikovány jako relativně čistý tavený oxid křemíku – lechatelierit (BARNES 1940). Podobné inkluze byly nalezeny a popsány také ve vltavínech (SUESS 1900, BARNES 1969, ROST 1972, KONTA 1970, HEIDE 1989, KNOBLOCH & al. 1983, 1987, KNOBLOCH & URBANEC 2003, BOUŠKA & KONTA 1990, HOUZAR & TRNKA 2002, a další). Chemické složení těchto lechatelieritových uzavřenin podle aktivací neutronové analýzy (INAA) popsal KUČERA & KNOBLOCH (1982) a KNOBLOCH & KUČERA (1996). Chemické čistotě a původu mateřských materiálů lechatelieritových inkluzí v tektitech věnoval pozornost KINNUNEN (1990).

Lechatelieritové inkluze lze považovat za reliktů zrn křemene v mateřských materiálech vltavínů, které umožňují odhadnout jejich původní velikost a tvary. Současně podávají nepřímý doklad o reologických vlastnostech vltavínové a lechatelieritové hmoty během jejich vzniku. Vedle toho lze z těchto tvarů usuzovat o mechanických procesech v období, kdy byla vltavínová hmota tvárná.

Lechatelieritové inkluze se nalézají prakticky ve všech nalezených objektech vltavínů z jižních Čech. Jejich koncentrace je však proměnlivá v širokých mezích, a to i v objektech, které pocházejí ze stejné lokality.

Experimentální část

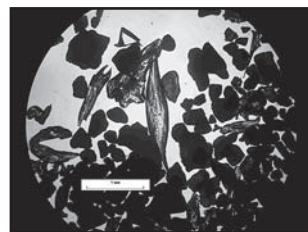
LECHATELIERITOVÉ INKLUZE

Lechatelierit lze studovat jako inkluze přímo ve vltavínové hmotě. Vltavíny, díky své relativně dobré průhlednosti, umožňují podrobnější studium tvarů inkluzí a textury zejména v menších vltavínech (asi do 3 gramů). Inkluze ve vltavínech byly pozorovány ve vhodné imersní kapalině. Ve vybraných případech byly vltavíny rozříznuty a po vybroušení a po vyleštění dále zpracovány.

Lechatelieritové výčnělky a úlomky

Díky větší odolnosti lechatelieritové hmoty proti korozi vltavínové hmoty v přírodních podmínkách (zhruba asi 120ti násobně: KNOBLOCH & URBANEC 2003) tvoří lechatelieritové inkluze výčnělky na povrchu vltavínů. Při opatrném vyjímání vltavínů ze sedimentů zůstávají lechatelieritové výčnělky někdy zachovány na povrchu vltavínů neporušené. Délka těchto výčnělků nepřesahuje obvykle 2 mm. Ve výjimečných případech v průběhu koroze ulomené lechatelieritové výčnělky zůstaly přitmelené na povrchu vltavínů a tvoří jakési lechatelieritové „hrbitovy“.

Lechatelieritové úlomky byly získávány izolací z písčitých sedimentů omytím vltavínů vodou. Tyto sedimenty byly po čištění děleny v těžké kapalině (bromoforn zředěný alkoholem). Z lehké frakce byly lechatelieritové úlomky vyjmuty manuálně pod mikroskopem. Lechatelieritový koncentrát je znázorněn na obr. 1. Jde o malé, obvykle ploché objekty často charakteristicky skulptované, o specifické hmotnosti okolo 2,2 g/cm³ a indexem lomu kolem 1,462. Hmot-



Obr. 1 – Koncentrát s lechatelieritovými úlomky.

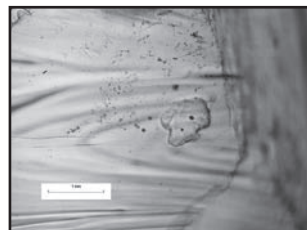
nost jednotlivých úlomků nepřesahuje obvykle 100 μg . Na rozdíl od tvarů bublin, které umožňují udělat si představu o mechanických procesech probíhajících v okamžiku jejich tuhnutí, lechatelieritové inkluze podávají v podstatě doklad o procesech, které probíhaly v celém období, kdy sklovitá hmota byla tvárná.

Lechatelieritové inkluze ve vltavínech mají různé tvary, které lze rozdělit do několika základních skupin označených jako a – h. Tyto jednotlivé tvary lze považovat za doklad různých podmínek, které panovaly v průběhu tvorby vltavínového skla.

a) Nedeformovaná lechatelieritová zrna

Na obr. 2 je znázorněno zrno lechatelieritu, které nebylo deformováno účinkem rychlostního gradientu. Je obtížné rozhodnout, do jaké míry to byl důsledek vysoké viskozity lechatelieritu nebo slabého proudění sklovité hmoty v dané oblasti.

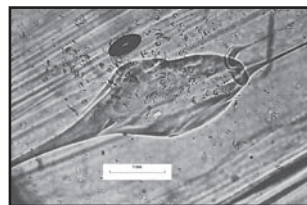
Obr. 2 – Nedeformované lechatelieritové zrno v rychlostním gradientovém toku.



b) Lechatelieritová zrna se zaoblenými hranami

Mateřské zrno inkluze má některé strany, které je možné považovat za lomné hrany zrna mateřského křemene. Mírné či intenzivnější zaoblení hran lze považovat za důsledek relativně nízké teploty zrna nad bodem měknutí. „Lechatelieritové ocásky“ na některých těchto objektech by mohly být považovány za důkaz toho, že tyto inkluze byly reologicky nehomogenní (tj. neměly pravděpodobně ve všech bodech povrchu stejnou teplotu, obr. 3).

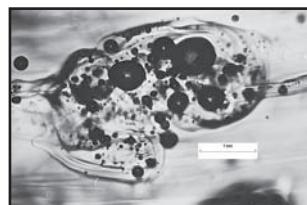
Obr. 3 – Lechatelieritové zrno v horní části deformované; ve spodní části lomná plocha, z které jsou vytaženy dvě jehlice.



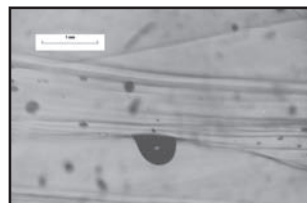
c) „Vzpěněná“ lechatelieritová zrna

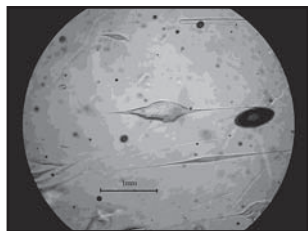
Vzpěněné lechatelieritové inkluze jsou dokladem toho, že některá mateřská křemenná zrna obsahovala plyno-kapalné inkluze, které po tavení vytvořily bubliny. Tyto objekty se zachovaly v místech, kde viskozita lechatelieritové hmoty byla relativně velká a gradient rychlostí proudící hmoty relativně malý (obr. 4). Většina plynů z bublin v lechatelieritových inkluzích byla ale pravděpodobně uvolněna teprve v průběhu deformací lechatelieritových inkluzí během formování vltavínů. Únik bubliny z lechatelieritové inkluze pravděpodobně ukazuje obr. 5. Rozměry této bubliny nasvědčují tomu, že tlak plynů v bublině byl větší než v okolní vltavínové hmotě. Původ dnes ve vltavínech nalázaných bublin z lechatelieritových inkluzí by vysvětloval vysokou korelaci mezi koncentrací lechatelieritových inkluzí a bublin ve vltavínech (KONTA & MRÁZ 1968).

Obr. 5 – Únik bubliny z lechatelieritové jehlice.

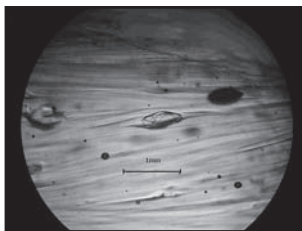


Obr. 4 – Vzpěněné lechatelieritové zrno.

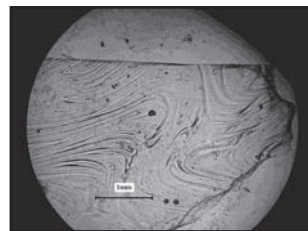




Obr. 6a) – Čočkovitá inkluze (půdorys).



Obr. 6b) – Čočkovitá inkluze (nárys).



Obr. 6c) – Čočkovitá inkluze (bokorys) – Uprostřed obrázku průřez lechatelieritovou inkluzí (černý).

d) Čočkovité lineárně deformované lechatelieritové inkluze vytažené na protilehlých koncích do plochých jehlic

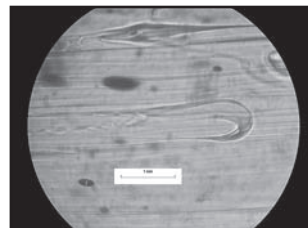
Typické jsou jehlice (obr. 6 a, b, c), které mívají šířku do několika set a tloušťku několika desítek mikrometrů. Délka těchto jehlic dosahuje hodnot až několika desítek milimetrů. Tyto charakteristické tvary bývají v literatuře popisovány jako „oboustranně vytažené kopí“ (SUESS 1900) nebo jako „tvary lentikulární“ (O'KEEFE 1976). Tvary těchto lechatelieritových inkluzí odpovídají dobře deformacím inkluzí, které vznikají v suspenzích nemísitelných kapalin v rychlostním gradientovém toku (TAYLOR 1934).

Rozsah nalézáných deformací mateřského zrna se pohybuje v širokých mezích. Malá zrna křemene (přibližně menší než asi $100 \mu\text{m}$) za těchto podmínek zanechala pouze stopy ve formě šlír.

Ve většině jihočeských vltavinů probíhají tyto jehlice převážně lineárně a přibližně navzájem paralelně. Tyto inkluze bývají uloženy většinou v tenkých planárních vrstvách sklovité hmoty, které, jak se zdá, po sobě různou rychlostí „klouzaly“. V některých případech je ale lineární struktura porušena lechatelieritovými inkluzemi, které mají odlišný směr od dominantního, až o 90 stupňů. Absence spirálních a šroubovitých tvarů lechatelieritových inkluzí nasvědčuje tomu, že Reynoldsovo číslo proudění při vzniku vltavinové hmoty bylo malé a mělo charakter proudění potenciálového. Protože rychlost proudění sklovité hmoty byla relativně velká, lze soudit, že koeficient vnitřního tření byl také velký a vltavinová hmota po celou dobu tvorby se chovala jako velmi viskózní kapalina.

e) „Široké vlásenky“

Lechatelieritové ploché a ohnuté jehlice lze nalézt na čele někdy dobře pozorovatelného plochého „jazykovitého“ proudu. Zploštění lechatelieritové jehlice je kolmé na rovinu této „vlásenky“. Šířka těchto vlásenek bývá od několika set mikrometrů do několika milimetrů. Široké vlásenky vznikaly v místech, kde se křemenné zrna nacházelo v centrální části plochého jazykovitého proudu sklovité hmoty pronikajícího do tvořené sklovité hmoty a je rozevřeno do dvou souběžných plochých ramen tvaru „U“ (obr. 7).

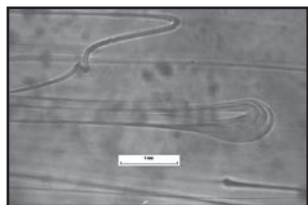


Obr. 7 – Široká lechatelieritová vlásenka.

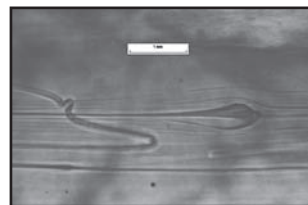
Obrázek naznačuje, že ploché „vrstvy“ se skládaly z jednotlivých „praménků“. Lze tedy předpokládat, že tyto praménky sklovité hmoty se pohybovaly různou rychlostí a jejich viskozita byla pravděpodobně rozdílná.

f) „Úzké vlásenky“

Lechatelieritové zrno je vytaženo v jednom směru do dvou (výjimečně také do více) rovnoběžných plochých jehlic. Šířka těchto vlásenek byla určena tloušťkou matečných zrn křemene. V tomto případě je rovina zploštění jehlic stejná jako rovina vlásenky. Při pohledu z boku se tyto inkluze jeví jako kyjovité (obr. 8a, b). Úzké vlásenky se objevují na hranici „proudu“, kde lechatelieritové zrno bylo pevně zakotveno ve viskóznější vrstvě skloviny.



Obr. 8a) – Úzká vlásenka vlásenky „ánfas“.



Obr. 8b) – Úzká vlásenka z boku – Horní část zrna zakotvená ve viskóznější vrstvě; spodní odtává.

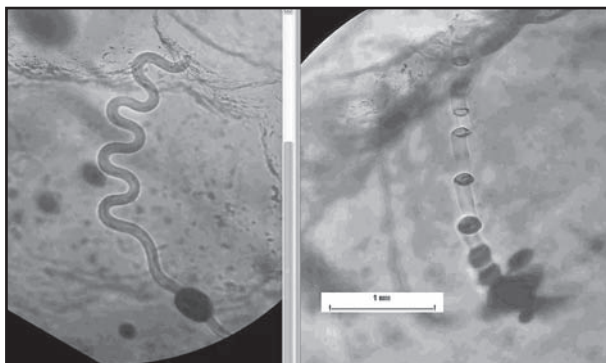
g) Ploché lechatelieritové jehlice pentlicovitě zvlněné do tvaru podobného sinusoidě nebo meandrům

V některých případech lze ve vltavínech nalézt sinusovitě (hádkovitě – BOUŠKA 1987) zvlněné lechatelieritové inkluze.

Amplituda zvlnění i rozkmit takových lechatelieritových „meandrů“ bývají přibližně stejné a bývají téměř přímo úměrné tloušťce inkluze. Krátké úseky zvlněných okluzí se vyskytují nejčastěji v oblasti špičky široké vlásenky. Zploštění lechatelieritové jehlice bývá v tomto případě kolmé na rovinu vlásenky. Při pohledu z boku se jeví tyto inkluze jako „žebříček“ (obr. 9 a, b). Tyto útvary vznikaly pravděpodobně v místech, kde méně viskózní sklovitá hmota byla vtlačována mezi již „rigidnější“ vrstvy. Během tohoto procesu byly zploštělé lechatelieritové inkluze „shrnovány“ (někdy přibližně až o 60%) ale ploché lechatelieritové inkluze si do značné míry zachovaly prostorovou orientaci.

Obr. 9a) – Lechatelieritový meandr „ánfas“.

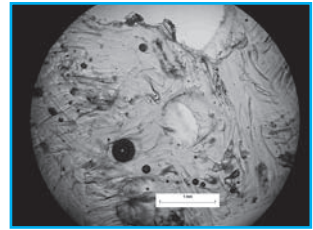
Obr. 9b) – Lechatelieritový meandr, z boku.



h) Nepravidelně prohýbané lechatelieritové inkluze

Příklad zprohýbaných lechatelieritových jehlic nalézáme ve vltavínech s „plstnatou“ strukturou (KNOBLOCH & al. 1983). Tyto objekty tvoří u jihočeských exemplářů asi patnáct procent z celkově nalezených. Mezi vltavíny z Chebské oblasti

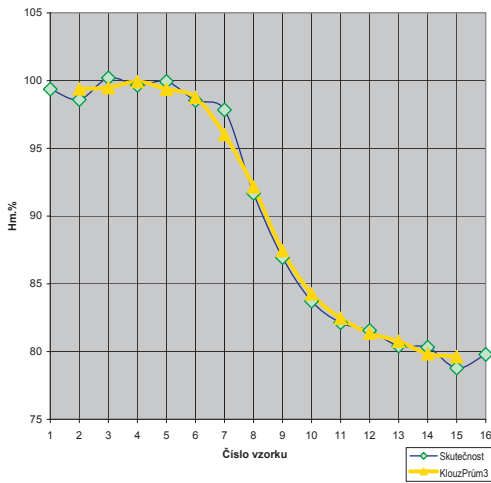
je tento typ struktury zastoupen přibližně třiceti až čtyřiceti procenty. Protože se tenké ploché proudy sklovité hmoty v tomto případě pohybovaly navzájem nezávisle v různých rovinách, lechatelieritové inkluze se zdánlivě prolétají (obr. 10).



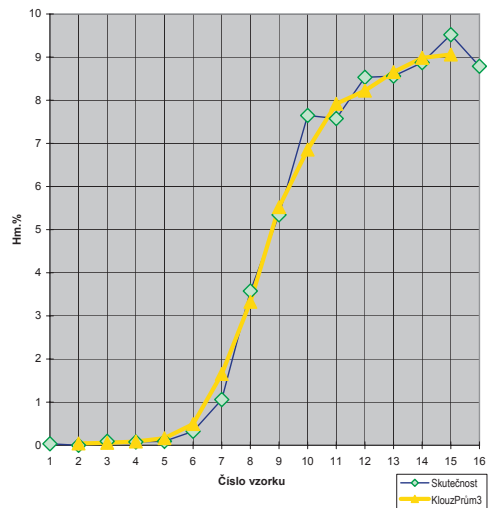
Obr. 10 – Vltavín s „plstnatou“ strukturou.

Graf I – Koncentrace minoritních prvků v difúzní zóně mezi vltavínovou hmotou a lechatelieritovou inkluzí

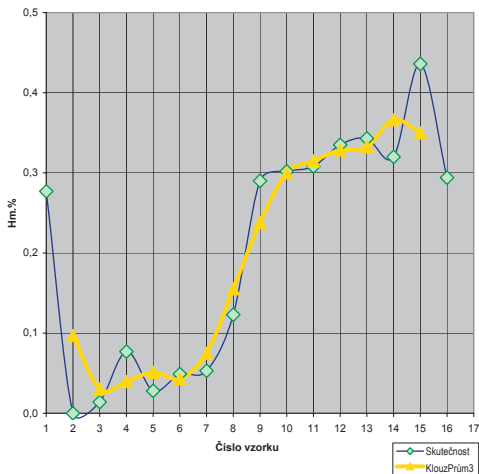
Klouzavý průměr ze tří měření pro SiO_2



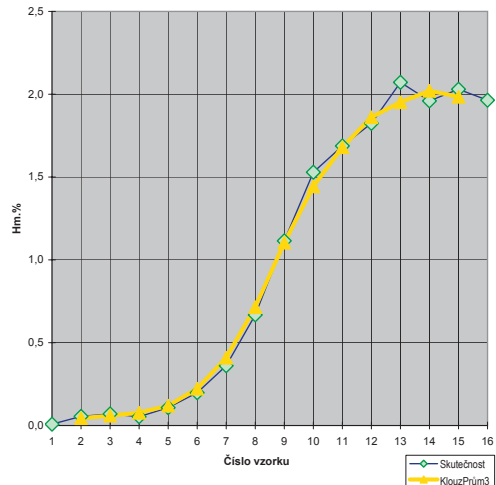
Klouzavý průměr ze tří měření pro Al_2O_3



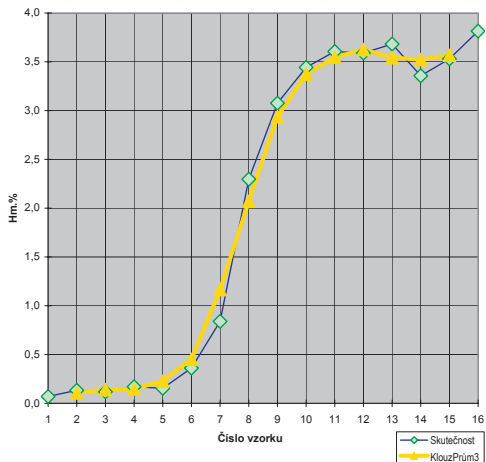
Klouzavý průměr ze tří měření pro Na_2O



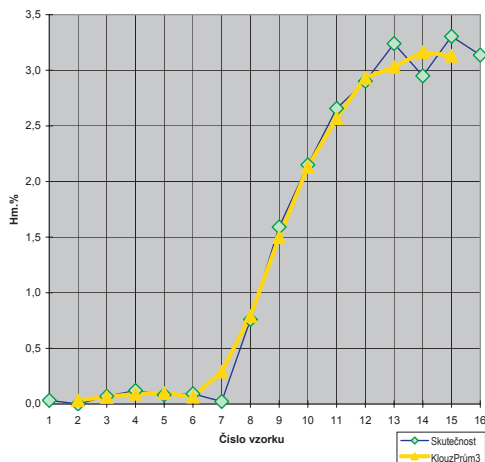
Klouzavý průměr ze tří měření pro MgO



Klouzavý průměr ze tří měření pro K₂O



Klouzavý průměr ze tří měření pro CaO



NAMĚŘENÉ HODNOTY

	Na ₂ O	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO
0	0,007	0,040	99,100	0,130	0,112	0,000
1	0,277	0,008	99,370	0,034	0,070	0,033
2	0,000	0,055	98,600	0,000	0,134	0,000
3	0,014	0,070	100,200	0,092	0,118	0,070
4	0,077	0,053	99,650	0,077	0,170	0,121
5	0,028	0,108	99,940	0,092	0,154	0,083
6	0,049	0,198	98,530	0,324	0,361	0,092
7	0,053	0,361	97,840	1,059	0,840	0,022
8	0,123	0,668	91,680	3,577	2,297	0,759
9	0,290	1,115	86,940	5,343	3,076	1,591
10	0,302	1,529	83,720	7,647	3,443	2,150
11	0,308	1,688	82,130	7,576	3,606	2,657
12	0,335	1,824	81,560	8,532	3,590	2,901
13	0,343	2,072	80,410	8,559	3,682	3,240
14	0,320	1,960	80,320	8,872	3,357	2,950
15	0,436	2,030	78,780	9,520	3,530	3,305
16	0,294	1,964	79,790	8,788	3,815	3,137
17	0,360	1,824	80,500	8,714	3,694	2,293
18	0,400	1,901	80,290	8,185	3,627	2,972
19	0,007	1,993	80,500	8,221	0,594	3,091

KLOUZAVÝ PRŮMĚR ZE 3 MĚŘENÍ

$$In = (D(n-1) + Dn + D(n+1)) / 3$$

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO
99,390	0,042	0,097	0,044	0,107	0,034
99,483	0,056	0,030	0,059	0,141	0,064
99,930	0,087	0,040	0,077	0,147	0,091
99,373	0,164	0,051	0,120	0,228	0,099
98,770	0,492	0,043	0,222	0,452	0,066
96,017	1,653	0,075	0,409	1,166	0,291
92,153	3,326	0,155	0,715	2,071	0,791
87,447	5,522	0,238	1,104	2,939	1,500
84,263	6,855	0,300	1,444	3,375	2,133
82,470	7,918	0,315	1,680	3,546	2,569
81,367	8,222	0,329	1,861	3,626	2,933
80,763	8,654	0,333	1,952	3,543	3,030
79,837	8,984	0,366	2,021	3,523	3,165
79,630	9,060	0,350	1,985	3,567	3,131

Délka měřených polí je 5 μm.
Interval mezi nimi je také 5 μm.
Kalibrační body

ANALÝZA DIFÚZNÍ VRSTVY NA ROZHRANÍ LECHATÉLIERITU A ZÁKLADNÍ VLTAVINOVÉ HMOTY NA MIKROSONDĚ

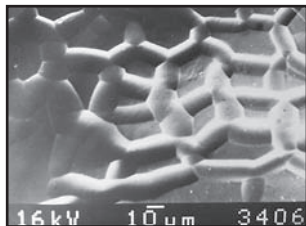
Z grafu I jsou patrné změny koncentrace křemíku a některých minoritních prvků v difúzní vrstvě mezi lechatelieritovou inkluzí a základní vltavínovou hmotou v průběhu formování vltavínů. Pro stanovení difúzní vrstvy byla vybrána lechatelieritová inkluze, u které se dalo předpokládat, že nebyla výrazně deformována rychlostním gradientovým tokem. Na základě tloušťky difúzní vrstvy lze odhadnout, že doba, po kterou byly tyto dvě komponenty ve styku ve „žhavém stavu“, nepřesáhla několik desítek sekund.

BUBLINY V LECHATELIERITOVÉ HMOTĚ

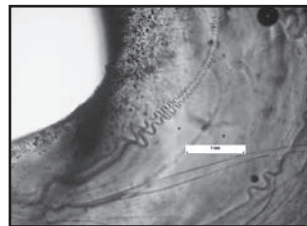
Bubliny v lechatelieritových inkluzích mají na rozdíl od bublin ve vltavínové hmotě převážně kulovitý tvar. Příčinou jsou pravděpodobně jednak relativně malé rozměry těchto bublin, jednak malý rychlostní gradient proudění v těchto objektech. Rozměrnější bubliny v hmotě lechatelieritových inkluzí lze nalézt prakticky pouze ve „vzpěněných“ lechatelieritových objektech (obr. 4).



Obr. 11 – Skulptace lechatelieritového výčnělku.



Obr. 12 – Skulptace povrchu lechatelieritu.



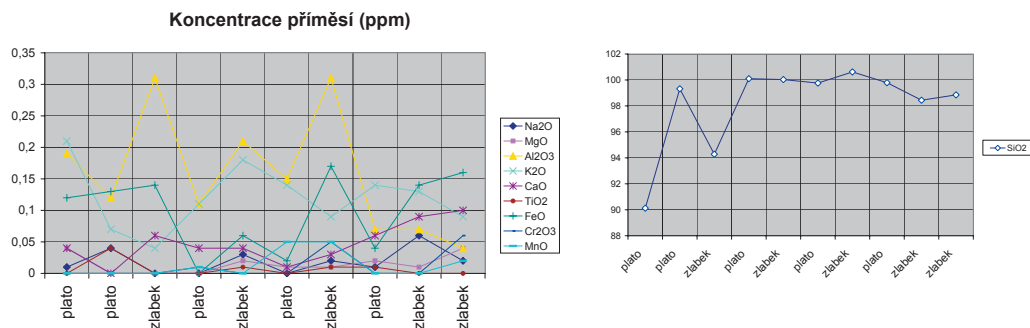
Obr. 13 – Zvlnění lechatelieritové inkluze při ohýbání vltavínové hmoty.

SKULPTACE LECHATELIERITŮ

Lechatelieritové výčnělky podléhají korozi podobně jako základní vltavínová hmota, jak je patrné z následujících obrázků. Skulptace se projevuje na lechatelieritových výčnělcích buď ve směru příčném k dlouhé ose výčnělků (obr. 11), nebo ve směru podélném s dlouhou osou úlomků. Vedle toho, na povrchu některých lechatelieritových úlomků je na obrázcích z elektronového řádkovacího mikroskopu patrná jemná skulptace (obr. 12). Skulptační rýhy v tomto případě vytvářejí soustavu nepravidelných vyvýšených „dvůrků“ a propadlých rýh. Nápadná je přibližná jednotnost hloubky žlábků (několik mikrometrů), která by mohla být důsledkem rozdílů v lokálním složení mateřské hmoty křemenných zrn (obr. 12). Výsledky analýzy (nevyleštěného) skulptovaného povrchu lechatelieritu na mikrosondě ukazuje graf II viz rovněž str. 53.

Jisté rozdíly v zastoupení hliníku a železa z jedné strany a draslíku z druhé strany by mohly být interpretovány jako potvrzení původu inkluzí z mateřského zrna křemene, kde se lišilo složení křemenných zrn a křemitého tmelu.

Graf II – Koncentrace minoritních prvků v oblasti dvůrků a skulptačních rýh



DataSet/Point	1 / 1 .	2 / 1 .	3 / 1 .	4 / 1 .	5 / 1 .	6 / 1 .	7 / 1 .	8 / 1 .	9 / 1 .	10 / 1 .
	plato	plato	zlabek	plato	zlabek	plato	zlabek	plato	zlabek	zlabek
Na ₂ O	0,01	0,04	0	0	0,03	0	0,02	0,01	0,06	0,02
MgO	0,04	0	0	0	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04
Al ₂ O ₃	0,19	0,12	0,31	0,11	0,21	0,15	0,31	0,07	0,07	0,04
K ₂ O	0,21	0,07	0,04	0,11	0,18	0,14	0,09	0,14	0,13	0,09
CaO	0,04	0	0,06	0,04	0,04	0,01	0,03	0,06	0,09	0,1
TiO ₂	0	0,04	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0
FeO	0,12	0,13	0,14	0	0,06	0,02	0,17	0,04	0,14	0,16
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0,01	0	0	0,05	0	0	0,06
MnO	0	0	0	0,01	0	0,05	0,05	0	0	0,02
Total	90,73	99,71	94,83	100,37	100,59	100,15	101,36	100,15	98,95	99,39
	plato	plato	zlabek	plato	zlabek	plato	zlabek	plato	zlabek	zlabek
SiO ₂	90,12	99,32	94,28	100,1	100,03	99,76	100,62	99,79	98,44	98,85

Jinou možností, jak vysvětlit různou rychlost koroze lechatelieritu v jednotlivých oblastech povrchu, by bylo možno hledat také v rozdílech krystalické struktury mateřské hmoty lechatelieritu.

TAVITELNOST LECHATELIERITOVÝCH INKLUZÍ

Významným zdrojem informací o vlastnostech lechatelieritových inkluzí je jejich chování v průběhu zahřívání (HEIDE 1989). Při teplotě přibližně nad 1175°C dochází současně se změnou tvarů vltavínů také ke změně tvarů lechatelieritových inkluzí.

Na obr. 13 je zobrazena struktura vltavínového hranolku ohnutého nad sklářským kahanem o 90 stupňů. Rovnoběžné lechatelieritové jehlice se zvlní. Podobného efektu lze dosáhnout zahříváním vltavínových řezů na teplotu přibližně vyšší než 1175°C (obr. 20, zobrazen na str. 40). Na základě těchto výsledků lze usuzovat, že při těchto teplotách se lechatelieritová hmota stává již tvárná. Příčina tohoto jevu není jasná.

Diskuze a závěr

Inkluze ve vltavínech a jejich struktura umožňují udělat si hrubou představu o základních podmínkách a procesech, které vedly k jejich vzniku.

Přítomnost lechatelieritových inkluzí, které se pohybovaly společně s vltavínovou hmotou, umožňuje si vytvořit také představu o chování základní hmoty vltavínů. Výsledky ukazují, že hmota jihočeských vltavínů je převážně složena z pramének sklovité hmoty, které „zamrzly“ v průběhu lineárního proudění. Jednotlivé proudy se pohybovaly navzájem různými rychlostmi a inkluze byly deformovány v rychlostním gradientovém toku. Obsahují přibližně 99% SiO₂ (KUČERA & KNOBLOCH 1982, ŘANDA & al. 2007).

Lechatelieritové inkluze mají index lomu okolo 1,462. Tyto objekty vznikly pravděpodobně tavením křemenných zrn (do velikosti asi 0,5mm), ale mají pozoruhodně nízký bod měknutí při teplotách již nad teplotou asi 1175°C. Deformace těchto inkluzí probíhala zřetelně v rychlostním gradientovém poli proudící sklovité hmoty. Proudění mělo charakter potenciálového toku, který způsobil protažení těchto inkluzí

z délky od 1:1 až zhruba po 1:100. Tento proces deformací zřejmě významně přispěl k relativně dobré homogenitě vltavínů.

Stanovená tloušťka difúzní vrstvy mezi lechatelieritem a základní hmotou vltavínů ukazuje, že malá zrna křemene menší než asi 100 μm většinou zanikla a zanechala stopy ve formě šlír. Struktura vltavínů nasvědčuje tomu, že proudění mělo charakter převážně lineárně paralelní, ale lze nalézt oblasti, kde se průřezem ojedinělých inkluzí kříží v pravém úhlu se směrem dominantních inkluzí. To lze považovat za důkaz, že jednotlivé tenké sklovité „vrstvy“ se pohybovaly v některých případech překvapivě navzájem nezávisle. Příčinou relativně nízké viskozity lechatelieritových inkluzí v průběhu zahřívání inkluzí mohla být přítomnost vody, kterou nelze použitými analytickými metodami prokázat. Na základě teorie deformací v rychlostním gradientovém poli proudících suspenzí (TAYLOR 1934) lze předpokládat, že viskozita lechatelieritu byla v době formování přibližně stejná nebo dokonce i menší než viskozita vltavínové hmoty. Z absence spirálních deformací lechatelieritových inkluzí a šlír je pravděpodobné, že Reynoldsovo číslo proudění v sklovité hmotě nepřesáhlo významně hodnotu jedné. To naznačuje, že viskozita sklovité hmoty byla po celou dobu tvorby sklovité hmoty relativně vysoká a teplota nízká, nad oblastí měknutí vltavínového skla. Tento předpoklad podporuje také struktura kapkovitých tvarů některých vltavínů (obr. 2 na str. 37), které vznikly vlivem povrchových sil v okamžiku odtrhávání jednotlivých objektů viskózní hmoty z matrice. Tyto kapky ale ztuhly dříve, než mohly přejít do tvaru stabilní koule.

Mezi tvary vltavínů ale také existují exempláře, o kterých se lze domnívat, že byly tenkými dutými trubičkami (obr. 17 na str. 38). Z toho lze odvodit, že viskozita jednotlivých frakcí vymrštěné hmoty vltavínů byla značně rozdílná. Lze také předpokládat, že méně viskosní frakce sklovité hmoty (které měly viskozitu menší než přibližně 10^7 Pa.s), byly tlakem plynů rozprášeny. To by mohlo vysvětlit nepoměr celkové hmoty mikrotektitů k hmotě „makrotektitů“ (GLASS & al. 1968, GLASS & al. 1973, KOEBERL 1997).

Tloušťka difúzní vrstvy mezi základní vltavínovou hmotou a lechatelieritovou inkluzí naznačuje, že doba styku tavenin byla relativně velmi krátká. Při orientačním použití difúzní konstanty pro podobné sklovité materiály při teplotě 1800 °C (O'KEEFE 1976) lze odhadnout, že doba chladnutí nepřesáhla několik desítek sekund. Ze struktury vltavínů lze ale dále odvodit, že vltavínová hmota byla z reologického hlediska značně nehomogenní a jednotlivé vrstvy „tuhly“ do značné míry nezávisle.

Literatura

- BARNES V. E., 1940: North American Tectites. Univ. Texas Publ. No. 3945, pp. 477 - 582.
- BOUŠKA V. & al., 1987: Přírodní skla, Akademia, Praha.
- BOUŠKA V. & KONTA J., 1990: Moldavites – Vltavíny, 1 - 125, U. K. Praha.
- HEIDE K., 1989: Gefüge natürlicher Glaser und deren Beziehung zu ihrer Genese, Chem. Erde, 49, 287 - 295, Jena.
- KINNUNEN K. A., 1990: Lechatelierite Inclusions in Indochinites and the Origin of Tektites. Meteoritics 25, 181 - 184.
- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., URBANEC Z. & BRUCKNER H.- P., 1983: Structure and Texture of Lechatelierite Inclusions and Their Relation to the Morfology of Moldavites. Chem. Erde. 42. 145 - 154.

- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., KUČERA J., TLÁSKAL J. & URBANEC Z., 1987: Lechatelierite Inclusion in Moldavites and Lechatelierite Fragments in Host Sediments. 2nd Int. Conf. on Natural Glasses., p. 385 - 389, Prague.
- KNOBLOCH V. & KUČERA J., 1996: Trace Elements in Quartz Grains from the Ries Impact Crater and Lechatelierites in Southern Bohemian Moldavites, Chem. Erde 56, 487 - 492, Jena.
- KNOBLOCH V. & URBANEC Z., 2003: Problémy vzniku vltavínů IV. Tvary bublin a lechatelieritových inkluzí ve vltavínové hmotě. IX. Mezinárodní konference o vltavínech, tektitech a impaktovém procesu (23. 9. – 26. 9. 2002, Františkovy Lázně) Přírodovědný sborník Západomoravského muzea (9. konference o vltavínech). 41, 69 - 77.
- KONTA J. & MRÁZ L., 1968: Chemical Composition and Bulk Density of Moldavites, Geochim. Cosmochim. Acta 33, 1103 – 1111, Oxford.
- KONTA J., 1972: Quantitative Petrographical and Chemical Data of Moldavites and their Mutual Relations. Acta Univ. Carol., Geologica, 1, 31 - 45, Praha.
- KUČERA J. & KNOBLOCH V., 1982: Instrumental Neutron Activation Analysis of Lechatelierite Inclusion from Moldavites, Radiochem. Radioanal. Letters 54, 197 - 208, Lausanne, Budapest.
- O'KEEFE J. A., 1976: Tektites and their Origin. – Developpt. Petrology, 4, 1 - 254. Elsevier, Amsterdam.
- ROST R., 1972: Vltavíny a tektity (Moldavites and Tektites), Academia, 1 - 241, Praha.
- ŘANDA Z., FRÁNA J., MIZERA J., KUČERA J., NOVÁK J. K., ULRYCH J., BELOV A. G. & MASLOV O. D., 2007: Instrumental Neutron and Photon Activation Analysis in the Geochemical Study of Phonolitic and Trachytic Rocks. Geostandards and Geoanalytical Research 31, 275 - 283.
- SUESS F. E., 1900: Die Herkunft der Moldavite und verwandter Glaser, Jahrb. d. k. k. Geol. R. A. 50, 193 - 382, Wien.
- TAYLOR G. I., 1934: The Formation of Emulsion in Definable Fields of Flow, Proc. of Royal Soc. of London. Series, A, 501 - 523, London.
- TRNKA M. & HOUZAR S. 1991: Moravské vltavíny. Brno.



Šiška, ořech a plod mladotřetíhorní vegetace z vltavínonosných usazenin od Dobrkovské Lhotky. Podobnou vegetaci bychom dnes našli v Indii a Vietnamu. Sbíral J. SCHMIDTMAYER, foto P. RAJLICH.

Príspevek k problematice vzniku vltavínů

Contribution to the issue of moldavites origin

Vladimír KNOBLOCH

K nádraží 155, 251 66 Mirošovice

E-mail: knobloch.v@volny.cz

Z. ŘANDA

Ústav jaderné fyziky AVČR, Řež

E-mail: randa@ujf.cas.cz

Anna LANGROVÁ

Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 269, 165 00 Praha 6

E-mail: langrova@gli.cas.cz

Zdeněk URBANEC

Malinová 29, 106 00 Praha 10

E-mail: zu13@post.cz

Abstract: Element abundances of moldavites were compared with the sediments from the Upper part of Freshwater Molasse (OSM – Obere Süßwasser Molasse) at Ries meteoritic crater, which is suggested as the moldavites source. This article was finalized using also the results of the diffusion layer thickness measurement. Determination of the layer thickness of the diffusion layer which was created between lechatelierite inclusions and the moldavite basic mass indicates the contact duration of the related masses in the time when they were able to react. In addition the variations of the deformations of the inclusions during the process of formation were analyzed. A hypothesis about the process during the impact which supposedly generated the initial moldavite mass on the base of these studies was suggested. It considers two stages of the heating of the mother moldavite mass i.e. fusion followed by fractionated distillation of volatile components in the first stage and melting and moldavites formation in the second.

Key words: moldavite, chemistry, Obere Süßwasser Molasse

Abstrakt. Byly porovnaný výsledky analýz chemického složení vltavínů a materiálů sladkovodní molasy (OSM) z oblasti kráteru Ries považovaných za jejich zdroj. Tato studie byla sloučena s výsledky měření tloušťky difúzní vrstvy mezi lechatelieritovou inkluzí a základní moldavitovou hmotou. Stanovení tloušťky difúzní vrstvy umožňuje upřesnit představu o délce doby, po kterou mohly tyto hmoty spolu reagovat. Vedle toho byly analyzovány deformace inkluzí ve vltavínech, které vznikly v průběhu jejich tvorby. Z těchto deformací lze usuzovat, že teplota vltavínové hmoty byla relativně nízká a její viskozita po celou dobu její tvorby vysoká. Navržená hypotéza vzniku vltavínové hmoty a tvorby vltavínů během impaktní události je založena na představě, že zahřátí mateřské hmoty vltavínů proběhlo ve dvou stupních. V prvním pravděpodobně došlo k rozehrání a frakcionované destilaci těkavých složek a v druhém stupni k tavení a formování vltavínů.

Klíčová slova: vltaviny, chemické složení, Obere Süßwasser Molasse

Úvod

Ačkoliv od objevení vltavinů uběhlo více než dvě stě let, mechanismus jejich vzniku není dosud uspokojivě vysvětlen. V minulém století byla většinou odborníků přijata impaktní teorie vzniku tektitů (SPENCER 1933).

Byla navržena celá řada modelů vzniku tektitů, které lépe či hůře umějí vysvětlit tento vznik v průběhu impaktu (DAVID 1987, O'KEEFE 1976, ENGELHARDT & al. 1987, KOEBERL 1997, SHEFFER & al. 2005, STÖFFLER et al. 2002, ARTEMIEVA & al. 2002 a celá řada dalších). Navzdory tomu nelze problém vzniku vltavinů považovat za uspokojivě vysvětlený. Procesy, které proběhly po dopadu kosmického tělesa, zjednodušeně popisujeme následujícím způsobem.

Po dopadu kosmického tělesa na zemský povrch se prostřednictvím rázové vlny změní jistá část pohybové energie kosmického tělesa v energii tepelnou. To vede k výbuchu a vypaření hmoty kosmického tělesa, a také k vypaření určité části povrchových vrstev země (pokud získaná tepelná energie hmoty přesáhne přibližně hodnoty 15MJ/kg). Tyto plynné produkty expandují do nadzemského prostoru a jsou po ochlazení rozptýleny po zemském povrchu. S klesající intenzitou rázové vlny v místech, kde získaná tepelná energie ve vhodné silikátové hmotě dosahuje přibližně hodnot 2 – 3 MJ/kg, by tak mohla vzniknout sklovitá tavenina. Problémem je, že současně dochází k vypaření vody, jejíž přítomnost v několika procentech je v pozemských vrstvách nutno předpokládat. Objem vzniklých par, by totiž o několik řádů převyšoval již za atmosférického tlaku objem tekuté hmoty. Na tento fakt upozornila řada autorů (např. O'KEEFE 1964, 1976). Tento problém lze považovat za klíčový a byl řešen autory řadou hypotéz. Vedle řady autorů, kteří tento problém ignorovali, někteří autoři navrhli teorii vzniku tektitů z mimozemských materiálů (O'KEEFE 1974, 1976, IZOCH 1987). Někteří autoři navrhli hypotézu o vzniku stmelěním produktů vzniklých kondenzací par po impaktu v prostoru nad zemskou atmosférou. V současné době se celá řada autorů (SHEFFER & MELOSH 2005, STÖFFLER & al. 2002, ARTEMIEVA & al. 2002), zabývá představou o možnosti objasnit dehydrataci eliminací vody po jejím rozkladu za extrémně vysokých teplot.

V příspěvku jsou shrnuty výsledky studia vltavinů na základě instrumentální neutronové analýzy, analýz lechatelieritových inkluzí mikrosondou a rozbořem struktur vltavinů. Byla navržena hypotéza jejich vzniku zahřátím mateřské hmoty prostřednictvím dvou impulsů v průběhu impaktu.

Experimentální část

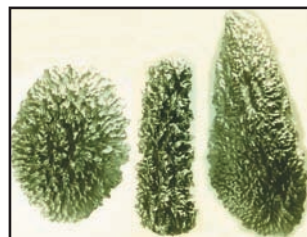
Výsledky experimentálních prací na jihočeských moldavitech pocházejí z lokalit Vrábče, Chlum nad Malší a Koroseky. Vedle toho byly použity také analýzy vltavinů z Chebské oblasti. Metodika INAA je popsána v příspěvcích ŘANDA & al. 2006, ŘANDA & al. 2008, ŘANDA 1989. Ke studiu struktury byly vybrány malé moldavity a fotografovány v toluenové imerzi.

V nutných případech tyto objekty byly řezány. Lechatelieritové úlomky byly získány ze sedimentů omytých z povrchu vykopaných vltavinů. Od balastních látek byly lechatelierity separovány v těžkých kapalinách (bromoforn-etylalkohol).

Výsledky

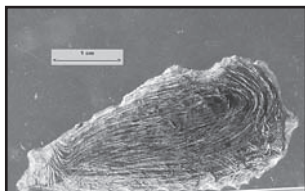
Tvary a struktura vltavinů

Vnější tvary vltavinů ukazují převážně na pochody, kterým byla sklovitá hmota vystavena v průběhu vymrštění a po dopadu na zemský povrch. Vzhledem ke stáří vltavinů a tomu, že byly pravděpodobně vícenásobně „přeplaveny“, tyto nalézané objekty poskytují bohužel pouze omezenou představu o jejich původních tvarech. Tvary nalézaných jihočeských vltavinů jsou z velké části podmíněny strukturou a namáháním této hmoty. Převážná většina vltavinů tvoří, jak se pokusíme ukázat, „laminát“ složený ze zamrzlých plochých a převážně lineárních protáhlých proudů sklovité hmoty různého složení a různých mechanických vlastností. Z tohoto důvodu mezi jihočeskými moldavitovými objekty převažují úlomky ploché a protáhlé (obr. 1 - KONTA 1980, KONTA & MRÁZ 1968, ROST 1972, KNOBLOCH & al. 1983).



Obr. 1 – Typické jihočeské vltaviny.

Z omezené části objektů dopadlých na zemský povrch, které nepodlehly destrukci, jsou zajímavé zejména zploštělé kapky, které vznikaly pravděpodobně „vytrháváním“ ze žhavé viskózní taveniny. Povrchové síly v této fázi nestačily již ale zaoblit chladnoucí vymrštěnou hmotu kapek (obr. 2). Obrázek 3 ukazuje strukturu uvedené kapky. V tomto směru je také zajímavý obrázek kapky (obr. 4), v jejíž části byla rozměrnější bublina, která byla později korozi otevřena.



Obr. 2 – Vltavinová kapka.

Obr. 3 – Struktura vltavinové kapky – lechatelieritové uzavřeniny.

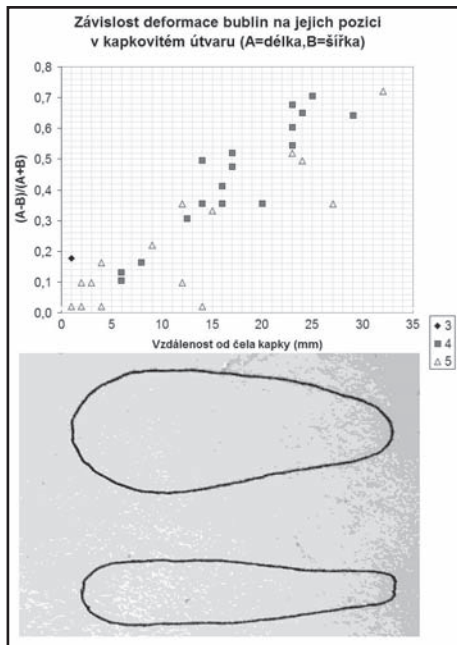


Obr. 4 – Vltavinová kapka s otevřenou bublinou.

Obrázek 5 ukazuje způsob deformace bublin v průběhu tvorby kapkovitých útvarů. Z druhé strany, dokladem vytažení vltavinů z méně viskózní sklovité vltavinové hmoty jsou exempláře moldavitových „nudlí“ (obr. 6a, b). Tomu nasvědčují také nálezy zbytků makaronovitých „brček“ (obr. 7a, b). Výskyt úlomků z „korýtkovitých“ vltavinů také ukazuje na možnost existence trubcovitých vltavinů větších průměrů. Ze zakřivení těchto úlomků lze soudit, že existovaly trubkovité útvary o průměru i několika centimetrů (obr. 7b).

Další úplnější informace o procesech, které vedly ke vzniku vltavinů, lze získat z tvarů bublin a lechatelieritových inkluzí. Základní tvary lechatelieritových inkluzí byly popsány již dříve (KNOBLOCH & al. 2009, KNOBLOCH & al. tento sborník). Podrobnější údaje o tvarech bublin v moldavitech byly publikovány již dříve (KNOBLOCH & URBANEC 2003). Proto zde budou uvedeny pouze stručné údaje.

Tvary lechatelieritových inkluzí umožňují udělat si představu o stavu sklovité hmoty a o mechanických procesech, kterým byla sklovitá hmota vystavena. Výsled-



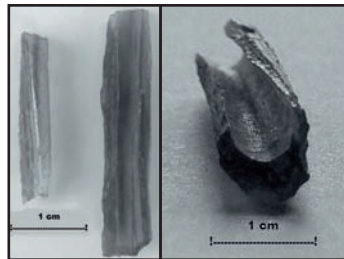
Obr. 5 – Deformace bublin v vltavínové kapce. Na grafu v obrázku 5 jsou uvedeny hodnoty výrazu $(A-B)/(A+B)$ v závislosti na poloze v kapce, kde A je délka a B je šířka bubliny.



Obr. 6 – Vltavínové „nudle“; „nudle“ vpravo (11,3 mm).

Obr. 7 a) – „Makaronovitě“ vltavíny zepředu a z boku.

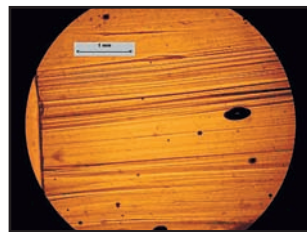
Obr. 7 b) – Úlomek vltavínového „korýtky“.



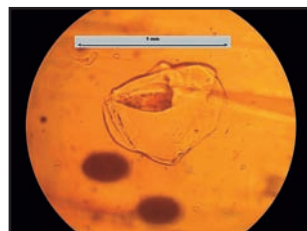
Obr. 8 – Tvarová přeměna lechatelieritového zrna.



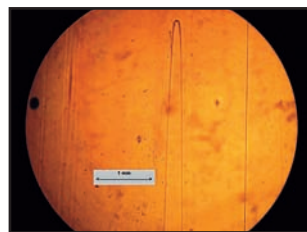
Obr. 9 – Struktura vltavínové hmoty.



Obr. 10 – Lechatelieritové zrna s inkluzí.



Obr. 11 – Lechatelieritová vlásenka.



ky zmíněných prací vedly k představě, že jihočeské moldavity jsou převážně tvořeny proudy sklovité hmoty, které zamrzly v průběhu přímočarého proudění. Jednotlivé proudy základní vltavínové hmoty nelze sice navzájem odlišit, ale jejich tvary lze odhadnout na základě dobře patrných lechatelieritových inkluzí, se kterými se proudy vltavínové hmoty pohybovaly společně (obr. 9). Osud lechatelieritových zrn vedle jejich viskozity byl určen také jejich polohou v proudu vltavínové hmoty, způsobem uložení a charakterem proudění této hmoty.

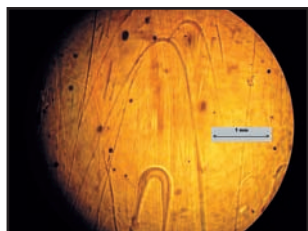
Tvar lechatelieritových inkluzí odpovídá dobře teorii o deformacích složek suspenzí nemísitelných kapalin v rychlostním gradientovém poli v proudu kapalin (TAYLOR 1934). O vzájemné rychlosti jednotlivých proudů a relativním směru proudění lze usuzovat z deformací lechatelieritových inkluzí, které měly viskozitu podobnou jako vltavínová hmota. Z těchto tvarů lze dále usuzovat o pochodech, kterým byla vystavena vltavínová hmota po celou dobu od roztavení až po ztuhnutí.

Na obr. 2 (zobrazen na str. 25) je znázorněno lechatelieritové zrno, které nebylo deformováno proudící sklovinou. Na obr. 10 je vidět jiné nedeformované lechatelieritové zrno. Toto zrno je pozoruhodné tím, že obsahuje další (dosud) neidentifikovanou inkluzi. Na obr. 6 a, b, c (zobrazeno na str. 26) jsou pohledy na typickou deformaci lechatelieritové inkluze v moldavitu s paralelně lineární strukturou ze tří stran. Z obrázku je patrné, že lechatelieritové uzavření jsou zploštělá a že při pohledu z boku vyniknou obrazy šlír.

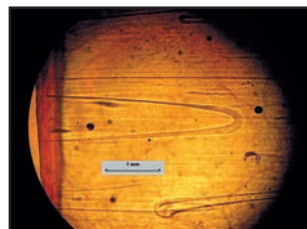
Pokud lechatelieritové zrno bylo uvnitř širšího proudu sklovité hmoty, bylo někdy rozevřeno do dvou paralelních ramen a vytvořilo tvar vlásenky (obr. 11). Šířky těchto rozevřených vlásenek jsou od desítek mikrometrů až do několika milimetrů (obr. 12).

O tom, že tyto proudy byly vlačovány do již vytvořené sklovité matrice, svědčí mimo jiné zploštění lechatelieritových inkluzí, které je v těchto případech kolmé na rovinu vlásenky a tedy otočené od „dominantního“ zploštění vltavínového objektu a ostatních lechatelieritových inkluzí o 90 stupňů (obr. 13).

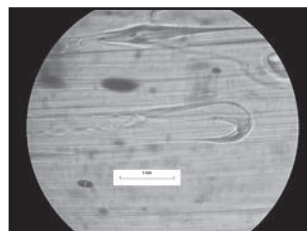
Ve většině případů bývají tyto vlásenky „jednovrstvové“, ale lze nalézt proudy vícevrstvé, které tvoří prostorové „jazyky“ (obr. 14), které vnikají do sklovité matrice. Na čelech těchto širokých vlásenek se někdy objevují meandrovitá zvlnění lechatelieritových inkluzí (obr. 15), o kterých se zmíníme dále. Na proces vnikání méně viskózní sklovité hmoty do viskóznější matrice ukazuje také výskyt úzkých (zavřených) vlásenek.



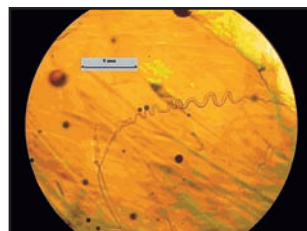
Obr. 14 – Lechatelieritový „jazyk“.



Obr. 12 – Zploštění lechatelieritové vlásenky.



Obr. 13 – Široká vlásenka.



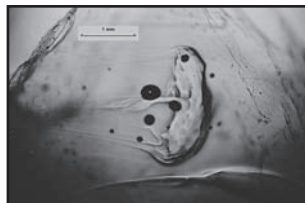
Obr. 15 – Široká vlásenka - čelo.

Jsou případy, kdy z lechatelieritového zrna zakotveného na hranici mezi viskózní vrstvou a méně viskóznějším (teplejším?) proudem, který vnikl do tohoto prostoru,

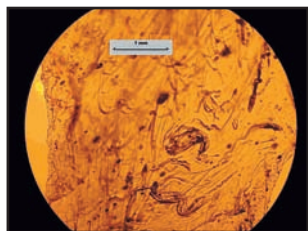
byla vytažena z výstupků na ploché straně zrna dvě (obr. 8 a, 8 b, zobrazen na str. 27) nebo větší počet jehlic (obr. 16). Šířka těchto úzkých vlásenek je vždy malá a byla určena rozměry původního mateřského zrna.

Pokud sklovitá hmota neutuhla v průběhu přímého proudění vyvolaného původním impulsem, došlo k narušování původní rovnoběžné lineární skladby vltavínové hmoty. V případě, kdy vltavínová hmota v této fázi byla ještě tvárná, byly rovinné vrstvy vltavínu porušeny a vznikla stavba popsána jako „plstnatá“ (KNOBLOCH & al. 1983, KNOBLOCH & KUČERA 1996).

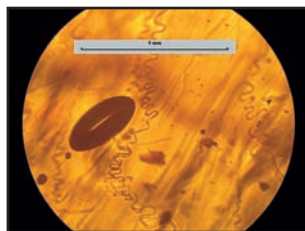
V takovém případě se lechatelieritové uzavřeniny uložené v prostoru v různých rovinách v mikroskopickém obraze navzájem zdánlivě kříží (obr. 8 a, 8 b, na str. 27). Za takových okolností docházelo také často ke vzniku meandrovitého zvlnění lechatelieritových inkluzí (obr. 18; KNOBLOCH & al. 1983).



Obr. 16 – Úzká vláseň vytažená do více jehlic.

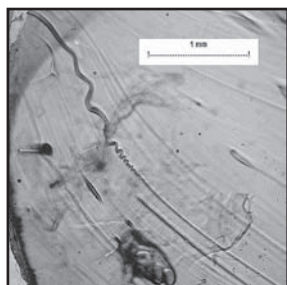


Obr. 17 – Plstnatá struktura.

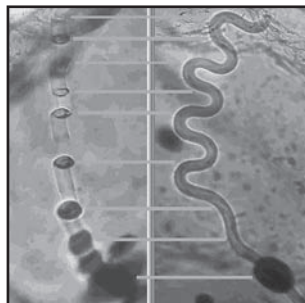


Obr. 18 – Meandrovité zvlnění inkluzí.

Při pohledu v nárysu a půdorysu se jeví zvlněné lechatelieritové uzavřeniny jako „meandr“ anebo jako „žebříček“ (obr. 9 a, b, na str. 27). Na obrázku 19 a, b je znázorněno, na kterých partiích meandru dochází k rozptylu světla. Příčina, proč ploché lechatelieritové uzavřeniny zachovávají určitou prostorovou orientaci, spočívá pravděpodobně v tom, že zploštělé proudy vltavínové hmoty se po přerušení lineárního proudění zaoblují a zkracují (toto zkrácení dosahuje hodnot až asi 60%). Za takových okolností se lechatelierity také zkracují tím způsobem, že se vlní ve směru tvaru zaoblujícího se proudy.



Obr. 20 – Vznik lechatelieritových meandrů při zahřátí na teplotu 1200°C.



Obr. 19 a, b) – Lechatelieritové meandry –

Vznik podobného procesu, ke kterému došlo v přírodních podmínkách a který probíhal v tuhnutí vltavínové hmotě, lze experimentálně napodobit ohýbáním vltavínového hranolku nad sklářským kahanem (obr. 13, na str. 30) nebo zahřátím vltavínů na teplotu nad 1175°C (obr. 20). Lze se domnívat, že příčinou relativně nízké teploty, při které se lechatelieritová hmota stává tvárnou, je v tomto případě přítomnost vody,

kteřou není možno stanovit použitými analytickými metodami. Na snadnou tavitelnost inkluzí upozornil HEIDE (1989).

Doba a teplota tavení vltavínové hmoty

Představu o podmínkách a době tavení vltavínové hmoty si lze udělat na základě měření difúzní vrstvy mezi lechatelieritovou inkluzí a základní mateřskou hmotou. Na obrázku 21 a grafech na str. 28 je znázorněno složení difúzní vrstvy mezi zrnem lechatelieritu (čistota sklovitého SiO_2 kolem 99 %) a základní hmotou moldavitu. Viz rovněž KNOBLOCH & al. 2009.

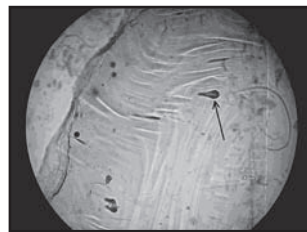
Měření bylo provedeno na příčně vybroušené, pouze mírně deformované lechatelieritové inkluzi. Tloušťka této difúzní vrstvy podporuje domněnku, že dobu tavení (při zvolené referenční teplotě 1800°C) lze orientačně odhadnout na několik desítek sekund. Na základě údajů o průběhu rychlosti chladnutí tektitové hmoty (CENTOLANZI 1969, KLEIN & al. 1980) lze pochybovat, že maximální průměrná teplota vltavínové hmoty během jejího vzniku přesáhla podstatně hodnotu oblasti měknutí této sklovité hmoty. Takový předpoklad by také vysvětlil, proč ve vltavínové hmotě nenalzááme bubliny, které by masově deformovaly okolní šlírý a lechatelieritové uzavřeniny. To lze považovat za důkaz, že v okamžiku, kdy vnější tlak na moldavitovou hmotu se po vymrštění během do nadzemského „vakua“ značně snížil, nebyla vltavínová hmota již téměř kapalná (to znamená, že její viskozita byla větší než asi 10^7 Pa.s).

Z údaje o tloušťce difúzní vrstvy lze dále také odhadnout charakter mateřské hmoty. Lze předpokládat, že převážné množství křemenných zrn do velikosti asi $100\ \mu\text{m}$ bylo během tohoto intervalu homogenizováno a jejich relikty se zachovaly pouze ve formě šlír.

Chemické změny v průběhu impaktní příhody

V tabulce I, vytvořené na základě porovnání analýz předpokládaných mateřských moldavitových materiálů (LUFT 1983) a vltavinů (ŘANDA & al. 2006, ENGELHARDT & al. 1987, BOUŠKA 1992, ROST 1972, GLASS & al. 1990, LANGE 1995) jsou porovnány poměry koncentrací jednotlivých složek vltavinů a jejich koncentrací v mateřské hmotě vltavinů (OSM: LUFT 1985). Toto pořadí přibližně dobře souhlasí s výsledky podobného porovnání (KNOBLOCH & KUČERA 1991, KNOBLOCH & KUČERA 1996).

V této tabulce jsou stanovené prvky seřazeny sestupně podle hodnoty uvedeného poměru a seřazeny do tří skupin. Skupina komponent, u kterých došlo k jejich „obohacení“, skupina, u které nedošlo k významnějším změnám koncentrace, a skupina, kde byly koncentrace více či méně sníženy. Zvláštní postavení zaujímá voda, která byla téměř úplně eliminována. Pro názornost v upravené Mendělejevově tabulce (Tab. II) je chování jednotlivých prvků naznačeno směrem šipek nebo kroužkem. Z této tabulky vyplývá jistá zákonitá závislost na vlastnostech jednotlivých prvků. U prvků skupiny Ia a IIa této tabulky se jejich koncentrace zdánlivě zvětšila nebo zůstala stejnou. *Výjimečně se choval vodík, který byl (ve formě vodních par) eliminován pravděpodobně z více než 99%. U ostatních*



Obr. 21 – Průřez lechatelieritovou inkluzí (černý objekt).

prvků Mendělejevovy tabulky zůstala koncentrace v podstatě stejná nebo se zmenšila.

Pokud uvažujeme o mechanismu chemických změn založených na základě frakcionované destilace, nalézané snížení koncentrací některých prvků se může zdát překvapivé. Vedle prvků, které lze považovat za těkavé (*Br, As, P*) ve skupině prvků, jejichž koncentrace se zmenšila, nalézáme také prvky, u kterých jako takových je těkavost těžko představitelná. Společnou vlastností těchto prvků je ale jejich možnost tvorby nízkovroucích halogenidů. Výjimku tvoří pouze prvky osmé přechodové skupiny (*Ni, Co*). V tomto případě by bylo možné uvažovat o eliminaci těchto prvků ve formě těkavých karbonylů. Podobné reakce mohou být nastartovány ale teprve při teplotách, při kterých kyselina křemičitá může vytěsnit chloridové ionty.

Body varů příslušných chloridů a karbonylů jsou uvedeny v tabulce III. Příčina, proč byla eliminována pouze větší či menší část příslušných prvků, může spočívat v omezeném množství halogenidových iontů, které byly v průběhu impaktního procesu k dispozici.

Pravděpodobně odlišně probíhal proces tavení křemenných zrn v průběhu impaktní události. Lechatelieritové úlomky, které jsou více než stokrát odolnější proti korozi než vltavinová hmota, lze izolovat z moldavitových sedimentů (obr. 1, zobrazený na str. 24) a lze je analyzovat.

V tabulce IV jsou uvedeny obsahy minoritních prvků v křemenném písku ze svrchní sladkovodní molasy z oblasti Riesu a porovnány s obsahy v lechatelieritech z vltavinů. V tomto případě pořadí prvků, u kterých se liší jejich zastoupení v analyzovaných objektech lechatelieritů, je odlišné od pořadí v tabulce I. Tento rozdíl lze považovat za důkaz toho, že v případě tavení lechatelieritů nemohlo dojít k reakci s chloridovými ionty a k frakcionované destilaci, jak tomu bylo ve vltavinové hmotě.

Diskuze a závěr

Na základě obecně známých skutečností o moldavitech, vltavinové hmotě a z výsledků tohoto příspěvku, je možné si vytvořit hrubou představu o vzniku vltavinů v průběhu impaktu.

Mateřská hmota vltavinů vznikla pravděpodobně z jemnozrnných sedimentů. Dominantní složku tvořily asi zrna křemene o velikosti pod 100 μm , s příměsí jílových složek. Vedle toho lze předpokládat, že tato hmota obsahovala frakci rozměrnějších křemenných zrn o velikosti asi do 500 μm . Tato hrubší zrna mohla být zdrojem lechatelieritových inkluzí. Dále je nutné předpokládat přítomnost volné a vázané vody v množství několika procent. Zdá se, že rázová vlna po dopadu kosmického tělesa tuto hmotu nejen přechodně stlačila, ale vyvolala také rozsáhlé posuny terčových vrstev. Popsaná látka se chovala v průběhu posunu jako partikulární (FEDA 1977). Tento charakter sedimentů umožňoval, až do vzniku sklovité struktury, relativně snadnou eliminaci plynných produktů vzniklých v průběhu zahřátí. Teplotu této hmoty lze odhadnout na základě výsledku změn složení mateřské hmoty a hmoty vltavinů během následné frakcionované destilace. Za spodní hranici teploty hmoty v této fázi lze považovat teplotu, při které kyselina křemičitá byla schopná vytěsnit chloridové ionty z alkalických chloridů. Stlačené plynné produkty byly pravděpodobně eliminovány ve směru impulzu a posunů mateřské hmoty.

Za horní hranici lze považovat teplotu, nad kterou by bylo možno jednak očekávat odpařování alkalických kovů, jednak kdy došlo k tavení vltavínové hmoty a hmoty lechatelieritů. Po vytvoření sklovité hmoty plynné produkty neměly prakticky již možnost ji opustit. Z tohoto hlediska lze dále předpokládat, že drobné bubliny nalézané v moldavitových objektech obsahují v podstatě pouze plynné produkty uvolněné z lechatelieritových inkluzí v průběhu jejich deformace. Pozoruhodná je skutečnost, že teplota tavení těchto inkluzí, ačkoliv podíl na jejím složení má přibližně 99% SiO₂, měkne již při 1175°C. Tuto skutečnost by mohla objasnit přítomnost vody, která uniká analýzám dosud použitými metodami.

Lze předpokládat, že v této fázi tvorby byla mateřská vltavínová hmota vystavena druhému impulsu, který měl zenitální složku a který jí vymrštil do nadzemského prostoru. Podmínkou vymrštění vltavínové hmoty na pádová pole bylo předchozí „otevření“ zemské atmosféry. To vyžaduje na základě dostupných údajů energii řádově převyšující 10¹⁷ J (LIN 1966).

Teplota vzniklé hmoty v této fázi překročila hodnotu tavení, ale viskozita této hmoty byla pravděpodobně relativně vysoká (v oblasti nad 10⁷ Pa.s). Lze tak soudit z tvarů některých lépe zachovalých vltavinů. Na relativně vysokou viskozitu vltavínové hmoty v okamžiku vymrštění lze soudit také ze zjištění, že bubliny ve vltavínové hmotě nezměnily již tvar při změnách vnějšího tlaku po vymrštění do nadzemského prostoru a z tvarů lechatelieritových inkluzí, které vznikly v prostředí nevírového proudění. Lze tedy předpokládat, že tato hmota vznikla potenciálovým prouděním, kdy toto proudění sklovité hmoty nedosáhlo Reynoldsova čísla.

O mechanických procesech, které vltavínová hmota prodělala po vzniku sklovitého charakteru, lze usuzovat na základě tvarů bublin a lechatelieritových inkluzí. Tyto tvary je možné považovat za výsledek deformací vzniklých prouděním v suspenzích nemísitelných složek v rychlostním gradientovém toku. Teorie vzniku těchto deformací byla vypracována v minulém staletí (TAYLOR 1934). Deformace inkluzí vznikajících za těchto okolností je podstatně závislá na poměru viskozit reagujících kapalin. Moldavity poskytují informace o dvou nezávislých systémech, které dovolují udělat si představu o viskozitě a proudění vltavínové hmoty. Plyny v bublinách měly viskozitu podstatně nižší, než byla viskozita vltavínové hmoty. Z druhé strany lechatelieritová hmota měla viskozitu v prvním přiblížení srovnatelnou s viskozitou základní vltavínové hmoty. Díky této skutečnosti tvary bublin poskytují informace o proudění vltavínové hmoty v okamžiku zamrznutí bublin (KNOBLOCH & URBANEC 2003). Tvary lechatelieritových inkluzí umožňují vytvořit si představu o mechanických procesech po celou dobu od roztavení vltavínové hmoty až po její ztuhnutí.

Literatura

- ARTEMIEVA A., PIERAZZO E. & STÖFLER D. 2002: Numerical modeling of tektite origin in oblique impacts: Implication to Ries-Moldavites strewn field. *Bulletin of the Czech Geological Survey* 77, 303 - 311.
- BOUŠKA V. 1992: Záhadné vltavíny. Praha, Gabriel, 84 pp. (in Czech).
- BOUŠKA V. & KONTA J., 1990: Moldavites – , 1 - 125, U.K. Praha.
- CENTOLANZI F. J., 1969: Maximum tektite size as limited by thermal stress and aerodynamic loads. *J. Geophys. Res.* 74, 6723 - 6736, California.

- DAVID E. J. H., 1972 : The Tektites Production Proces. *Fortschr. Mineral.* 49, 154 - 182.
- DAVID E. J. H., 1987: Formation of tektites. 2nd Int. Conf. on Natural Glasses, p. 385 - 389, Prague.
- ENGELHARDT v. W., LUFT E., ARNDT J., SHOCK H. & WEINKIRCHNER W., 1987: Origin of Moldavites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1425 - 1443.
- FEDA J. 1977: *Základy mechaniky partikulárních látek.* Akademie Praha.
- GLASS B. P., WASSON J. T. & FUTRELL D. S., 1990: A Layered Moldavite Containing Baddeleyite. *Proc. 20th Lunar and Planet. Sci. Conf.*, 415 - 420.
- HEIDE K., 1989: Gefüge natürlicher Gläser und deren Beziehung zu ihrer Genese. *Chem. Erde*, 49, 287 - 295, Jena.
- KLEIN L. C., YINNON H. & ULLMANN D. R., 1980: Viscous flow and crystallization behaviour of tektite glasses. *J. Geophys. Res.* 85, 5485 - 5489.
- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., URBANEC Z. & BRUCKNER H. P. 1983: Structure and Texture of Lechatelierite Inclusions and Their Relation to the Morfology of Moldavites. *Chem. Erde* 42, 145 - 154.
- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., KUČERA J., TLÁSKAL J. & URBANEC Z., 1987: Lechatelierite inclusions in moldavites and lechatelierite fragments in host sediments. 2nd Int. Conf. on Natural Glasses., p. 385 - 389, Prague.
- KNOBLOCH V. & KUČERA J., 1991: Některé problémy vzniku vltavínů II – Chemické změny v průběhu impaktního procesu. 6. konference o vltavínech, Třebíč.
- KNOBLOCH V. & KUČERA J. 1996: Trace Elements in Quartz Grains from the Ries Impact Crater and Lechatelierites in Southern Bohemian Moldavites, *Chem. Erde* 56, 487 - 492, Jena.
- KNOBLOCH V. & URBANEC Z., 2003: Problémy vzniku vltavínů IV. Tvary bublin a lechatelieritových inkluzí ve vltavínové hmotě. IX. Mezinárodní konference o vltavínech, tektitech a impaktivním procesu (23. 9. – 26. 9. 2002, Františkovy Lázně) Přírodovědný sborník Západomoravského muzea (9. konference o vltavínech). 41, 69 - 77.
- KOEBERL C., 1997: Impact Cratering: Overview of Mineralogical and Geochemical Aspects. In *Proceedings, The Structure and Features*, ed. K. JOHNSON and J. CAMPBELL. Oklahoma Geological Survey 100, 30 - 54.
- KONTA J. & MRÁZ L., 1968: Chemical Composition and Bulk Density of Moldavites, - *Geochim. Cosmochim. Acta* 33, 1103 - 1111, Oxford.
- KONTA J., 1972: Quantitative petrographical and chemical data of moldavites and their mutual relations. *Acta Univ. Carol., Geologica* 1, 31 - 45, Praha.
- KONTA J., 1980: Tvarová analýza fragmentů vltavínů. The shapes analysis of moldavite fragments starting from the models of known forms. *Acta Univ. Carol., Geologica* 45 - 67.
- KUČERA J. & KNOBLOCH V., 1982: Instrumental Neutron Activation Analysis of Lechatelierite Inclusion from Moldavites. *Radiochem. Radioanal. Letters* 54, 197 - 208, Lausanne, Budapest.
- LANGE J. M., 1995: *Lausnitzer Moldavite und ihre Fundschichten.* Schriftenreihe für Geowissenschaften 3. – Berlin.
- LIN S. C., 1966: Cometary Impact and the Origin of Tektites. *J. Geophys. Res.* 2427 - 2437.
- LUFT E., 1983: Zur Bildung der Moldavite beim Ries – Impact auf tertiären Sedimenten. Enke Verlag, 1 - 202, Stuttgart.
- O'KEEFE J. A., 1963: in O'KEEFE edit. 1963: *Tektites.* – Chicago Press, 1 - 228, Chicago.
- O'KEEFE J. A., 1976: *Tektites and their origin.* – *Develop. Petrology* 4, 1 - 254. Elsevier, Amsterdam.
- PREUSS E., MASCH L. & ERRISMANN T. H., 1987: Frictionite: Glasses Quenched from Friction – Generated Melts in Two Big Landside Events. *Sec. Inter. Conf. on Natur. Glasses*, Prague, 399 - 400, Prague.
- ROST R., 1972: Vltavíny a tektity (Moldavites and Tektites). *Academia*, 1 - 241, Praha.
- ŘANDA Z., 1989: Neutron and gama activation analysis in geochemistry a cosmochemistry. *DrSc. Thesis*, nepublikováno.
- ŘANDA Z., FRÁNA J., MIZERA J., KUČERA J., NOVÁK J. K., ULRYCH J., BELOV A. G. & MASLOV O. D. 2007: Instrumental neutron and photon activation analysis in the geochemical study of phonolitic and trachytic rocks. *Geostandards and Geoanalytical Research* 31, 275 - 283.

- ŘANDA Z., MIZERA J., FRÁNA J. & KUČERA J., 2008: Geochemical characterization of moldavites from a new locality, the Cheb Basin, Czech Republic. *Meteoritics and Planetary Science*. In press.
- SHEFFER A. & MELOSH H. J., 2005: Why moldavites are reduced. – *Lunar and Planetary Science* 36, 1468.
- SPENSER L. J., 1933: Origin of Tektites. *Nature* 131, 117 - 118, 876.
- STÖFFLER D., ARTEMIEVA N. A. & PIERAZZO E., 2002: Modeling the Ries-Steinheim impact event and the formation of the moldavite strewn field. – *Meteoritics and Planet. Sci.* 37, 1893 - 1907.
- TAYLOR G. I., 1934: The Formation of Emulsion in Definable Fields of Flow. *Proc. of Royal Soc. of London. Series A*, 501 - 523, London.
- TAYLOR S. R. & KOEBERL C., 1994: Comment on „Origin of Tektites“ by John A. O'KEEFE. – *Meteoritics* 29, 739 - 742.

Tabulka I – Poměry koncentrací prvků ve vltavínech vůči molase OSM

P	Ch	G	E	B	RE	M	D	RA	Složka
2,73	3,14	2,90	2,55	2,70	--	2,76	2,23	2,84	BaO
1,96	2,05	2,29	1,97	1,87	1,78	1,98	1,88	1,83	Sr
1,90	1,88	1,69	1,99	2,00	1,47	1,98	2,05	2,13	K ₂ O
1,28	1,16	1,47	1,47	1,34	0,99	1,55	1,12	1,12	Rb
1,06	1,07	0,80	0,95	1,12	0,75	1,37	1,22	1,20	Na ₂ O
1,06	1,22	--	1,00	1,00	1,14	1,14	0,86	--	MnO
1,00	1,23	0,14	1,25	1,11	--	1,05	1,08	1,17	Th
1,00	1,23	0,93	0,84	1,08	--	0,93	1,14	0,87	U
0,99	1,00	0,97	0,99	0,99	1,03	0,99	0,98	0,99	SiO ₂
0,99	1,46	1,22	1,04	1,04	0,86	0,73	0,96	0,63	CaO
0,99	0,91	0,98	0,95	0,98	0,98	1,07	1,00	1,04	Al ₂ O ₃
0,93	1,25	0,98	0,90	1,02	0,98	0,79	0,86	0,65	MgO
0,92	0,70	0,83	0,87	0,92	0,98	1,12	0,99	0,91	Fe ₂ O ₃
0,87	0,86	0,89	0,89	0,80	0,76	0,89	0,89	0,95	La
0,83	0,82	0,60	0,73	1,80	0,65	0,70	0,67	0,65	Zr
0,74	0,66	--	0,81	--	--	--	--	--	W
0,59	0,55	0,65	0,55	0,56	--	0,56	0,51	0,73	Ta
0,55	<0,44	--	--	0,58	0,41	0,58	0,76	--	Ni
0,54	0,54	0,53	0,59	0,54	0,45	0,56	0,55	0,59	Hf
0,43	0,38	0,48	0,45	0,43	0,43	0,51	0,31	0,44	Ti
0,42	0,37	0,48	0,44	0,38	0,32	0,38	0,45	0,52	Co
0,42	0,36	0,42	0,46	0,39	0,32	0,48	0,41	0,50	Cr
0,41	--	--	<0,24	0,40	--	0,58	0,43	--	Ga
0,33	--	--	0,33	--	--	--	--	--	P ₂ O ₅
0,23	<0,38	0,11	0,38	--	--	--	0,11	0,15	Sb
0,16	<0,16	<0,025	<0,28	--	--	--	--	--	Br
0,11	--	0,11	--	--	--	--	--	--	Se
0,08	<0,053	0,03	< 0,09	0,11	--	11	--	--	As
	0,01 až								H ₂ O
	0,001								

P = průměr; **CH**=Cheb – ŘANDA & al. 2008; **G** = GLASS & al. 1990; **E** = ENGELHARDT & al. 1987; **B** = jižní Čechy – BOUŠKA 1992; **RE** = Radomilice – BOUŠKA 1992; **M** = Morava – BOUŠKA 1992; **D** = Dráždany – LANGE 1995; **RA** = Rakousko – BOUŠKA 1992

Tabulka II – Upravená Mendělejevova periodická tabulka

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	H ↓							
2								
3	Na ↑	Mg •	•Al	•Si	↓ P			
4	K ↑	Ca ↑	Sc ↓	Ti ↓	V ↓	Cr ↓	Mn ↓	Fe • Co ↓ Ni ↓
4			↓ Ga		↓ As	↓ Se	↓ Br	
5	Rb ↑	Sr ↑	Y •	Zr ↓		Mo ↓		
5					↓ Sb			
6	Cs ↑	Ba ↑	La •	Hf ↓	Ta ↓	W ↓		

Tabulka III – Body varů

M. t.		chloridy	C°	karbonyly	C°
III b	Ga	GaCl ₃	201,2	--	
IV a	Ti	TiCl ₄	156,4 r	--	
IV a	Zr	ZrCl ₄	331 s	--	
IV a	Hf	--	--	--	
V a	V	VCl ₄	148,6 r	--	
V a	Nb	NbCl ₅	247	--	
V a	Ta	TaCl ₅	242	--	
V b	P	P ₂ O ₃	358 s	--	
V b	As	As ₂ Cl ₃	193 s	--	
		As ₂ O ₃	465	--	
V b	Sb	Sb ₂ Cl ₃	223	--	
		Sb ₂ Cl ₅	140;150		
VI a	Cr	CrCl ₃	1300	Cr(CO) ₆	s.
VI a	Mo	MoCl ₅	268	Mo(CO) ₆	?s.
VI a	W	WCl ₆	347	W(CO) ₆	175
VI b	Se	SeO ₂	--	--	
VII b	Br	HBr	--	--	
VIII	Fe	--	--	Fe(CO) ₅	103
VIII	Co	--	--	Co(CO) ₈	52 r.
VIII	Ni	--	--	Ni(CO) ₄	43

r = rozklad; s = sublimace;

Tabulka IV – Obsah prvků v ppm sestupně podle poměru L/P bez vzácných zemin

Prvek	Lechatelierity, L,ppm	Písek-Ries-HNO ₃ , Pppm	L/P
Th	0,835	0,180	4,64
Br	2,72	1,01	2,69
Zn	14,1	5,87	2,40
Mn	9,90	4,42	2,24
Cl	237	126	1,88
Ni	3,4	<2	>1,70
Ca	<320	<200	≈1,60
Sr	<9	<6	≈1,50
Cs	0,454	0,316	1,44
Zr	23	17	1,35
U	0,23	0,17	1,35
Ir	<0,0004	<0,0003	≈1,33
Fe	438	341	1,28
Au	0,023	0,019	1,21
Ti	142	154	0,92
Hf	0,38	0,48	0,79
Co	0,285	0,442	0,64
Cr	1,65	2,60	0,63
Rb	6,31	11,4	0,55
V	1,5	2,9	0,52
Ta	0,028	0,058	0,48
K	1065	2740	0,39
As	0,11	0,36	0,31
Ba	12	41,1	0,29
Mg	<250	997	<0,25
Sb	0,069	0,44	0,16
Al	822	5635	0,15

Vltavíny v železivecích a železitých konkrecích

The moldavites in the ferruginous concretions

PaedDr. Václav PAVLÍČEK

PF JU České Budějovice, 371 15 České Budějovice

E-mail: vaclav@pljcu.cz

Martin SEDLÁK

Vřesová 363/6, 370 01 České Budějovice

E-mail: martin.vltavin@seznam.cz

Michal SEDLÁK

Vřesová 363/6, 370 01 České Budějovice

E-mail: misa.snedlak@seznam.cz

Abstract: On the site Slávče moldavites concluded in ferruginous concretions have been found during surveys. The moldavite fragments preserved in concretions stripped as a result of internal tensions display later shaping of moldavites. The concretions originated in the migration of Fe in connection with the young Tertiary climatic conditions.

Key words: moldavites, ferruginous, concretions, Slávče

Abstrakt: Na vltavínové lokalitě Slávče byly nalézány vltavíny uzavřené v železitých konkrecích. Odloupnuté střepy uchované v konkrecích zobrazují pochody pozdějšího tvarování vltavínů následkem vnitřního pnutí a migraci Fe ve spojitosti s mladočtveřihorními klimatickými poměry.

Klíčová slova: vltavíny, železité, konkrece, Slávče

Úvod

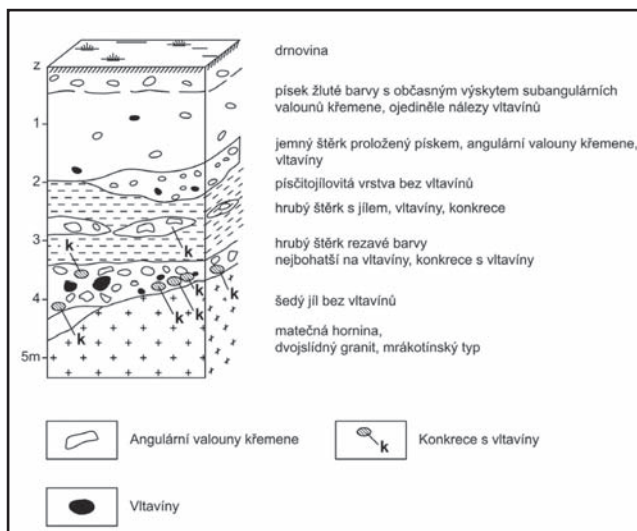
Nález vltavínů v železivecích a železitých konkrecích z lokality Slávče u Trhových Svinů zachycují jednak klimatické podmínky z období zřejmě těsně po dopadu vltavínů před 14,8 miliony let a dále rozsah váhových a tvarových změn, které mohly prodělat některé tvary vltavínů po jejich dopadu uvnitř usazenin. Uzavřením vltavínů do konkrecí byly uchovány vnitřním pnutím odštípnuté kusy z vltavínových celotvarů pohromadě s původním vltavínem. Podle tvaru odštípnutých kusů vidíme směřování původně asymetrického vltavínu k tvaru, který se blíží kouli. Výsledný

tvář – jádro může odpovídat oblasti ve vltavínu, kde sklo utuhlo pomaleji a nebylo na rozdíl od rychle ochlazených okrajů vystaveno vnitřnímu pnutí. Rozsáhlá migrace železa, kterou v usazeninách pozorujeme, naznačuje malou aktivitu organických látek ve spodních vodách, což může souviset s malým vegetačním pokryvem nebo s tropickým klimatem výraznějšího chemického zvětrávání. Lokalita s vltavínonosnými usazeninami protáhlého tvaru SZ – JV směru o rozměrech 300 x 70 m se nachází v blízkosti obce Slavče, 5 km JJZ od Trhových Svinů a 4,5 km od Besednice. Od lesního porostu se snižuje do údolní nivy Klenského potoka, kde je neřízená skládka komunálního odpadu. Prokopaná, dnes pustá plánina s viditelnými „krátery“ po výkopech nelegálních kopáčů, je na západě omezena zemědělsky obdělávaným polem, na východě údolní nivou Klenského potoka zarostlou vegetací. Vltavínové nálezy začaly asi před 30 lety při zřizování melioračních prací.

Geologie naleziště

Vltavínonosné plážové štěrkopíský tvoří svrchnomiocenní usazeniny, které v základních rysech vyplňují staré miocenní koryto řeky Maše (Miomalše; ŽEBERA in Exkurz. průvodce 1972). Celá oblast dále patří pravděpodobně k pliocenní říčně jezerní sedimentaci (ROST & BOUŠKA in Exkurz. průvodce 1972). K pádu jihočeských vltavínů došlo asi před 14,8 mil. let, tedy ve svrchním miocénu, v nejspodnějším tortonu nebo na rozhraní mezi tortonem a sarmatem a vltavíny byly většinou splaveny z míst původního pádu (ROST & BOUŠKA in Exkurz. Průvodce 1972).

Svrchnomiocenní, drobnozrnné plážové štěrkopíský (ŽEBERA in Exkurz. průvodce 1972) jsou tvořeny křemenem, živcem a jsou stmelené písčitojílovitým tmelem s vltavíny. Podložní vltavínonosné písčité a štěrkopísčité sedimenty (korosecké štěrkopíský) se nacházejí nad šedými jíly mydlovarského souvrství. Na popisované lokalitě jsou vyvinuty a zachovány hlinitopísčité fosilní zvětraliny, jílovitopísčité eluvium vyvinuté především na muskovit-biotitickém granitu mrákotínského typu. Zdrojem jílovitopísčitého, hlinitopísčitého a písčitého zvětralivého pláště byly hlubinné a žilné vyvěřeliny podloží. Geologický profil ze z. části lokality je uveden na obr. 1



Obr. 1 – Geologický profil a blokdiagram vltavínonosných štěrků s konkrceci na lokalitě Slavče, 80 m s. od skládky.

Železité konkrce na lokalitě

Konkrce a kusy železinců na popisované lokalitě dosahují v průměru velikosti nejdelší protáhlé strany 10 cm. Většina konkrceí má sféroidní a elipsoidní (diskovitý) tvar. Nepravidelné tvary vznikly převážně srůstem dvou a více konkrceí i nárůstem kolem většího jádra (NÁPRSTEK 1985). V hrubozrnnějších sedimentech je soudržnost součástí větší. U kulatých konkrceí se vyskytuje koncentrická stavba. Některé konkrce jsou duté nebo vyplněné hnědožlutým pískem. Časové zařazení vzniku konkrceí je po usazení okolního sedimentu, kdy matečný materiál nebyl ještě zcela zpevněn. Jeden typ má polokulatý tvar zvýrazněný srůsty výběžků menších konkrceí do srdčitých tvarů a druhý typ se vyskytuje v podobě nepravidelných tvarů. Minerální složení prvního typu železité konkrce tvoří angulární až subangulární zrna mléčného křemene, kouřové záhnědy, kaolinizovaného živce, suboválné až oválné úlomky stříbřitě lesklé blíže neidentifikované horniny stmelené rzivě hnědým až žlutým písčítým tmelem. Písčitá základní hmota převládá nad hrubšími částicemi, kterou tvoří nevytříděná subangulární křemenná zrna krustifikovaná limonitem. Pod touto vrstvou je tmavě hnědý až černý lem z oxidů a hydroxidů Fe a Mn, následuje dutina vyplněná ze dvou třetin vltavínem obaleným žlutohnědými zrny křemene a živce.

Hlavní složku konkrceionálních Fe - útvarů tvoří křemen, vedlejší hematit a maghemit, kaolinit, chlorit. Limonitová hmota je směsí hydroxidů Fe^{3+} koloidní a meta-koloidní povahy, obsahuje 3,2 – 3,5% Fe a příměsi Mn do 0,06%, Mg 0,1% se stopami Cu, Be, Pb, V. Sloučeniny trojmočného železa jsou také barvicími složkami a podle koncentrace a stupně oxidace se mění zbarvení od světle žluté, hnědé až po červenou případně černou. Znamé jsou i redukční procesy trojmočného železa a následné vyluhování pro-sakujícími vodami a změna červené barvy na šedou až nazelenalou s různými odstíny (SMOLÍK 1957). Kvantitativní stanovení Fe a dalších prvků je podle RTG analýzy: Fe^{2+} – 3,2 % Fe, Fe^{3+} – 0,5 % Fe, Mn – 0,02% Mn, Pb – stopy, Ni – 0,001 – 0,003%, V, Cu, Ba a Be – stopy, Zr – 0,03 – 0,06%, Mn – 0,03 – 0,006%, Mg – 0,06 – 0,1, Cr – 0,01 – 0,03%. Minerální složení konkrceí a železinců byly analyzovány v r. 1981 – 82 v souvislosti s vyhledáváním železných rud na Trhosvinensku v pásmu Ločenice – Trhové Sviny – Mladošovice (KUČEROVÁ 1982, PAVLÍČEK 1978, 2000, 2002, 2003). Samotná lokalita nebyla analyzována, ale chemické složení konkrceí nalezených u Slavče se nebudou výrazně lišit od analýz výše uvedených.

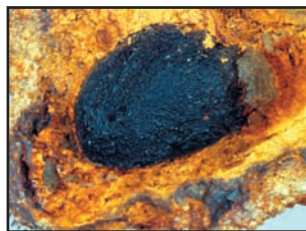
Masivnější kusy mají vryp hnědočervený, tvrdost 3 – 4, bez lesku, červenohnědé barvy, pod kovadlinkou jsou křehké, drtí se na červenohnědý prášek, těžce se taví, tmavnou, na stěnách zkumavky se sráží kapky vody, jsou nemagnetické před vyhřátím i po vyhřátí (KUČEROVÁ 1982).



Obr. 2 – Celkový pohled na lokalitu Slavče (pohled k J). Foto V. Pavlíček 2008.

Vltavíny v železitých konkracích

V dutině první konkrace o rozměrech 3 cm x 3,5 cm (obr. 3a, 3b), se vyskytuje vltavín o rozměrech 2,5 cm x 3 cm téměř kulatého tvaru. Povrch je lesklý až matný, s vysokým počtem jemných jamek vzniklých leptáním. Zajímavé jsou bledě zelené tenké téměř lupenité útržky až slupky obloukovitě prohnuté, které se odlupují z celotvaru do střípkovitých útržků. Vyskytují se negativní otisky po útržcích vltavínu způsobené chemickým rozpouštěním za současného působení tlaku uvnitř konkrace. Vltavín v druhé konkraci (obr. 4a, 4b) kromě střípkovitého odlupování je vnitřně dělený. Rozevření prasklin ve vltavínu a jejich vyplnění jemným pískem může souviset se smršťováním hmoty konkrace při dehydrataci vodnatých kysličníků železa a jejím zpevňováním nebo působením tlaku nadloží (kompakcí). Vltavíny prostoupené puklinami bez písčité výplně jeví šupinkovitou odlučnost s korodovaným povrchem.



Obr. 3 – Železité konkrace se skulptovaným vltavínem, a – celkový pohled, b – detail s drobnými vltavínovými střípkami.

opracované úlomky mléčného křemene, kouřové záhnědy, živce a úlomků hornin stmelené železitou hmotou společně s úlomky vltavínů. Tyto útvary délkou nepřesahují 10 cm na nejdelší ose.



Obr. 4 – Železité konkrace na lokalitě Slavče (foto P. RAJLICH).

Vznik železinců a železitých konkrací

Polycyklický vývoj železinců začal na konci miocénu začal (ŽEBERA in Exkurzní průvodce 1972). Při chemickém zvětrávání se poměrně snadno uvolňovalo železo z biotitu. Hydroxid železa, přeplavovaný ze zvětralín do sedimentačních prostorů, zpevňoval jejich sedimenty. Vznikaly tak zejména limonitické pískovce. Hydroxid železa pronikl i do určité hloubky jílovitých sedimentů. Je důležitým ukazatelem vertikálního pohybu hladiny podzemních vod během geomorfologického vývoje krajiny. Chemické zvětrávání se ve čtvrtohorách omezilo téměř jen na uvolňování železa a jeho posun srážkovými vodami v půdním profilu. Takže původně převážně šedé, bělošedé profily získávají žlutou až rzivě hnědou barvu (ŽEBERA in Exkurz. průvodce 1972). Limonit může být také produktem chemického zvětrá-

vání rudních minerálů. Pozdně třetihornímu tropickému chemickému zvětrávání odolával křemen jak sekreční, tak žilného původu, rohovec, bucholzit.

Závěr

Nález vltavínů v železovicích a železitých konkrécích z lokality Slavče u Trhových Svinů zachycují jednak klimatické podmínky z období zřejmě těsně po dopadu vltavínů před 14,8 miliony let a dále rozsah váhových a tvarových změn, které mohly prodělat některé tvary vltavínů po jejich dopadu uvnitř usazenin. Uzavřením vltavínů do konkrécí byly uchovány vnitřním pnutím odštípnuté kusy z vltavínových celotvarů pohromadě s původním vltavínem. Podle tvaru odštípnutých kusů vidíme směřování původně asymetrického vltavínu k tvaru, který se blíží kouli. Výsledný tvar – jádro může odpovídat oblasti ve vltavínu, kde sklo utuhlo pomaleji a nebylo na rozdíl od rychle ochlazených okrajů vystaveno vnitřnímu pnutí. Rozsáhlá migrace železa, kterou v usazeninách pozorujeme, naznačuje malou aktivitu organických látek ve spodních vodách, což může souviset s malým vegetačním pokryvem nebo s tropickým klimatem výraznějšího chemického zvětrávání.

Appendix

Konkrece (z lat. concretio), zhuštění, v petrografii slovou nerostné vytvoření v hornině hmotou od hmoty horniny rozdílné, tvaru ponejvíce kulovitě blízkého, ale tak vzniklé, že prostředek jest nejstarší, kraje pak jsou nejmladší. Často jeví tvary čočkovité, ledvinité a pod., někdy i ploché až plátkovité. Někde vznikají současně s horninou, jinde později. Na př. **k.** kalcitu v některých vápencích, kyzu železného v některých lupcích, azuritu v některých pískovcích, pazourku ve křídě, cicvary v hlíně a j. Slínové **k.** ve hlinách a lupcích, jsou-li sloupkovitě rozpučány, slovou septarie (<http://leccos.com/index.php/clanky/konkrece>). **K.** vznikají ukládáním minerálních látek kolem nějakého jádra (centra) diagenetickým nabíráním minerálních částic. Velká rozmanitost **k.** je ve složení i v morfologických a strukturních znacích (kulovité tvary po zploštělé a až bizarně rozvětvené, od velikosti hrachového zrna až po metrové velikosti). Vznik **k.** je podporován redukčním rázem prostředí. (PETRÁNEK 1963). Růst **k.** je spontánní jev, protože volná energie molu nepodstatné fáze sedimentu je menší, je-li seskupena, než když je rozptýlena. Jádra **k.** vytvářejí příznivé fyzikálně chemické podmínky pro vysrážení rozptýlených fází. Železo se sráží z podzemní vody nebo účinkem dešťových vod kolem jádra jako tmel mezi zrny písku a štěrku. Vzhledem k tomu, že se nacházejí vltavíny i uvnitř konkrécí, jsou tedy starší než samotná konkrece. V období sucha se roztoky Fe^{2+} dostávají do agregátů a prosycují je vysrážením oxidů Fe^{3+} a dochází ke stabilizaci a ke zpevnění. Důležitou roli hraje rozdílnost v zrnu jednotlivých vrstev. Nasedá-li hrubozrnější vrstva na jemnozrnou, místo kapilarity se uplatňuje laterální rozvod Fe^{2+} , který též prosytí agregáty, které zvyšují svůj objem (NÁPRSTEK 1985).

Literatura

- ČEPEK P., 1986: Základy stratigrafické geologie. UK Praha.
- Exkurzní průvodce XIII. sjezdu ČSMG, Čes. Budějovice 29. srpna – 1. září 1972.
- KUČEROVÁ N. & kol., 1982: Ověření lokalit staré těžby železných rud sv. od Trhových Svinů
Natura semper viva. Gymnázium Trhové Svinu, 35 s.
- NÁPRSTEK V., 1985: Všeobecná geologie. SPN Praha, str. 47.
- PAVLÍČEK V., 1978: Výskyty nerostů v okolí Trhových Svinů. Sbor. Jihočes. Muz. Čes. Budějovice,
Přír. Vědy XVIII, č. 2, str. 62 - 70.
- PAVLÍČEK V., 2000: Z historie dobývání železných rud v širším okolí Trhových Svinů. Minerál,
roč. VIII, č. 4, str. 207 - 211. ISSN 1213-0710.
- PAVLÍČEK V., 2002: Hematite mineralization at the locality Hrádek near Nové Hrady. Sbor.
příspěvků konference CEZ PF a BiF Čes. Budějovice – Biodiverzita a přírodní poměry
Novohradských hor 10.1. – 11.1. 2002 str. 43 – 44.
- PAVLÍČEK V., 2003: Výskyt železitých konkrécí v kaolinovém ložisku „Orty“ u Hosína. Minerál, roč., XI,
č. 3, str. 223 - 224. ISSN 121307-10.
- PETRÁNEK J., 1963: Usazené horniny. ACADEMIA Praha str. 206 - 221.
- SMOLÍK L., 1957: Pedologie. SNTL Praha, str. 300.
- ŽEBERA K., 1980: Vysvětlivky ke Geologické mapě ČSSR 1 : 25 000 list Trhové Svinu 32 242
(zvětralínové pláště, terciér a kvartér).

Skulptace lechatelieritu: vztah k chemickému složení?

Is the lechatelierite sculptation related also to chemical composition?

Vladimír KNOBLOCH

K nádraží 155, 25166 Mirošovice

E-mail: knobloch.v@volny.cz

Václav PROCHÁZKA

Ústav skla a keramiky VŠCHT, Technická 5, 16628 Praha 6

E-mail: vprochaska@seznam.cz

Anna LANGROVÁ

Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 269, 16500 Praha 6

E-mail: langrova@gli.cas.cz

Abstract: Systematic compositional differences between individual lechatelierite objects as well as within each object in moldavites were detected using electron microprobe.

Key words: moldavites, lechatelierite, sculpturing, chemical composition

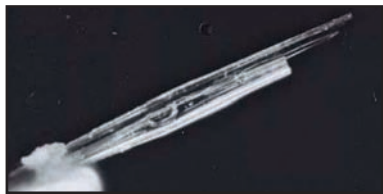
Abstrakt: Studium pomocí elektronové mikrosondy byly zjištěny ve vltavínech systematické rozdíly mezi lechatelieritovými uzavřeními a v rámci jedné uzavřeniny

Klíčová slova: vltavíny, lechatelierit, chemické složení, skulptace

Úvod

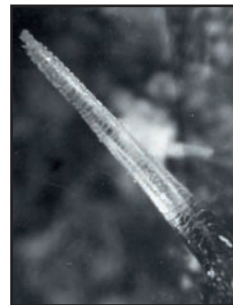
Inkluze lechatelieritu jsou díky větší korozní odolnosti uvolňovány z okolní moldavitové hmoty. Skulptaci lechatelieritových výčnělků i volných zrn z jihočeských vltavínů dokumentovali KNOBLOCH & al. (1987, 2009). Vedle pravidelné a poměrně hrubé skulptace, která bývá orientována buď příčně, nebo podélně vůči protažení lechatelieritu (obr. 1 a, b), se vyskytují také systémy žlábků (hloubky několika mikrometrů) vytvářejících nepravidelnou síťovitou strukturu (obr. 2, 3). Na rozdíl od skulptace vltavínů je hloubka těchto žlábků na různých úlocích lechatelieritu srovnatel-

ná. Protože takto nepravidelnou skulptaci lze těžko vysvětlit pouze rozložením prutí, byla zkoumána možnost, jestli má skulptace vztah k chemickému složení, tzn. jestli žlábký vznikají v místech, kde by složení skla mohlo být méně odolné vůči korozi. V tomto příspěvku jsou uvedeny první výsledky.



Obr. 1 a) – podélná skulptace lechatelieritu, snímek v sekundárních elektronech.

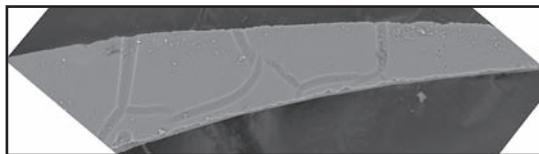
b) – příčná skulptace, šířka záběru 4 mm. Převzato z KNOBLOCH & al. (2009).



Metodika

Po opatrném vyjímání a čištění moldavitových objektů lze nalézt lechatelieritové výčnělky a lechatelieritové „můstky“ přes rozměrnější skulptační žlábký. V písčitéch sedimentech lze izolované lechatelieritové úlomky získat hlavně vymytím z jílovitých „polštářků“ vytvořených na spodní straně vltavínů. Ze získaného výplachu lze pak lechatelierit izolovat pomocí těžkých kapalin a mechanickým oddělením pod mikroskopem.

Protože lechatelierit obsahuje obvykle více než 99 % SiO_2 , je bodové stanovení příměsí obtížné a vyžaduje aspoň vlnově disperzní elektronovou mikroanalýzu. Touto technikou byl zkoumán nejprve neseříznutý úlomek lechatelieritu (z lokality Besednice), na němž je skulptace dobře pozorovatelná (obr. 2).

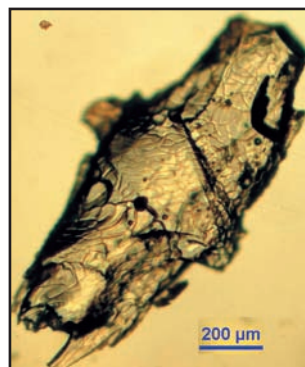
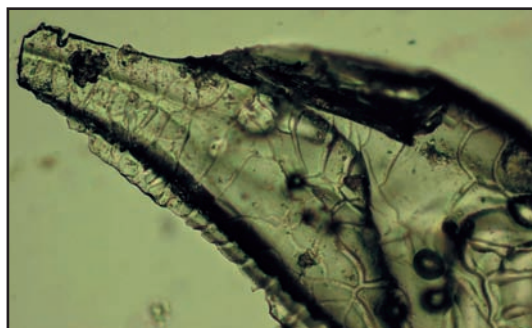
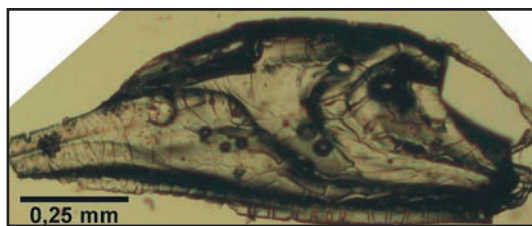


Obr. 2 – lechatelierit analyzovaný bez broušení a leštění povrchu, snímek v sekundárních elektronech.

Nerovný povrch vzorku je ovšem problémem, který způsobuje značnou nejistotu ohledně spolehlivosti měření. Analytické sumy jakožto první kontrola správnosti jsou nicméně vyhovující v 8 z 10 analyzovaných bodů, pouze ve dvou bodech jsou příliš nízké (za předpokladu, že není přítomna voda nebo jiná neměřená složka).

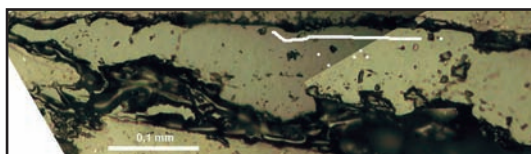
Byl též zhotoven nábrus z jiného plochého úlomku lechatelieritu z Besednice, který byl orientován pokud možno co nejvíce kolmo vůči rovině nábrusu. Tento preparát je již plně vyhovující pro mikroanalýzu, ale zase v něm nelze jednoznačně identifikovat žlábký pozorované na neupraveném vzorku. Snímek úlomku před zpracováním nábrusu je na obr. 3.

Všechny analýzy byly provedeny na mikrosondě Cameca SX-100 v Geologickém ústavu AV ČR v Praze-Suchdole.



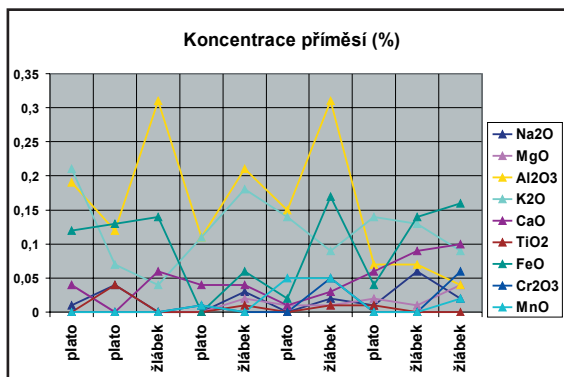
Obr. 3 a), b) – celkový pohled a detail lechatelieritu analyzovaného v nábrusu v procházejícím světle, c) – jiný úlolek lechatelieritu s hustější skulptací.

Obr. 4 – část lechatelieritu v nábrusu v odraženém světle se schematickým vyznačením analyzovaného profilu a dalších bodů.



Výsledky

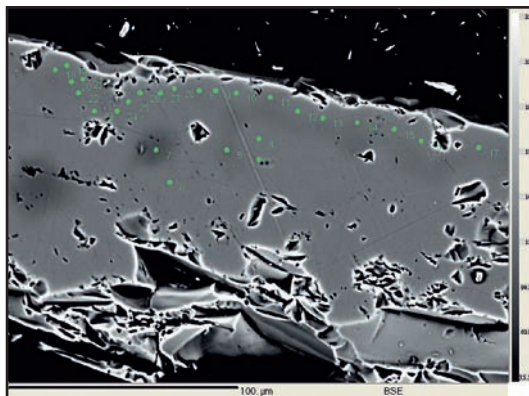
Podle analýz neupraveného vzorku je ve žlábcích poměrně vysoký obsah Al_2O_3 (až přes 0,3 %). Podobný trend nelze vyloučit ani u Fe, Na, Ca a Mg, které se však většinou nacházejí pod mezí detekce, stejně jako ostatní analyzované příměsi (kromě K, který však žádnou tendenci nevykazuje). Suma všech příměsí je ve žlábcích systematicky vyšší. Na základě těchto výsledků by bylo možno také usuzovat, že mateřkou hmotou lechatelieritu byly úlomky jemnozrnných křemenců, které nebyly dokonale homogenizovány. To by potvrzovalo významnou informaci, že teplota tavení prekursoru moldavitů byla relativně nízká a doba tavení extrémně krátká.



Obr. 5 – grafické znázornění příměsí v lechatelieritu s nezarovnaným povrchem (obr. 2).

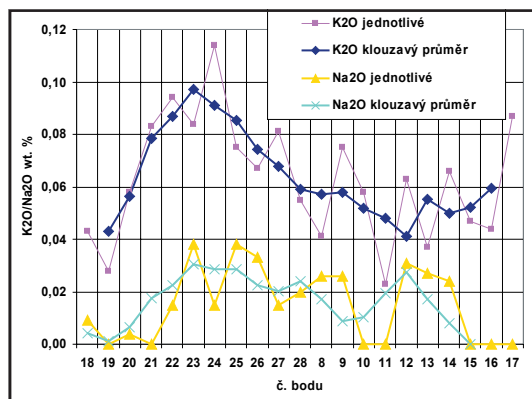
V nábrusu byl jedinou příměsí v lechatelieritu běžně nad mezí detekce K_2O , a zvláště obsah Al vychází výrazně nižší než v analýzách neupraveného vzorku. Chemické nehomogenity byly hledány hlavně v profilu rovnoběžném s poměrně rovnou hranou povrchu. Blízko největší prohlubně, která by snad mohla představovat skulptaci – žlábek vzniklý korozi, je nejvyšší obsah K_2O (body č. 23, 24) a pravděpodobně i Na_2O , snad i dalších příměsí. Pro zmírnění fluktuací daných obtížně měřitelnými nízkými koncentracemi byl též vypočítán klouzavý průměr ze tří bodů. Potvrdil se výrazný trend postupného nárůstu obsahu K_2O do bodu č. 23 (z obou stran).

Analyzované body uvnitř lechatelieritu nemají znatelně odlišné složení než u okraje. Pouze bod č. 7 se odlišuje poněkud nižším SiO_2 i analytickou sumou; zároveň leží v oblasti o něco tmavší v odrazených elektronech. To by mohlo znamenat přítomnost nějaké lehké neanalyzované složky (voda?), ale také nesouvislý povrch (na submikronové úrovni).



Obr. 6 – snímek lechatelieritu (nábrus) v odrazených elektronech s vyznačením analyzovaných bodů.

Obr. 7 – obsahy K_2O a Na_2O v profilu na okraji lechatelieritu (obr. 6).



Závěr

Zjištěné chemické nehomogenity v lechatelieritu (jak rozdíly mezi oběma vzorky, tak i uvnitř vzorku) lze těžko vysvětlit jen analytickými nepřesnostmi. Jejich vztah ke skulptaci zatím nelze považovat za přímo prokázáný. K tomu by bylo třeba mnohem více bodových analýz nebo úsečkové analýzy, které by umožňovaly přesněji zmapovat geometrii těchto chemických nehomogenit a spolu s důmyslnou optickou dokumentací ji porovnat se skulptací. Určitý rozpor zatím je, že skulptační rýhy jsou ostře ohraničené, zatímco oblasti odchylného složení přecházejí do okolí spíše pozvolna (i když je třeba brát v úvahu také možný malý úhel mezi průběhem těchto oblastí a povrchem vzorku a ovlivnění analýzy hmotou těsně pod povrchem). Na druhé straně lze předpokládat, že sklo s vyšším obsahem K_2O a dalších příměsí bude i při malých rozdílech za milióny let korodováno více, i když experimentálně nelze korozi vedoucí ke vzniku takto jemné skulptace napodobit.

Poděkování

Za informace o korozi skel děkujeme Ing. Heleně HRADECKÉ.

Summary

Lechatelierite inclusions in moldavites are isolated by weathering of the less resistant surrounding moldavite mass and then exposed to selective weathering at which sculptation forms (see also KNOBLOCH & al. 1987, 2009). The sculptation can be longitudinal (Fig. 1a) as well as transversal (Fig. 1b). This contribution, however, is intended on the rather fine sculptation at which irregular grid of shallow (relatively homogenous depth of few μm) grooves formed (Fig. 2 – secondary electrons, Fig. 3 – transmitted light). Possible relation of the fine sculptation to local chemical composition was investigated by wave-dispersive electron microprobe.

In an unpolished lechatelierite fragment (Fig. 2), there seem to be systematically higher concentration of admixtures (mainly Al_2O_3) in the grooves (*žlábek*, see Tab. 1 and Fig. 5). Although some problems with the uneven analyzed surface cannot be excluded, the analytical totals were mostly close to 100 %, and the fluctuation of very low concentrations is even more suppressed using the sum of all admixtures (*suma bez SiO_2* , Tab. 1a).

Another lechatelierite from the same locality was analyzed in polished section, which reduced analytical problems, but the location of sculptation grooves is less certain. In the analyzed profile close to the lechatelierite surface (Fig. 4, 6), mainly K_2O and Na_2O contents are highest in the area which could correspond to a sculptation groove (maxima in points No. 23 and 24 on Fig. 6, 7). To reduce fluctuations, also running average from 3 neighbouring points was calculated (*klouzavý průměr*, Fig. 7). Overall, in the lechatelierite in polished section mainly lower concentrations of Al were measured than in the first one.

It can be summarized that there are systematic compositional differences between individual lechatelierite objects as well as within each object. These differences probably cannot be explained solely by analytical uncertainties. Although their relation to the sculptation is not directly proven yet, it can be expected that the less pure SiO_2 glass will be less resistant to weathering, and this difference could be manifested in geological time during formation of the sculptation.

Literatura

- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., KUČERA J., TLÁSKAL J. & URBANEC Z., 1987: Lechatelierite Inclusion in Moldavites and Lechatelierite Fragments in Host Sediments. 2nd Int. Conf. on Natural Glasses., p. 385 - 389, Prague.
- KNOBLOCH V., ŘANDA Z., LANGROVÁ A. & Urbanec Z., 2009: Lechatelieritové inkluze v moldavitech. – *Geochemie a mineralogie* 3, 11 str.

Tab. 1 – Analýzy lechatelieritu s nezarovnaným povrchem (obr. 2),

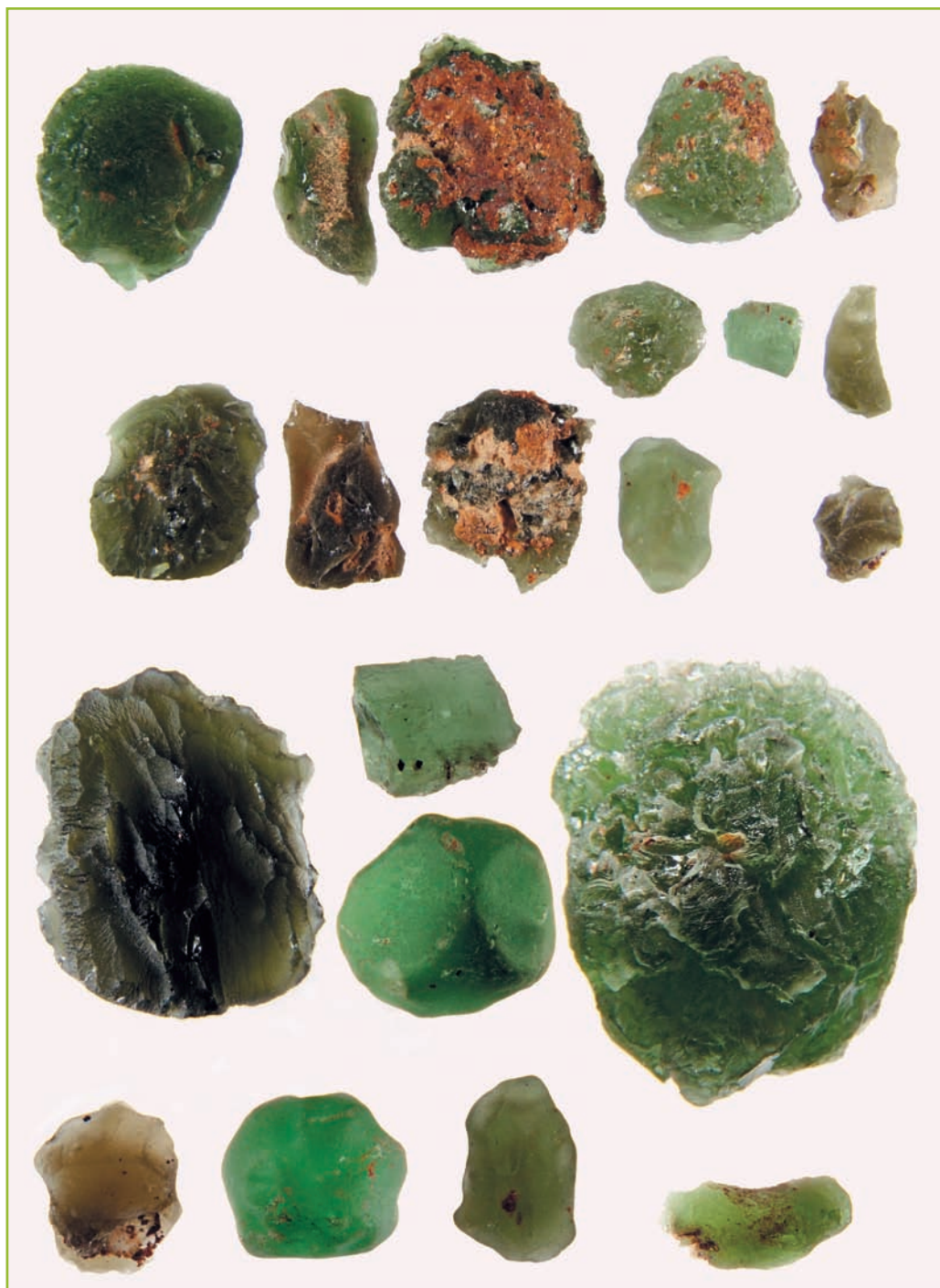
č.an.	2.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	průměr	průměr
tvar	plato	plato	žlábek	plato	žlábek	plato	žlábek	žlábek	plato	žlábek
SiO ₂	99,32	100,1	100,03	99,76	100,62	99,79	98,44	98,85	99,74	99,49
TiO ₂	0,04	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0,013	0,005
Al ₂ O ₃	0,12	0,11	0,21	0,15	0,31	0,07	0,07	0,04	0,113	0,158
Cr ₂ O ₃	0	0,01	0	0	0,05	0	0	0,06	0,003	0,028
FeO	0,13	0	0,06	0,02	0,17	0,04	0,14	0,16	0,048	0,133
MnO	0	0,01	0	0,05	0,05	0	0	0,02	0,015	0,018
CaO	0	0,04	0,04	0,01	0,03	0,06	0,09	0,1	0,028	0,065
MgO	0	0	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,008	0,020
Na ₂ O	0,04	0	0,03	0	0,02	0,01	0,06	0,02	0,013	0,033
K ₂ O	0,07	0,11	0,18	0,14	0,09	0,14	0,13	0,09	0,115	0,123
Total	99,71	100,37	100,59	100,15	101,36	100,15	98,95	99,39	100,10	100,07
suma bez SiO ₂	0,4	0,28	0,55	0,38	0,74	0,35	0,5	0,53	0,35	0,58

b) analýzy s nízkými sumami

č.an.		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	Total
1.	plato	0,01	0,04	0,19	90,12	0,21	0,04	0	0,12	0	0	90,73
3.	žlábek	0	0	0,31	94,28	0,04	0,06	0	0,14	0	0	94,83

Tab. 2 – Mikroanalýzy lechatelieritu (body na obr. 4)

č. an.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	total	Σ bez SiO ₂
3.	100,57	0	0,025	0	0	0	0,02	0	0,079	100,69	0,124
4.	99,75	0,029	0,03	0	0	0,013	0	0,015	0,052	99,89	0,139
5.	99,20	0,018	0,035	0	0,063	0,008	0	0,049	0,079	99,45	0,252
6.	98,73	0,011	0,025	0	0	0,016	0,016	0,038	0,096	98,93	0,202
7.	97,18	0,035	0,034	0	0	0,019	0	0	0,069	97,33	0,157
8.	99,46	0	0,001	0,077	0,126	0	0	0,026	0,041	99,73	0,271
9.	99,25	0	0,005	0	0	0	0,011	0,026	0,075	99,36	0,117
10.	99,72	0,011	0	0	0,126	0,025	0,001	0	0,058	99,94	0,221
11.	98,46	0	0,022	0	0	0,005	0	0	0,023	98,51	0,05
12.	98,95	0,005	0,03	0,108	0,095	0	0	0,031	0,063	99,28	0,332
13.	98,68	0,022	0,014	0	0,095	0,016	0,013	0,027	0,037	98,90	0,224
14.	99,33	0	0,001	0,015	0,221	0,024	0	0,024	0,066	99,68	0,351
15.	99,73	0	0,013	0,092	0,157	0,008	0,02	0	0,047	100,07	0,337
16.	99,69	0,011	0	0	0,222	0,005	0	0	0,044	99,97	0,282
17.	99,35	0	0,06	0	0	0,006	0	0	0,087	99,50	0,153
18.	99,30	0,04	0,031	0,015	0	0	0,001	0,009	0,043	99,44	0,139
19.	99,05	0	0,035	0	0,032	0,005	0,003	0	0,028	99,15	0,103
20.	98,99	0	0,016	0,185	0,158	0,021	0,001	0,004	0,058	99,43	0,443
21.	99,03	0,011	0	0	0	0,013	0	0	0,083	99,13	0,107
22.	99,59	0,009	0,04	0	0,126	0	0	0,015	0,094	99,88	0,284
23.	98,74	0,044	0,033	0,015	0	0	0,015	0,038	0,084	98,97	0,229
24.	99,46	0,011	0,014	0,015	0	0,019	0,003	0,015	0,114	99,65	0,191
25.	99,38	0,015	0,005	0,077	0,032	0,025	0,006	0,038	0,075	99,66	0,273
26.	98,88	0	0,007	0,138	0,095	0,009	0	0,033	0,067	99,23	0,349
27.	98,95	0,018	0,056	0,062	0,095	0	0	0,015	0,081	99,28	0,327
28.	99,54	0	0	0	0	0,013	0,009	0,02	0,055	99,64	0,097



Příklad různých tvarů, povrchu (skulptace) a barev (chemického složení) vltavínů z lokality Chlumeč a Dřiteň (ohlazený hranec). Sbíral ing. M. VLÁŠEK, foto P. RAJLICH.

Vltavíny jako Měsíční meteority (selenity)

Moldavites as Lunar meteorites (selenites)

RNDr. Petr Rajlich, CSc., PhD.

Jihočeské muzeum v Českých Budějovicích, Dukelská 1, 370 51 České Budějovice

E-mail: RajlichPetr@email.cz

Abstract 1) Intact pieces (shards) of statically solidified bubble glass in larger volume, locally enriched with more volatile SiO₂ and

2) gradual transformation of its fragments in different stretched (modeled) moldavite shapes during their flight through the Earth's atmosphere,

testify for dual melting of the glass. The size of moldavites (on average 4-5 g) also suggests that the glass penetrated the Earth's atmosphere at slower speed (11 km/s ?) than the normal speed of impact (16-72 km/s). While the second smelting is linked to the flight through the atmosphere, the first smelting probably represents impact glass of the granite composition solidified in the static conditions in the area without a gaseous atmosphere near the planetary surface (Moon?). Likely splintering of larger glass body, parallel flight direction from NW to SE of the Ries crater projectile as well as bolides that may have shaped the moldavite strewn fields, together with mechanical and geochemical data and with the recent discoveries of highly evolved siliceous rocks on the Moon excludes the Ries crater as their source.

Key words: moldavite, splash form, source, Moon, Ries

Abstrakt 1) Neporušené střepy staticky utuženého většího objemu homogenizovaného skla s bublinatou stavbou, obohaceného zároveň místy více těkavým SiO₂ a

2) zřetelné, postupné přetváření jeho zlomků do různě protažených a modelovaných vltavínových tvarů během letu zemskou atmosférou,

dokládá dvojí tavení skla vltavínů. Velikost vltavínů (v průměru 4 – 5 g) tak rovněž naznačuje, že sklo proniklo do zemské atmosféry pomaleji (11 km/s ?), než jsou běžné rychlosti dopadů (16 – 72 km/s).

Zatímco druhé tavení je spojeno s průletem vltavínových zlomků atmosférou, první tavení představuje pravděpodobně impaktivní sklo složené kyselou žulou, utužené ve statických podmínkách v prostoru bez plynné atmosféry v blízkosti planetárního povrchu (Měsíce?). Pravděpodobné roztržení většího skleněného bolidu, souběžný směr letu ve směru od SZ jak tělesa, které vytvořilo kráter Ries, tak i bolidu (ů), které pravděpodobně formovaly pádové pole vltavínů, spolu s mechanickými a geochemickými daty a s nedávnými objevy oblastí s vysoce křemičitými horninami na Měsíci, zároveň vylučuje kráter Ries jako jejich zdroj.

Klíčová slova: vltavín, celotvar, zdroj, Měsíc, Ries

Úvod

Ustálený názor zvláště z 80. až 90. let minulého století, že sklo vltavínů vzniklo z povrchových hornin z místa dopadu meteoritu kráteru Ries v Německu (FAUL 1966; LUFT 1983; KOEBERL 1986; BOUŠKA 1992; von ENGELHARDT & al. 2003; ROST 1972; VAND 2009; a mnozí další), nepodpořilo jak porovnání chemismu vltavínového skla a hornin okolí Riesu (MEISEL & al. 1997; KOEBERL 1986; von ENGELHARDT & al. 2003; MIZERA ústní sdělení; aj.), tak i směr dopadu tělesa kráteru Ries a vltavínů, tj. od SZ. Většina v té době provedených prací byla zaměřena na chemickou otázku podobnosti vltavínů s horninami v okolí Riesu, shodného stáří vltavínů a suevitů (KOUL 1979; VINCENZO & SKÁLA 2009), či na matematickém modelování s uvážením kráteru Ries jakožto zdroje vltavínů (KALENDA & PECINA 1997; ARTEMIEVA & al. 2002, STÖFFLER & al. 2002). Menší pozornost byla věnována možnému využití vltavínových tvarů a jejich vnitřní stavby (KNOBLOCH & al. 1988) pro ověření hypotézy jejich původu z Rieského impaktu. Podrobné a stále platné studium tvarů, které bylo v prvních obdobích výzkumu provedené WOLDŘICHEM (1898); SUESSEM (1900), HANUŠEM (1928), OSWALDEM (1935 a 1942) aj., které dovedlo autory k úvahám o přímém meteoritickém původu vltavínů, má tak stále své pevné místo ve vltavínovém výzkumu. K tomu přispívají i laboratorní fyzikální modely tvorby vltavínových celotvarů (CHAPMAN & LARSON 1963; ELKINS-TANTON & al. 2003), srovnávací sběry lépe uchovaných (méně druhotně – chemicky skulptovaných a tvarově nesmírně bohatých) indočinitů (M. TRNKA), popřípadě teoretické práce (SEPRI & CHEN 1981). Nakonec zjištění oblastí vysoce rozrůzněných křemičitých hornin (žulové povahy) na Měsíci sondou Diviner z podzimu roku 2010 (GLOTCH & al. 2010; GREENHAGEN & al. 2010; PAGE 2010) zbavuje výzkum vltavínů vazby na jediný možný zdroj, kterým se jevil donedávna kráter Ries, a rehabilituje názory NININGERA (1940), O'KEEFEHO a jeho spolupracovníků (CAMERON & O'KEEFE 1962; O'KEEFE & LOWMAN 1965) o možné přítomnosti žul jakožto zdroje tektitů na Měsíci stejně jako obdobné na svou dobu mimořádně pionýrské úvahy českého badatele Ing. F. HANUŠE (HANUŠ 1928). Pro sblížené stáří impaktitů Riesu a vltavínů bude nezbytné hledat jiné vysvětlení.

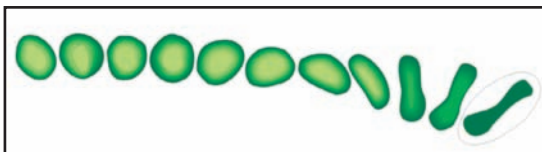
Vltavínové tvary a jejich vývoj

Vývojová řada celotvarů zvláště jihočeských vltavínů poukazuje na jejich vznik proměnlivým natavením dosti homogenizovaného a z velké části také bublinatého skla, které se roztrátilo zřejmě při nárazu do zemské atmosféry rychlostí (11km/s). Rychlost nebyla zřejmě dostatečná na to, aby se zlomky tělesa z větší části odpařily v zemské atmosféře (HANUŠ 1928). Tvarovou systematiku včetně prvotní (letové) a druhotné (chemické) skulptace nalezených a popsanych vltavínů vytvořili WOLDŘICH 1898, SUESS 1900, HANUŠ 1928, OSWALD 1935, 1942 a další. V naší práci se zabýváme pouze tvary, které dokládají dvojí tavení vltavínů, tj. roztráštění skla s bublinami a jeho tavení při průletu atmosférou.

ÚPLNÉ TVARY Z PRŮLETU ZEMSKOU ATMOSFÉROU

Představu o vzniku celotvarové řady tektitů od rotačního disku až po činku je možné si učinit na základě laboratorního modelu ELKINS-TANTON & al. 2003 (obr. 1).

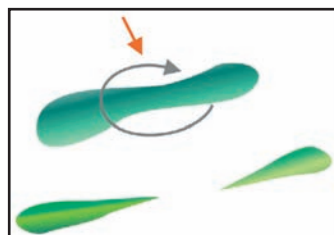
První provedený laboratorní model, ukazuje základní celotvary, které vltaviny získaly po úplném roztavení skla průletem zemskou atmosférou s velkým uplatněním otáčení padajícího předmětu (BARNES & BARNES 1973; ELKINS-TANTON & al. 2003). Váha největších disků podle sbírkových kusů v jihočeském muzeu představuje ca 160g, u činek a kapek 40g (obr. 2 a, b). HANUŠ (1928) odhaduje váhu kapek až na 200g a vůbec největší váhu vltavinů podle nalezených úlomků na 500g. Porovnáním vltavinů s indočinity, kde jsou ve velké míře nalézány činky v různém stupni vývoje, je možné odvodit jejich pokračující vývoj otáčením podle svislé svislé osy. Z disků tak vznikají nejprve činky a otáčením činek podél svislé osy a při roztržení odstředivou silou vzniknou roztržením protáhlé kapky (obr. 3). Všechny uvedené celotvary podle ELKINS-TANTON & al. (2003) a podle indočinitů, mohou obsahovat bubliny (obr. 4), které jsou pro nás nejzajímavější. Jedná se hlavně o duté kapky, činky, jejich zlomky a nepoškozené mezistěny původního bublinatého skla.



Obr. 1 – Přeměna točivého disku na činku (piškot), podle laboratorního modelu ELKINS-TANTON & al. 2003, poslední útvar vpravo odvozen podle celkového trendu.



Obr. 2a) – Velký cca 160g těžký disk (koláč ROST 1972; doplněna chybějící část – opakovaná bílá čára v horní části), nalezený p. JAKUBCEM v okolí Plástovic; 2b) – příklad ca 30 g těžké kapky s rozlomenou ochlazenou špičkou a tekutým vnitřkem z lokality Chlum, sbíral p. B. STANĚK; vpravo kapka s deformovanou špičkou (Chlum).



Obr. 3 – Vznik kapek z činek.

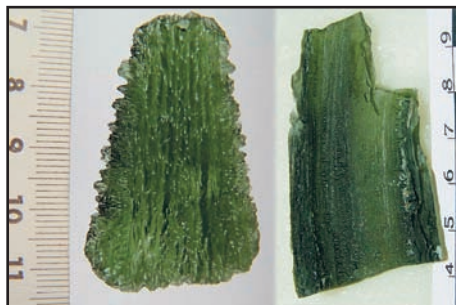


Obr. 4 – Vltavinové činky a kapky s bublinami, kapka s otevřenou bublinou.

Vltavíny (kapky) s bublinami

První obsáhlejší popis vltavínů s bublinami pochází od J. N. WOLDŘIČHA (1898), s. 646: „Důležitým zjevem jest, že mezi vltavíny mé sbírky nalézají se též exempláry, jež s pumami dutými porovnati dlužno. Obrazec náš 8 a) podává vnitřní pohled takové asi na třetinu prasknutím odtrhnuté pumy z Radomilic; vnější průměr její obnáší 3,15 cm, tloušťka (šířka) 2 cm; kdežto dutina vnitřní jest 1,75 cm dlouhá, 1,05 cm široká a 0,55 cm hluboká. ... povrch vnitřní stěny dutinové pokryt skulpturou ještě jemnějších důlků těsně k sobě přiléhajících. Připouští se povahu pumovou vltavínu tohoto, a těžko to popříti, byl by vzniknul povrch vnější letem ve vzduchu, kde puma praskla, po čemž nabyl povrch odražené stěny jemnější skulptury a současně stěna dutiny ještě jemnější. Exemplář ten není však osamocený. Chovám ve sbírce své, a jistě i jinde, zejména ve velmi bohaté sbírce knížete Adolfa ze Schwarzenberga najdou se podobné exempláry, zlomky i jiných, též mnohem větších exemplářů. Zlomky ty byly mi před léty nezáhadnějšími.“

Tvorba dutých kapek (obr. 4) probíhala modelací úlomků s jednou větší, popřípadě s několika bublinami, které byly protahovány společně s okolním sklem. Velikost bublin byla variabilní. OSWALD (1935) na základě zakřivení jednoho miskovitého úlomku odhaduje rozměr původní bubliny na malý meloun. U protažených dutin lze předpokládat až několikanásobné zvětšení jejich původního objemu spojené s protahováním skla pláště. Směr protahování stěn je dobře patrný na vnitřní striaci (rýhování) stěn (obr. 5). Roztahování bublin a zvětšování jejich objemu snížilo rovněž vnitřní tlak v bublině. Vytvořené vakuum mohlo zapříčinit deformování (zplošťování) kapky atmosférickým tlakem okolního vzduchu ještě v neutuhlém stavu (obr. 6). Zploštělé duté kapky popisuje Ing. F. HANUŠ (1928), s. 2: „Zajímavý objev dodala mně sbírka zejména, co se týče povstání (vzniku – pozn. aut.), formy kapky zploštělé ostré, – totiž ten, že původem jsou vesměs z obyčejné kapky „slzovité“ okrouhlého průřezu, které byly větší bublinou v nich se nalézavší roztrženy, načež neustydle ještě protáhle stěny se opět stmelily, což jim dalo tuto novou zploštělou formu.“ S ing. F. HANUŠEM (1928) výše uváděnou zploštělou formou dutých kapek se setkáváme často ve sbírkách jihočeských vltavínů (obr. 6a). V řadě případů nalézáme jen část zploštěné původní stěny kapky s bublinou (obr. 6b). Největší nalezený zlomek původní stěny dutiny dosahuje 12,8 cm (váha 130g), původní dutá kapka mohla dosahovat délky až 30 cm (obr. 6e). Závislost velikosti kapky na velikosti bublin a opačně by ukazovala na to, že velikost kapek byla předurčována velikostí bublin (lom skla probíhal podél příček – mezistěn v bublinatém skle, viz dále). Stěny obalující bublinu byly někdy ztenčeny natolik, že se vytvořil otvor ve stěně kapky (obr. 4), nebo lahvovité ukončení kapky, které zmiňuje HANUŠ (1928), obr. 4. Duté kapky rovněž poukazují na to, že zdrojem jejich modelování bylo i sklo se značně velkými bublinami OSWALD (1935).



Obr. 5 – Vnitřní rýhování (striace) stěny kapky s bublinou.



Obr. 6 – Zploštělé duté kapky; a) – smáčknutí stěn duté kapky v závislosti na síle stěny; b), c), d) – ploché – smáčklé úlomky stěn kapek s bublinou, e) – 130 g těžký zlomek stěny velké kapky s bublinou. Některé kapky mohly dosahovat HANUŠEM (1928) uvažovaných 500 g.

Korýtká

Vnitřní bubliny vytvářením ztenčených stěn podmiňují snadnější lom kapek podél prasklin kolmých na osu kapky a to pravděpodobně již ve vzduchu (obr. 7). Úlomky dutých kapek pak mají kruhovitý tvar, s většinou nezploštělými či málo zploštělými průřezy původní dutiny. Tyto tvary nazýváme *korýtká*. Jsou různě dlouhá, zřejmě v závislosti na délce původní kapky. V některých případech je sbíhavost stěn „korýtká“ minimální. V těchto případech byl patrně zlomek původní kapky ještě dále roztažen. Korýtká jsou četnější než ulomené špičky kapek se zbytkem bublin (obr. 7). Poměrně běžný výskyt „korýtek“ rovněž poukazuje na to, že kapky s bublinami byly poměrně častě zastoupeny ve vltavínovém souboru jižních Čech.

Pentlice

Protažené tvary korýtek s neostřími okraji zřejmě vznikají pokračující modelací úlomků stěn dutých kapek (obr. 7). Pro tyto vltavíny se hodí WOLDŘICHŮV (1898) popis třísek lahvového skla. OSWALD (1942) je nazývá tvary pentlicovými. Pokročilejší skulptaci na těchto tvarech vyniká proudovitá stavba vzniklá protažením stěny bubliny.

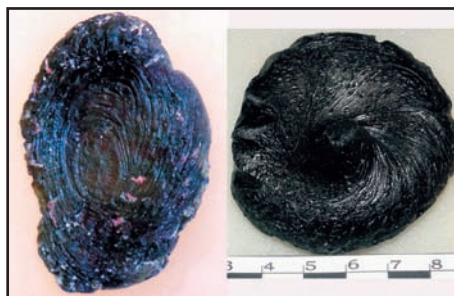


Obr. 7 – Vltavínová „korýtka“ a pentlice (pravá strana obrázku)

DOPADOVÉ ÚPLNÉ TVARY NEUTUHLÉHO SKLA

Dopad neutuhlého, buďto zčásti plastického, či úplně tekutého skla, vidíme na změnách rovnovážných celotvarů. Je to například „rozplácnutí“ kapek při čelním nárazu, popřípadě jejich ohnutí. Plastické ohnutí nalezneme i u protáhlých tvarů pentlic a tyčinek. Dopad vltavínů v polotekutém až tekutém stavu potvrzují zploštělé nebo rozteklé tvary (obr. 8). Pro takové útvary předpokládáme, že sklo při dopadu mělo teplotu přesahující 1200° C (HANUŠ 1928).

Obr. 8 – Úplné roztečení původní spirálově stočené kapky dokumentuje vltavín ze Lhenic o váze 70g, popsáný a získaný OSWALDEM (1942). Podobný jev ještě před stádiem úplného roztečení pozorujeme na sousedním indočinitu.



MEZISTĚNY

Mezistěny nazýváme otisky bublin ve zlomcích žeber bublinatého skla (obr. 9). Na otisky velkých bublin obrátil nejprve zřetel J. N. WOLDŘICH (1898), F. HANUŠ (1928) je popisuje takto: „Některé exempláře vltavínů poukazují na přítomnost i několika velkých bublin, které po svém vyplynutí zanechaly vyvstalá průřezová žebra... Také mezi otisky bublin nacházíme vytažené z jedné neb obou stran do ostří, válcovitě trubkovité z obou stran otevřené, jindy stlačením, zúžené, a někdy i zahnuté... Na dlouhé formy obzvláště bohaté jsou částečné kusy podlouhlých zploštělých kapek, a obsažené v nich trubkovité díry dosahují několika cm délky.

Zvláštní forma bublin velice smáčklých (dříve kulovitých?) vyobrazena jest na vltavínu od Radomilic.“

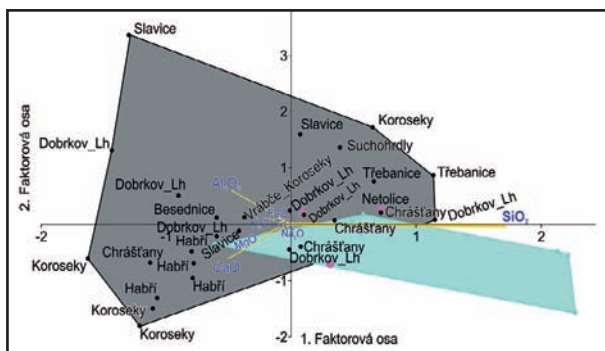
F. HANUŠ (1928), s. 13, popisuje rovněž krajové rozšíření bublinatých vltavínů: „Ač bubliny uvnitř vltavínů se nacházejí téměř na všech českých nalezištích, přece na různých jsou vzácné; nejhojnější jsou ve vltavínech od Radomilic, D. a H. Chrástán a velice bublinaté velké kusy nalezl jsem u Lhenic.“ Podle současné situace se v poměru k ostatním tvarům četné mezistěny bublinatých vltavínů



Obr. 9 – Mezistěny bublinatých vltavínů s otisky bublin.

nalezly ještě v Brusné, Dřítňi, Kočíně a Býšově (obr. 9). Různá četnost vltavínů s bublinami na jednotlivých lokalitách (HANUŠ 1928; TRNKA & HOUZAR 1991) ukazuje na rozdílný poměr bublinatého a kompaktního skla ve zdroji vltavínů, z čehož můžeme usuzovat, že původní sklo bolidu (ů) utuhlo v mocnější vrstvě, která byla u spodu více kompaktní a v horní části v důsledku menšího zatížení nadloží bublinatá tak, jak to vidíme při výrobě skla. To je možným důvodem větší velikosti moravských vltavínů, kde jsou bublinaté tvary vzácnější.

Podle zjištěných tlaků plynů bubliny vltavínového skla byly výsledkem varu skelné hmoty ve vakuovém prostředí (LUKANIN & KADIK 2007). Rozsah výskytu bublinatých vltavínů odpovídá i oblasti výskytu svět-



Obr. 10 – Oddělování oblasti vltavínů Radomilické až Lhenické oblasti ve faktorovém prostoru; modře Radomilická oblast, fialové body Lhenice; 1. osa 77% rozptylu, 2. osa 17% rozptylu. Data von ENGELHARDT & al. 2003.

lých – vodových, více křemičitých vltavínů (obr. 10, 12), JEŽEK (2009). Můžeme spekulovat o tom, že se jednalo o část původní skelné taveniny, která byla blíže planetárního povrchu a kde došlo zároveň k většímu odpařování a oddělené kondenzaci SiO_2 (KONTA & MRÁZ 1975) případně vytvoření křemitého skla s kondenzáty par bohatšími na Na, Si, Fe.

Skulptace

Zjištěním mladší jemnější skulptace na stěnách bublin a lomných plochách a hrubé drážkovité (žlábkovité, brázdíčkovité) skulptace na povrchu původního rozlomeného tvaru (obr. 11), se rychle dospělo k rozlišení prvotní ablační skulptace vzniklé průletem vzduchem a pozdější chemické skulptace leptáním obíhajícími vodami v usazeninách (WOLDŘICH 1898; OSWALD 1935; TRNKA & HOUZAR 1991).

Obr. 11 – Vltaviny s dvojitou skulptací, Býšov. Na později odlomené vnitřní stěně bubliny chybí hluboké rozbrázdění povrchu.



SKULPTACE VZNIKLÁ OTRYSKÁVÁNÍM

Hluboká prvotní ablační skulptace zakřivených drážek (obr. 11) může obsahovat i zbytky zapečené hlíny (OSWALD 1935). Vznik ablační skulptace probíhal v pozdějším časovém stupni letu vltavínů s již více viskózním až ztuhlým (chladnějším) povrchem (SEPRI & CHEN 1981).

SOUBORY VLTAVÍNOVÝH TVARŮ NA „PRVOTNÍCH“ PÁDOVÝCH POLÍCH

Všechny výše popsané celotvary a zlomky mezistěn najdeme v různém poměru četností na jednotlivých lokalitách, kde lze předpokládat menší druhotné přemístění (obr. 12).

VLIV LETU ÚLOMKŮ SKLA V ROJÍCH NA VÝSLEDNÉ TVARY VLTAVÍNŮ

Různé tvary (stupeň přetvoření či modelace) zlomků vltavínového, zvláště bublinatého skla, poukazují na značnou proměnlivost aerodynamických podmínek letu skla vzduchem. SEPRI & CHEN (1981) vysvětlují tento jev letem vltavínů v roji (mraku). Je zřejmé, že vltaviny s celotvary kapek dosáhly nejvyššího stupně tavení, zatímco například nejvíce uchované zlomky mezistěn stěží dosáhly většího stupně natavení (nemají hlubokou drážkovanou skulptaci a bubliny jsou souměrné, obr. 9). Již OSWALD (1942) upozorňoval na to, že vltaviny bývají nalézány často jen v určitých místech i když podle povahy okolního prostředí (například tzv. „vltavínové“ šterky), bychom je očekávali na větší rozloze. Uvažoval o „vltavínových“ bombách, tzn. o rozpadu větších těles, která vytvořila místní koncentraci. Rovněž různé tvary příbližně stejně velkých vltavínů, které se mohou na jednom takovém místě vyskytovat



Obr. 12 – Příklady variability tvarů, skulptace a chemického složení (barvy), celého souboru vltavínů z jednotlivé lokality (nahore Dříteň, dole Býšov).

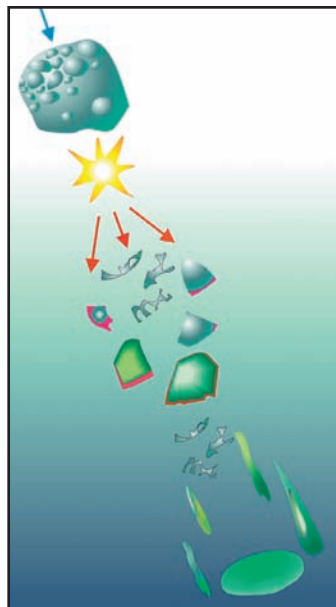
jí v menším množství (to by odpovídalo i menšímu množství větších moravských vltavínů). Velikost a četnost původních bublin tak působila výběrově na přetavení vltavínů. Z tohoto pohledu je možno říci, že větší šanci na průlet atmosférou a dopad na zemský povrch měly vltavíny s menšími hmotnostmi. U řady střepeň bublinových mezistěn nepozorujeme hluboké skulptační drážkování, které je viditelné na kapkách a tvarech s protáhlými bublinami. To podporuje názor, že tyto vltavíny nebyly přetvořeny a představují patrně „chvosty“ dílčích rojů, které letěly v brázdě „rozraženého“ vzduchu za vltavíny na čele roje.

Uvedené aerodynamické chování podporuje podle SEPRIHO & CHANGA (1981) názor o mimozemském původu tektitů, viz rovněž CHAO (1964).

(obr. 12), ukazují na to, že vltavíny letěly ve shluku (roji). Při letu v roji těžší kusy na předku roje rozrážejí vzduch (byly více nataveny) než patrně vltavíny, které se nalézaly uvnitř roje. Ve vnitřních částech roje mohlo zůstat vltavínové sklo i v původní podobě, než bylo přetaveno do disků, kapek, pentlic a činek. Tímto pochodem zdůvodňujeme uchování střepeň s tvary bublinových mezistěn. Velikostně rovnocenné, zřejmě více nepřetavené střepeň z mezistěn bublin patrně pocházejí z vnitřní části roje ušetřené před silným přetavením.

Mezistěny se uchránily také jako menší a lehčí kusy z důvodů menšího odporu vzduchu. Větší kusy byly více přetaveny a tím pádem se vyskytu-

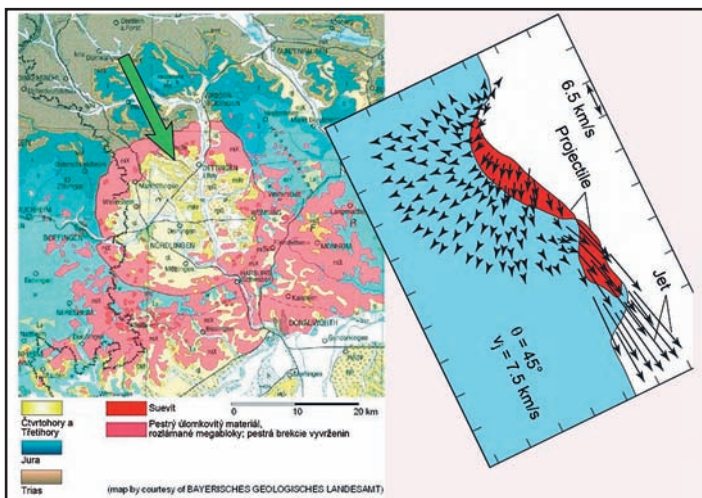
Přetavení skla s bublinatou stavbou doplňuje u vltavínů znaky ablace, které známe u australských a jávských celotvarů a vzniklých za rychlostí ca 5 km s^{-1} (CHAPMAN & LARSSON 1963). Vltavínové sklo nemělo před vstupem do atmosféry ale formu celotvarů (činek, disků, kuliček apod.), kolem kterých se tvořily u australitů a javanitů abladované okraje. Je zřejmé, že vltavíny musely vstoupit do atmosféry jako jediný velký kus, jinak by buďto shořely, nebo bychom na nich pozorovali otavené (ablační) lemy podobně jako na australitech.



Obr. 13 – Let vltavínů v roji.

Diskuse

Je zřejmé, že zjištění a upevnění znalostí o meteorickém původu kráteru Ries (SHOEMAKER & CHAO 1961) nabídlo uchopitelný zdroj vltavínů, zvláště když naše znalosti o chemickém složení Měsíčního povrchu byly zkresleny omezením vzorkování misemi Apollo na menší oblast přivrácené strany Měsíce s výhradně bazickým složením hornin (TAYLOR & KOEBERL 1994). Rieskému zdroji pak byly postupně přizpůsobovány závěry mnoha prací (viz seznam literatury). Pokud byly zjištěny významnější rozdíly například v chemickém či izotopickém složení (von ENGELHARDT & al.



Obr. 14 – Směr dopadu tělesa kráteru Ries, matematický model směru letu vyvrženin podle MELOSHE (1989).

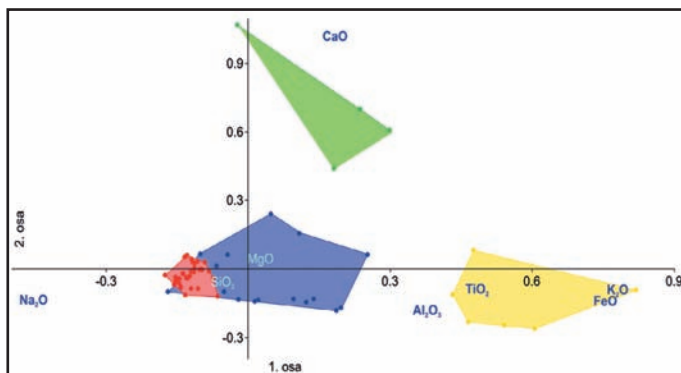
2005), do hry vstoupily pochody, které tyto odchylky měly vyvolat. V případě rozrůžňování prvků měly vzniknout odchylky ve složení povrchových hornin v oblasti kráteru Ries a vltavínů při jejich různé teplotě odpařování či pozměněném chování prvků v plazmatu. Matematické modelování bylo rovněž chybně přizpůsobeno směru dopadu meteoritu kráteru Ries od JZ. O „rehabilitaci“ Měsíce jako možného zdroje vltavínů (O'KEEFE 1976) se zasloužily výsledky sondy Divine z podzimu roku 2010, které zjistily horniny vysoce křemičitého (felzitického či granitového) složení (GLOTCH & al. 2010; GREENHAGEN & al. 2010; PAGE 2010; ROBINSON & TAYLOR 2011) na pěti místech na Měsíci. Jedno z určených míst je kráter Aristarchus citovaný O'KEEFEM (1994).

Ries směr impaktu

Sz. směr dopadu (BAIER 2009) tělesa je určen asymetrickým nahromaděním vyvrženin směrem na JV od kráteru Ries a to i velkých (metrákových) bloků (Reutersche Blöcke), vyvržených do vzdálenosti až 70 km (BUCHNER & al. 2007). Tato jednoznačná skutečnost (MELOSH 1989), obr. 14, je hlavním rozporem všech modelů ať geochemických či mechanických, které uvažují dopad Rieského tělesa od JZ. Tato úvaha má samozřejmě i význam pro posuzování kráteru Steinheim (viz dále).

Chemismus a tvorba vltavínů z hlediska pozemských impaktových dějů

Protože se vltavíny jako celek odlišují kvantitativně chemicky ve všech položkách (obr. 15) od hornin, které jsou považovány za jejich zdroj (LUFT 1983; von ENGELHARDT & al. 2005), byl vysloven předpoklad odpaření hornin a jejich kondenzace (VAND 2009), které by vedly k pozorované homogenizaci vltavínového skla (viz malý rozptyl vltavínů ve faktorovém prostoru, obr. 15), popřípadě ke zvýšení obsahu SiO_2 . Vltavíny, které by vznikly kondenzací par uvolněných



Obr. 15 – Chemické složení vltavínů - červeně, písků svrchní sladkovodní molasy (OSM) - modře, slinitých písků - zeleně a jíllů - žlutě ve faktorovém prostoru. Odvození vltavínů z homogenizované hmoty složené ze všech podílů náráží například na problém celkově nízkých obsahů sodíku v usazeninách; 1. - osa 45 % rozptylu, 2. - osa 41 % rozptylu. Data von ENGELHARDT & al. 2003.

v místě impaktu, by ale nemohly jednak obsahovat hojný lechatelierit (KNOBOCH & al. 1987), popřípadě mít složení blízké horninám zdroje (SEPRI & CHEN 1981). Odchylné izotopické složení křemene ($\delta^{18}\text{O}$ vltavínů +11.5 je nižší než u písků OSM, $\delta^{18}\text{O}$ + 16, ENGELHARDT & al. 1987) těžko sladíme s extrémně redukčními (vedle redukce Fe na dvojmocnou formu, LUKANIN & KADIK 2007; SHEFFER & MELOSH 2005; tvorba volného Si CÍLEK 1985)

a „suchými“ podmínkami tvorby vltavínů, které jsou materiálem s nejnižším známým obsahem vody v přírodě (BERAN & KOEBERL 1997).

Dalšími nevyřešenými otázkami předpokladu pozemského impaktového vzniku vltavínů je:

- 1) tvorba skla, zdůrazněná O'KEEFEM (1976) a JAYAWARDENOU (2004). V průběhu impaktu musí proběhnout tavení, vyčištění a homogenizace skla. Pozorování v terénu ale dokládají, že při bleskové impaktové události na Zemi nejsou vytvořeny podmínky pro odstranění vody z půdy a hornin. Homogenizace vyžaduje navíc difúzi, promíchání a potřebný čas. Pozorované rychlé zahřátí hornin a jejich tavení v impaktech nevytváří tyto podmínky.
- 2) Největší obtíží pro pozemskou impaktovou hypotézu je vysvětlení, jak došlo k vystřelení a prúniku vyvrženin skrze zemskou atmosféru tak, aby se v době mezi startem a dopadem vytvořil větší objem homogenizovaného a vyčištěného skla s bublinami. Pro impaktový scénář jsou tímto požadovány nespílitelné podmínky (O'KEEFE 1976). Například pozorované výrazné dvojí tavení vltavínů vyžaduje návrat do atmosféry rychlostmi kolem 11 km/s. Totéž přinejmenším platí pro rychlost vystřelení z oblasti kráteru, čímž se dostáváme na hranici únikových rychlostí ze zemského gravitačního pole (některé částice dosáhnou výšky 1000 km) a vlivem zemské rotace a lokálního počasí se zvětšuje značně rozptylové pole (6000 km ve směru a 4000 km v kolmém směru k letu, ARTEMIEVA 2003, s počátkem u okraje kráteru Ries, část přímo v kráteru). V hříbu vyvrženého plynu by ale také pravděpodobně neexistovaly redukční podmínky ve shodě s pozorováním spinelů v kondenzovaných silikátových kapkách z kráteru Chicxulub (ARTEMIEVA 2007). Menší rozměry rozptylového pole bychom obdrželi při menším úhlu dopadu (15°), ale jejich největší nahromadění by bylo na okraji a uvnitř kráteru (ARTEMIEVA 2003). Zvyšování startovací rychlosti ale také vede k rychlejšímu vypaření materiálu (ARTEMIEVA 2008). Pokud bychom vystřelili rychlostí 20 km/s oblak prachových zrněk, tak se vypaří v průběhu několika stovek metrů, jak je vidět na příkladu bolidu Břeclav, který měl metr v průměru, byl pevný a vypařil se v průběhu cca 2 km letu ve výšce 40 km, kde je hustota atmosféry řádově menší než na povrchu Země (KALENDA & al. tento sborník). Vypadá to tak, že neexistuje optimální startovací rychlost pro daný objem vyvrženého materiálu a velikost rozptylového pole vltavínů.
- 3) Vltavínové sklo by muselo vznikat v průběhu prvního průletu atmosférou ve shluku neuzpevněných sedimentů (prachu a písku o zrnitostech 0,007 – 0,2 mm, von ENGELHARDT & al. 2005; BOUŠKA 1994, STÖFFLER & al. 2002), který se měl tavit, mísit a homogenizovat. Tento shluk však nemohl být tvořen taveninou od samého počátku, jak předpokládají např. PIERAZZO E. & H. J. MELOSH (2000) nebo STÖFFLER & al. (2002). Je totiž vysoce nepravděpodobné, aby do atmosféry byla vyvržena tavenina, ze které by vznikaly tektity, protože ta by pro svou nulovou pevnost v tahu podlehla explozivní fragmentaci a velice rychlému vypaření v průběhu několika málo kilometrů letu, a to i při vyvržení značného objemu materiálu o průměru srovnatelném

s Tunguským bolidem. Výsledek průletu taveniny pozemskou atmosférou by se tedy podobal spíše Tunguskému bolidu nebo bolidu Benešov, po kterých se našly pouze mikrotektity, kovové sférule a oblak ionizovaného plynu ve stratosféře (R. SLOŠIAR in KALENDA & al. tento sborník).

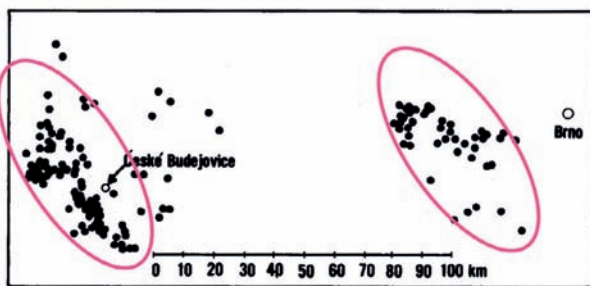
- 4) Jinou námitkou proti pozemskému impaktovému vzniku vltavínů je nepřítomnost úlomků cíle. Kontaminace skla stopami projektilu, která je typickým rysem většiny impaktních skel, je pro vltavíny těžko dokazatelná vzhledem k povaze projektilu kráteru Ries neztotožnitelné se složením známých meteoritů (MORGAN & al. 1979; SCHMIDT & PERNICKA 1994). Pokud měly být vltavíny vytvořeny šikmým dopadem a výtryskem, potom by obsahovaly velké množství těchto nečistot.
- 5) Žádný z modelů pozemského impaktového původu neřeší tvorbu většího objektu s objemem skla, který by odpovídal celkovému množství vltavínů. Například v jihočeské oblasti bloku o průměru několika menších desítek metrů s bublinatější (bubliny až nižší desítky centimetrů v průměru, OSWALD 1935) a kompaktnější částí a s oblastí více obohacenou SiO_2 . Ať už se jedná o možnost „vystřelení“ vltavínového skla z Riesu, nebo o rozpad skleněného bolidu, je zapotřebí posuzovat současně pochod vedoucí k utužení vltavínového skla a pochod jeho rozbití na drobné kousky a opětné roztavení. Na základě analogie s australity lze předpokládat, že v případě, kdy by došlo k úplnému přetavení vltavínového skla při letu směrem vzhůru, tak bychom pozorovali na druhém průletu (pádu) přeměnu celotvarů formovaných letem atmosférou (koule, disky, činky a kapky) s ablačními lemy.

Stáří vltavínů a suevitů

K zjištěnému stáří chebských vltavínů $14,68 \pm 0,11$ milionů let uvádějí VINCENZO & SKÁLA (2009) rozdíl ve stáří mezi vltavíny a suevitovými skly zjištěný více autory metodou ^{40}Ar – ^{39}Ar více než 0,6 milionů let.

Rozptylová elipsa a směr pádu vltavínů

Vystřelené projektily z jednoho bodu vytváří rozptylový kužel, jehož šikmým průmětem je rozptylová elipsa. VAND (2009) s použitím kráteru Ries jako zdroje spojuje jihočeské a moravské vltavíny do jedné elipsy s v. – z. osou. Nepřítomnost vltavínů v území mezi oběma místy zdůvodňuje rozrůzněním podle velikosti a větším nahloučením částic směrem blíže ke kráteru.



Obr. 16 – Rozptylové elipsy jihočeských a moravských vltavínů.

Vzhledem k tomu, že nepovažujeme kráter Ries za zdroj vltavínů, podle našeho názoru se jedná v případě jihočeských a moravských vltavínů o dva samostatné roje vzniklé rozpadem skleněných bolidů (více bublinatého v případě jižních Čech a více kompaktního v případě Moravy). Původní tvar pádového pole jihočeských vltavínů je částečně

modifikován splachy do Budějovické pánve a pravděpodobně i rozvlečením řekami v Třeboňské pánvi. Přesto hlavní směr pádu SZ-JV je pro obě oblasti shodný a dobře čitelný (obr. 16).

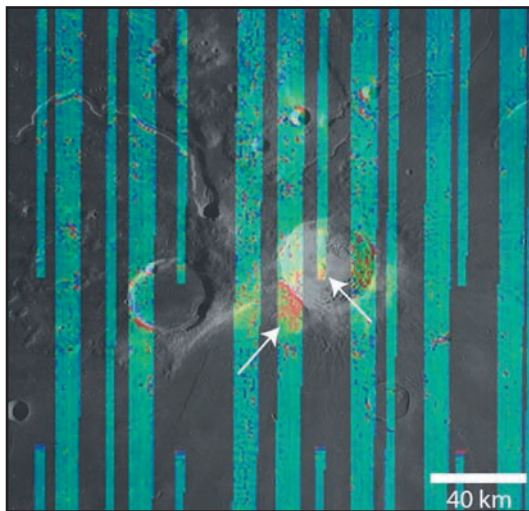
Poznámky ke scénáři Rieské události

I když směry pádu jak meteoritu kráteru Ries, tak i vltavínů SZ – JV jsou shodné, jistotu o směru, ze kterých tělesa přilétly (od SZ) máme pouze v případě kráteru Ries. Určitému uspořádání postupně dopadajících těles by mohla naznačovat linie kráter Steinheim, Ries, chebské a jihočeské vltavíny, okolí Drážďan a moravské vltavíny. Tělesa by se vyznačovala velkými rozdíly ve velikostech a v rychlostech. Zajímavý je z tohoto hlediska kráter Steinheim s dobře patrným středovým pahorkem, dokládajícím výbuch tělesa a vytvoření výrazné přechodné dutiny (výbuchem vznikly také typické tříštivé kužely v horninách). Domníváme se, že toto těleso bylo nejrychlejší. Tyto rysy nenajdeme u daleko většího kráteru Ries (pomalejší těleso?). Suevitová skla v kráteru Ries nesou stopu projektilu, který se zřejmě jen málo lišil od složení pozemských hornin (MORGAN & al. 1979; SCHMIDT & PERNICKA 1994). Chebské vltavíny jsou chemicky podobné jihočeským (BOUŠKA & al. 1995; SKÁLA & al. 2009), lužické z okolí Drážďan moravským (LANGE & MEISEL 1995).

Nález oblastí s žulovým složením hornin na Měsíci

Snímkování radiometrickou sondou Diviner vedlo na podzim roku 2010 ke zjištění pěti míst na Měsíci, kde sonda zaznamenala přítomnost křemene spolu s draslí-

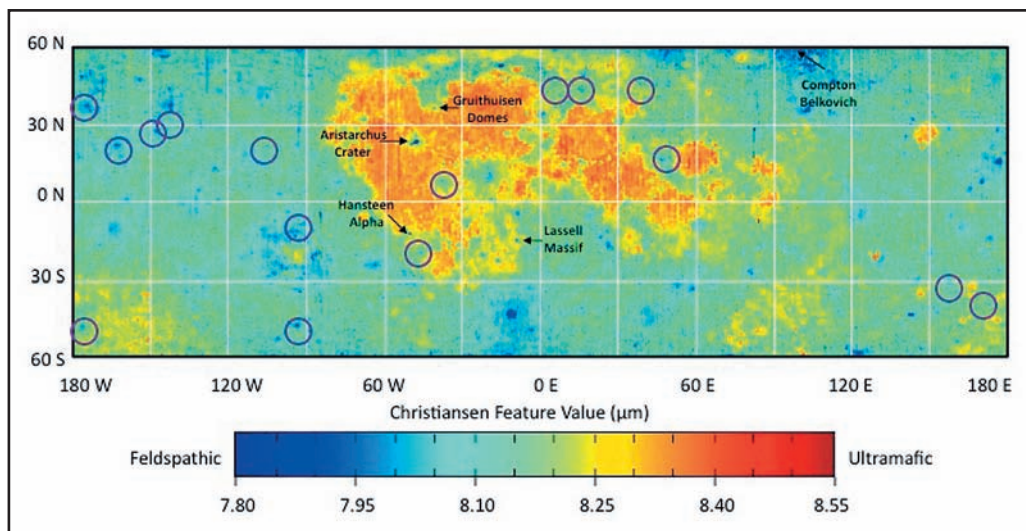
Obr. 17 – Kráter Aristarchus. Údaje ze sondy Diviner jsou zobrazeny v mozaice z Lunar Orbiteru IV. Červené a oranžové barvy označují místa výskytu křemitých hornin. Obrázky podle časopisu Science.



kem bohatým živcem a sodíkem bohatým živcem (obr. 17), tzn. nerostů, které známe z magmatických vysoce křemitých hornin, tzn. vysoce vyvinutých hornin chemicky značně vzdálených bazickým horninám, které se považují za základ řady (GLOTCH & al. 2010; GREENHAGEN & al. 2010; PAGE 2010).

Křemité nerosty se nacházejí v místech, ve kterých už byly dříve zjištěny anomální obsahy Th (například kráter Aristarchus, O'KEEFE 1994; Th až 20ppm, vltavíny průměr 11ppm), které jsou jiným dokladem vysoce vyvinutých hornin. Zjištěné pří-

znaky vysoce křemitých hornin na Měsíci jsou značně odlišné od čedičových moří a anortozitových výšin. To, že se nacházejí v řadě různých geologických oblastí napovídá, že na Měsíci proběhla řada pochodů, při kterých tyto horniny vznikly. V oblasti jako je dóm Gruithuisen (obr. 18a) jsou strmé svahy a členitý povrch, o kterých můžeme soudit, že jsou to dómy vytvořené pomalým výstupem viskózní lávy. V pří-



Obr. 18 – Mapa s místy, kde anortozitová kůra Měsíce vykazuje anomálie ve složení (nachově). Moře bohatá na železo a hořčík jsou zobrazena červeně a vápníkem bohatá vysočina modrozeleně. Pět oblastí s anomálně křemitým žulovým složením je označeno šipkami a jmény. Měření sondy Divine. Podle časopisu Science.

padě kráteru Aristarchus se vysoce křemité horniny nalézají v kráteru a v příkrovu vyvrženin. Při hloubení kráteru impaktem byly patrně odkryty části plutonů, které utuhly v hloubce pod povrchem (ROBINSON & TAYLOR 2011).

Závěr

Vývojová řada celotvarů zvláště jihočeských vltavinů poukazuje na jejich vznik proměnlivým natavením dosti homogenizovaného a z velké části také bublinatého skla, které se roztránilo zřejmě při nárazu do zemské atmosféry určitou rychlostí (11km/s?). Rychlost nebyla dostatečná na to, aby se zlomky tělesa z větší části odpařily v zemské atmosféře. Vltavinové sklo nemělo před vstupem do atmosféry při pádu formu celotvarů (činek, disků, kuliček apod.), kolem kterých se tvořily u australitů a javanitů ablodované okraje. Je zřejmé, že vltaviny musely vstoupit do atmosféry jako jediný velký kus, jinak by buďto shořely, nebo bychom na nich pozorovali otavené (ablační) lemy podobně jako na australitech. Dvojnásobné tavení vltavinů spolu se souhrnem pádových a geochemických dat nepotvrzuje meteoritický kráter Ries jako jejich zdroj. Jako původce vltavinů je vzhledem k novým zjištěním žulových hornin sondou Diviner uvažován Měsíc a rehabilitován názor O'KEEFEHO (1976) o měsíčních granitických horninách jako zdroji vltavinů.

Poděkování

Je mou milou povinností poděkovat řadě kolegů a sběratelů vltavínů za podporu při výzkumech vltavínů a činnostech, které směřovaly k sepsání tohoto příspěvku. Jsou to zvláště M. TRNKA, který mě ochotně nechal nahlížet do svých sbírek. Jsou to B. STANĚK a J. STAŇKOVÁ, se kterými jsem strávil řadu hodin jednak v terénu a jednak prohlížením jejich vybraných vltavínů. Ing. M. VLÁŠEK svými sběry rozšířil značně poznání vltavínové oblasti mezi Dřítíní a Býšovem, kde se nacházejí výjimečně pěkné ukázky mezistěn bublinatých vltavínů a vltavíny různorodých tvarů a barev. RNDr. K. ŠTAJEROVÁ pomohla významně s organizací vltavínového setkání a Bc. S. VENCLOVÁ s fotografováním vltavínů. Dále děkuji Jihočeskému muzeu za možnost spravovat jednu z největších sbírek vltavínů v Čechách a za podporu této práce.

Literatura

- ADAMOVSKÁ D., 1972: Úloha chemismu v názorech na umělý původ vltavínů. – Sbor. Jihočes. muzea v Českých Budějovicích – Přírodní vědy, XII, str. 101 - 124
- ARTEMIEVA A., PIERAZZO E. & STÖFLER D., 2002: Numerical modeling of tektite origin in oblique impacts: Implication to Ries-Moldavites strewn field. – Bulletin of the Czech Geological Survey 77, 303 - 311.
- ARTEMIEVA N. A., 2003: Distal ejecta from the Ries crater – moldavites and projectile. – Large Meteorite Impacts (2003) 4050.pdf
- ARTEMIEVA N. A., 2007: Impact plume numerical modeling. – Workshop on Impact Cratering II (2007), 8026.pdf
- ARTEMIEVA N. A., 2008: Tektites: model versus reality. – Lunar and Planetary Science XXXIX (2008) 1651.pdf
- BAIER J., 2009: Zur Herkunft und Bedeutung der Ries-Auswurfprodukte für den Impakt-Mechanismus. – Kurzfass. der Jahresber. und Mitt.: NF 91: 2009, OBERRHEINISCHEN GEOLOGISCHEN VEREIN.
- BAILEY J. C., 1986: Fluorine and chlorine contents of tektites. – Meteoritics, 21, 295 - 301.
- BARNES V. E. & BARNES M. A., 1973: Tektites. – Stroudsburg: Dowden, Hutchison, and Ross Inc. 445 p.
- BERAN A. & KOEBERL Ch., 1997: Water Content of Tektites and Impact Glasses and Related Chemical Studies. – PROCEEDINGS OF THE 18th LPSC, 403 - 408
- BOUŠKA V., 1992: Tajemné vltavíny. – 84s. Gabriel. Praha.
- BOUŠKA V. & al., 1987: Přírodní skla. – Akademia. Praha.
- BOUŠKA V. & KONTA J., 1990: Vltavíny. – 127 pp. Charles Univ. Press. Praha
- BOUŠKA V. & ROST R., 1968: Celková váha vltavínů. – Sbor. Nár. Mus. řada B, 24, 4. s. 153 - 181. Praha.
- BOUŠKA V., BENADA J., ŘANDA Z. & KUNCÍŘ J., 1973: Geochemical evidence for the origin of moldavites. – Geochim. Cosmochim. Acta 37 (1973) 121 - 131.
- BOUŠKA V., MOTTL V., ROST R. & ŠEVČÍK J., 1995: Moldavites from the Cheb basin, Czech Republic. – Meteoritics, vol. 30, no. 5, page 490.
- BUCHNER E., GRÄSSLIN M., MAURER H., RINGWALD H., SCHÖTTLE U. & SEYFRIED H., 2007: Simulation of trajectories and maximum reach of distal impact ejecta under terrestrial conditions: Consequences for the Ries crater, southern Germany. – Icarus Vol. 191, Issue 1, 1 November 2007, s. 360 - 370.
- CAMERON, W. S. & O'KEEFE, J. A., 1962: Evidence from the moon's surface features for the production of Lunar granites. – Icarus Volume 1, Issues 1-6, 1962 - 1963, Pages 271 - 285

- CÍLEK V., 1985: Možnost výskytu křemíku ve vltavínu z Chlumu (u Ločenic). – Věst. Ústř. Úst. geol., 60, 55 - 57.
- ELKINS-TANTON L. T. AUSSILLOUS P., BICO J., QUÉRÉ D. & BUSH J. W. M., 2003: A laboratory model of splash-form tektites. – *Meteoritics & Planetary Science* 38, Nr 9, s. 1331–1340
- ENGELHARDT von W. V., LUFT E., ARNDT J., SCHOCK, H. & WEISKIRCHNER, W., 1987: Origin of moldavites. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 51, June 1987, s. 1425 - 1443.
- ENGELHARDT von W., BERTHOLD C., WENZEL T. & DEHNER T., 2005: Chemistry, small-scale inhomogeneity, and formation of moldavites as condensates from sands vaporized by the Ries impact. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 69, 23, 1 December 2005, s. 5611 - 5626
- FAUL H., 1966: Tectites are terrestrial. - *Science, New Series*, Vol. 152, No. 3727 (Jun. 3, 1966), pp. 1341 - 1345
- GLASS B. P., WASSON J. T. & FUTRELL D. S., 1990: A Layered Moldavite Containing Baddeleyite. – *Proc. 20th Lunar and Planet. Sci. Conf.*, s. 415 - 420.
- GLOTCH T. D., LUCEY P. G., BANDFIELD J. L., GREENHAGEN B. T., THOMAS I. R., ELPHIC R. C., BOWLES N., WYATT M. B., ALLEN C. C., DONALDSON H. K. & PAIGE D. A., 2010: Highly Silicic Compositions on the Moon. – *Science* 17 September 2010: Vol. 329 no. 5998, s. 1510 - 1513.
- GREENHAGEN B. T., LUCEY P. G., WYATT M. B., GLOTCH T. D., ALLEN C. C., ARNOLD J. A., BANDFIELD J. L., BOWLES N. E., HANNA K. L. D., HAYNE P. O., SONG E., THOMAS I. R. & PAIGE D. A., 2010: Global Silicate Mineralogy of the Moon from the Diviner Lunar Radiometer. – *Science* 17 September 2010: Vol. 329 no. 5998 pp. 1507 - 1509
- HANUŠ F., 1928: O moldavitech čili vltavínech z Čech a Moravy. – *Rozpravy II. třídy Čes. akad.*, 32, čís. 24.
- CHAO E. C. T., 1964: Spalled, Aerodynamically Modified Moldavite from Slavice, Moravia, Czechoslovakia. – *Science*, November 6, 1964, Vol. 146, No. 3645, pages 790 - 791.
- CHAPMAN D. R. & LARSON H. K., 1963: On the lunar origin of tektites. – *J. Geophys. Res.* 68, 14, s. 4305 - 4358.
- CHAPMAN D. R., LARSON H. K. & ANDERSON L. A., 1962: Aerodynamic evidence pertaining to the entry of tektites into the earth's atmosphere. – *NASA, Technical report*, s. 1 - 24.
- JAYAWARDENA, J., 2004: The Formation of Tektites from a Terrestrial Ring Arc. – *Jour. of the Royal Astron. Soc. of Canada*, Vol. 98, No. 5, s. 192.
- JEŽEK J. & al. 2009: Revize vltavínových lokalit v radomilické oblasti. – *MOLDAVITE CONFERENCE 2009 Týn n. Vltavou – Nový Dvůr, Czech Republic September 26th - 27th 2009. Abstrakt.*
- KALENDA P. & PECINA P., 2008: Co vyplývá z matematického modelu vzniku tektitů? – *Sbor. Jihočes. Muz. V Čes. Budějovicích, Přír. vědy*, 48, s. 7 - 13
- KNOBLOCH V., KNOBLOCHOVÁ Z., KUČERA J., TLÁSKAL J. & URBANEC Z., 1987: Lechatelierite Inclusion in Moldavites and Lechatelierite Fragments in Host Sediments. – *2nd Int. Conf. on Natural Glasses*. p. 385 - 389. Prague.
- KOEBERL C., 1986: Geochemistry of tektites and impact glasses. – *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 14, 323 - 50
- KOEBERL C., BRANDSTÄTTER F., NIEDERMAYR G. & KURAT G., 1988: Moldavites from Austria. – *Meteoritics* 23, s. 325 - 332
- KONTA J. & MRÁZ L., 1975: Volatility of oxides from silicate melt and the origin of moldavites. – *Mineral. Mag.*, march 1975, Vol. 40, s. 70 - 8
- KOUL S. L., 1979: Annealing correction to the fission tracks of tektites. – *Mineral. Jour.*, 9, 7, 417 - 423.
- LANGE J. M. & MEISEL T., 1995: Inhomogeneities between and within moldavites. – *Meteoritics*, vol. 30, no. 5, s. 532 - 533.
- LUFT E., 1983: Zur Bildung der Moldavite beim Ries-Impact aus tertiären Sedimenten. – *Enke Verlag. Stuttgart*.
- LUKANIN O. A. & KADIK A. A., 2007: Decompression mechanism of ferric iron reduction in tektite melts during their formation in the impact process. – *Geochemistry International* Vol. 45, No 9, 857 - 881

- MAGNA T., DEUTSCH A., MEZGER K., SKÁLA R., SEITZ H.- M., MIZERA J., ŘANDA Z. & ADOLPH L., 2011: Lithium in tektites and impact glasses: Implications for sources, histories and large impacts. – *Geochim. et Cosmochim. Acta* Vol. 75, Issue 8, 15 April 2011, s. 2137 - 2158.
- MATSUDA J. I., MATSUBARA K. & KOEBERL C., 1993: Origin of tektites: Constraints from heavy noble gas concentrations. – *Meteoritics* 28, s. 586 - 599.
- MEISEL T., LANGE J.- M. & KRÄHENBÜHL H., 1997: The chemical variation of moldavite tektites: simple mixing of terrestrial sediments. – *Meteorit. Planet. Sci.* 32, 493 - 502.
- MELOSH H. J., 1989: *Impact Cratering: A Geologic Process*. – Oxford University Press, 245 s. New York.
- MOORE C. B., CANEPA J. A., LEWIS C. F., 1984: Volatile non-metallic elements in tektites. – *J. Non-Cryst. Sol.*, 67, s. 345 - 348.
- MORGAN J. W., JANSSENS M.-J., HERTOGEN J., GROS J. & TAKAHASHI H., 1979: Ries impact crater, southern Germany: search for meteoritic material. – *Geochim. et Cosmochim. Acta* Volume 43, Issue 6, June 1979, Pages 803 - 815.
- MOYNIER F., BECK P., JOURDAN F., YIN Q. Z., REIMOLD U. & KOEBERL C., 2008: Isotopic fractionation of zinc in tektites. – *Earth and Planet. Sci. Letters*, Vol. 277, Issue 3 - 4, p. 482 - 489.
- MOYNIER F., KOEBERL, BECK P., JOURDAN F. & TELOUK P., 2010: Isotopic fractionation of Cu in tektites. – *Geochim et Cosmochim. Acta* Vol. 74, Issue 2, 15 January 2010, s. 799 - 807
- NININGER H. H., 1940: The Moon as a source of tektites. – *Bull. Soc. Geol. America*, 51, s. 12
- O'KEEFE A., 1976: Tektites and their origin. – *Develop. Petrology*, 4, 1 - 254. Elsevier. Amsterdam.
- O'KEEFE J. A., 1994: Reply to Taylor and Koeberl. – *Meteoritics*, vol. 29, number 5, page 743 - 744
- O'KEEFE J. A. & LOWMAN Jr. P., 1965: Tektites as a guide to the structure of the moon. – *Tectonophysics* Volume 2, Issue 4, October 1965, s. 319 - 332.
- OSWALD J., 1942: *Meteorické sklo*. – Nákladem České akademie věd a umění, 94 s. Praha.
- PAGE D., 2010: Diviner Lunar Radiometer Experiment. – <http://www.diviner.ucla.edu/blog/?p=438>
- ROBINSON K. L. & TAYLOR G. J., 2011: Intrusive And Extrusive Lunar Felsites. – 42nd Lunar and Planet. Sci. Conf. (2011).
- ROST R., 1972: *Vltavíny a tektity*. – Academia. Praha.
- SEPRI P. & CHEN K K., 1981: Diminished Tektite Ablation in the Wake of a Swarm. – *Jour. Of Geoph. Res.*, Vol. 86, No. B6, s. 5103 - 5111.
- SEREFIDDIN F., HERZOG G. F. & KOEBERL C., 2006: Terrestrial Cosmic-Ray Exposure History Of A 23-Gram Moldavite And Evidence For The Presence Of Meteoric Beryllium 10. – *Lunar and Planetary Science XXXVII (2006)* 1300.pdf
- SHEFFER A. & MELOSH H. J., 2005: Why Moldavites Are Reduced. – *Lunar and Planetary Science XXXVI (2005)*, 1468.pdf
- SHOEMAKER E. M. & CHAO E. C. T., 1961: New Evidence for the Impact Origin of the Ries Basin, Bavaria, Germany. – *Jour. of Geoph. Res.*, Vol. 66, No. 10, s. 3371 - 3378.
- SCHMIDT G. & PERNICKA E., 1994: The determination of platinum group elements (PGE) in target rocks and fall-back material of the Nördlinger Ries impact crater, Germany. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 58, Issue 22, November 1994, Pages 5083 - 5090
- SCHNETZLER C. C., PHILPOTTS J. A. & PINSON Jr. W. H., 1969: Rubidium-strontium correlation study of moldavites and Ries Crater material. – *Geochim. et Cosmochim. Acta* Vol. 33, Issue 9, September 1969, Pages 1015 - 1021
- SKÁLA R., STRNAD L., McCAMMON C. & ČADA R., 2009: Moldavites from the Cheb Basin, Czech Republic. – *Geochim. et Cosmochim. Acta* 73, s. 1145 - 1179.
- STÖFFLER D., ARTEMIEVA N. A. & PIERAZZO E., 2002: Modeling the Ries-Steinheim impact event and the formation of the Moldavite strewn field. – *Meteoritics Planet. Sci.* 37, 1893 - 1908.
- SUESS F. E., 1900: *Die Herkunft der Moldavite und verwandter Gläser*. – *Jahrb. d. k. k. Geol. R. A.* 50, 193 - 382. Wien.

- TAYLOR S. R. & KOEBERL C., 1994: The origin of tektites: Comment on a paper by J. A. O'Keefe. – *Meteoritics* 29, 739 - 744.
- TAYLOR, G. J., 2007: Two Views of the Moon's Composition. – *Planetary Science Research Discoveries*. <http://www.psr.d.hawaii.edu/April07/Moon2Views.html> (2011_05_11).
- TRNKA M. & HOUZAR S., 1991: Moravské vltavíny – Západomoravské muzeum v Třebíči. – *Muzejní a vlastivědná společnost Brno*.
- TRNKA M. & HOUZAR S., 2002: Moldavites: a review. – *Bulletin of the Czech Geological Survey*, Vol. 77, No. 4, 283 - 302.
- VAMBEROVÁ O. & ŠEVČÍK J., 1990: Výsledky statistického zpracování vltavínů z lokalit Bor, Hrdlořezy a Jakule. – In *Sborník referátů 5. konference o vltavínech v Českých Budějovicích 20. - 21. října 1987*, s. 106 - 124.
- VAND V., 2009: O původu tektitů a vltavínů. – *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, ročník 54, (2009), č. 1
- VENNEMANN T. W., MORLOK A., ENGELHARDT von W. & KYSER K., 2001: Stable isotope composition of impact glasses from the Nördlinger Ries impact crater, Germany. – *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 65, No. 8, s. 1325 - 1336.
- VINCENZO Di G. & SKÁLA R., 2009: ^{40}Ar - ^{39}Ar laser dating of tektites from the Cheb Basin (Czech Republic): Evidence for coevality with moldavites and influence of the dating standard on the age of the Ries impact. – *Geochim. et Cosmochim. Acta* 73, s. 493 - 513.
- WOLDŘICH J. N., 1898: Příspěvek k otázce o vltavínech. – *Věstník České Akademie*, s. 643 - 649.

VLTAVÍNY 2009

Kolektiv autorů

Vydal: Jihočeský kraj, U Zimního stadionu 1952/2, 370 76 České Budějovice

Pro tisk zpracoval: Petr Rajlich

Grafická úprava, tisk: LK TISK v.o.s., Masarykova 586, Milevsko

Náklad: 250 ks

1. vydání (2011)

ISBN: 978-80-87520-00-0