

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

Studium distribuce stopových prvků v tektitech pomocí LA ICP-MS

**(Distribution of trace elements in tektites with using
LA ICP-MS)**

Diplomová práce

Bc. Adéla Svatá



Vedoucí diplomové práce: RNDr. Ladislav Strnad, PhD.

Konzultant: RNDr. Roman Skála, PhD.

Praha 2010

ABSTRAKT

Následující práce se zabývá ukázkou metod stanovení hlavních a především stopových prvků ve speciálních přírodních sklech – tektitech. Měření byla prováděna pro sedmnáct vzorků. Dva z nich patřili ke skupině skel Lybijské pouště a zbývajících patnáct bylo původem z australsko-asijské oblasti nálezů tektitů. Pro tyto potřeby byla použita metoda optické mikroskopie v přípravné fázi studia vzorků. Studovány byly upravené vzorky ve formě výbrusů. Mikroskopie měla zajistit správnost postupu výběrem vhodných vzorků a přesnými oblastmi jednotlivých výbrusů, které budou vhodné pro analýzy.

Hlavní prvky byly stanovovány pomocí elektronové mikroanalýzy. Hodnoty těchto měření potvrdily stávající znalosti o složení tektitů. Chemismus skel Lybijské pouště byl z 98 hmotnostních procent tvořen SiO_2 . U australsko-asijských vzorků byla tato hodnota 73 hm.%. Mezi další známé hlavní oxidy patří Al_2O_3 , FeO , MgO a další. Významnou roli hraje TiO_2 , kterým je materiál oproti svrchní kontinentální kůře obohacen. Hodnoty pro skla Lybijské pouště byla určena v rozmezí 0,154 – 0,727 hmotnostních procent. Pro australsko-asijské 0,598 – 0,875.

K nejdůležitějším patřila data získaná měřením hmotnostním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) a přídatným zařízením pro laserovou ablací (LA). Ta je v aparatuře důležitá pro měření pevných vzorků. Z výsledků jsou patrné například vyšší hodnoty Cr, Ni nebo Y a Zr oproti hodnotám svrchní kůry. Nižší hodnoty vykazují Cu, Zn a další. Procentuální zastoupení jednotlivých stopových prvků bylo určeno například pro Zr 240- 440 ppm a Pb 5- 9 ppm v lybijských sklech nebo Cr 60 – 80 ppm u australsko-asijské oblasti. Nejdůležitějším jsou zjištění pro data normalizovaná nejprve hodnotami pro svrchní kůru a v jiné úpravě pro chondrit CI. Analytované materiály jsou dosti shodně obohaceny například Cr, Ni, Y a Zr. Ochuzení je pro Cu nebo Zn.

Postupně zjištěné hodnoty vždy podtrhují jiná provedená stanovení pro tyto materiály, avšak díky moderní metodě, která není pro tyto analýzy obvyklá, umožňuje jejich zpřesnění a vytyčení nových možností k dalším analýzám.

SUMMARY

The following example deals with methods of determining major and trace elements in a particular special kind of natural glasses - tektites.

Measurements were performed on seventeen samples. Two of them belonged to a group of Libyan desert glass and the remaining fifteen were originally from the Australasian tektite field. For these purposes, optical microscopy was used in the preparatory phase of study of the samples. The studied samples were prepared in the form of cross-sections. Microscopy was employed to ensure the correctness of the procedure for selecting appropriate samples and precise areas of cross-sections that are suitable for analysis.

The main elements were determined by electron microanalysis. The values obtained in these measurements confirmed existing knowledge about the composition of tektites. The chemistry of Libyan desert glass corresponded to 98 weight percent of SiO_2 . In the Australian-Asian samples, this value was equal to 73 wt.%. The other major oxides include Al_2O_3 , FeO , MgO , etc. The contents of these elements in the Libyan desert glass were determined in the range of 0.154 to 0.727 percent by weight. The Australasian tektites contained 0.598 to 0.875 wt.% of these elements.

The most important data were obtained by inductively coupled plasma mass spectrometric (ICP-MS) measurements with additional equipment for laser ablation (LA). This is an important apparatus for measurement of solid samples. The results are characterized by higher values for Cr, Ni, or Y and Zr compared to the upper crust. Lower values were exhibited by Cu, Zn etc. The percentages of trace elements were also determined, for example, Zr 240-440 ppm Pb and 5-9 ppm in Libyan glasses or Cr 60-80 ppm for the Australia-Pacific region. The analyzed materials are fairly consistently enriched, for example, in Cr, Ni, Y and Zr.

Finally, the values always emphasize different performance of the assay for these materials, but thanks to modern methods for the analysis is not usual, allowing them to refine and identification of new opportunities for further analysis.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Pádová pole vybraných tektitů; upravila A.Svatá (17.4.2010); zdroj: www.psi.edu (21.10.2009)
- Obr. 2. Tvary tektitů a jejich vznik; upravila A.Svatá (18.4.2010); zdroj: <http://i150.photobucket.com> (21.10.2009)
- Obr. 3. Tvar letícího tektitu; upravila A.Svatá (18.4.2010); zdroj: <http://earthsci.org> (21.10.2009)
- Obr. 4. Obsahy vody v různých typech tektitových skel; zdrojová data jsou dostupná v článku, zabývajícím se výhradně touto tematikou, jehož autory jsou Lukanin, Kadik, (2004)
- Obr. 5, Vltavín; zdroj: www.tektites.co.uk (21.10.2009)
- Obr. 6, 7, Vzorky Lybijského skla (LDG1, LDG 2) před broušením; vyfotografováno 2.1.2009, autor: RNDr. Roman Skála, PhD
- Obr. 8 Schéma Hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (Mihaljevič, et al., 2004)
- Obr. 9, 10, 11, 12, 13, 14, Původní vzorky tektitů použitých pro analýzy, před broušením do výbrusů; vyfotografováno 6.1.2009, autor: RNDr. Roman Skála, PhD
- Obr. 15, Vzorek Lybijského skla (LDG „malý“); vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 16, Vzorek Lybijského skla (LDG „velký“); vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 17 Vzorek AAT1; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 18 Vzorek AAT5; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 19 Vzorek AAT7; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 20, Vzorek AAT8; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 21 Vzorek AAT9; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 22 Vzorek AAT9; vlevo i vpravo: detailní část vnitřního uspořádání vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá
- Obr. 23, Vzorek AAT10; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

Obr. 24 Vzorek AAT13; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

Obr. 25, AAT13k; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá

Obr. 26, Vzorek AAT13k; vlevo i vpravo: detailní část vnitřního uspořádání vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

Obr. 27, Vzorek AAT15; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

Obr. 28, Vzorek AAT1; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

Obr. 29, Vzorek AAT3; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

Obr. 30, Vzorek AAT13; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

Obr. 31, Vzorek AAT15; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

Obr. 32, NewWave 213nm – přístroj pro laserovou ablací, spojení s hmotnostním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem - X-Series II; (19.4.2010); zdroj: <http://web.natur.cuni.cz>

Obr. 33, Publikované hodnoty pro standardního referenčního materiálu NIST SRM 612. Hodnoty jsou uvedeny v % m / m oxidů (Pearce et al., 1997).

Obr. 34, Vzorek AAT1; viditelné zásahy laseru během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

Obr. 35, Vzorek AAT13k; viditelné zásahy laseru během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

Obr. 36, Vzorek AAT15; viditelné zásahy laseru v oblasti pnutí ve vzorku AAT15 během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

Obr. 37 Časový průběh analýzy (TRA) na hmotnostním spektrometru (zpracováno pro vybrané prvky vzorku AAT15 a interní standard a roztok In)

Obr. 38 hodnoty analyzovaných oxidů ve vzorku LDG „velký“ normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)

Obr. 39 hodnoty analyzovaných oxidů ve vzorku AAT3 normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)

Obr. 40 Obsah prvků normalizovaných pro svrchní kůru pro vzorky vltavínů (Skála et al., 2009)

Obr. 41 hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku LDG „velký“ normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)

Obr. 42 hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku AAT6 normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)

Obr. 43 Hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku AAT13 normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)

Obr. 44 Hodnoty měřených vzorků pro vltavíny z jižních Čech, Moravy a Cbebské pánve, hodnoty normalizované pro svrchní kontinentální kůru (Skála et al., 2009)

Obr. 45 REE hodnoty vzorku LDG „velký“, normalizované chondritem CI

Obr. 46 REE hodnoty vzorku AAT13k, normalizované chondritem CI

Obr. 47 REE hodnoty normalizované chondritem CI, stanovení pro vzorky Chebské pánve a dalších vzorků vltavínů z České republiky (Skála et al., 2009)

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Stáří vybraných tektitů (Storzer, Wagner, 1971; Laurenzi, 2003; Koeberl, 1996-1998; Izett, Obradovich, 1992; Engelhardt et al., 1987)

Tab. 2 Vzorky australsko-asijských tektitů použité v práci

Tab. 3, Tabulka podmínek měření pro analýzu na hmotnostním spektrometru

Tab. 4 Tabulka detekčních limitů pro měření prováděná na elektronové mikrosondě

Tab. 5 Hodnoty získané statistickým zpracováním z dat naměřených při stanoveních elektronovou mikrosondou (x – průměrná hodnota; range – rozpětí hodnot; DL – detekční limity; σ – směrodatná odchylka)

Tab. 6 Tabulka detekčních limitů pro hodnoty měřené na hmotnostním spektrometru (ICP-MS)

Tab. 7 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: x – průměrných hodnot; rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Tab. 8 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: x – průměrných hodnot; rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Tab. 9 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: x – průměrných hodnot; rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Tab. 10 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: x – průměrných hodnot; rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ZKRATKA	VÝKLAD
LDG	Sklo Lybijské pouště
AAT	Australsko-asijský tektit
REE	Prvky vzácných zemin
PGE	Prvky skupiny platiny
INAA	Instrumentální neutronová aktivační analýza
RTG	Rentgen
EDS	Eneiově disperzní
ICP-AES	Indukčně vázané plazma
AES	Atomová emisní spektrometrie
MA	Hmotnostní spektrometrie
LA	Laserová ablace
RF	Rentgenfluorescence
NIST	National Institute of Standards and Energy
SRM	Standardní referenční materiál

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Výstupní data elektronová mikroanalýza (1.část). Uvedená čísla v tabulce jsou v jednotkách hm. %

Příloha 2. Výstupní data elektronová mikroanalýza (2.část); uvedená čísla v tabulce jsou v jednotkách hm. %

Příloha 3. Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Tektites and microektitec: key facts and inferences (Glass; 1988):

Příloha 4. Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Microtektites and tektites: A chemical comparison (Frey et al.; 1970)

Příloha 5. Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Chemical variation within fragments of Australasian tektites (Son, Koeberl; 2005); (1.část)

Příloha 6. Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Chemical variation within fragments of Australasian tektites (Son, Koeberl; 2005); (2.část)

Příloha 7. Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů vybraných stopových prvků v článku Geochemistry and origin of Lybian Desert Glasses (Barrat et al.; 1997)

PODĚKOVÁNÍ

Velké poděkování míří nejprve přímo k mému vedoucímu diplomové práce RNDr. Ladislavu Strnadovi, PhD.

Především za trpělivost a pomoc při všech nesnázích, které se jen mohly vyskytnout a za odborné rady, které vždy a rychle vše vyřešily. Také za celkový přístup, naladění a motivaci.

Následovně patří můj dík také konzultantovi této práce RNDr. Romanu Skálovi PhD.

Za celkový úvod do této tematiky a schopnosti zaujetí pro ni.

Za pomoc děkuji také paní inženýrce Langrové, za vytrvalost se začátečníkem v laboratoři.

A především největší zmínka patří celé mé rodině a přátelům.

Speciálně mamince a tátovi, Tomášovi. Honzovi.

Všem, kdo měli výdrž a dokázali vyjádřit podporu v pracovním prostředí do poslední chvíle.

Děkuji...

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	TEORIE.....	2
2.1	NĚCO Z HISTORIE.....	2
2.2	CO JSOU A JAK VZNIKLY TEKTITY.....	3
2.3	VLASTNOSTI TEKTITŮ	6
2.3.1	Morfologie tektitů	6
2.3.2	Fyzikální vlastnosti	12
2.3.3	Chemické vlastnosti	12
2.4	DRUHY TEKTITŮ	16
2.4.1	Vltavíny.....	17
2.4.2	Australity	21
2.4.3	Tektity jihovýchodní Asie.....	22
2.4.4	Ivority - tektity z Pobřeží slonoviny	23
2.4.5	Tektity z USA.....	23
2.4.6	Skla meteoritových kráterů	24
2.4.7	Další křemičitá skla.....	24
2.5	Přehled používaných metod pro stanovení prvků v tektitech.....	27
2.5.1	Instrumentální neutronová aktivační analýza	27
2.5.2	Elektronová mikroanalýza.....	27
2.5.3	Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (LA ICP – MS)	28
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
3.1	Metodika práce.....	31
3.1.1	Původ a odběry vzorků.....	31
3.1.2	Optická mikroskopie.....	33
3.1.3	Elektronová mikroanalýza.....	43
3.1.4	ICP-MS	48
4	VÝSLEDKY.....	53

5	DISKUZE.....	66
6	ZÁVĚR.....	76
7	LITERATURA	77
8	PŘÍLOHY.....	80

1 ÚVOD

Cílem následující práce je získat reprezentativní sadu výsledků stanovení pro tektity z různých oblastí. Hlavním výstupem by měla být data získaná měřením na hmotnostním spektrometru (LA ICP-MS). Tomu předchází studování vzorků pomocí optické mikroskopie a postupné snímkování všech jednotlivých vzorků nebo zajímavých oblastí přímo v nich.

Vzorky byly studovány v úpravě ve výbrusu. Původní materiál však pochází z oblasti australsko-asijských tektitů (vzorky AAT1 – AAT15). Druhý typ studovaného materiálu jsou skla Lybijské pouště (LDG).

Pro zjištění hlavních elementů tektitů byla vybrána metoda elektronové mikroanalýzy, která je již na podobných případech vyzkoušena a může svými výstupy pomoci podat soubornější komplet dat pro studované prvky.

Hlavním důvodem pro tato stanovení je zavedení nové metody do měření materiálů přírodního skla této specifikace. Existuje pouze několik analýz, které využívají hmotnostní spektrometrii, přitom potenciál využití této metody pro podobné účely se zdá více než výhodný.

Na základě zjištěných hodnot lze srovnat tyto novinky s již zjištěnými fakty, což může tyto informace potvrdit a zpřesnit. Další možností je také nalezení nových zajímavostí, které by bylo ještě možno touto metodou prozkoumat.

2 TEORIE

2.1 NĚCO Z HISTORIE

Prvními objeviteli tektitů, zvláště pak vltavínů, byli již dávno před odbornější veřejností naši pravěcí předkové „cro-magronci“ během „Aurignicianu“. Ti se dokonce jejich opracované úlomky naučili využívat. Dokazují to nálezy objevené v půdních profilech datovaných podle horizontu „Venus of Willendorf“ na 29tis. let před Kristem (Heinen, 1998).

Nejstarší písemné zmínky jsou však známy až z Číny od Liu Suna, kolem roku 950 z období dynastie T'ang. Tektity zde byly nazývány lei-gong-mo, tedy černé kameny, které lidé na poloostrově Leichou-pan-tao sbírali na polích, po deštích či bouřích. Jelikož se však v dobách minulých dokumenty jen těžko dostávaly „do světa“, zůstala tato zmínka dlouho ukryta v archivech čínských panovníků. Tuto zprávu objevil až později známý americký odborník na tektity V. E. Barnes z Texasu a publikoval v roce 1969 v časopisu Earth Science, vycházejícím v Pittsburghu.

První zpráva, která tedy oficiálně započala éru zájmu o tektity, přírodní skla různých tvarů a barev, byla roku 1786 přednesena na zasedání České společnosti nauk profesorem Josefem Meyerem. Ten se zde také zmínil o takzvaných chrysolitech od Týna – Chrysoliten von Thein. Myslel tím dnešní Týn nad Vltavou. V 19.století se často používalo názvu Vltavotýn – Moldauthein (Bouška, 1992). Následovala další různá zkoumání nalezených neznámých vzorků a zájem o Vltavíny se začal nebývale stupňovat.

Dnes samozřejmě víme, že vltavíny nemají s chrysolity nic společného. Během historie také jejich název dostal značného vývoje. Od „pseudochrysolithu“, přes „chrysolitový obsidián“, „obsidolith“ a nejrůznější další podobné modifikace, až po nejčastější pojmenování „lahvový kámen“, dle podoby s lahvovým zeleným sklem. O konečné pojmenování moldavit se však zasadil až r. 1836 Franc Xaver Maxmilian Zippe, tehdejší správce mineralogických sbírek Vlastivědného muzea v Praze, který odvodil jejich jméno z německého názvu Vltavy – Moldau.

Postupně se začala objevovat další podobná skla na různých místech po celém světě. V Austrálii v roce 1844, v jihovýchodní Asii v r. 1879 a další následovaly. Princip jejich pojmenování dle oblasti místa výskytu nálezů se stal skoro pravidlem. Vltavíny, australity, indočínity, filipinity se staly předmětem vědeckých zkoumání a na přelomu 20. století jim pak konečně vídeňský geolog přiřknul souborné označení tektity, podle řeckého slova tektos – tavený. Bylo totiž zjištěno, že tyto materiály jsou složením přírodní křemičitanová skla, která vznikla přetavením hornin za vysoké teploty a následným prudkým ochlazením této taveniny. Při tomto rychlém ochlazení tudíž nemohly krystalizovat z taveniny jednotlivé nerosty, jak je tomu například u běžných vyvěřelých hornin a tak vznikl jejich skelný charakter.

2.2 CO JSOU A JAK VZNIKLY TEKTITY

Že jsou vltavíny a další tektity látky přírodní a ne umělá skla se rozhodlo definitivně zhruba koncem 19. století. Důkazy totiž přinesly chemické analýzy. Poměrně jednotné složení na tak velké množství, geologický ráz výskytu a vysoký bod tání. V minulém století pak určení jejich stáří radiometrickými metodami a skutečnost, že se vyskytují v jilech a štěrkopiscích většího stáří ukazuje na to, že je nelze považovat za lidský výrobek. Tektity, tyto sklovité hmoty, neznáme ze starších vrstev, než třetihorních. Překvapuje také jejich nerovnoměrné rozložení po celé zeměkouli. V roce 1844 již Ch. Darwin popsal australity. Ty získal při své návštěvě Austrálie, v letech 1832-1836. Pak následuje objev moravských vltavínů F. Dvorským roku 1878 a objev billitonitů 1879.

Všechna přírodní skla jsou v podmínkách zemského povrchu termodynamicky nestabilní a mají tendenci chemicky zvětvávat a rekrystalizovat. Průběh procesu je pomalý a tak se setkáváme s některými kyselými skly ryolitového složení, která přetrvala 60 milionů let. Na Měsíci, který nemá vodu ani atmosféru, byla zjištěna zelená a oranžová skla pravděpodobně vulkanická o stáří 3 – 4 miliardy let. Pokud starší tektity na Zemi existovaly, byly v průběhu času přeměněny, rozpuštěny nebo zničeny transportem, stejně jako jiná skla vulkanická, impaktová nebo fulguritová (Bouška, 1992).

Teorie vzniku tektitů za éry starých skláren či jiným umělým způsobem byly tedy zavrženy. Souhrn důkazů proti umělému původu tektitů byl nakonec takový, že tektity mají velmi podobné, dosti jednotné složení, ve kterém silně převládá obsah oxidu křemičitého. K roztavení tektitů je zapotřebí teploty kolem 1300 - 1400°C a ve starých sklárnách nemohlo být dosaženo tak vysoké teploty. Dále by nemohly tyto sklárny vyrábět sklo tak jednotného složení a také v tak velkém množství.

Důkazem jejich přírodní povahy však nastaly dohady původu. Množství dosud vyslovených teorií lze snadněji rozdělit na teorie o zemském původu a naopak o mimozemském původu. Co se týče pozemských teorií, nejdříve se objevovaly například ty o vyvětrávání tektitů z pozemských hornin, o vzniku vysycháním koloidů, o sopečném původu, o vzniku bleskovými výboji v prašné atmosféře, či přetavením popela z rostlinného materiálu (Rost, 1972).

Největší dohady byly nad podobným složením jako u sopečných skel obsidiánů. Rozdíl mezi tektity a obsidiány rozluštili nakonec odborníci z chemických laboratoří díky obyčejnému žihání obsidiánu dmuchavkou na uhlí. Z obsidiánu lehce dostaneme napěněné sklo, kdežto vltavíny takto nepění. Rozdíl byl také v jejich zkoumání pomocí mikroskopu, kdy tektity, oproti obsidiánovému hojnému obsahu mikrolitů - mikroskopických krystalků, neobsahují většinou vůbec nic.

Následovaly další teorie. Ještě bez známosti stáří tektitů, vyslovil Franz Eduard Suess (1900) názor o kosmickém původu vltavínů a všech tehdy známých tektitů. Vedl ho k tomu především tvar a skulptace, kdy srovnával vltavíny, australity a billitonity s povrchem meteoritů a přiřadil je k nim jako

další skupinu tzv. skleněných meteoritů. Inspiroval se tehdy zřejmě jiným badatelem B.D.M.Verbeekem , který se vyslovoval o billitonitech, že jsou mimozemského původu a mohly by dokonce pocházet ze sopek na Měsíci. Jiní zase tvrdili, že tektity odtávaly z ohromného aerolitu. Potíž ale nastala v tom, že skulptace byla prokázána jako druhotná, vzniklá leptáním. A složení se nejvíce přibližovalo sedimentům, v žádném případě kamenným meteoritům. Souvislost s vulkanickou činností na Měsíci můžeme také vyloučit, jelikož ten je mimo jiné tvořen tmavými horninami a tektity jsou kyselá skla (Bouška, 1992). Pokud budeme hledat hlouběji k původu těchto našich zajímavých útvarů, nalezneme ještě bezpočet dalších, více či méně bizarních teorií, které byly také s ohledem na to patřičně prozkoumávány či naopak rychle zamítnuty.

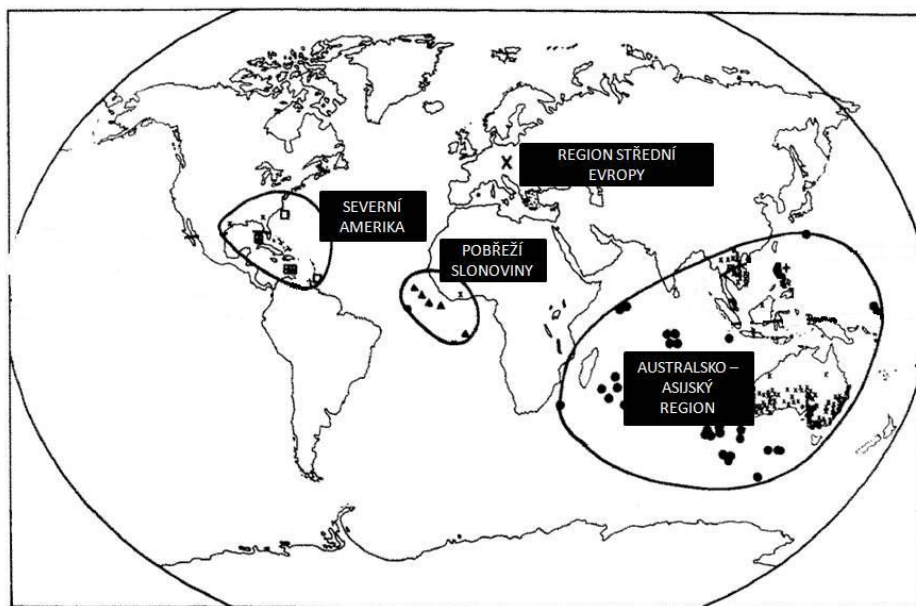
Jako hlavní teorie, která je navíc v dnešní době již velice dobře prokazatelná u většiny nalezených tektitů na různých pádových polích, se ukázala teorie o impaktu vesmírného tělesa. V důsledku obrovského nárazu mělo dojít k přetavení místní hmoty ze zemského povrchu, která byla tlakovou vlnou následně vymrštěna do atmosféry. Atmosféra v místě dopadu byla nejspíš ještě „roztržena“ následkem letu gigantického tělesa a bylo zde utvořeno vakuum. V tomto prostředí došlo během letu k separaci jednotlivých kousků rozžhavené hmoty, jejich tvarování, například vzniku specifických vakuových bublin a dalších vlastností prokazujících tento sled událostí. Někdy se nemuselo jednat ani o náraz, jen síla dopadajícího kosmického tělesa způsobila změny na zemském povrchu, i když se mohlo rozpadnout či vybuchnout ještě nad povrchem. Nemusejí být tedy nalezeny jeho přímé zbytky v blízkosti kráteru.

Letící natavená hmota potom dopadla zpět na zemský povrch, avšak stovky kilometrů od původního místa událost. Díky tvaru kráteru a úhlu dopadu tělesa, které ho způsobilo, lze často velmi prokazatelně nalézt pádová pole určitých tektitů odpovídající jednotlivým kráterům. Základním principem je úhel odrazu přetavené hmoty. Pro konkrétní případ lze uvést meteoritový kráter Bosumtwi, který se nachází 200km od naleziště ivoritů v Ghaně. Nebo pro případ vltavínů, vyskytujících se na území České republiky, Německa a Rakouska je znám kráter Ries v Německu. Tektity i skla těchto kráterů mají shodné stáří. Stáří vltavínů a doba vzniku již zmíněného kráteru Ries je stejná a to konkrétně 14,8 milionu let. Můžeme tedy předpokládat, že vltavíny vznikly při dopadu obrovského meteoritu o rozměrech asi 5km³, do oblasti dnešního Riesu ke konci třetihor. Dopad takového tělesa vyvolal katastrofu v okruhu přibližně 300 - 500km. Předpokládá se, že do této vzdálenosti byl zničen veškerý život.

Všechny tektity tedy nejspíše vznikly při dopadu velkých meteoritů. Tlaková a tepelná vlna v čele tohoto řítícího se tělesa, která přetavila a rozhodila povrchovou část hornin v místě dopadu, vymrštila tuny materiálu, přičemž větší část materiálu se nakonec vypařila při teplotách až kolem 3000°C, případně i vyšších. Ovšem všechny dopady meteoritů nemusí produkovat tektity. Předpokladem je dostatečná rychlost i ostřejší úhel dopadu.

Zatím neznáme odpovídající krátery u všech pádových polí tektitů. Zajímavé je, že to je právě u těch největších tektitových polí, severoamerických tektitů a tektitů z asijsko-australského pole. Pro americké tektity se zatím uvažuje o kráteru ze dna pobřežních vod Atlantiku, jižně od Labradoru. Pro asijsko-australské tektity je několik variant. Může jít o impaktní kráter El'gygytyn na Čukotce či o kráter skrytý pod ledovcem kdesi v Antarktidě. A konečně Jack B. Hartung v roce 1990 předložil návrh prozkoumat blíže jezero Tonle Sap v Kampučii, jež by mohlo být zatopeným impaktním kráterem. Jeho rozměry jsou 100 x 35km, což by odpovídalo množství vzniklých tektitů. Impakty pod ostrým, tedy nízkým úhlem dopadajícího tělesa, mohou vést ke vzniku protáhlého kráteru nebo vytvořit dvojité nebo i vícenásobné krátery v řadě. Tyto otázky jsou uzavřeny. Je tu problém určení přesného stáří odpovídajících kráterů, velká délka přeletu tektitové taveniny a další.

Pravděpodobnější původ tektitů je tedy třeba hledat v souvislosti se vznikem meteoritových kráterů nebo kráterů kometárního původu. V chemickém složení hlavních i stopových prvků je totiž nejvyšší shoda mezi tektity a písčitymi jíly či jílovci, břidlicemi, drobami, arkózami s různou příměsí živců nebo karbonátů. Všechny skupiny tektitů mají podobný trend složení, protože vznikly z impaktů nejvyšších vrstev zemské kůry, vždy ovlivněných zvětrávacími procesy. Nutně je třeba počítat s půdním horizontem (Bouška, 1992).



Obr. 1. Pádová pole vybraných tektitů; upravila A.Svatá (17.4.2010); zdroj: www.psi.edu (21.10.2009)

2.3 VLASTNOSTI TEKTITŮ

Co dělá vlastně tektit tektitem? Asi nejdůležitějším poznávacím znakem je vlastní vzhled. Mezi jednotlivými typy tektitů jsou ještě jisté diferenciace vzniklé odlišnostmi při vzniku, podstata však zůstává u všech stejná. Většinou se odborníci i laici shodnou, že co se estetického vnímání týče, mezi nejkrásnější patří právě české vltavíny. Ty patří mezi nejzajímavější nejen barvou a tvarem, ale i modelováním povrchu, tzv. skulptací. Jiné tektity mají také velice zajímavé tvary, rozdíl je ale v tom, že v dopadajícím světle jsou většinou černé nebo tmavě hnědé. Pokud mají zajímavější barvu, většinou jich existuje jen velmi málo.

2.3.1 Morfologie tektitů

Tvarované tektity získaly primárně svůj tvar většinou rotací viskózní taveniny za letu v atmosféře. Mezi hlavní patří útvary nazývané koule, disky, elipsoidy, čočky, kapky, roubíky, válečky, tyčinky, číhovitě a piškotové tvary a další. Všechny tyto tvary se podařilo na důkaz vytvořit v moderních vysokorychlostních (aerodynamických) tunelech. Ty vyvolávají proudění vzduchu o rychlosti několika kilometrů za sekundu. „Vstřelením“ viskózní kapaliny potom můžeme docílit nejrůznějších tvarů. Ale k ověření tvaru nemusíme vykonávat ani tak složitá zkoumání, ostatně podobné tvary mohly zejména starší generace sledovat například kolem železničních tratí, kdy takové částice chrlily parní lokomotivy. Tyto tvary jsou samozřejmě ještě mnohem menší, než které můžeme nalézt u tektitů, ale při pozorování ve zvětšení zde můžeme opravdu vidět stejné útvary.

Toto pnutí je známo jen u celotvarů tektitů. Neznamena to však, že tektity musely celou dráhu letu atmosférou prodělat jako samostatná tělíska. Mohlo dojít k vymrštění skloviny ve tvaru jednoho nebo více jazyků z místa vzniku a teprve při spadu po balistické dráze, za rychlosti ne menší než 4-5km/s, mohly částice odtávat a získat patřičný tvar a vnitřní pnutí při tuhnutí skloviny (Bouška, 1992).

Při dopadu na zemský povrch byla však většina tektitů rozbita na menší části, jen velmi málo z nich se zachovalo v původním tvaru. Proto potom rozlišujeme jednotlivé skupiny na tzv. celotvary a úlomky (Hanuš, 1928). Některé úlomky lze dokonce vzácně poskládat do podoby celotvarů. V drtivé většině případů to však nejde. A to z toho důvodu, že není možné nalézt odpovídající úlomky na velké ploše dopadu, a samozřejmě také proto, že jednotlivé úlomky prodělaly různé formy přeměny, ať už přepálením, či leptáním. Ty jsou potom pochopitelně zcela změněny.

Velikost všech klasických tektitů po celém světě je prakticky velice podobná, jedinou výjimkou je speciální typ tektitů Muong-Nong, o kterém bude ještě řeč později. Prakticky však ve srovnání s meteority, obsidiány nebo minerály je velikost až nápadně stejná. To naznačuje souvislost se

způsobem vzniku. Mezi největší patří například tektity z Laosu, jejich kusy váží až 3200g. Ty však patří k typu Muong-Nong, celotvar od tohoto typu tedy vážil 2000g. Ale takové kusy jsou na světě spíše raritou. Obvykle se váhy pohybují kolem 3 - 50g. Z Filipín je znám kus o váze 1070g, z Malajsie 750g, z Jávy 400g. U australitu, jehož váha byla 238g, bylo zjištěno, že kdyby se doplnila jeho chybějící část, zvýšila by se jeho váha na 265g.

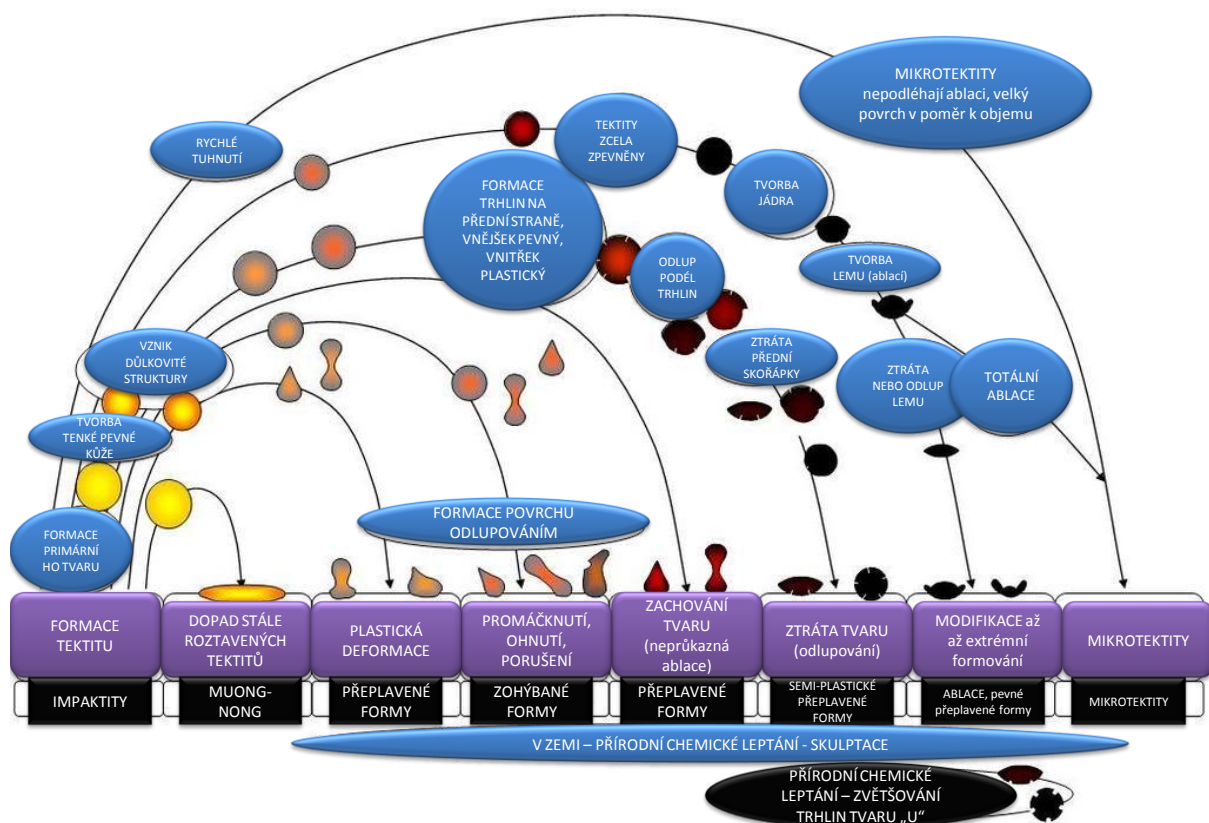
Průměrné váhy tektitů jsou však dosti malé a navíc údaje, které publikují autoři jednotlivých sbírek, často neuvádějí, zda jsou váhy brané pro celotvary nebo jen pro úlomky. Sběratele však většinou upoutají spíše větší kusy, než úlomky. Jen pro pořádek, celotvary samozřejmě moho být také velmi malé. Například konkrétní popsany plochý celotvar s lemem na obvodě o váze 0,065g a rozměrech 9x6x0,5mm (G.Barker, 1963).

Co se týká morfologického rozlišení, můžeme tedy tektity rozdělovat dle celkového tvaru tektitů a ještě podle způsobu utváření jejich povrchu takzvanou skulptací. Tvar tektitů byl mnohokrát předmětem studia četných badatelů. To je pochopitelné z toho důvodu, že tvar tektitů je v přímém vztahu k jejich vzniku. Zevní omezení získaly tektity při svém vytvoření. Je výsledkem sil které působily na roztavenou hmotu tektitů. V dřívějších dobách byly rozmanité tvary tektitů různě vykládány, často i nesprávně. Původní tvary se na všech nalezištích nezachovaly stejně dokonale. Nejlépe je můžeme studovat na australitech, které spolu s tektity jihovýchodní Asie patří mezi tektity nejmladší.

Ze světových tektitů jsou tvarově od průměru nejodlišnější australity a také javanity z ostrova Flores, protože na jejich povrchu lze zřetelně vidět tzv. dvě fáze tavení. Druhá fáze tavení tzv. ablace australitů je dnes vysvětlována jako důsledek průletu chladných australitů atmosférou Země kosmickou rychlostí. Charakteristické knoflíkovité tvary australitů již byly i úspěšně vytvořeny v amerických aerodynamických tunelech (D.R.Chapman, H.K.Larson, 1963). Nepřímé známky aerodynamického opracování byly popsány na jednom bediasitu a velice vzácně jsou pravděpodobně i na vltavínech (E.A.King jr., 1964).

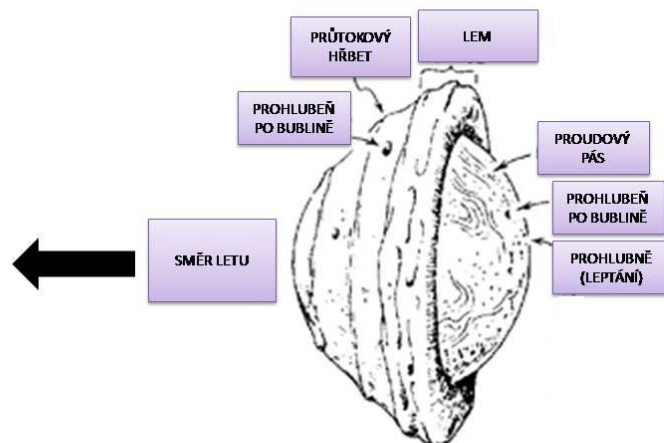
Ten, kdo mohl studovat větší množství vltavínů, filipínitů, indočinitů, severoamerických i afrických tektitů, si všimne nápadné tvarové shody zmíněných tektitů navzájem. Na těchto tektitech nejsou známy účinky aerodynamického opracování nebo se vyskytnou jen zcela ojediněle nepřímé znaky. Ale i u nich lze zjistit dosti značnou podobnost s australity. Podle G. Bakera rozeznáváme u tektitů tři druhy tvarů a povrchů. Primární, sekundární a terciární. Primární tvar tektitů je nejlépe zachován u australitů. Jsou to tvary nejdříve vytvořené na tektitech v době jejich vzniku. Základním a nejhojnějším tvarem australitů je koule. Ten je v souladu s dnešním názorem na vznik tektitů. Tvar koule může vytvořit jen kapalina nebo slabě viskózní tavenina, která se ocitne v prostoru za podmínek beztláčeného stavu. Na částech taveniny se pak uplatní pouze síly povrchového napětí a jejich výsledkem je dokonalá koule. Koule se vytváří jen tehdy, když je tavenina v přímočarém nebo skoro

přímočarém pohybu. Mezi australity je koule nebo tvary z ní odvozené velmi častá. Mezi ostatními tektity je koule nebo tvar kuliček poměrně vzácný. Ze základní koule lze odvodit další tvary. Jestli horká dosud neutuhlá tektitová kulička dostane otáčivý pohyb, pak vlivem odstředivých sil i v prostoru bez tíže se z kuličky vytváří rotační elipsoid, podle rychlosti otáčení málo nebo hodně zploštělý. Za určitých podmínek se však může vytvořit vejčitý nebo činkovitý tvar a jiné. Protaháním činkovitého základního tvaru a přetržením uprostřed vzniknou tvary hruškovité, kapkovité. Z rotačního elipsoidu lze nejlépe odvodit tvar kanoe z australitů ablaci. Velikost zmíněných primárních tvarů byla jen o málo větší, nežli dnešních sekundárních tvarů tektitů v pádových polích. Zmenšení původních primárních tvarů australitů nastalo až v době jejich průletu atmosférou Země, kdy australity již byly zcela vychladlými pevnými tělisky. Při průletu zemskou atmosférou nevykonávaly většinou žádný pohyb kolem vlastní osy. Ke směru letu zachovávaly stálou polohu danou směrem zemské tíže, polohu těžiště australitů i úhlem, pod jakým vnikali do zemské atmosféry. Při průletu chladnou atmosférou chladných australitů, došlo na předních částech mnohých kusů k aerodynamickému opracování, tzv. ablaci. Ablaci tak vznikne sekundární tvar tektitů. U australitů se projevuje lem na obvodě.



Obr. 2. Tvary tektitů a jejich vznik; upravila A.Svatá (18.4.2010); zdroj: <http://i150.photobucket.com> (21.10.2009)

Ablace nastává u pevných a chladných těles pronikajících kosmickou rychlostí zemskou atmosférou. Prudkým třením o vzduch se přední strana rozžhaví na povrchu tak silně, že roztaje tato tenká povrchová vrstvička. Tlak vzduchu ji však ze středu strhuje do stran a obnaží tuhý povrch tělíska, který se vzápětí roztaví a další tenká vrstvička je přemístěna ze středu na okraj. Někdy se část materiálu žářem i vypaří. Ablaci vznikají například z chladných kuliček australitů tzv. knoflíkovité tvary s lemem na obvodu. Ve spodnějších hustších vrstvách atmosféry se tektity postupně zabrzdí a poklesem rychlosti přestane také ablační jev. Utuhlý čelní ablační povrch je jen jemně zvlněný, se zaoblenými hranami jamek a jiných nerovností. Ablaci se zmenší křivost čelní strany a hlavně dojde také ke zmenšení váhy o 35-85%. Zadní strana australitů se při ablacii prakticky nemění. Její křivost je též jako u primárního tvaru. Pravděpodobně je tomu tak i s povrchovou jakostí zadních ploch australitů, které prodělaly ablacii.



Obr. 3. Tvar letícího tektitu; upravila A.Svatá (18.4.2010); zdroj: <http://earthsci.org> (21.10.2009)

K rozložení tektitů na nalezištích i z velikostí pádových polí vyplývá jediný závěr, že tektity spadly z prostoru kolem Země na povrch zemský. Ablací jevy jsou tedy také důkazem průletu zemskou atmosférou (Rost, 1972).

Po pádu tektitů na povrch země se změnil tvar a povrch tektitů hlavně tam, kde došlo k jejich roztržení nebo vodnímu transportu a k chemické korozi spodními vodami v zeminách a štěrkopiscích. Působením uvedených činitelů se vytvořil na tektitech terciární povrch a tvar. Největší tvarové změny zřejmě nastanou vlivem vodního transportu ve štěrkopiscích. Například v Čechách a na Moravě však

přichází v úvahu i opracování povrchu některých vltavinů soliflukcí a kryoturbací, zvláště v době čtvrtohorní.

Nejčastěji se objevují na povrchu jamky, důlky, rýhy, obnažené vnitřní bubliny, kanálky a podobné tvary. Uvedené skulptační prvky jsou někdy mělké, jindy hluboké, někdy řídké, někdy hustě na povrchu roztroušené a v kombinacích. Rýhy jsou krátké i dlouhé. Velmi často lze pozorovat radiální, podélné, souměrné i nesouměrné uspořádání celé skulptace. Rozdíly se projevují především v tom, zda kus prodělal přirozený vodní transport, dále pak jak dlouho a za jakých podmínek byl uložen v povrchových částech Země. Také záleží opět na to, zda jde o úlomek nebo celotvar. Jelikož jsou například tektity většinou na nalezištích uloženy do 10m hloubky, je jasné, že jsou velmi vystaveny zde pronikající povrchové a srážkové vodě. Zpětně se také s určitou pravděpodobností dá zjistit, z jakého naleziště tektit pochází. Právě v důsledku těchto vlivů totiž může být odvozen jejich výsledný tvar, velikost, barva, lesk a skulptace. Na právě obnaženém tektitu ve štěrcích a podobných prostředích, že horní strana tektitu je výrazněji skulptována, nežli ta spodní. Horní strana je totiž pochopitelně vystavena působení prosakujících povrchových vod, než ona spodní strana. Také nestejnorodost hmoty tektitů je hlavní příčinou určité proměnlivosti jejich povrchu. Sklo tektitů totiž není dokonale stejnorodé, má fluidální strukturu, která je patrná mnohdy již makroskopicky. Tektitová skla mají obecně proudovou texturu a a běžně obsahují bubliny a částice křemenného skla lechatelieritu. Šmouhovitost je zde speciálně nazývána jako „šlíry“, z německého slova Schlieren, což znamená příznačně proudy ve skle (Bouška, 1992). Jsou to jemná, zkroucená, prohnutá vlákna, která mají poněkud rozdílný index lomu světla a zřejmě jsou i jiného složení než okolní základní hmota. Šlíry sahají až na povrch. Někdy končí náhle na okraji, jindy lze sledovat zatočení podél okrajů. Uvažujeme-li vytvoření tektitů z roztavené tekuté hmoty ve stavu beztlíže, měly by všechny šlíry být zatočeny podle primárního povrchu. Tam kde šlíry náhle končí na okraji tektitu, jakoby useknuty, lze uvažovat o rozdělení tektitu prasknutím nebo o odstranění povrchové vrstvičky erozí. Často jsou šlíry odolnější korozi, nežli základní hmota tektitů. Pak na zvětralých plochách nebo na druhotných puklinách vystupují jako vyvýšeniny a ty jsou pak součástí skulptace. Chemické korozi dále nejčastěji vzdorují právě jednotlivá zrnka lechatelieritu nebo silnější křemité šlíry. Dalším speciálním typem, který vyvětrává na povrchu australského typu tektitů, jsou tzv. „fingers“. Zdá se, že jde však jen o kratší křemité uzavřeniny. Jejich chemické složení je velmi blízké, ne-li totožné s křemitým sklem šlír.

Tím pádem bylo již řečeno, jaké jsou zajímavosti ve vnitřním uspořádání tektitů. Ještě se zbývá zmínit o poslední, ale velice důležité součásti složení tektitů. Jedná se o bubliny, které mohou být korozi obnažené na povrchu a tím také výrazně přispívat ke specifické morfologii. Skoro v každém tektitu lze zjistit mikroskopické bubliny. Jejich průměr je různý, nejčastěji jen několik desetin milimetru. Jejich počet a nahromadění je zcela nahodilé. Pouze se zdá, že větší množství bublinek je v tektitech, které mají také více silně křemitých uzavřenin. Tvar bublinek je kulovitý, elipsovitý, doutníkovitý. Někdy jsou zploštělé, jindy i zcela pravidelné. Množství bublin malých nebo několik větších může také

způsobit větší snížení celkové specifické váhy tektitu. V tektitech se také mohou nacházet malé uzavřeniny. Ty byly zjištěny a popsány R.S.Clarkem a E.F.Hendersonem (1967). Ti zkoumali v tektitu z Martha's Vineyard (USA) drobnou uzavřeninu složenou z četných drobných zrníček. V uzavřenině bylo zjištěno větší množství zirkonia. V současné době jsou zejména takto podobné uzavřeniny a jiné specifické části různých tektitů podrobovány novým zkoumáním pomocí moderních metod průzkumu.

Typ Muong-Nong

Jednotlivé tektity spadající pod skupinu tektitů typu Muong-Nong vytvářejí speciální skupinu, pro kterou je charakteristická hlavně vrstevnatost. Domovem těchto typů je hlavně Laos, Thajsko a Vietnam. Jde o tektity nepravidelných tvarů. Charakteristická je pro ně vrstevnatost, ta se projevuje v uspořádání sklovité hmoty, v barvě i v rozložení bublin ve vrstvách, ve změnách chemického složení, hustoty a indexu lomu. Na povrchu jsou tyto jevy prokazatelné zejména odlišným vyleptáním jednotlivých vrstviček. Tyto typy se však mohou vyskytovat i u jiných tektitů, než těch asijských. Avšak vrstevnaté tektity typu Muong-Nong z jihovýchodní Asie mají vždy vyšší obsahy bublin a reliktních nerostů, tedy těch které zůstaly v tektitovém skle zachovány při jistě drastickém vysokoteplotním tavení, než běžně tvarované tektity. Tyto tektity jakoby lépe dochovávají záznam o původním materiálu a jeho nerostech, snad právě díky vrstevnaté struktuře. Obvykle také mívají obsahy těžkých prvků vyšší, než běžně tvarované tektity (Bouška, 1992).

Jedná se o poměrně velké, kusové tektity nepravidelného tvaru, u kterých chybí celkové vnitřní pnutí a je zřejmé, že pocházejí z nějakého většího kusu. Tomu odpovídá i hromadnost výskytu na jednom místě.

2.3.2 Fyzikální vlastnosti

Velmi významnou fyzikální veličinou při sledování a zkoumání tektitů je index lomu světla. Usnadňuje totiž nejen vzájemné dorovnávání tektitů, ale do značné míry i jejich určení. Nepřímo totiž také určuje i základní chemické složení, neboť je na tomto složení přímo závislý. Lépe řečeno nepřímo závislý na obsahu oxidu křemičitého a přímo na obsahu oxidu železnatého. Průměrné hodnoty indexu lomu světla se u jednotlivých tektitů mírně liší. Například pro vltaviny je stanovena hodnota 1,492, pro bediasity 1,496 a dále například pro indočinity a tektity z Pobřeží slonoviny – ivority 1,508. Obyčejná umělá skla mají index lomu vesměs kolem 1,502. V jednotlivých kusech ještě můžeme pozorovat místní odchylky v podobě již zmíněných šlír nebo lechatelieritových zrněk.

Další vlastnosti sloužily zejména při zjišťování původu tektitů. Například podle tavitelnosti a samozřejmě následně i chemického složení byly prohlášeny tektity za přírodní skla vůbec. Intenzitou magnetizace zase lze odlišit tektity od obsidiánů, jelikož tektity mají magnetizaci nulovou. Do výčtu fyzikálních vlastností patří samozřejmě také tvrdost, která je pro tektity stanovena na hodnotu kolem 6,5 na Mohsově stupnici tvrdosti nebo hustota a specifická váha. Rozdíl mezi hustotou a specifickou vahou je u tektitů prakticky nepatrný.

Přestože hmota tektitů je silně křemitým sklem, byla na nich zjištěna v některých vzácných případech i zvonivost a nerozbitnost. Sběratelé tektitů poznají „zvonivé“ kusy podle „kovového“ zvuku, který se ozve při manipulaci s nimi na tvrdé podložce. Zvonivost byla zjištěna hlavně u protáhlých vltavinů (K.Soukeník a J.Střelec, 1966).

2.3.3 Chemické vlastnosti

Již několikrát bylo uvedeno, že tektity jsou křemičitá skla. Od obyčejných umělých skel se liší vysokým obsahem oxidu křemičitého, hlinitého a podobných. Chemicky tektity nejvíce připomínají umělá skla, ale také přírodní obsidiány. Ty jsou však sklovitě utuhými vyvřelými horninami, jako jsou například ryolity. Značnou chemickou podobnost nalezneme i směrem ke granofyrům, spraším, půdám na zemském povrchu a dalším.

Jelikož jsou tektity přírodní produkty s výraznými vlastnostmi materiálu, vyznačují se například vysokou chemickou odolností nebo dlouhodobou stabilitou proti devitrifikaci (odskelnění). To dokazují například velmi malé obsahy vody a vysoký poměr Fe^{3+}/Fe^{2+} .

Charakteristické rysy všech tektitů jsou tedy velice specifické a přitom spíše uniformní. Můžeme u nich nalézt spříznění s některými sedimenty, například v obsahu hlavních oxidů. Mají vysoký poměr

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ a vysoký obsah CaO a MgO (Bouška, 1968). Obsahy a poměry stopových prvků dokazují, že jsou rozdílné od meteoritů, lunárních hornin a pozemských magmatických hornin, a že mají blízko k jílovitým a písčitém sedimentům. To je usuzováno dle distribuce REE, poměrů Zr/Hf , K/U , Th/U , K/Rb a dalších (Bouška 1992).

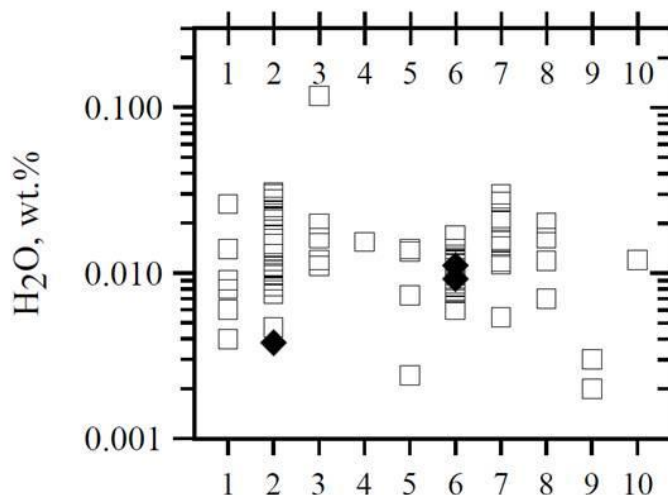
Dále předpoklad vzniku ze srážky vesmírného tělesa se zemským povrchem byl podpořen již mnoha geochemickými výzkumy. Tvrzení některých vědců upozorňujících na fakt, že model dopad není natolik dokonalý. Poukazují na relativní homogenitu tavenin, která by měla být zformována během páru sekund, ale přitom z objemu několik km^3 .

Navzdory podobnému chemickému složení tektitů pocházejících z různých míst Země mohou být také nalezeny i rozdíly mezi nimi. Například vltavíny, které jsou nejkyslejší skupinou tektitů (80 hm% SiO_2) a jsou relativně bohaté na K_2O . Nejbliže mají proto geordianitům.

Extrémně nízké obsahy těkavých komponent jsou charakteristické pro všechny tektity. Například průměrné obsahy vody se pohybují kolem 0,002 – 0,030 hm% (Beran, Koeberl, 1997), což dělá z tektitů obecně nejsušší přírodní materiál.

Stanovení ukázala velmi nízký obsah vody v tektitech (méně než 0,03 hm%) oproti vulkanickým sklům (více než 0,1 hm%), což je tedy zajímavé vzhledem k jejich jinak podobnému složení. Tento fakt se později stává jedním z nejvýznamnějších rozpoznávacích znaků tektitů, ačkoliv nahrává argumentu pro extraterestiální vznik. V současnosti však z většiny dostupných argumentů vyplývá, že tektity byly formovány výsledkem impaktového procesu (Koeberl, 1986; Feldman, 1990; Heinen, 1998). Díky pokrokům moderního studia, například IR spektroskopie, je možné dosáhnout daleko větší přesnosti v měření variací obsahu vody v různých typech tektitů a impaktitů. Například jak udávají Lukanin a Kadik (2004), průměrné hodnoty obsahu vody ve vzorcích jsou například pro vltavíny $0,010 \pm 0,005$ hm%, indočínity $0,0038 \pm 0,0005$ hm% a irgizity $0,0322 \pm 0,0020$ hm%, což je v souladu i se stanovením dřívějších autorů. K poklesu došlo také u méně volatilních prvků, jako jsou například As, Sb, Cu, P.

1-australity, 2-indočínity, 3-filipínity, 4-thailandity, 5-javanity, 6-vltavíny, 7-bediasity, 8-georgianity, 9-ivority, 10-tektity z Kuby



Obr. 4. Obsahy vody v různých typech tektitových skel; zdrojová data jsou dostupná v článku, zabývajícím se výhradně touto tematikou, jehož autory jsou Lukanin, Kadik, (2004)

Mocnoství prvků indikuje redukční podmínky při jejich formování, což dokazuje primárně poměr Fe^{3+}/Fe^{2+} . Ten se podle různých dostupných výsledků pohybuje blízko nuly, přičemž typy Muong – Nong mají z tektitů tento poměr nejvyšší. Tento běžně pozorovaný anomálně nízký poměr naznačuje, že tektity zatuhly v prostředí s nízkou hodnotou kyslíku (Dunlap, Sibley, 2004). Znamky toho, že Muong – Nong tektity mohou mít vyšší poměr Fe^{3+}/Fe^{2+} než přepálené formy tektitů může být v souladu s jejich obecnou morfologií a tedy vytuhnutím z taveniny za nižší teploty.

Důležité je také studium izotopů a to nejen kvůli stanovení stáří, ale také kvůli řešení problematiky geneze tektitů. Nejvíce používanou metodou je metoda $^{40}K/^{40}Ar$, která ukazuje čas posledního přetavení materiálu. Toto krátké přetavení totiž nemění poměr $^{87}Sr/^{86}Sr$ a $^{87}Rb/^{86}Cr$. Proto toto může vést k nalezení zdrojového materiálu tektitů. Pokud se jedná uvažovaný průlet materiálu vesmírem, v těchto teoriích jsou takto letící objekty bombardovány kosmickým zářením. To vede k tvoření radioaktivních izotopů ^{26}Al , ^{10}Be a ^{14}C . Ty však nebyly nalezeny kvůli jejich poločasů rozpadu. Ani odhadované hodnoty pro australské tektity a ivority neukazují na jejich cestu vnějším vesmírem.

Současná další uvažovaná podobnost tektitů je s technickým sklem antropogenního původu. Průmyslově produkováná skla se však liší od přírodních skel nízkým obsahem hliníku. Nejdůležitější průmyslová skla také obsahují 70% SiO_2 . Obsah SiO_2 běžného tektitu se pohybuje od 70 hm% do 78 hm% . Proto jsou tektity považovány za tvrdá až velmi tvrdá skla. Přírodní skla se skládají ze sedmi hlavních elementů SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{FeO/Fe}_2\text{O}_3$, MgO , CaO , Na_2O a K_2O . U průmyslových skel chemická stavba obsahuje většinou 10 – 15 hlavních elementů. Rozdíly mezi obsidiány a tektity z hlediska počtu hlavních elementů jsou potom malé, ale obecně mají tektity vyšší obsah MgO na daný obsah SiO_2 a oproti mnohým obsidiánům obsah K_2O převyšuje obsah Na_2O . Kromě toho celkové obsahy alkálií a vody u tektitů jsou menší než v pozemských vulkanitech a průmyslově vyráběných sklech.

Existují však také jisté rozdíly ve fyzikálních vlastnostech. Měření teplotní rozpínivosti, změna hustoty po žhání a mikrofotografie potvrzují rozdílnou termální historii obsidiánových i tektitových skel. Z toho důvodu může být vulkanický zdroj tektitů vyloučen.

Tyto výsledky podtrhují důležitost fyzikálních důkazů o vzniku skel. Homogenita složení skla z jednotlivých pádových nebo sub-pádových polí je důsledkem extrémního formovacího procesu, například kondenzace z plazmy.

2.4 DRUHY TEKTITŮ

Tektity se nikdy nenacházejí samostatně, vždy více či méně početných „rodinách“. Taková seskupení nalezená na několika oblastech zemského povrchu se nazývají pádová pole tektitů a jejich rozsah kolísá od čtverečního kilometru do desítek tisíc kilometrů čtverečních. Nejmenší z nich jsou mikrotektity, doprovázející tektity na některých pádových polích. Jsou mikroskopických rozměrů – od 1 mm do průměru běžné rozpoznatelnosti, což je asi do 30-40 μ m. Nejde o úlomky nebo střepiny, ale vždy o celotvary. Naproti tomu největším zaznamenaným nalezeným je thajský tektit o rozměrech téměř fotbalového míče a hmotnosti 12,8kg. Jedná se o vrstevnatý typ tektitů, tzv. typ Muong Nong, o kterém se zmíním ještě později. Všechny tektity bývají nacházeny v povrchových vrstvách do hloubky nejvýše prvních desítek metrů a v odpovídajících vrstvách mořského sedimentu, případně přímo na povrchu.

Podle radiometrického stáří a zeměpisného rozšíření rozeznáváme šest hlavních pádových polí tektitů, přičemž nejstarší nalezené jsou jen 35milionů let staré. Neznáme je ze starších geologických útvarů, a proto ani ne z větších hloubek. Musíme předpokládat, že pokud ve starších geologických obdobích vznikaly, byly již dávno zničeny transportem nebo rozpuštěny (Bouška, 1992). V následující tabulce jsou uvedeny nejznámější tektity, jejich pádová pole, uvažovaný kráter, který by má spojitost s jejich vznikem a konečně uvažované stáří.

Tab. 1. Stáří vybraných tektitů (Storzer, Wagner, 1971; Laurenzi, 2003; Koeberl, 1996-1998; Izett, Obradovich, 1992; Engelhardt et al., 1987)

TEKTITY - pádové pole	KRÁTER	STÁŘÍ
Severní Amerika	Chesapeake bay	34,9 Ma
Střední Evropa	Ries	14,5 Ma
Ivority	Bosumtwi	1,07 Ma
Australity	Neznámý (lokalita Indočíny)	0,77 Ma

Kráter australských tektitů je zatím neznámý. A to i přesto, že se jedná o tektity nejmladší a jejich pádové pole je největší. To pokrývá zhruba jednu desetinu zemského povrchu. V historii padlo již mnoho návrhů, jaká oblast by mohla být pro tyto tektity zdrojová, ale aby plně odpovídala, dají se požadavky shrnout na oblast někde blízko Indočíně (Glass, Wu, 1993). Tato myšlenka je silně podporována důkazy rozsáhlých lesních požárů a povodní v Thajsku, vyskytujících se přechodně spolu s událostí vzniku těchto tektitů. Zvláště se také jedná o přítomnost „šokového“ typu křemene ve vrstvách vyskytujících se ihned nad vrstvou tektito-nosných horizontů v Thajsku (Son, Koeberl, 2005).

2.4.1 Vltavíny

Nehledíme-li na onu zapadlou zprávu o jihočínských tektitech z desátého století našeho letopočtu o jihočínských tektitech, staly se tedy vltavíny od města Týn nad Vltavou, Mayerovým popisem z roku 1787, nejdříve známými tektity. S postupnými pozdějšími objevy tektitů vzrůstá zájem i o vltavíny. Koncem 19. století byl F. Dvorský objevitelem moravských vltavínů. Z pozdějších monografií o vltavínech je třeba vzpomenout publikace F. Hanuše, zpracovaných na podkladě asi 10 000 kusů a četných geologických postřehů z terénu. O něco pozdější publikace například J. Oswalda již vyniká jedinečnými a dokonalými kresbami vltavínů a popisem jejich vlastností z jednotlivých nalezišť. V roce vyšla tiskem první část série „Vývoj poznání vltavínů“ za dobu 1787 -1914, kde bylo poprvé podrobně a přibližně chronologicky referováno a výsledcích bádání i vltavínech. A pokračovaly další a další hojné výzkumy a publikace. Přínos českých badatelů k výzkumu vltavínů začíná například J. Barešem, který jako první zjistil vysoký bod tání vltavínového skla 1400°C a tím podepřel velmi přesvědčivě jejich přírodní vznik. A následovaly další práce badatelů, které se snažily osvětlit od indexu světelného lomu, přes určení jejich hustoty, až po širší zkoumání například geologie vltavínových šterků. Po druhé světové válce začíná v Čechách nová fáze zájmu o vltavíny a tektity. Podnět k tomu daly roku 1959 návštěvy severoamerických badatelů, kteří postupně navštívili zdejší naleziště a sbírky. Zvýšený zájem českých geologů přinesl nové důležité aspekty v otázce vltavínové (Rost, 1972). Vedle domácích badatelů však existuje mnohem větší počet badatelů zahraničních, kteří vědecky zkoumali vltavíny v souvislosti s problémem tektitů. Určitě žádná jiná česká přírodnina nesoustředila na sebe tak velkou zahraniční pozornost jako právě vltavíny.

Již bylo řečeno, že původu vltavínů odpovídá nejspíše meteoritový kráter Ries Kessel a Steinheim v německém Bavorsku. Jelikož je naší krajině nejbliže a má přímou souvislost právě s vltavíny, právě jeho podrobnějším popisem si lze později zevšeobecnit situaci i pro ostatní krátery a tektity s nimi spojené.

Právě Ries byl již mnohem dříve předmětem zkoumání geologů, kteří tento kráter o průměru 24km vysvětlovali nejdříve jako náhodný projev skrytého vulkanismu. Avšak v roce 1904 poukázal E. Werner na možnost původu díky mimozemské síle a upozornil na analogii s meteoritovým kráterem v Arizoně, USA. Teprve však objev, coesitu nejen ve sklech z pískovců arizonského meteoritového kráteru, ale také v suevitu z oblasti Riesu způsobil, že tento zajímavý útvar je považován za meteoritový. Zajímavé také je, že jihozápadním směrem ve vzdálenosti 42km je menší meteoritový kráter u Steinheimu. Průměr tohoto kráteru je pouze 2,5km a hloubka 70m. Uprostřed skoro kruhového kráteru je kuželovitý kopec 40m vysoký. Také zde chybí známky vulkanismu, avšak nejdřív zde byly uplatňovány teorie kryptovulkanismu. Podle geologických výzkumů zde došlo ke katastrofické události někdy mezi torionem a sarmatem, tedy ve stejné době jako u Riesu. Ani u Steinheimu, ani u Riesu však nebyly nalezeny úlomky meteoritů. Pouze mikroskopem lze v některých sklech kráteru Ries zjistit velmi drobné kuličky niklového železa meteoritů. Zvláště však potom

přítomnost coesitu a stišovitu byla později považována za hlavní důkaz meteoritového původu kráterů. Jsou to dvě modifikace oxidu křemičitého, které vznikají jako produkty extrémně vysokých tlaků a teplot. Například coesit vznikne z oxidu křemičitého při tlaku nad 20kbar a při teplotě alespoň několika set stupňů Celsia. Stišovit potřebuje ke svému vytvoření kolem 100-150kbar. Tak vysoký tlak v přírodě sotva může vzniknout při sopečných pochodech v zemské kůře. Naopak je můžeme předpokládat v případě dopadu obrovských meteoritů na zemský povrch, kdy se ohromná pohybová energie meteoritu mění na teplo. Za daných podmínek pak takto extrémně vysoký tlak může dát za vznik právě coesitu či stišovitu. Dokonce v některých úlomcích křemitých hmot bylo dokázáno až 5% coesitu. Stišovit byl nejdříve prokázán právě v pískovci již zmíněného arizonského kráteru a krátce na to i v nataveném úlomku žuly nalezeného v Riesu. Teorii potvrzuje i fakt, že na sopkách ani na jiných podobných místech zemské kůry nebyl coesit nalezen.

Až dosud bylo na celém světě nalezeno asi 100 kruhových prohlubní, z nichž u velké části byl dokázán coesit, stišovit, dále pak drcené horniny, tříštivé kužele, kráterová skla s kovovými magnetickými kuličkami a někdy i se zbytky meteoritů. V některých je prokazatelný středový kužel. Podzemními jadernými výbuchy lze vytvořit velké krátery vzhledem zcela podobné pravým meteoritovým kráterům. Například při pokusném výbuchu 1,2kt bomby v Nevadě roku 1955 se vytvořil coesit (Rost, 1972).

Podle E. Preusse (1964) vznikl kráter Ries dopadem meteoritu o průměru asi 500 až 1000m. Je reálné počítat s rychlostí tohoto meteoritu vůči Zemi kolem 22 km.s^{-1} , což neodporuje podmínce, že tato rychlost musí být v rozmezí $11-73 \text{ km.s}^{-1}$. V Riesu bylo vymršťeno a přemístěno $50-100 \text{ km}^3$ hornin. Značná část materiálu byla roztavena a část se žářem proměnila v plyny. Přítomná voda přešla v přehřátou páru. Při výbuchu meteoritu v oblasti Riesu byly horninová drť a prach vymršťeny vysoko do stratosféry a to nejspíše až do výše 50km, s rozpětím 40km.

Pádové pole vltavínů v Čechách tvoří široký pás nesouvislých výskytů kolem Českých Budějovic. Dále také na Moravě, kde je pás rozdělen od Třebíče směrem severně kolem povodí řeky Jihlavy a jižně až ke Znojmu. Až dosud byla největší část vltavínů nalezena na povrchu polí. Již J.N.Woldřich v Čechách a F.Dvorský na Moravě ukázali, že ornice polí není původní matečnou horninou vltavínů, ale že to jsou vždycky písky a šterkopísky ležící pod ornici. Při orání se dostává šterkopísek s vltavíny na povrch polí. Protože intenzivní sbírání probíhá již celá desetiletí, ubývá na polích postupně vltavínů, zvláště těch větších. Hlubší orba pomocí velkých pluhů a traktorů, asi od roku 1950, vynesla na povrch polí dosud nedotčené hlubší šterkopísky. Avšak v přítomné době, opět zvýšeným zájmem sběratelů, se citelně snižuje množství vltavínů na polích. Jiným místem nálezů jsou pískovny v Čechách i na Moravě. Je však pohodlnější sbírat v příhodné době vltavíny na polích, nežli je namáhavě získávat kopáním v pískovnách. Po prudkých deštích bývají nálezy vltavínů na polích vydatnější.

Ke konci tohoto tématu je ještě nutno uvést, že nejmladší nalezené pádové pole vltavínů se nachází v severočeské Chebské pánvi. Jen mezi roky 1993 – 2007 vydalo 2500 – 3000 vzorků těchto tektitů. Tím se stalo třetí největší zdrojovou oblastí v střední Evropě. Z chemického pozorování vykazují největší variace ve vzorcích prvků železa. Dále vzorky vykazují značné heterogenity jako šliry nebo fluidální struktury. Dva konkrétní vzorky z Chebské pánve dokonce vykazovaly obohacení volatilními prvky (např. Zn, Cu), což je typické například pro Muong – Nong typy australitů.

Nalezení tohoto dalšího pádového pole v okolí Chebu dokazuje teorii, že vltavíny byly vymrštěny z místa impaktové struktury Riesu proudem vějířovitého tvaru, ale ještě není zcela prokázáno, zda šlo o souvislý proud či více jednotlivých drah proudů letu materiálu.

Také petrografické složení jihočeských vltavínových sedimentů již bylo mnohokrát studováno. Geologicky starší vltavínové sedimenty (náležející nejspíše svrchnímu miocénu) mají převážně zelenošedou barvu, v jejich složení převládají jílovité částice a prachová zrna. Psefitických úlomků hornin a nerostů je poměrně málo a jsou málo opracované. Vltavíny v nich jsou hluboce skulptovány. Druhým petrografickým typem vltavínových sedimentů jsou převážně žluté štěrkopísky, s různým stupněm opracování. Tyto sedimenty jsou prakticky bez jílových příměsí a vltavíny v nich jsou dosti zaoblené vlivem vodního transportu a jsou nejspíše čtvrtohorního stáří. Jako další z mnoha se věnoval geologii vltavínových sedimentů například V. Bouška a ten rozdělil jejich naleziště v Čechách i na Moravě do tří skupin. Jsou to vysoko položené štěrky a písky středně nebo svrchně pliocénních stáří, svahové hlíny a sutě čtvrtohorního stáří a aluviální náplavy kolem dnešních toků.

Morfologii jižních Čech z doby pádu vltavínů známe jen velmi zhruba. Celkově to byla třetihorní pánev Českobudějovická a Třeboňská, původně s nepatrnou nadmořskou výškou. Brzy po pádu vltavínů se počala zvyšovat nadmořská výška celé oblasti. Z výše uložených nebo později vyzvednutých sedimentů se dostaly vltavíny místy do svahových hlín a sutí čtvrtohorního stáří. Sem náleží naleziště ve svahových hlínách u Brusné nebo severně od Lhenic, po levé straně silnice do Netolic a jiné. Také vltavíny a sedimenty druhé skupiny podle Boušky prodělaly jen nepatrný transport. Do třetí skupiny nalezišť vltavínů patří náplavy štěrkopísků kolem dnešních řek. Řeky roznesly jihočeské vltavíny severním směrem. Malé vltavíny zmizely již po krátkém transportu vodou. Poměrně daleký transport však snesly hlavně větší kusy. Byly přitom dosti opracovány, a tím ztratily nejen část své hmoty, ale také charakteristickou povrchovou skulptaci, která je typická pro nálezy v neporušených štěrkopíscích (Rost, 1972).

Většina vltavínů byla tedy pozdějšími geologickými procesy přeplavena do převážně rezavě zbarvených štěrkopísků pliocénního stáří, které mají dobrou rozpustnost pro vodní roztoky. Podzemní voda obohacená obsahem atmosférického oxidu uhličitého, ze kterého vzniká slabá kyselina dusičná, a huminovými kyselinami, proniká snadno k povrchu vltavínů a leptá je v kyselém prostředí. Vltavíny mají lesklý, někdy až lakový povrch a získali jamkovitou, oválnou skulptaci.



Obr. 5, Vltavín; zdroj: www.tektites.co.uk (21.10.2009)

Vltavíny přeplavené a uložené ve čtvrtohorách obsahují někdy zbytky staré skulptace odřené transportem. Nová skulptace se již nemohla v krátké době od uložení vytvořit. Tyto vltavíny mají tedy povrch otřelý, matný. Snad nejvíce oceňovanou vlastností vltavínů je jejich krásně příjemná barva. Jistě ji podporuje i průhlednost nebo alespoň průsvitnost vltavínů, pokud zrovna nejde o silnější vzorky nebo ty tmavě hnědé barvy, které jsou hůře průsvitné a v dopadajícím světle mají barvu černou nebo černozeleňou. Prakticky vždy posuzujeme barvu tektitů v průhledu. Vhodné by bylo posuzovat barvu v průhledu proti dennímu světlu u vybroušených, stejně tlustých destiček. Většinou však sledujeme barvu nalezených ukázek v původním nalezeném stavu, pro vybroušené destičky o stejné tloušťce se rozhodneme, když chceme provést přesnější měření.

Barva vltavínů z českých a moravských nalezišť a ojedinělých nalezišť v Německu a Rakousku kolísá v různých odstínech zelené a hnědé a většinou byla popisována vizuálně. Přesnější odhad provedl F.E.Suess (1900) podle Raddeho barevné stupnice a Bouška a Povondra (1964), vycházeli z absorpčních křivek světla, měřených na vybroušených a vyleštěných planparalelních destičkách různě vybarvených vltavínů o tloušťce kolem 2mm ve viditelné části světelného spektra a určili barvy vltavínů fyzikálními metodami. Odlišili dokonce šest barevných odstínů vltavínů. Barevná škála vltavínů je v pořadí bledě zelená, světle zelená, lahově zelená, olivově zelená, hnědá a jedovatě zelená. Podle A.J.Cohena (1958) je barva tektitů dána absorpcí Fe^{3+} ve fialovém konci a Fe^{2+} v červeném konci světla. Proto vltavíny mají průběh absorpční křivky výrazně zvýšený u červeného konce viditelného spektra a jen málo zvýšený k fialovému konci.

Co se týče chemického složení vltavínů, s růstem obsahu železa klesá obsah oxidu křemičitého, proto vltavíny hnědých barev mají obsahy oxidu křemičitého nižší, než světle nebo bledě zelené vzorky. Svým způsobem můžeme podle barvy vltavínů také usuzovat na povahu jejich chemického složení, a to nejen v případě oxidu železnatého a oxidu křemičitého a dalších.

Samostatnou kapitolou jsou dvoubarevné vltavíny. Tyto vltavíny jsou však velmi vzácné. Sestávají se z dvou pevně spojených přitavených částí odlišné barvy. Rozhraní bývá zpravidla velmi ostré. To si lze představit tak, že ke spojení obou částí došlo při kolizi za letu, kdy kusy byly ještě v plastickém stavu nebo alespoň jeden z nich. Každá z barevně odlišných částí si ponechala svou vlastní orientaci a rozmístění bublin, lechatelieritových zrn a šlír. Z mikroskopického studia dvojbarevných vltavínů vyplývá, že styková hranice obou částí má anomální dvojlom a tedy vnitřní pnutí (V.Bouška, 1992).

2.4.2 Australity

Tektity známé od roku 1834 z Austrálie, Tasmánie a přilehlých ostrovů krátce popsal v roce 1844 Ch.Darwin. Název australit pochází od F.E.Suesse (1900). Místa nálezů jsou rozptýlena v Austrálii na jih od pětadvacáté rovnoběžky. Ojedinelé nálezy ze severní části kontinentu lze považovat za kusy zavlečené z jihu člověkem nebo velkými ptáky. Domorodci používali černých australitů jako ozdoby či talismanů, vzácně k výrobě nástrojů a ptáci jako trávících kamenů ve volatech. Nálezy australitů pokračují i do severní části Tasmánie a lze předpokládat, že jsou i v okolním moři. Nálezová oblast v jižní Austrálii měří více než 3mil.km². Pádové pole australitů je vůbec největší pádové pole na světě.

Rozložení australitů není stejnoměrné. Jsou lokality bohaté, jiné jsou chudé. Snad nejbohatší naleziště australitů je u Stanhopeovy zátoky ve Victorii mezi Warrnambollem a Peterboroughem. Na čtvereční metr tohoto naleziště připadl jeden australit. Na malé ploše zde byly nalezeny skoro všechny typy australitů (G.Baker, 1962). V jiných oblastech je hustota nálezů nepatrná, například jeden kus na 250km².

Australity nemají žádný vztah ani ke svému podloží, ani k prostředí ve kterém se vyskytují. Nacházejí se na vrcholech kopců, na povrchu rozlehlých planin a pouštních oblastí. Vyskytují se i v písčítých dunách pouštních oblastí, v jílovitých mělkých recentních pánvích, ve vyschlých jezerech, v naplaveninách potoků i v jiných přemístěných horninách, v tenkých povrchových hlínách, v ornici a podobně. Jsou u hladiny moře, ale také v krajinách kolem 600 m. n. m. Australity se měly dostat do povrchových vrtev asi před 5000 lety (G.Baker, 1962). Vyskytují se jen v geologicky velmi mladých sedimentech, což je v souladu s jejich povrchovým výskytem.

Proti všem ostatním tektitům ostatním tektitů vznikají australity dokonale zachovalými ablačními jevy. Abláční hrany na knoflíkovitých australitech jsou soustředěné, někdy jsou však šroubovicovitě rozvinuté ze středu přední ablační plochy a to buď pravotočivě, nebo levotočivě. Abláční nerovnosti jsou na australitech obvykle jen na jedné straně. Z toho lze poznat, že australity vnikly do atmosféry jako chladná pevná tělíska, která si většinou udržela stálou polohu ke směru pohybu.

Povrchová barva australitů je černá, lesk silně kolísá od zcela lesklých až k zcela matným kusům. Většinou je však lesk matný. V úlomcích nebo výbrusech jsou v procházejícím světle australity hnědozelené. Fluidálnost je běžně patrná na všech výbrusech při mírně šikmém osvětlení. Místy se ve

skle australitů objeví drobné bublinky, popřípadě i zrníčka lechatelieritu. Vnitřní stěny bublin mají dokonalý silně skelný lesk.

Mateřský materiál australitů lze odvodit nejspíše ze sedimentární písčité břidlice z povrchových hornin Země nebo jiné planety. Například dle stanovení (Son, Koeberl 2005) na vzorcích fragmentů Muong – Nong z Vietnamu a vzorcích přeplavených forem tektitů z Filipín je však v souladu s dřívějšími hypotézami potvrzeno, že tektity vznikly z pozemských sedimentů svrchní kůry. Chemické změny uvnitř tektitů jsou často pozorovány. Nenaznačují však žádný systematický trend. Pravděpodobně je to tedy způsobeno nedokonalým promícháním mateční horniny.

2.4.3 Tektity jihovýchodní Asie

Celá oblast jihovýchodní Asie je nejbohatší částí světa na tektity. Naleziště se zde rozprostírají na tisícikilometrové vzdálenosti. Na severu začíná tektitová oblast v jižní Číně, pokračuje jihozápadním směrem před Vietnam do Thajska, Laosu, Kambodže, dále pak na jižní cíp Malajského poloostrova. V indomalajském prostoru jsou tu i některé malajské ostrovy. Na východě ohraničují Filipíny celou rozsáhlou tektitovou oblast. Někteří badatelé považují prostor jihovýchodní Asie za jednotné pádové pole, srovnatelné pouze s australity, jiní uvažují o několika samostatných pádových polích. Prakticky však z hlediska sběratelů jsou odlišovány na severu tzv. indočinity, jižněji jsou malajsiacity a zcela na jihu oblasti v Asii billitonity a javanities. Na východě jsou to tzv. filipinity. Velká část badatelů však používá vžitých geografických názvů tektitů z jihovýchodní Asie, aniž přihlíží k jednotnosti nebo mozaikovosti celého pádového prostoru. Pro jednotné pádové pole svědčí stejné absolutní stáří tektitů celé oblasti (610tis.let), stejný ráz výskytu, vzhled, podobná velikost i poměrná vydatnost některých nalezišť. Pomocí paleontologických nálezů je ověřeno stejné stáří sedimentů, ve kterých se nacházejí tektity.

V celé oblasti jihovýchodní Asie se vyskytují tektity na povrchu terénu nebo v hloubce do 1m. Většinou jsou ve štěrcích, někde jsou i v lateritech nad zvětralými pískovci, v písčítých dunách a podobně. Podložní horniny jsou hodně rozmanité, někde jsou dokonce i sopečné tufy. U tektitů již bylo bezpečně prokázáno, že jejich chemické složení nemá žádný vztah ke složení hornin, na nichž jsou nacházeny. Indočinity tudíž shodně s ostatními jsou místně cizí hmoty. Nálezy tektitů ve štěrcích nasvědčují tomu, že tektity po svém pádu prodělaly menší transport. Charakteristická je rovněž vydatnost četných nalezišť. Celkově lze říci o tektitech jihovýchodní Asie, že jsou si zevně značně podobné a mají přibližně stejné chemické složení. Nápadně se však odlišují zvláště billitonity, které mají hluboké korozní rýhy, což je způsobeno místními vlivy prostředí. Jinak je však ve tvarech úlomků i celotvarů značná tvarová shoda například s vltavíny.

Barva tektitů jihovýchodní Asie je černá, lesk skelný v různé intenzitě. V e výbrusech nebo v tenkých střepinkách je sklovitá hmota asijských tektitů hnědě průhledná, je vidět i fluidálnost, lechatelierity,

s výjimkou billitonitů a javanitů i tzv. „fingers“, bublinky i celkové vnitřní pnutí mezi polaroidy. Tvarově převládají slzovité formy, hrušky, disky, jádra a jiné. Úlomkovitý, netvarovaný typ Muong-Nong v Thajsku, v Laosu a v jižním Vietnamu se ve velkém množství vyskytuje v blízkosti tvarovaných tektitů.

2.4.4 Ivority - tektity z Pobřeží slonoviny

Počátkem roku 1934 obdržel francouzský znalec tektitů A.Lacroix zásilku nově objevených tektitů z pobřeží slonoviny, tehdejší francouzské kolonie. Tím byla rozbita tzv. teorie velkého kruhu, který od Austrálie přes jihovýchodní Asii a Českou republiku spojoval všechny tehdy známé výskyty tektitů. Nález tektitů z rovníkové Afriky byl značně vzdálen od velkého kruhu, a také o něco později objevené severoamerické tektity do něho nezapadly.

Africké tektity byly objeveny v souvislosti s rýžováním zlata v poměrně malém prostoru. Naleziště tektitů například kolem Oullé jsou v oblasti, kde není známek po mladém vulkanismu. V podloží jsou zde krystalické břidlice a žuly. Tektity jsou řídké rozptýleny ve štěrcích, jejichž mocnost nepřesahuje 1m. Šterky jsou zlatonosné, ale v nynější době se již nerýžují. Tím prakticky zanikla tektitová naleziště, neboť zarostla bujnou vegetací. Z celé oblasti kolem Oullé bylo nasbíráno za třicet let jen asi několik kusů ivoritů, většinou mají tvar koule, někdy jsou kapkovité, válcovité i činkovité. Byla nalezena i kapka asi 8cm dlouhá. Na povrchu převládá jamkovitá skulptace. Typ Muong-Nong ani ablační jevy nejsou z Pobřeží slonoviny známy.

Africké tektity jsou na povrchu sytě černé, dosti lesklé. Domácí obyvatelstvo je nazývá „agna“. Tenké úlomky ivoritů jsou hnědě průhledné. A.Lacroix se zmiňuje také o dutém soritu, který při rozbíjení kladivem vydal slabý zvuk, jakoby bouchnutí. Lze z toho soudit na vakuum v bublinách afrických tektitů.

Pádové pole ivoritů je vzdáleno asi 300km od meteoritového kráteru v Bosumtwi v Ghaně. Mnohem lepší souhlas je však vidět v obsazích vzácných zemin v kráterovém skle v Bosumtwi, v ivoritech a horninách kráteru Bosumtwi. Ve velmi těsném souladu analytických výsledků spatřují vědci další podporu názorů, že ivority vznikly z kráteru Bosumtwi při dopadu nějakého kosmického tělesa.

2.4.5 Tektity z USA

V USA jsou dnes známé tektity ze tří oblastí. Nejdříve byly objeveny v Texasu v roce 1936 bediasity. O něco později v Georgii georgianity. A v roce 1959 byl nalezen jediný tektit Martha's Vineyard ve státě Massachusetts. Bediasity jsou černé neprůhledné a podobají se tudíž mnoha tektitům z Austrálie.

Nejčastější skulptační znaky jsou jamky a rýhy. V tenkých úlomcích jsou hnědě průhledné. Obsahují vlnkovitost, zrna lechatelieritu a bubliny obdobně jako jiné skupiny tektitů. Georgianity jsou zeleně průhledné až průsvitné a také jinými vlastnostmi se velice podobají vltavínům. Avšak vzhledem k nízkému počtu dosud nalezených georgianitů není známo tolik barevných tónů jako u vltavínů. Jinak je však shoda v morfologii a v chemismu velmi dobrá.

V Texasu se nachází bediasity v 8km širokém pruhu nalezišť, která se prostírají směrem jihozápado-severovýchodním na vzdálenost 230km. Podél výchozů eocénních sedimentů Jackson Group. Nesouvislý pruh bediasitových štěrků má obvykle nepatrnou tloušťku, kolem 15cm. Absolutní stáří zjištěné nezávislými metodami vychází pro bediasity, georgianity i pro tektit Martha's Vineyard na 34mil. let. Všechny tektity v Georgii byly nalezeny na povrchu naplavenin Hawthornovy formace, která je v Georgii 100m mocná.

2.4.6 Skla meteoritových kráterů

Kolem meteoritových kráterů nebo v jejich blízkosti nacházím skla s velmi vysokým obsahem oxidu křemičitého. Velmi často jsou kráterová skla sdružena se zbytky železných meteoritů. Někdy jsou dokonce v kráterových sklech drobné kuličky kráterového železa. Ty jsou jedním z kritérií, že sklo vzniklo dopadem velkého meteoritu. Vedle kuliček niklového železa lze však v kráterových sklech najít i coesit a stišovit. Kráterová skla bývají v odborné literatuře nazývána impaktity.

Nejznámější je Barringerův meteoritový kráter v Arizoně u Canyon Diablon, Coconino County, USA. Kolem kráteru bylo nasbíráno asi 30t úlomků meteoritového niklového železa. Další podobné krátery se nacházejí například Austrálii, Saúdské Arábii nebo Argentině.

2.4.7 Další křemičitá skla

Sklo Libyjské pouště

Nejzajímavějším na výskytu tohoto skla je, že sklo je v prostředí stejného chemického složení, je čisté, čiré a jednotného složení. Dosti velké množství se také nalézá jako velké kusy. Sklo Libyjské pouště se tedy svými vlastnostmi velmi odlišuje od ostatních kráterových skel.

Místa výskytu se nacházejí v Egyptě blízko hranic s Lybií, v západní části egyptského Velkého solného moře v prostoru zhruba 80x25km. Váhy vzorků se pohybují od méně než 1g po více než 25kg. Barakat (1997) popsal výskyt těchto skel v širokých koridorech mezi dunami a ve dvou hlavních zónách koncentrovaných v prstencovém tvaru na jihu a oválném na severu.

Tento zvláštní druh skla byl popsán poprvé Claytonem a Spencerem roku 1934. Od té doby se již více než sto článků zabývá jejich chemickým složením a vznikem. Nejčastěji jsou barvou průhledné, lehce

zelené nebo žluté. Velké vzorky (1 – 5 cm) jsou potom v průhledu zakalené nebo mléčné. V jejich byly nalezeny například krystalograficky neuspořádané zirkony, rutily nebo produkty rozpadu turmalínů. Dle rozpadu zirkonu byla určena teplota tavení na 1500 – 2000°C a čas impaktu byl udán na zhruba 29Ma (Geutner, 1969; Muller, Sohnius 1993). Výsledky dosavadních stanovení potvrzují vztah mezi LDG a staršími pískovci.



Obr. 6, 7, Vzorky Lybijského skla (LDG1, LDG 2) před broušením; vyfotografováno 2.1.2009, autor: RNDr. Roman Skála, PhD

Na rozdíl od ostatních přírodních skel obsahují ta lybijská více než 97% SiO_2 a mají vysoký obsah hydroxylové skupiny. Mezi 1400 – 1800ppm. Hlavními chemickými sloučeninami jsou potom ve stopovém množství Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 a v ještě menší koncentraci Mn, Mg, Ca, Na, K, Th a U. Stáří bylo určeno na zhruba 28,5 Ma.

V chemickém složení jsou také tato skla obohacena LREE a vykazují významnou negativní Europiovou anomálii podobně jako postarchaické sedimenty. Výskyt prvků většinou koreluje s REE obsahem. Z toho vyplývá, že matečný materiál byl složen křemenných zrn potažených směsí kaolinitu, Fe-Ti oxidů a akcesorické fáze. Dále také zkoumání PGE (Barrat at. al, 1997) v tmavých částech LDG potvrzuje vznik spjatý s impaktem. To vyplývá také z izotopického studia Nd apod. S největší pravděpodobností byly cílovou horninou arsenité křemeny jursko-křídové Nubijské skupiny. Nejdůležitější pro Lybijská skla je hodnota SiO_2 pohybující se kolem 98hm%. Velké vzorky jsou extrémně heterogenní. U vzorků Lybijského skla lze nalézt časté tmavé pásy a pruhy. Ty obsahují například Fe_2O_3 a wollastonit. Vysokoteplotní rozklad tedy může mít určitou důležitost během geneze Lybijského skla.

Rozměry vzorků dosahují od několika mikrometrů do 300mm. Některé druhy mají slabě zelený nádech, jsou bez bublin a homogenní. Jiné naopak zelenožluté, méně homogenní, obsahují bubliny a/nebo tmavé pruhy. Ve vzorcích se též mohou vyskytovat malé sférule obohacené o Al, Fe a Mg s ohledem na okolí silikátovou matrix. Tato matrix a amorfní sférulová forma emulzní textury pochází

nejspíše z dvou složek křemičité taveniny, která může být nemísitelná. Tato textura byla také pozorována v jiných impaktivních sklech. Křemičité sklo také může obsahovat uhelné inkluze sestávající se z polygonalizovaných grafitových „stuh“, které tvoří uzavřené struktury.

Původ těchto skel je stále předmětem debat. Nejuznávanější je však Straussova hypotéza, že kometa nebo meteorit zasáhly poušť a formovaly kráter, kdy impaktivní sklo bylo tvořeno křemičitou taveninou. Proces potvrzující nebo ukazující na impaktivní vznik popsali například Barnes a Underwood (1976), Koeberl (1997). Ten je podporován mimo jiné přítomností lechatellieritu, baddeleyitu a vysokoteplotními poruchami na zirkonu. Kráter však zatím nebyl identifikován. V jiných případech je uváděn sedimentární vznik spojený s lunárním vulkanismem například O'Keefe (1997).

Převaha fyzikálních, chemických a geologických známek již vyloučila vulkanickou a tektonickou aktivitu, která by měla podíl na vzniku Lybijského pouštního skla. Jako nejpravděpodobnější se pro původ ukazuje důsledek dlouhého či krátkého období padání komet v oblasti Velkého písečného moře v Egyptě. Jelikož objem původní taveniny byl v rozsahu od 3×10^7 do 3×10^8 m³, kalkulace ukazují, že vznik tohoto skla je zcela v souladu se známými fakty zahrnujícími dopad extraterestrických objektů a to, že dopad komet je nejvíce fyzikálně přesvědčivé vysvětlení o původu tohoto unikátního skla (Seebaugh, Strauss, 1984).

Darwinské sklo z Tasmánie

Na západním pobřeží Tasmánie v horském svahu nad městečkem Darwin je asi od roku 1950 známo silně křemité sklo, jehož vznik byl dlouho záhadný. Dnes je považujeme za kráterové sklo, i když nebyl v blízkosti žádný kráter nalezen. Absolutní stáří má pod 1 mil. let, pozemské jen několik tisíc let. Barva Darwinského skla je proměnlivá od tmavě šedozelené až skoro do černé. Některé kusy jsou šedé, jiné olivově zelené nebo žlutozelené. Bílé jen tehdy, když sklo obsahuje nadměrné množství drobných bublinek. Většina kusů je průsvitná. Na povrchu je sklo matné a poněkud drsné. Ve výbrusech je sklo dobře průhledné, někdy i s barevnými proužky, opticky izotropní, s fluidálním vlnkovaním. Bubliny řezu jsou kulaté nebo protáhlé, někdy rovnoběžně uspořádané. Darwinské sklo mohlo prodělat jen zcela nepatrný transport vodou.

2.5 Přehled používaných metod pro stanovení prvků v tektitech

2.5.1 Instrumentální neutronová aktivační analýza

Tato metoda je velice často užívána pro geologické vzorky. Principem analýzy je bombardování vzorku proudem neutronů, čímž jsou izotopy měřeného prvku aktivovány a vyzařují sekundární γ záření. To může být následně detekováno. INAA jako často používaná metoda i pro stanovení prvků v tektitech (použita například Frey et.al., 1970; Son a Koeberl, 2005) se však s příchodem ICP-MS dostává do pozadí. Nevýhodou této metody je také časová náročnost a vysoké pořizovací náklady.

2.5.2 Elektronová mikroanalýza

Tato metoda v sobě spojuje elektronový mikroskop a RTG spektrometr. Obě části přístroje využívají svazek urychlených elektronů emitovaných „elektronovým dělem“, který po dopadu na povrch vzorku způsobuje tzv. primární excitaci elektronů v atomech vzorku. Následkem této excitace dochází zejména k uvolnění sekundárních elektronů a RTG záření. Zároveň dochází ke zpětnému odrazu části dopadajících elektronů. Mikroskopická část využívá zpětně odražených a sekundárních elektronů, zatímco spektrometr analyzuje uvolněné rentgenové záření. Velikost zkoumané plochy je cca 50x80 mm, přičemž průměr elektronového svazku je kolem 1 μ m. Je tedy možné provádět téměř bodovou analýzu z vybraného místa na povrchu vzorku. Běžná citlivost spektrometrického stanovení koncentrace prvků je kolem 0,01%. Pro snadnější orientaci a průzkum ve viditelném světle je přístroj vybaven optickým mikroskopem a obrazy jsou následně snímány kamerou. Ovládání přístroje, zpracování mikroskopického obrazu a prvkových analýz se provádí prostřednictvím počítače s několika obrazovkami.

Elektronová mikroskopie je nedestruktivní metoda, pokud nevyžaduje „naprášení“ vzorku grafitem, nebo zlatem. Vlastní analytická metoda je také nedestruktivní. Omezující je ale malá velikost pracovního prostoru, která u větších předmětů vyžaduje odběr vzorku. Vysoké vakuum omezuje průzkum některých biologických vzorků.

Součástí přístroje je tedy nejdříve elektronové dělo s wolframovou (max. 40kV), nebo LaB6 (max. 30kV) katodou a integrovanou iontovou pumpou. Minimální průměr svazku elektronů je při 15kV a 100nA menší než 0.6 μ m s možností jeho rozšíření. Proud elektronového paprsku se pohybuje v rozmezí 10⁻⁵ až 10⁻¹²A s variací do 0.05% během jedné hodiny a do 0.3% během dvanácti hodin. Vakuum v přístroji je dosaženo difúzní nebo turbomolekulární pumpou. Následuje SEM, ten pracuje

se zvětšením od 40x do 400000x, SE - detektor s rozlišením až 6nm a BSE detektor s laterálním rozlišením 15nm při 25kV. Pět vlnově disperzních detektorů (WDS) pracujících paralelně s jedním energiově disperzním (EDS). EDS umožňuje analýzu prvků od berilia výše s rozlišením 135eV. Detektor je chlazen termoelektricky, nevyžaduje tudíž chlazení kapalným dusíkem.

Ultra-jemné polohování elektronového svazku se sledováním polohy a pracovní stolek s krokem 0,1 μ m umožňuje přesné zaměření sledovaného místa a mapování povrchu vzorku. Digitalizace obrazu je potom prováděna pomocí kamery. Optický mikroskop umožňuje pozorování v dopadajícím i procházejícím světle. Průměr zorného pole je průběžně měnitelný od 0,25mm do 1,75mm (Česká geologická služba, 2010).

2.5.3 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (LA ICP – MS)

Obecně všechny plazmové techniky využívají ICP (indukčně vázané plazma) jako zdroj kladně nabitých částic. Plazmový zdroj se skládá z radiofrekvenčního (RF) generátoru s indukční cívkou, plazmového hořáku, mlžné komory a zamlžovače. V plazmovém hořáku vzniká za pomoci RF generátoru a cívky v proudu argonu plazma. Inertní plyn a zamlžovač ze vzorku vytvoří v mlžné komoře aerosol, jehož jemná frakce (částice < 5 μ m) se dostává do hořáku. Indukčně vázané plazma je vhodným zdrojem iontů a díky vysoké teplotě je schopno ionizovat většinu prvků. Průchodem aerosolu vzorku plazmatem vzniká pára, poté atomy a ionty. Můžeme měřit pouze prvky, které mají menší ionizační potenciál než Ar, ostatní (například vzácné plyny nebo fluor) v tomto prostředí ionizovat ani měřit nelze.

Pro analýzy tektitů byla také použita metoda ICP-AES, tedy atomová emisní spektrometrie (Barrat, 1997), ale pro potřeby této práce a vzhledem k vývoji používaných metod pro stanovení prvků v tektitech hraje daleko významnější roli ICP-MS.

ICP – MS je více-prvková analytická metoda, která má v současnosti mez detekce pro většinu prvků výrazně nižší než běžné analytické metody. Rychlost měření, malá spotřeba vzorku, vysoká produktivita a možnost stanovení izotopového složení prvků jsou dalšími přednostmi metody.

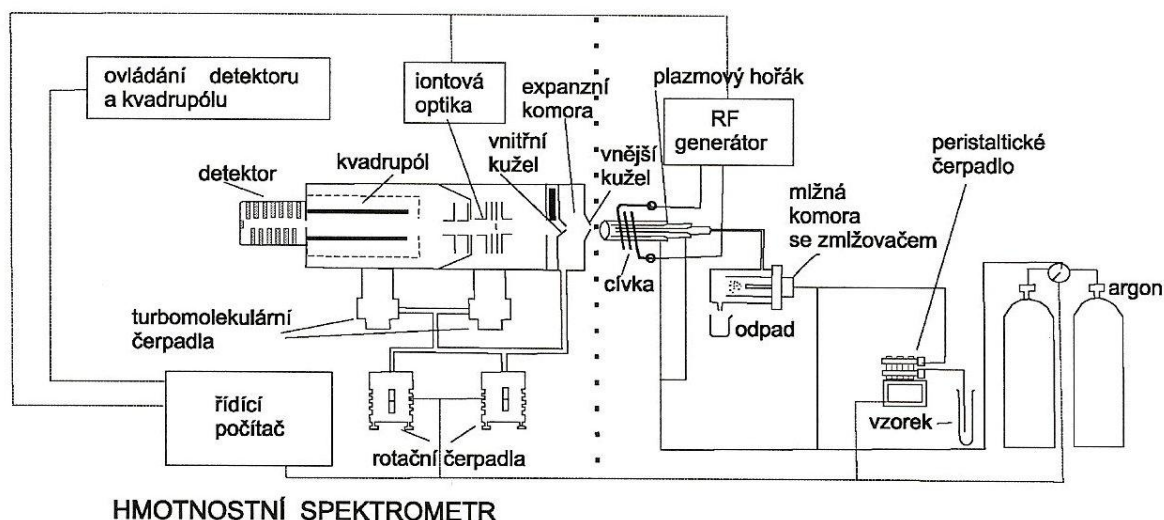
Indukčně vázané plazma se nabízelo od samého začátku jeho uvedení do spektroskopie jako zajímavý a relativně stálý iontový zdroj pro hmotnostní spektrometrii. Kromě hledání ideálních parametrů u vlastního hmotnostního spektrometru a plazmového zdroje bylo zásadním problémem vyřešit spojení těchto částí, tedy jak převádět ionty z plazmatu o atmosférickém tlaku do prostředí kvadrupólu a detektorů umístěných ve velmi vysokém vakuu a to bez podstatných ztrát iontů a charakteru vzorku a při minimálních rušivých vlivech molekulových iontů, či atomových iontových asociátů. Vývoj zařízení probíhal v letech 1975 – 1978 (Bendl, 2009).

Pro potřeby stanovení prvků v tektitech jako v pevném materiálu je užíván spektrometr s přídavným zařízením pro laserovou ablaci. Tato metoda je používána pro detekování koncentrací stopových prvků vzácných zemin v pevných vzorcích. Než se poprvé podařilo spojení jednotky s laserovou ablací a indukčně vázaného plazmatu (Gray, 1985) byla metoda zhruba deset let podrobována mnoha zlepšením. Dnes je tato metoda již velice dobře zavedena a používána geochemickými laboratoři. Je široce využívána v různých vědeckých aplikacích, zvláště v petrologii nebo geochronologii a také v environmentálních nebo technických oborech, avšak spolehlivost této metody závisí také silně na dostupnosti vhodného a dobře charakterizovaného referenčního materiálu (Strnad et. al, 2005).

Jako iontový zdroj pro ICP funguje plazmová hlavice, která je uspořádána horizontálně v ose směru dalšího zpracování iontů. Většina systémů využívá hlavice o průměru 18mm, ve kterých se vytváří plazma o výkonu 1 – 2 kW při frekvencích 27 MHz nebo 40 MHz. Tok plazmového plynu je obvykle 12 – 15 l.min⁻¹. Tvar indukčně vázaného plazmatu je kruhově koncentrický. Energie radiofrekvenčních vln je soustředěna do vnitřního prstence proudu inertního plynu, kde se vytváří indukční oblast o teplotě 10 000K. Odtud je potom odčerpáván vzduch rotační vývěvou a energie se přenáší do nosného plynu, kterým je argon o průtoku 0,5 – 1,5 l.min⁻¹. V iontovém zdroji se vzorek odpařuje, disociuje, atomizuje, excituje a ionizuje. Teplota plynu se vzorkem dosáhne během průchodu k ústí hlavice asi 8000K, tedy vyšší než na Slunci. Z ústí plazmové hlavice vystupuje analyt jako směs iontů a atomů. V okamžiku, kdy nosný plyn opouští hlavici a klesá jeho teplota postupně na 6000K či méně až do míst, kde se stýká se vstupním otvorem do hmotnostního spektrometru, což je asi 10 – 20mm od cívk. Připojení iontového zdroje k hmotnostnímu spektrometru je přechod, který je vytvořen obvykle dvěma kužely, v jejichž vrcholech jsou malé otvory. Většina vnějšího a středního plazmového plynu je pláštěm kužele oddělena od středního toku iontů a atomů vhněného analytu a nevstupuje tedy dále do hmotnostního spektrometru. Průměr vstupních otvorů bývá obvykle 1 – 1,2mm. Kužele jsou kovové s dobrou tepelnou vodivostí, užívají se Al, Cu, Ni nebo Pt. Mezi vstupním a vnitřním kuželem je rotační vývěvou udržováno přechodové vakuum asi 500Pa. Oblast hmotnostního spektrometru a detektoru je intenzivně čerpána turbomolekulárními nebo difúzními pumpami napojenými na rotační vývěvu, čímž se dosahuje vakua 10⁻⁶ Pa. Aby se soustředilo maximum iontů do paprsku, který směřuje do analyzátoru, následuje systém elektrostatických čoček. V ose paprsku stojí zářka fotonů, které by mohli vytvářet šum na detektoru iontů. Čočky usměřují maximum iontů tak, aby obešly zářku fotonů, soustředily se a pokračovaly mezi elektrody kvadrupólu. Kvadrupólové elektrodové tyče mají průměr 12 – 18mm a délku 200mm. Kvadrupólový hmotnostní analyzátor pracuje jako filtr, podél jehož osy mohou projít v daný okamžik jen ionty jedné hmotnosti. Ostatní jsou odkloněny a ztraceny. Hmotnost, která může projít, je definována kombinací radiové frekvence a napětí na elektrodách kvadrupólu a rozlišení je určeno jejich poměrem. Toto je řízeno elektronicky a jednotlivé hmotnosti pak mohou být skenovány rychlostí až 3000 hmotnostních jednotek za sekundu. Více než rozlišení je mnohdy důležitá citlivost na sousedství silných signálů.

Citlivější na tento druh překrytí bývají nízké hmotnosti (Bendl, 2009). Ionty, které tedy projdou a dopadají až na detektor, vydají signál, který je zesilován v elektronovém násobiči. Dopadem jednoho iontu zde vzniká kaskádový tok elektronů, který je zaznamenán jako výsledný signál a je dále zpracováván (Mihaljevič et al., 2004).

Výhodou stanovení prvků touto metodou je velice nízká mez detekce a široký dynamický rozsah (přesahuje šest řádů koncentrací). V některých případech však může být stanovení stopových množství kovů zatíženo existencí závažných interferencí (Mestek et al., 2005). To se týká prvků, které mají stejný poměr „m/z“. Přístroj rozezná pouze hmotnost a ne konkrétní prvek. Musí se tedy velice dobře zvážit, který izotop bude měřen. Podobný problém nastává u asociátů, které mají stejný součet hmotností. Přístroj umožňuje pomocí vlastního katalogu navrhnout možné asociáty, záleží však také na zkušenosti osoby, která přístroj obsluhuje.



Obr. 8 Schéma Hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (Mihaljevič, et al., 2004)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Metodika práce

3.1.1 Původ a odběry vzorků

Pro potřeby této práce byly používány vzorky australsko-asijských tektitů z různých oblastí a skla Lybijské pouště.

Tab. 2 Vzorky australsko-asijských tektitů použité v práci

VZOREK	ZEMĚ PŮVODU	MÍSTO NÁLEZU	OBLAST
1	Austrálie	Kalgoorlie, WA	
2	Čína	Mao Ming City	Guangdong province
3	Čína	Mao Ming City	Guangdong province
4	Filipíny	Paracale	Camarines Norte
5	Filipíny	Paracale	Camarines Norte
6	Filipíny	Tara, Bolinao	Pangasinan
7	Indonésie	Mangar	Belitung
8	Thajsko	Nakhon	Ratchasima
9	Vietnam	Dalat	Dalat
10	Thajsko	Kuhn Ken	
11	Thajsko	Ubon Ratchatani	
12	Thajsko	Khon Khen	Chayaphum
13	Kambodža	Kampong Thon	
13k	Kambodža	Kampong Thon	
14	Kambodža	Angkor	
15	Čína	Quangyang Zhonggon	Guangyang District

Všechny vzorky byly dovezeny z místa nálezu pro potřeby analytických stanovení. Níže uvedené obrázky 9-14 zachycují původní tvar vybraných tektitů před broušením. Všechny vzorky byly totiž následně ve specializované laboratoři broušeny a následně získaný tenký výbrus byl zalit na podložním skle epoxidovou pryskyřicí.



Obr. 9, 10, 11, 12, 13, 14. Původní vzorky tektitů použitých pro analýzy, před broušením do výbrusů; vyfotografováno 6.1.2009, autor: RNDr. Roman Skála, PhD

3.1.2 Optická mikroskopie

Jako první metoda studia vzorků použita mikroskopie v odraženém světle. Tento postup byl zvolen především proto, aby byla v jednotlivých vzorcích detailně určena místa, která budou nejzajímavější a nejreprezentativnější pro stanovení, jež jsou cílem této práce. Tato pozorování jsem uskutečnila na přístroji, který se nachází v prostorách Geologického ústavu Akademie věd České republiky se sídlem v městské části Hlavního města Prahy Suchbátka. Studovány byly postupně všechny jednotlivé vzorky, které byly nejprve detailně fotografovány jako celek a následně pomocí získaných snímků, jejich dalších rozborů a pozorování v mikroskopu, určována místa, kde by bylo nejvíce vhodné provést analýzy jak mikrosondou, tak hmotnostním spektrometrem.

Vzorky, které byly dány k dispozici pro potřeby této práce, byly následně kvalifikovanou laboratoří broušeny a požadovaná tenká vrstva tektitu následně zalita na podložním sklíčku epoxidovou pryskyřicí. Tím se vzorky staly dostatečně reprezentativními pro následně uvažované metody stanovení. V takto tenkém průhledu lze totiž velice jednoduše pozorovat struktury a vnitřní uspořádání tektitu. A tedy velice dobře určit místa pro odpovídající analýzu každého vzorku a tím může být dosaženo celkové sumy výsledků, které budou dostatečně kvalitní pro zpracování seriózních dat, jež by měly být výstupem této práce.

Když byl jednotlivý vzorek vybrán, sklo bylo pečlivě očištěno od nečistot, které by mohli být pro pozorování zavádějící, a byl umístěn do pozorovacího systému mikroskopu. Pro každý vzorek bylo zvláště důležité individuální nastavení přístroje, protože intenzita odraženého světla byla pro různé vzorky vždy jinak ideální, což bylo pro sledování vzorků těchto tektitů velice důležité. V převážném počtu analyzovaných výbrusů bylo nejzajímavější pozorování proudových struktur a velice zřejmých ukazatelů míchání materiálu ve stavu, kdy byl ještě nezatuhlý.

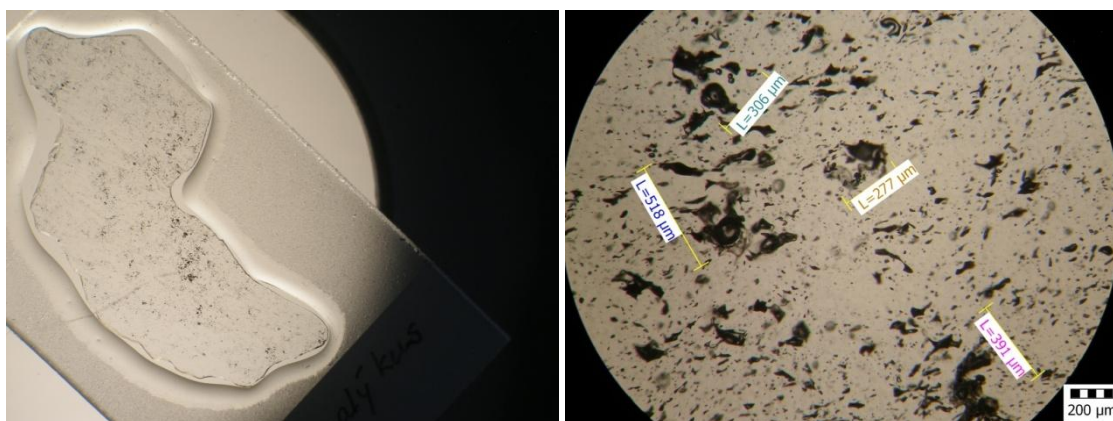
Nejprve byly výbrusy umístěny a nasvíceny tak, aby mohla vzniknout první série fotek, které budou ukazovat celý vzorek shora. To je nesmírně důležité zvláště z hlediska pozdější orientace ve vzorku. A to nejen pro následující pozorování mikroskopem, ale zejména pro zpřehlednění umístění budoucích analýz.

Po zhotovení této sady fotek byl každý vzorek zkoumán detailněji. Nejprve se jednalo o nalezení oblastí, které by byly nejvhodnější pro jednotlivé další analýzy, které měly následovat jako zkoumání, pro zájmy této práce. Po nalezení těchto míst bylo každé z nich jednotlivě zaměřeno, zaostřeno a dodán popis a dále měřítko přímo do obrázku, pro lepší orientaci při budoucích analýzách. Některé příklady fotografií, dokumentujících tento postup jsou dodány jako příloha v poslední části této práce.

V odraženém světle první sada analyzovaných výbrusů, kterými byly vzorky Lybijského skla, broušené na tenké plátky a zatavené epoxidovou pryskyřicí, jevila homogenní strukturu sestávající se z křemičité hmoty s velice s nápadnými bublinami rozestými pravidelně po celém vzorku.

LDG – sklo Lybijské pouště, „malý“ vzorek (Egypt)

Na první pohled je struktura tohoto zvláštního skla hustě naplněna bublinami. Jedná se tedy o velice světlý typ vzorku, který byl sice v původním stavu spíše mléčného charakteru a průhledu, ale po vybroušení se stal zcela průsvitným. Tyto četné bubliny jsou potom v některých místech ještě zhuštěny, což lze poznat dobře již z celkové fotografie vzorku.

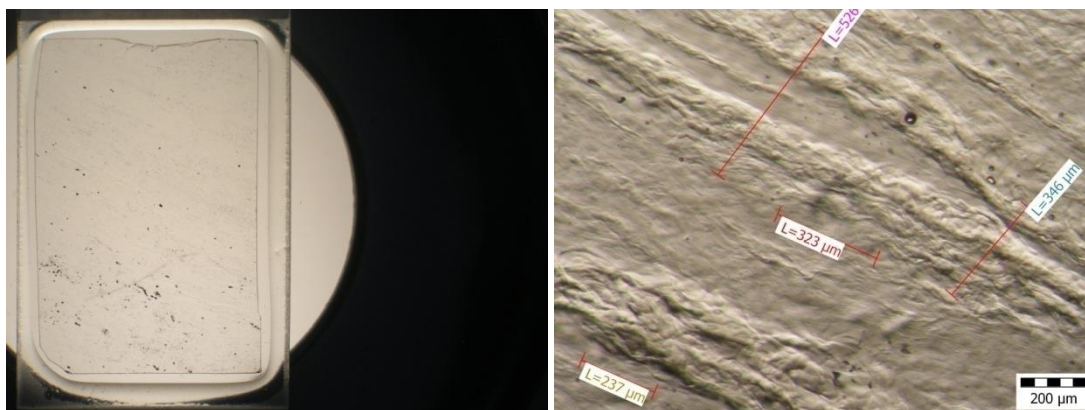


Obr. 15, Vzorek Lybijského skla (LDG „malý“); vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

LDG – sklo Lybijské pouště, „velký“ vzorek (Egypt)

U tohoto vzorku je již více patrná jistá proudová struktura, která lze u tektitů často nalézt. V tomto případě se táhne ve směru diagonálním z pohledu zhotovené hlavní fotografie. Opět se zde také vyskytují bubliny ve struktuře, ale z celkového náhledu je vzorek spíše homogenní.

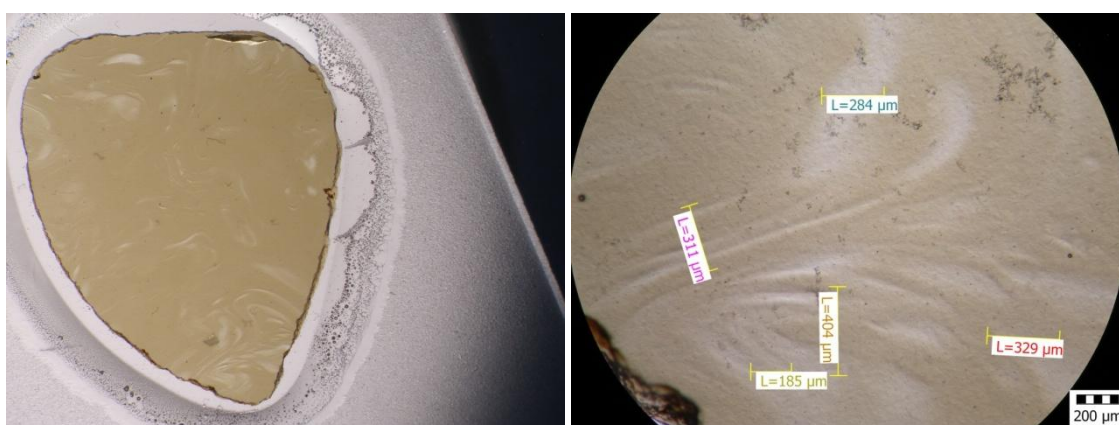
Následovaly vzorky australsko-asijských tektitů. Ty jsou všeobecně jiné zejména zbarvením. Celkové vzorky, které před zpracováním a broušením vykazovaly velmi tmavé barvy, jsou v tenké vrstvě na podložním sklíčku zpravidla béžové, světle hnědé až hnědé.



Obr. 16, Vzorek Lybijského skla (LDG „velký“); vlevo: výbrus na podložním skle(18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

AAT 1, australit (Kalgoorlie, WA, Austrálie)

Vnitřní uspořádání tohoto vzorku je na první pohled velice různorodé. Zvláště ve spodní špičce vzorku, posuzujeme-li ho z pohledu pořízené hlavní fotografie celého vzorku, se nachází velice členité proudové struktury, ty jsou patrné i v ostatních částech vzorku, zvláště potom ještě podél horní hrany z pohledu fotografie a podél pravé hrany vzorku. Charakteristické pro tyto proudy je střídání světlých částí procházejících okolní tmavší základní hmotou. Po přiblížení některých míst se ve zvětšení ukazují také malá seskupení bublin nebo větší osamocené bubliny. Ve vzorku se nacházejí i světlejší místa jakoby mimo proudy, což by mohlo být pozůstatkem nedokonalého míchání dvou tavenin. Na rozdíly mezi těmito částmi vzorku, jako tomu bude i u jiných vzorků, by měly odpovédět následující detailní chemické analýzy různých částí hmoty.



Obr. 17 Vzorek AAT1; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

AAT 2, indočínit (Mao Ming City, Guangdong province, Čína)

Tento vzorek nevykazuje opticky tolik na první pohled patrných proudových struktur oproti vzorku předchozímu. Nacházejí se zde však také útvary rozptýlených větších bublin (takřka po celém vzorku). Ve střední části vzorku se nachází uskupení, které může představovat pozůstatek chemického rozkladu nějakého minerálu nebo jinou zvláštní heterogenitu. Podél pravé hrany se vyskytují také tenké protažené útvary, které byly určeny jako lechatellierity. Jsou zde v počtu asi čtyř „nitkovitých“ útvarů, které však nejspíše nebude možné detailněji prozkoumat pomocí pro tuto práci budoucích metod stanovení.

AAT 3, indočínit (Mao Ming City, Guangdong province, Čína)

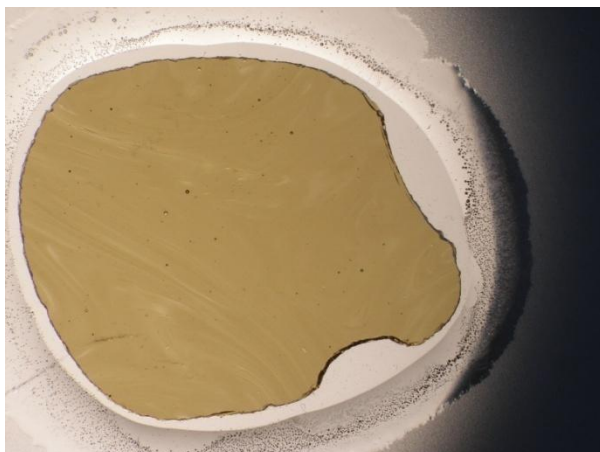
Ve třetím vzorku nebyly nalezeny žádné zvláštní heterogenity. Patrná je pouze proudová struktura procházející celým vzorkem shora dolů, která je také reprezentována světlejší částí táhnoucí se po levé straně vzorku ve směru proudu materiálu, jak je patrné z hlavní fotografie. V horní části středu vzorku jsou také patrné protažené útvary, které by mohly být stanoveny jako lechatellierity. Nelze je však ani ve velkém přiblížení detailně rozeznat.

AAT 4, filipínity (Paracale, Camarines Norte, Filipíny)

Tento vzorek se jeví z pohledu pozorování v odraženém světle velice homogenní. Je patrné jisté míchání taveniny, ke kterému mohlo docházet za vzniku tektitu, avšak opticky prokazatelné střídání světlejších nebo tmavších částí heterogenity ve struktuře nebo jiné zajímavé části vzorku nejsou patrné.

AAT 5, filipínity (Paracale, Camarines Norte, Filipíny)

VE výbrusu jsou pozorovatelné dva směry proudění materiálu, které mohly být zapříčiněné vznikem. Jeden se nachází v dolní a druhý v horní části vzorku. Nalezneme zde jak menší uskupení bublinek, tak větší bubliny rozesté po celém výbrusu. Můžeme pozorovat i jistá nepravidelná heterogenní uskupení neznámého původu, která mohou ukazovat na heterogenitu zdrojového materiálu.



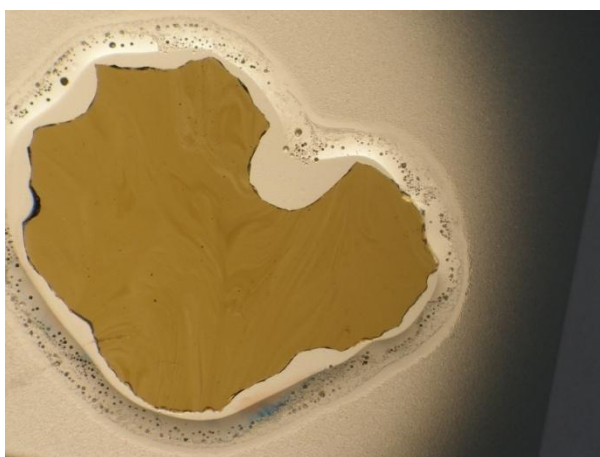
Obr. 18 Vzorek AAT5; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá

AAT 6, Filipíny (Tora, Bolinao, Pangasinan, Filipíny)

Ve výrazně homogenní základní hmotě tektitu jsou nalézány bubliny většího rozsahu, některé jsou dokonce obnaženy řezem vzorku za účelem zhotovení výbrusu, což způsobilo prasknutí bubliny. Ta se na některých místech mohla tímto vlivem roztrhnout vůči okolnímu materiálu. Vlivem existence vakua uvnitř bublin.

AAT 7, billitonit (Mangar, Belitung, Indonésie)

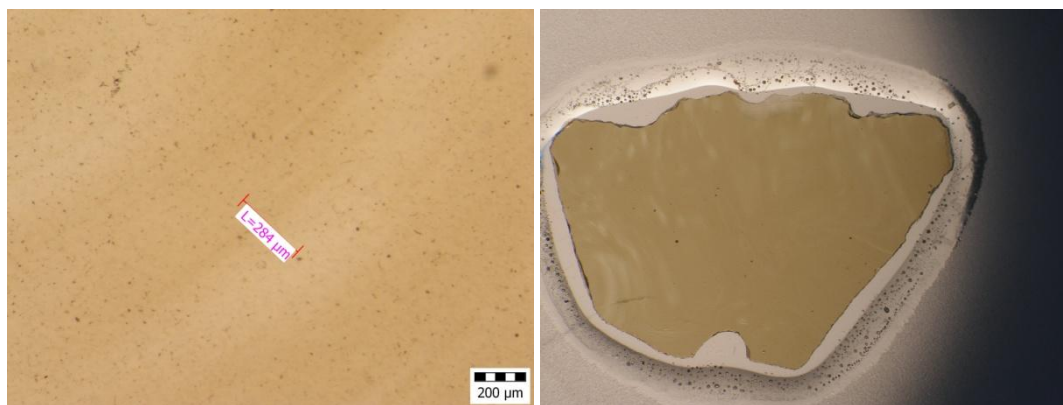
V sedmém vzorku je patrný velmi silný proud značící heterogenitu střední části vzorku oproti okrajům. Proud evidentně směřuje od spodní části k vrchu. Stejným směrem se také rozvětňuje a člení. Ve střední části je z tohoto důvodu také nejvíce patrné střídání světlých a tmavých pruhů ve hmotě.



Obr. 19 Vzorek AAT7; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá

AAT 8, indočinit (Nakhon, Ratchasima, Thajsko)

Vzorek převážně vykazuje opět velice homogenní složení. Zajímavé pro pozorování jsou potom zejména oblasti v levém dolním rohu, kde se vyskytují členité proudy světlejší barvy. V levé části se dále nachází malý lechatellierit.



Obr. 20, Vzorek AAT8; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

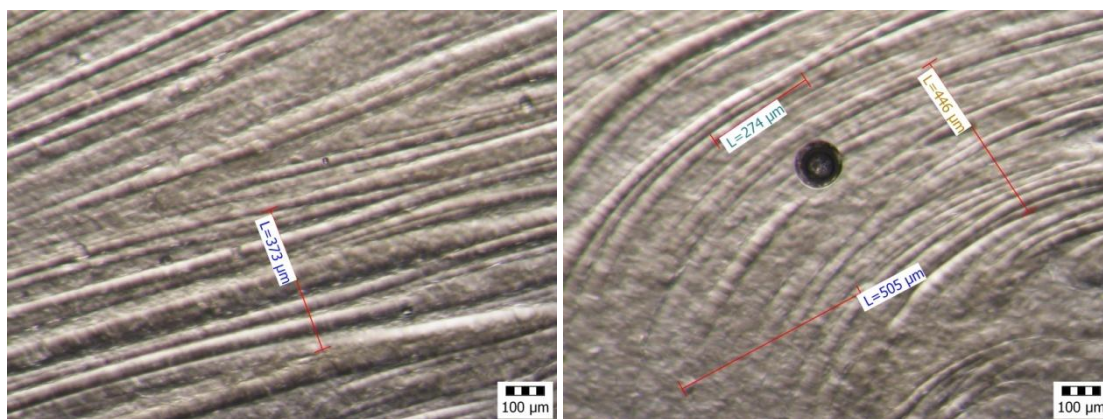
AAT 9, indočínit (Dalat, Vietnam)

Silnou heterogenitou se vyznačuje vzorek číslo devět. Ta je zde ze všech vzorků opticky nejvíce patrná. Horní část vzorku je specifická proudy se silným střídáním světlejší a tmavší barvy. Silné promíchávání původního materiálu je v horní části dynamicky formováno v horizontálním směru.

Střední část je dynamikou promíchávání ztelně klidnější. Vlevo se vyskytuje pouze výrazná bublina. Avšak ve spodní části výbrusu následuje opět velice neklidný charakter vykazující převážně vertikálně orientovanou dynamiku a silně tmavší zbarvení ukazující na již tak velmi patrné silné promíchání.



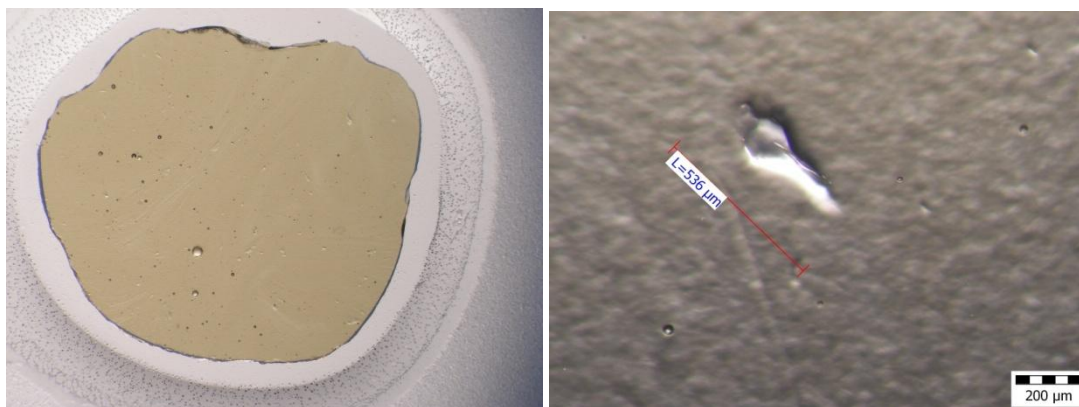
Obr. 21 Vzorek AAT9; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá



Obr. 22 Vzorek AAT9; vlevo i vpravo: detailní část vnitřního uspořádání vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

AAT 10, indočínit (Kuhn Ken, Thajsko)

Silně homogenní vzorek není nijak atraktivní pro pozorování optickou metodou v odraženém světle. Zajímavá jsou pouze seskupení větších bublin zejména na levé polovině vzorku. Lze zde ale nalézt i jeden lechatellierit umístěný v pravé horní části vzorku. Jeho velikost je zhruba 451 μ m.



Obr. 23, Vzorek AAT10; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Švatá

AAT 11, indočínit (Ubon Ratchátani, Thajsko)

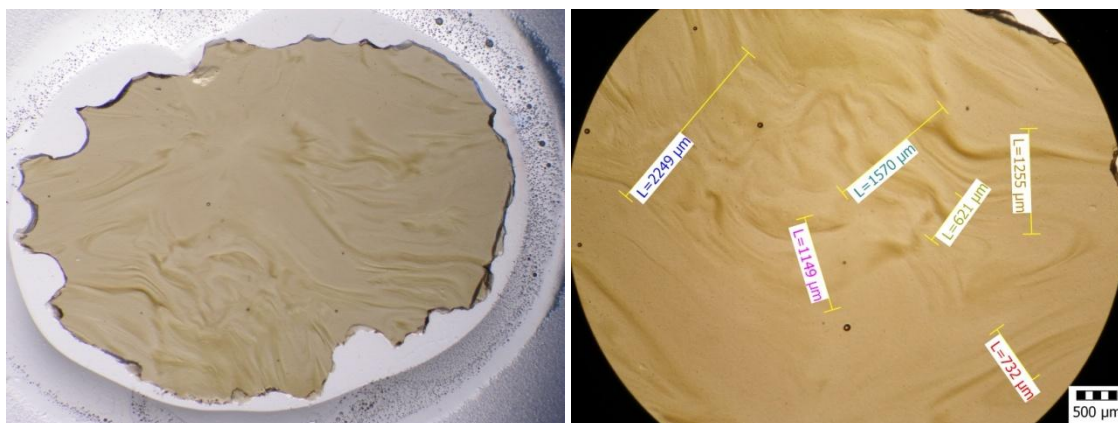
Jedná se o další velice homogenní vzorek v pozorování ne více atraktivní než vzorek předešlý. Za jediný zajímavější prvek můžeme považovat světlé proudy, které jsou však ve struktuře naznačeny jen velice lehce.

AAT 12, indočínit (Khon Kaen, Chaiyaphum, Thajsko)

Podél stěn výbrusu se nacházejí pozůstatky promíchávání taveniny a to po celém obvodu. Jinak i po přiblížení nebyly v tomto vzorku nalezeny žádné jiné zajímavé tvary.

AAT 13, indočínit (Kampong Thon, Kambodža)

Velice zajímavým se jeví vzorek číslo třináct. Nesourodá struktura vyskytující se v různých částech vzorku svědčí o velice neklidném vzniku, což bylo patrné již v některých předešlých vzorcích. Vzorek není pestrý jen na první pohled, ale obsahuje také mnohé neobvyklosti vyskytující se při detailnějším zkoumání. Klasickým prvkem jsou velice členité proudové struktury. Následuje také nejen velké množství bublin, ale v částech kolem spodní hrany, viděno ve velké fotografii, je možno nalézt četné množství lechatellieritů. Ve zdejší struktuře jsou k vidění i jiné heterogenity, které mohou mít různý vznik.



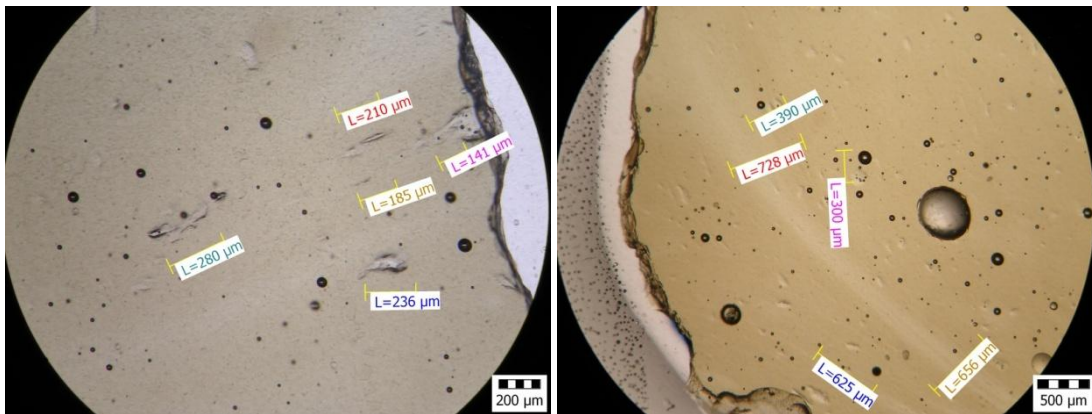
Obr. 24 Vzorek AAT13; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

AAT 13k, indočínit (Kampong Thon, Kambodža)

Indočínit nalézající se v tomto výbrusu je charakteristický zejména velkým počtem bublin, které mohou být též protaženy ve směru patrných proudů v materiálu. Ty jsou charakteristické zejména pro vrchní část vzorku. Vyskytují se zde také bubliny větších rozměrů.



Obr. 25, AAT13k; výbrus na podložním skle (18.3.2009); autor: A.Svatá



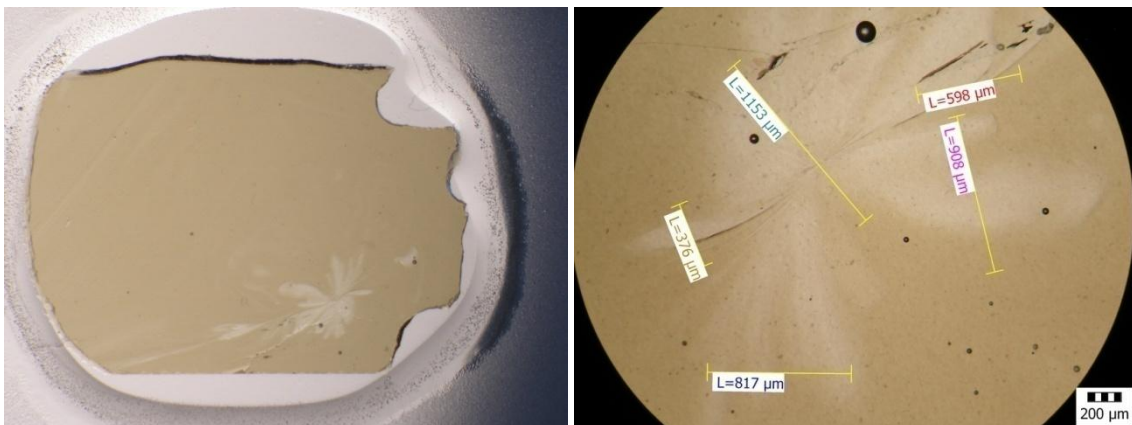
Obr. 26, Vzorek AAT13k; vlevo i vpravo: detailní část vnitřního uspořádání vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

AAT 14, indočinit (Angkor, Kambodža)

Ve sledování se tento vzorek se jeví opět značně homogenně. Nejsou zde tolik patrné ani proudové struktury ani jiné anomálie. Pouze při přiblížení střední části je možno nalézt lechatellierit o rozměru asi 250 μ m.

AAT 15, indočinit (Quingyang Zhongogon, Guangyang District, Čína)

Hlavním znakem tohoto v pravé dolní části se vyskytující zvláštní útvar rozpínavého vzhledu, který se výrazně ohraničeně odlišuje od okolního prostředí matrix tohoto tektitu. Tvar se hvězdicovitě rozpíná od bodu ve středu dlouhými paprsky do všech směrů. Tato oblast je výrazně světlejší než veškerá okolní hmota. Vznik tohoto prvku může být dán pozůstatkem chemické heterogenity původního materiálu nebo například výrazným pnutím, které se z nějakého důvodu v tomto bodě vyskytuje. Tato oblast bude jistě velice dobře podrobena zkoumání, které bude následovat v této práci.



Obr. 27, Vzorek AAT15; vlevo: výbrus na podložním skle (18.3.2009); vpravo: detailní část vnitřního uspořádání stejného vzorku (1.4.2009); autor: A.Svatá

3.1.3 Elektronová mikroanalýza

Po důkladném zvážení všech nejvhodnějších stanovení vzorků, určených pro tuto práci bylo určeno, že velmi důležitou metodikou, která se bude vyskytovat před použitím hmotnostní spektrometrie, bude stanovení hlavních prvků pomocí elektronové mikrosondy. Pro potřeby této práce vyvstala možnost měření pomocí přístroje, který je konkrétně umístěn též na Geologickém ústavu Akademie věd ČR v Suchdole v Praze. Jedná se o konkrétní typ CAMECA SX-100. Jelikož je tento přístroj velice hojně využíván jako metoda stanovení hlavních prvků v pevných vzorcích, jeho použití se přímo nabízelo. Pro tato měření bylo také velice důležité použití dříve zhotovených fotografií. Jejich pomocí bylo možné primárně určit, která místa ve výbrusu budou využita pro měření mikrosondou tak, aby ve stejném místě možno analyzovat ještě stopové prvky pomocí ICP – MS. Popis tohoto postupu bude následovat v další kapitole. K tomu byly pro studování na elektronové mikrosondě připraveny ještě vzorky navíc, ve kterých se vyskytovaly zajímavé body nebo místa, která mohla být analyzována jen bodově pomocí této metody, ale kdy by bohužel nebylo perspektivní použít i metodu hmotnostní spektrometrie.

Důležité je ještě zmínit, že před použitím této metody je nutno výbrusy upravit a to formou pokovení. Po umístění vzorku do přístroje se po automatickém nastavení přístroje, a vytvoření vakua v okolí vzorku, zobrazí vzorek na obrazovce výstupního počítačového zařízení. Tento postup je zpravidla prováděn osobou zkušenou práce na tomto přístroji. Zde je možnost detailního pozorování částí vzorku, přičemž pozorování není možno sledovat v tak dokonalém rozlišení, jako tomu bylo u mikroskopu. Proto je velice důležité mít určena důležitá místa dříve a následně nasměrovat přiblížení přímo do této oblasti. Zde potom po zaostření nalézáme místa, která jsme určili pro nutnou analýzu a můžeme následně již určit přesné body jednotlivých měření. V dané oblasti se nejčastěji nabízelo provést optimálně například pět bodových měření, které budou následně srovnávány a určovány jejich průměry či případné odchylky ve složení jednotlivých prvků. Hloubka analýzy mikrosondou záleží na druhu materiálu, tedy především na jeho atomovém čísle. Každopádně se však jedná o povrchovou analýzu. Ta se pohybuje v řádech jednotek mikronu (cca 2 až 4 μ m). Proto nesmírně záleží na dokonalém zaostření přístroje a sledování určeného místa. Rozhoduje totiž, jestli bude pro analýzu potencionálně výhodné a to zejména z důvodu jeho umístění a vzdálenosti od povrchu výbrusu. Pro kompletní údaje o použití této metody je ještě třeba uvést, že před jeho použitím musel být optimálně pro tyto účely nastaven. Kvůli minimalizaci ztráty těkavých prvků a zároveň udržení dobrého rozlišení bylo nastaveno urychlovací napětí na 15kV, proud 4nA a paprsek elektronů zaostřen na bod o velikosti 2 μ m. Čas měření byl 10s pro jeden pík a 5s na každé straně píku pro měření pozadových hodnot. CAMECA využívá pro zpracování hodnot počítačového programu ZAF.

Analyzovány byly zejména hlavní prvky, jako je Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Cr a Mn. Ty byly v přístroji nastaveny pro měření a kalibrovány pomocí hodnot určených pro jednotlivé prvky jako: Si

(křemen, 1010,4cps/nA), Ti (rutil, 1534,3cps/nA), Al (Al_2O_3 , 1106,4cps/nA), Fe (Fe_2O_3 , 217,9cps/nA), Mg (periklas, 817,7cps/nA), Mg (periklas), Ca (diopsit, 423,6cps/nA), Na (jadeit, 68,4cps/nA), K (leucit, 352,6cps/nA), Cr (Mn-Cr spinel, 151,0cps/nA), Mn (Mn-Cr spinel, 81,8cps/nA).

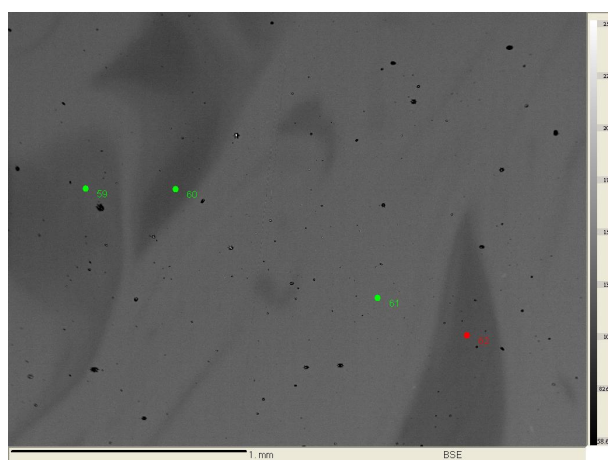
Jako první byla analyzována Lybijská skla. Jejich struktura se již z pozorování na mikroskopu jevila značně homogenní, tudíž se zde nenacházely části, které by jevily potřebu pro speciální pozornost. Měření byla provedena běžným způsobem.

Důkladnější pozornost byla věnována analýzám asijských a australských tektitů. Ty jsou již na první pohled mnohem členitější a rozmanitější. Porovnávat lze oblasti, kde jsou patrné velké proudy nebo se proudové struktury viditelně míchají. Dále se zde nacházejí světlejší a tmavší oblasti, bubliny nebo například zvláštní útvary, jejichž vznik mohl být dán pnutím nebo nehomogenitou zdrojového materiálu.

V následujícím textu jsou popsány jednotlivé vzorky australských a asijským tektitů, které byly podrobeny analýze na mikrosondě, a jejich oblasti z pohledu, kde byla tato měření uskutečněna a proč. Naměřené hodnoty budou následně uvedeny a porovnány v následující kapitole Výsledky.

AAT 1, australit (Kalgoorlie, WA, Austrálie).

Tento vzorek australitu, jak již bylo zmíněno v části o mikroskopování, se jeví značně zajímavý zvláště v části spodní špičky vzorku ve výbrusu, dle orientace pohledu hlavních fotek. Nacházejí se zde světlejší proudové struktury, kde je patrné dřívější promíchávání materiálu ve stavu před utuhnutím vzorku. Zde bylo tedy provedeno asi deset bodových analýz mikrosondou. Dále byly studovány oblasti podél horní hrany vzorku. Zde jsou opět patrné proudové struktury. Pět zde provedených analýz bylo soustředěno jako porovnání mezi proudy a tím i světlejšími a tmavšími oblastmi ve vzorku.



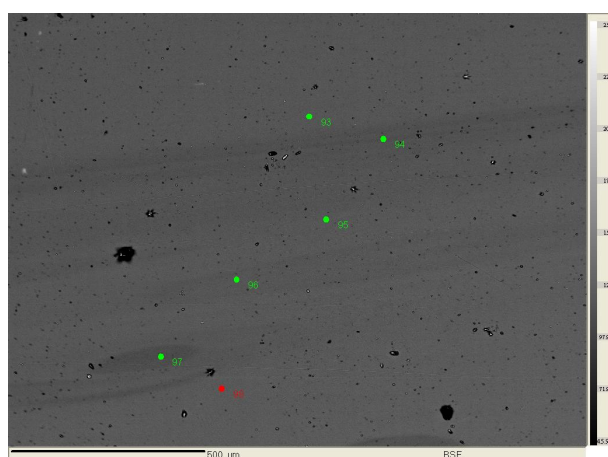
Obr. 28, Vzorek AAT1; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

AAT 2, indočinit (Mao Ming City, Guangdong province, Čína)

Vzorek indočinitu nebyl po důkladném zvážení na mikrosondě analyzován. Z pohledu této metody se zde nenacházejí oblasti zajímavé pro hlubší zkoumání. Jelikož drobné lechatellierity by nebylo možné touto metodou zachytit.

AAT 3, indočinit (Mao Ming City, Guangdong province, Čína)

Z tohoto vzorku patrné uspořádání proudové struktury v celém vzorku prochází z pohledu fotografie velmi lineárně ve směru vertikálním. Analýzy byly tudíž provedeny zhruba ve střední části vzorku formou střídavě kladených bodů do tmavší a světlejší části proudu.



Obr. 29, Vzorek AAT3; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

AAT 4, AAT 5, filipinity (Paracale, Camarines Norte, Filipíny)

Tyto vzorky nebyly na mikrosondě analyzovány. Neobsahovaly žádné zvláštní oblasti, byly spíše homogenní. Proudové struktury, které se zde nacházejí, již byly analyzovány v předešlých vzorcích.

AAT 6, Filipíny (Tora, Bolinao, Pangasinan, Filipíny)

Nejdříve byla analyzována středoprávní oblast z důvodu značné homogenity pro stanovení hodnot tohoto vzorku. Následně středolevá oblast. Navíc ještě bodově oblast kolem levé horní bubliny z důvodu možného rozdílného chemického složení.

AAT 7, billitonit (Mangar, Belitung, Indonésie)

Nebyl analyzován. Nacházejí se zde pouze nevýrazné proudové útvary.

AAT 8, indočínit (Nakhon, Ratchasima, Thajsko)

Také nebyl na mikrosondě analyzován. Je značně homogenní.

Z důvodu již na minulých vzorcích analyzovaných struktur nebyly následně analyzovány ani vzorky:

AAT 9, indočínit (Dalat, Vietnam)

AAT 10, indočínit (Kuhn Ken, Thajsko)

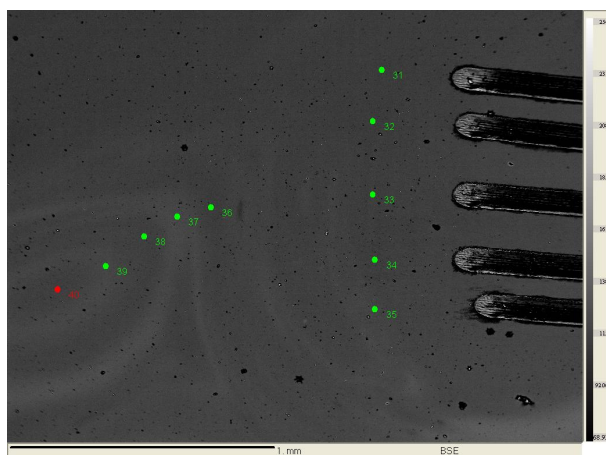
AAT 11, indočínit (Ubon Ratchátani, Thajsko)

AAT 12, indočínit (Khon Kaen, Chaiyaphum, Thajsko)

Dále byly analyzovány ještě vzorky:

AAT 13, indočínit (Kampong Thon, Kambodža)

Tento vzorek je obzvláště bohatý již na první pohled. Fluidální strukturou, která se mísí napříč celým vzorkem. Zvláště členitá je levá dolní oblast, která byla také nejvíce podrobována analýzám. Tři analýzy po pěti měřeních byly umístěny napříč vzorkem počínaje touto členitou spodní částí, jak bude patrné z příloh této práce.



Obr. 30, Vzorek AAT13; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

AAT 13k, indočínit (Kampong Thon, Kambodža)

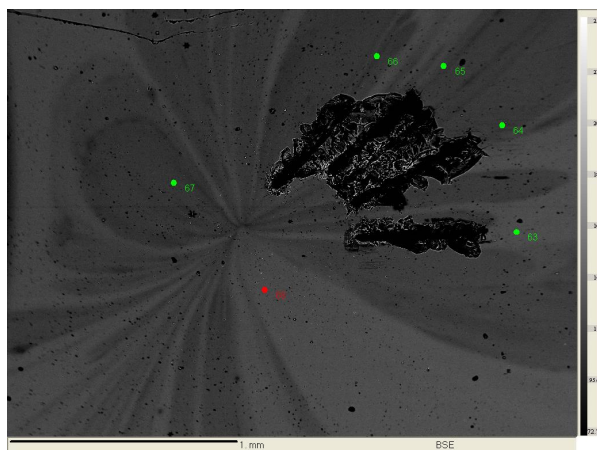
Ve vzorku se nachází velké množství bublin a proud lemuje horní hranu vzorku. Analýzy však byly prováděny ve spodnější části, která je více homogenní.

AAT 14, indočínit (Angkor, Kambodža)

Nebyl analyzován. Jeví se jako nejvíce homogenní vzorek ze všech.

AAT 15, indočínit (Quingyang Zhongogon, Guangyang District, Čína)

Vzorek tohoto indočínou je velice zajímavý, a to zejména z důvodu přítomnosti jakéhosi hvězdicovitého útvaru. Tento jev může být způsoben jak možným rozdílným chemickým složením, tak i fyzikální odlišností od okolního prostředí způsobenou například výrazným pnutím materiálu v této oblasti. Proto byl podroben šesti bodovým analýzám mikrosondou v celém takto zasaženém poli.



Obr. 31, Vzorek AAT15; fotografie zhotovena v sdruženém počítačovém programu pro elektronovou mikroanalýzu (9.3.2010)

3.1.4 ICP-MS

Pro měření koncentrace stopových prvků v tektitech byl použit hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem. Ten je umístěn na Ústavu geochemie, mineralogie a přírodních zdrojů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.



Obr. 32, NewWave 213nm – přístroj pro laserovou ablaci, spojení s hmotnostním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem - X-Series II; (19.4.2010); zdroj: <http://web.natur.cuni.cz>

Pro tato měření byly opět vybrány ty vzorky z dostupné sady, které byly dostatečně reprezentativní pro tento způsob stanovení. Velice důsledně byl také volen interní standard, kterým byl přístroj pro potřeby měření kalibrován. Tento materiál totiž jeho průběžným měřením umožňuje řídicímu systému reagovat na běžné změny ve stabilitě signálu přístroje (Barsová, 2006). Pomocí interního standardu systém koriguje výchyly signálu vzniklé náhodnou nestabilitou přístroje (nestabilita plazmatu, vliv matric e, atd.). Interní standard musí být dobře ionizovatelný prvek, který se nevyskytuje v měřeném analytu (Mihaljevič et al., 2004). Pro následující výzkum byl použit standardní referenční materiál NIST 612 (National Institute of Standards and Technology, USA).

Toronto EPMA this study, average (n=20)	(A)	(B) average (n=10)	(C) average	(D) average	(E) activation analysis	(E) superprobe 733	Overall average	Overall average, scaled	NIST nominal matrix
SiO ₂	72.29±0.22	71.5	72.17±0.35		72.90±1.40	70.65	71.90±0.96	71.79	72
TiO ₂	0.02±0.02		0.01±0.01				0.01±0.00		
Al ₂ O ₃	2.01±0.04	2.15	2.32±0.01		2.10±0.04	1.96	2.11±0.16	2.10	2
FeO	0.01±0.02	0.027	0.02±0.01				0.02±0.00		
MnO	0.01±0.02		0.01±0.02				0.01±0.00		
MgO	0.00±0.00						0.00		
CaO	11.77±0.11	11.4	12.09±0.50	12.10±0.20	12.30±1.00		11.93±0.22	11.91	12
Na ₂ O	14.18±0.10	13	13.16±0.07	14.20±0.20	14.40±0.80		13.98±0.56	13.96	14
K ₂ O	0.01±0.01	0.02	0.01±0.01				0.01±0.00		
Cl	0.02±0.02						0.02		
P ₂ O ₅			0.01±0.01				0.01		
Total	100.319	98.117	99.8				100.009	100.000	100

± one standard deviation.

Obr. 33, Publikované hodnoty pro standardního referenční materiál NIST SRM 612. Hodnoty jsou uvedeny v % m / m oxidů (Pearce et al., 1997).

Dalším velice důležitým faktorem pro stanovení je celkové nastavení přístroje a to formou přesně určených podmínek měření. Pro tento výzkum byly použity hodnoty uvedené v následující tabulce.

Tab. 3, Tabulka podmínek měření pro analýzu na hmotnostním spektrometru

VELIČINA	HODNOTA
Aparatura hmotnostního spektrometru	Thermoscientific X Series 2
Aparatura laseru	New Wave UP213
Výkon plazmatu	1370 W
Odražený výkon	< 1 W
Průtoková rychlost plazmového plynu	13 l.min ⁻¹
Průtoková rychlost přídavného plynu	0,7 l.min ⁻¹
Průtoková rychlost nebulizérem	0,5 l.min ⁻¹
Kódy	nikl
Mód měření	peak jumping
Počet bodů na píku	1
Sběr dat	TRA (time resolved analysis)
Dwell time (čas trvání odečtu signálu)	10,24 ms
Doba měření	180s
Napětí na detektoru	2995V (pulzní), 1650 (analogový)
Celková citlivost instrumentace	4.10 ⁴ cps / ng.ml ⁻¹ In
Vlnová délka	213 nm (Nd: YAG 5. harmonická)
Energie laseru	0,6 mJ
Opakovací frekvence	10
Průměr kráteru	100 μm
Vzor rastru	lineární (zhruba 400μm)
Celková citlivost LA	4 . 10 ⁵ . ~ 40 μm.g-1
Frekvence laseru	0,2 ns
Výkon laseru	10 μm.s ⁻¹

Pro sběr a zpracování dat, které pořídí přístroj je používán program ThermoPlasmaLab (1.0), které je instalován na přídatné počítačové aparatuře.

Postup analýzy pomocí hmotnostního spektrometru je započat spuštěním laseru na vzorek, který byl umístěn na předem určené místo, a v jeho okolí bylo vytvořeno vakuum. Laser vypálí z povrchu vzorku materiál, který po tomto odpaření putuje společně s nosiče, kterým je v tomto případě helium, do analyzátoru. Do přístroje je za jeho chodu také přinášen stálý proud india, to zejména kvůli tomu, aby byl udržován analyzátor v neustálé permanenci. Analýzy byly také normalizovány ²⁹Si jako interním standardem.

Jako první je do přístroje uveden vzorek známého složení, tedy NIST SRM 612, což umožní kalibraci přístroje. Následují vzorky tektitů, které byly určeny pro toto bližší pozorování. Při výběru místa také musí být brán zřetel na výběr místa k analýze v každém konkrétním vzorku. Jelikož okraje vzorku není možno aparaturou laseru dobře prohlédnout, nejlepší jsou pro tento účel středové části vzorku.

Měření je obvykle nastaveno na systém měření formou: 9 analýz neznámého vzorku a 1 analýza standardu. V každém vzorku je tedy předem vybráno několik oblastí, které se jeví vhodné pro prozkoumání. V každé této oblasti se potom pomocí již zmíněného počítačového programu vybere zhruba pět až šest bodů, které tím určují dráhu laseru.

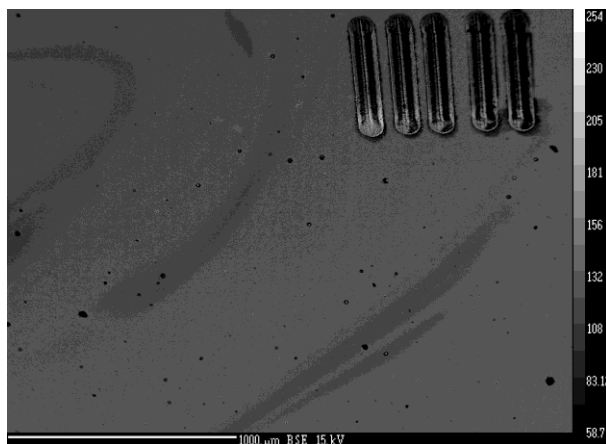
Pro konkrétní měření na hmotnostním spektrometru s indukčně vázaným plazmatem byly vybrány následující vzorky tektitů:

LDG – sklo Lybijské pouště, „malý“ vzorek (Egypt)

LDG – sklo Lybijské pouště, „velký“ vzorek (Egypt)

Během analýzy vzorků skla Lybijské pouště docházelo na první pohled k praskání materiálu v místech, kudy byl dán průchod laseru. Byl zde dokonce registrován evidentní lasturnatý lom materiálu, ten je obvykle důkazem velkého pnutí v materiálu.

AAT 1, australit (Kalgoorlie, WA, Austrálie)



Obr. 34, Vzorek AAT1; viditelné zásahy laseru během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

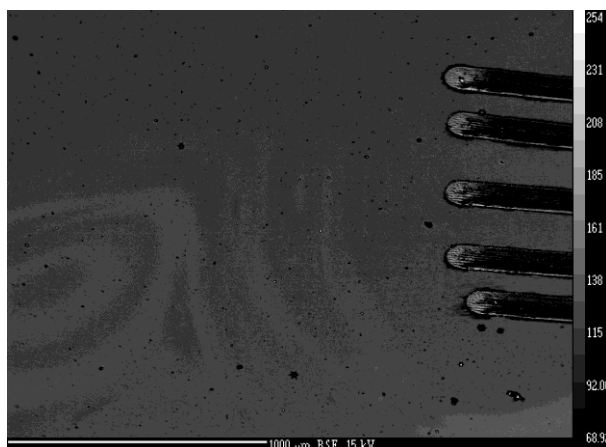
AAT 6, Filipíny (Tora, Bolinao, Pangasinan, Filipíny)

Kromě několika analyzovaných míst v základní hmotě tohoto tektitu bylo ještě analyzováno okolí útvaru v levé horní polovině. Tento tmavý prvek by mohl být pozůstatek bubliny, nebo mohl být utvořen v důsledku přeměny nějakého prvku v původním materiálu.

AAT 13, indočinit (Kampong Thon, Kambodža)

Ve vzorku byla analyzována oblast světlejšího pruhu vprostřed a následně oblasti napravo a nalevo od ní za účelem sledování možných odlišností v analýzách těchto jednotlivých oblastí.

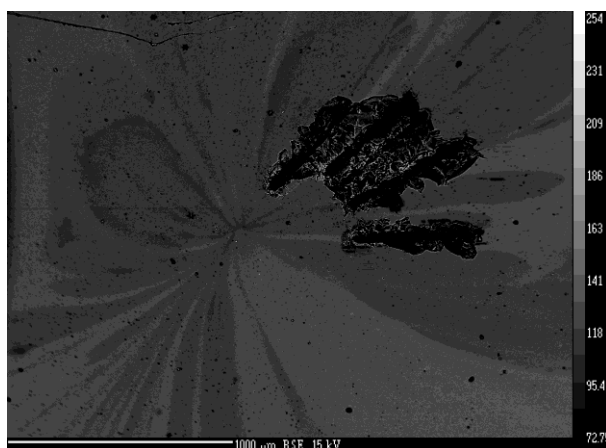
AAT 13k, indočínit (Kampong Thon, Kambodža)



Obr. 35, Vzorek AAT13k; viditelné zásahy laseru během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

AAT 15, indočínit (Quingyang Zhongogon, Guangyang District, Čína)

Velmi zajímavým útvarem soustředujícím na sebe největší pozornost v celém pohledu na tento vzorek je světlejší, do všech stran protažený útvar připomínající hvězdu. V této oblasti byla provedena řada analýz a to především tak, že dráhy laseru procházely souhlasně s paprsky útvaru. Hlavním účelem bylo získat reprezentativní data pro porovnání této oblasti s okolní homogenní hmotou. To také může následně naznačit, je-li tento prvek způsoben fyzikálními změnami v materiálu nebo je uvnitř nějaký jiný útvar. I když je možné, že by v tomto případě mohl být pouze velice tenký a ani dráha laseru by nebyla schopná ho zachytit. Ta totiž může procházet místem v okolí, pokud by byla tato změna natolik malá, že by se ve výsledku ani neprojevila.



Obr. 36, Vzorek AAT15; viditelné zásahy laseru v oblasti pnutí ve vzorku AAT15 během stanovení stopových prvků hmotnostní spektrometrií; fotografie zhotovena ve sdruženém počítačovém programu během měření elektronovou mikroanalýzou (9.3.2010).

4 VÝSLEDKY

Jak již bylo uvedeno postupně u jednotlivých vzorků v metodice celého postupu práce, ve zkoumání optickým mikroskopem byly nalezeny skoro všechny náležitosti, které lze ve spojitosti s tektity očekávat.

Jednalo se především hojně o proudové struktury a šlíry. Z tohoto pohledu se zdály nejvíce zajímavé například vzorky AAT13 a AAT9. U vzorků byly také pozorovány lechatellierity. Jednalo se o ojedinělý výskyt ve vzorku (AAT10) nebo i o hojnější výskyt v určitých částech vzorku (AAT13k). V dalších vzorcích byly markantnější například bubliny, které mohly dosahovat i větších rozměrů, a to například u vzorků AAT10 a AAT13k. Jiné vzorky byly oproti ostatním svým vnitřním uspořádáním zase spíše homogenní AAT5. Jako reprezentant možných fyzikálních změn byl indikován vzorek AAT15. Zde bylo později i při laserové analýze konstatováno pnutí materiálu v místě nazvaném pracovní „hvězda“. Vzorky Lybijského skla, zvláště vzorek LDG „malý“, svým vnitřním uspořádáním spadá do jedné ze skupin typických pro tuto odrůdu, a to hlavně díky své struktuře intenzivně protkané bublinami.

Při následných analytických stanoveních byly získány cenné hodnoty, které byly později náležitě zpracovány. Naměřené výsledky ze všech částí zkoumání zadaných vzorků byly vyhodnoceny i statisticky. Byly zjištěny hodnoty průměrů, směrodatné odchylky, detekční limity a dále relativní směrodatné odchylky a další. Vše pomocí programu Microsoft Excel. Později byly získané hodnoty rozříděny jako celek, a také každý samostatný prvek pečlivě sledován, zda nejeví nějaké zajímavé odchylky. To bylo posuzováno v různých částech jednoho vzorku i mezi různými vzorky navzájem.

V několika případech bylo nutno vyloučit některé odlehlé hodnoty nebo hodnoty nižší než mez detekce. Jednalo se především o hodnoty arsenu. Dále bylo pečlivě zváženo, zdali nemohla být nějaká analýza ovlivněna například předešlým měřením standardu. Pokud se neukázala dostatečně relevantní, byla ze souboru hodnot také vyloučena. Ke konečnému zpracování tedy byly použity hodnoty, které byly nejvíce reprezentativní a nižší detekční limity.

Všechna získaná data budou uvedena v následujících tabulkách a podrobné hodnoty jako příloha v poslední části práce.

Ve stanoveních pro obsahy hlavních prvků, které byly prováděny na elektronové mikrosondě, byly získány hodnoty hmotnostních procent jednotlivých oxidů. Jako další byly určeny detekční limity a směrodatné odchylky.

Tab. 4 Tabulka detekčních limitů pro měření prováděná na elektronové mikrosondě

OXIDY	DL (ppm)
Na ₂ O	875,25
MgO	579,33
SiO ₂	865,50
Al ₂ O ₃	476,50
K ₂ O	404,75
CaO	471,50
TiO ₂	492,25
FeO	1764,25
Cr ₂ O ₃	1607,50
MnO	2136,00

Při důkladném zpracování dat získaných z měření bylo také určeno rozmezí hodnot hmotnostních koncentrací pro jednotlivé oxidy ve vzorcích. Tato statisticky zpracovaná data jsou uvedena v následující tabulce č. 5. Ta je souhrnná pro všechny vzorky analyzované na elektronové mikrosondě.

Tab. 5 Hodnoty získané statistickým zpracováním z dat naměřených při stanoveních elektronovou mikrosondou (x – průměrná hodnota; range – rozpětí hodnot; DL – detekční limity; σ – směrodatná odchylka)

	LDG velký			LDG malý		
	x (%)	range	σ	x (%)	range	σ
Na ₂ O	0,030	0,012 - 0,06	0,075	0,012	0 - 0,042	0,077
MgO	0,006	0 - 0,024	0,034	0,030	0 - 0,075	0,046
SiO ₂	98,317	97,272 - 100,000	0,672	98,763	98,361 - 99,533	0,720
Al ₂ O ₃	1,754	0,981 - 2,248	0,108	0,763	0,641 - 0,812	0,077
K ₂ O	0,028	0,011 - 0,039	0,037	0,008	0 - 0,027	0,035
CaO	0,000	0 - 0	0,038	0,007	0 - 0,02	0,034
TiO ₂	0,252	0,219 - 0,265	0,054	0,361	0,154 - 0,727	0,064
FeO	0,162	0,096 - 0,228	0,172	0,208	0,071 - 0,335	0,210
Cr ₂ O ₃	0,013	0 - 0,052	0,121	0,080	0 - 0,141	0,129
MnO	0,000	0 - 0	0,148	0,030	0 - 0,118	0,141

	13k			13		
	x (%)	range	σ	x (%)	range	σ
Na ₂ O	1,222	1,046 - 1,368	0,211	1,240	1,058 - 1,448	0,213
MgO	1,956	1,757 - 2,097	0,160	2,374	1,751 - 4,024	0,175
SiO ₂	73,433	72,825 - 73,991	0,640	73,520	68,837 - 75,778	0,641
Al ₂ O ₃	12,454	12,302 - 12,645	0,282	12,380	11,923 - 13,061	0,282
K ₂ O	2,654	2,552 - 2,809	0,168	2,589	2,184 - 2,784	0,166
CaO	2,680	2,553 - 2,769	0,144	1,954	1,62 - 2,358	0,124
TiO ₂	0,761	0,711 - 0,802	0,081	0,774	0,685 - 0,86	0,081
FeO	4,710	4,197 - 5,067	0,582	5,169	4,21 - 7,535	0,603
Cr ₂ O ₃	0,026	0 - 0,152	0,115	0,049	0 - 0,177	0,118
MnO	0,099	0 - 0,199	0,157	0,111	0 - 0,257	0,164

	1			15		
	x (%)	range	σ	x (%)	range	σ
Na ₂ O	1,303	0,984 - 1,634	0,216	0,962	0,657 - 1,252	0,188
MgO	2,082	1,19 - 2,405	0,165	1,852	1,601 - 1,998	0,155
SiO ₂	72,923	70,767 - 78,337	0,638	75,317	73,343 - 79,494	0,646
Al ₂ O ₃	12,810	11,211 - 13,649	0,286	12,231	10,427 - 13,094	0,279
K ₂ O	2,593	2,337 - 2,889	0,166	2,384	1,983 - 2,631	0,159
CaO	3,070	1,479 - 3,586	0,153	2,146	1,773 - 2,407	0,130
TiO ₂	0,763	0,639 - 0,845	0,081	0,746	0,598 - 0,822	0,080
FeO	4,456	3,024 - 5,194	0,564	4,429	3,496 - 5,159	0,559
Cr ₂ O ₃	0,023	0 - 0,101	-3,820	0,051	0 - 0,126	0,088
MnO	0,094	0 - 0,303	0,147	0,094	0 - 0,232	0,144

	6			3		
	x (%)	range	σ	x (%)	range	σ
Na ₂ O	1,458	1,186 - 1,698	0,228	1,090	0,912 - 1,202	0,197
MgO	2,199	2,017 - 2,351	0,170	2,060	1,846 - 2,218	0,163
SiO ₂	72,120	71,493 - 72,875	0,636	73,637	72,518 - 76,233	0,641
Al ₂ O ₃	12,941	12,61 - 13,158	0,288	12,888	11,136 - 13,524	0,287
K ₂ O	2,720	2,547 - 2,811	0,170	2,490	2,425 - 2,548	0,163
CaO	2,886	2,777 - 2,997	0,150	2,324	1,952 - 2,497	0,135
TiO ₂	0,787	0,712 - 0,875	0,082	0,801	0,619 - 0,87	0,083
FeO	4,954	4,621 - 5,355	0,592	4,698	4,225 - 5,098	0,575
Cr ₂ O ₃	0,031	0 - 0,088	-1,507	0,036	0 - 0,114	0,058
MnO	0,093	0 - 0,21	0,155	0,088	0,047 - 0,128	0,173

Z uvedených hodnot je nejvíce patrný velmi vysoký obsah SiO_2 pro Lybijská skla, která byl očekáván. Ten u zkoumaných vzorků dosahoval hodnot kolem 98%. Další významné oxidy, jsou však z jednoznačného pohledu složení Lybijských skel, který hraje ve prospěch hlavního obsahu SiO_2 , už obsaženy jen jako „stopové“. Přesto z nich nejvýznamnější se jeví Al_2O_3 , TiO_2 , FeO .

U vzorků australsko-asijských tektitů je tomu podobně. Nejvyšší obsah hmotnostních procent zaujímá dle všech předpokladů SiO_2 . Zde se jedná o průměrnou hodnotu všech vzorků podobně kolem 73 hm.% SiO_2 . V obsazích dalších oxidů australsko-asijských tektitů stanovených elektronovou mikroanalýzou dále vystupují Al_2O_3 s průměrnou hodnotou pro australsko-asijské tektity 12,6 hm.%, FeO 4,7 hm.%, dále podobné obsahy CaO a K_2O na hodnotách 2,5 hm.%. Menší obsahy vykazují další, například MgO 2,1 hm.% a Na_2O 1,4 hm.%.

Dále, při detailním pozorování hodnot a sledování rozdílů v jednotlivých částech vzorku, jsou nejvíce patrné rozdíly v hodnotách FeO . Údaje jsou zřejmé z tabulky naměřených hodnot touto metodou stanovení, které jsou uvedeny v příloze. Tento jev se vyskytuje u podobných stanovení tektitů také poměrně často. Vysvětlení je možné několika způsoby, které se diskutují. Jedná se například o možnost, že pokud je ve zdrojové oblasti malé množství Fe , zákonitě potom následuje nerovnoměrné rozptýlení během přetavení materiálu. Výsledné rozložení Fe ve vzorku se poté může jevit nehomogenní. Další možnost vysvětlení těchto rozdílů hodnot může být díky různému mocenství Fe . Pokud je ve zdrojové oblasti Fe^{2+} , u kterého je předpoklad převahy, je možné uvažovat rovnoměrnější průběh změn v obsazích tohoto prvku. Pokud se však jedná o Fe^{3+} nabízí se vysvětlení, že přeměny tohoto mocenství mohou být složitější a to může být příčinou oné nehomogenity.

Pro příklad je možno uvést vzorky AAT1, AAT15. Jejich kompletní data jsou uvedena v příloze. Rozdíly ve složení těchto částí jsou malé (1-2 hm%) avšak v jednotlivých částech vzorku odlišených i barevně jsou tyto změny hodnot průkazné.

V odlišné části vzorku AAT15, o které byla často řeč v textu, byly shledány rozdíly hodnot oproti okolnímu chemickému složení, z pohledu hlavních oxidů, také malé. Což spíše potvrzuje již řečenou teorii, že se jedná o obrazec spíše fyzikálně odlišný. To může být způsobeno velkým pnutím materiálu v místě. Studium stopových prvků pro tento vzorek se budu ještě věnovat v následujícím textu.

V části diskuze budou také obsaženy grafy hodnot normalizovaných pro hodnoty svrchní kůry. Pro hodnoty svrchní kůry byla pro normalizaci použita data uvedená v souboru publikovaném Middlemostem (1997). Zpracování obsahů hlavních oxidů naznačuje hlavně nabohacení TiO_2 , a to jak u Lybijských skel, tak u australsko-asijských tektitů. U vzorků Lybijského skla bylo potom méně MgO a CaO a u australsko-asijských výrazné ochuzení Na_2O . Zvýšené obsahy jsou samozřejmě u SiO_2 . U LDG vzorků potom ještě zvýšené hodnoty Al_2O_3 nebo FeO . Australsko-asijské vzorky vykazují spíše mírné nabohacení FeO a MgO .

Hlavní částí zkoumání tektitů, kterému je věnována pozornost v této práci, byla tedy stanovení pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem, s přídatným zařízením pro laserovou ablací. Pro stanovení byly vybrány stopové prvky, které by mohly být zajímavé pro celkový pohled a přinést možné nové poznatky do stanovení těchto materiálů, nebo přinejmenším například potvrdit nějaká již známá stanovení a jejich výsledky novou, zatím v tomto odvětví ne příliš často používanou metodou.

Vybrané prvky, jejichž data byla získávána na LA ICP-MS a všechna čísla vedená jako výstupní pro jednotlivé analýzy, jsou uvedena v tabulkách, které také tvoří přílohy této práce. Všechna tato data byla následně také pečlivě tříděna a statisticky hodnocena. Na základě těchto úprav byly vytvořeny souhrnné tabulky, jež následují. V nich jsou uvedeny nejdůležitější shrnutí výsledků analýz na hmotnostním spektrometru.

Pro stanovení prováděná na hmotnostním spektrometru byly detekční limity jednotlivých prvků také vypočteny na základě opakovaného měření slepého vzorku. Získané hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6 Tabulka detekčních limitů pro hodnoty měřené na hmotnostním spektrometru (ICP-MS)

PRVEK	IZOTOP	DL (ppm)
V	51	0,265
Cr	52	0,052
Mn	55	0,027
Co	59	0,012
Ni	60	0,052
Cu	65	0,118
Zn	66	0,181
As	75	1,501
Rb	85	0,011
Sr	88	0,093
Y	89	0,003
Zr	90	0,043
Nb	93	0,003
Cs	133	0,003
Ba	137	0,039
La	139	0,002
Ce	140	0,003
Pr	141	0,002
Nd	146	0,007
Sm	147	0,001
Eu	151	0,001
Gd	157	0,001
Tb	159	0,001
Dy	163	0,002
Ho	165	0,001
Er	166	0,001
Tm	169	0,001
Yb	172	0,001
Lu	175	0,001
Hf	178	0,003
Ta	181	0,003
Pb	208	0,029
Th	232	0,002
U	238	0,004
Si ^a	29	

V tabulkách 7-10 je dále možno nalézt výsledné zpracování měření na hmotnostním spektrometru všechny pro vzorky. Jsou zde uvedeny hodnoty obsahu prvků v jednotkách ppm (tedy $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) a dále detailní rozmezí těchto hodnot pro každý jeden prvek. (range). Jako poslední byla zjištěna hodnota směrodatné odchylky měření (σ).

V části diskuze budou tyto hodnoty ještě jednou následně hodnoceny a porovnány pomocí normalizovaných dat pro hodnoty chondritu CI a pro svrchní kůru (UCC – upper continental crust). Tato porovnání budou sloužit k zjištění možného obohacení určitými prvky nebo skupinami prvků.

Tab. 7 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: \bar{x} – průměrných hodnot; range – rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Prvky	LDG1			LDG2		
	\bar{x} (ppm)	range	σ	\bar{x} (ppm)	range	σ
V	6,457	4,368 - 7,713	0,85	6,333	5,167 - 7,471	0,71
Cr	3,927	2,209 - 5,88	0,94	4,602	3,545 - 6,409	1,00
Mn	17,015	10,63 - 23,62	3,26	17,247	12,63 - 20,25	2,30
Co	0,189	0,114 - 0,267	0,04	0,194	0,168 - 0,234	0,02
Ni	2,594	1,727 - 3,681	0,58	3,647	2,393 - 5,141	0,79
Cu	2,169	1,701 - 2,703	0,26	2,275	1,877 - 2,794	0,25
Zn	2,257	1,401 - 2,835	0,34	2,727	2,15 - 3,5	0,46
As	0,522	0 - 4,61	2,20	0,647	0 - 3,424	1,03
Rb	0,328	0,197 - 0,534	0,10	0,177	0,113 - 0,25	0,05
Sr	20,737	17,97 - 25,78	2,42	18,467	15,63 - 22,05	2,18
Y	5,614	4,363 - 6,858	0,61	5,096	3,548 - 6,259	0,77
Zr	354,369	240,9 - 440,7	54,83	352,220	206,4 - 483,5	74,55
Nb	4,394	3,501 - 5,453	0,56	4,301	3,122 - 5,367	0,70
Cs	0,012	0,005 - 0,02	0,00	0,010	0,007 - 0,013	0,00
Ba	22,500	18,94 - 27,05	2,27	20,048	17,06 - 23,42	2,02
La	11,589	9,451 - 13,81	1,20	9,131	7,46 - 11,07	1,01
Ce	26,230	22,77 - 30,35	2,27	20,242	17,52 - 23,57	2,05
Pr	2,455	1,989 - 2,965	0,26	1,930	1,623 - 2,292	0,20
Nd	8,789	7,092 - 10,44	0,92	6,804	5,585 - 8,235	0,75
Sm	1,595	1,215 - 1,951	0,20	1,249	0,963 - 1,48	0,15
Eu	0,255	0,217 - 0,32	0,03	0,208	0,164 - 0,26	0,03
Gd	1,449	1,188 - 1,711	0,15	1,174	0,934 - 1,408	0,15
Tb	0,179	0,156 - 0,215	0,02	0,151	0,117 - 0,187	0,02
Dy	1,037	0,805 - 1,234	0,10	0,899	0,704 - 1,093	0,12
Ho	0,201	0,158 - 0,237	0,02	0,183	0,14 - 0,224	0,03
Er	0,616	0,455 - 0,763	0,08	0,567	0,399 - 0,717	0,09
Tm	0,093	0,066 - 0,115	0,01	0,090	0,055 - 0,115	0,02
Yb	0,627	0,493 - 0,762	0,08	0,588	0,406 - 0,781	0,10
Lu	0,117	0,086 - 0,137	0,01	0,110	0,075 - 0,15	0,02
Hf	8,696	6,205 - 10,69	1,27	8,543	4,794 - 11,84	1,89
Ta	0,376	0,298 - 0,45	0,04	0,378	0,243 - 0,498	0,07
Pb	7,348	4,91 - 8,944	1,10	5,476	4,755 - 6,786	0,62
Th	5,202	4,199 - 7,582	0,85	4,341	2,664 - 5,562	0,93
U	1,188	0,937 - 1,367	0,12	1,044	0,861 - 1,222	0,12

Tab. 8 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: \bar{x} – průměrných hodnot; range – rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Prvky	AAT1			AAT6		
	\bar{x} (ppm)	range	σ	\bar{x} (ppm)	range	σ
V	67,049	65,29 - 69,3	1,07	74,705	71,8 - 76,3	1,16
Cr	60,029	58,58 - 61,83	0,95	77,388	74,21 - 81,7	2,45
Mn	585,150	577 - 597,4	6,55	659,592	633,1 - 696,5	15,77
Co	10,294	10,04 - 10,75	0,22	12,104	11,56 - 12,46	0,30
Ni	18,352	17,68 - 19,41	0,59	29,708	28,73 - 30,4	0,55
Cu	3,529	3,251 - 3,973	0,23	6,412	6,067 - 7,097	0,29
Zn	4,906	4,282 - 5,398	0,38	20,054	18,21 - 22,13	1,18
As	1,124	0 - 1,47	1,05	1,747	0 - 4,948	1,51
Rb	84,582	81,66 - 87,73	1,63	98,110	93,73 - 100,7	2,16
Sr	165,500	158 - 171,3	3,15	152,633	147,5 - 155,6	2,28
Y	31,932	30,07 - 33,38	1,02	31,665	30,37 - 32,33	0,54
Zr	285,980	269,3 - 299,3	8,20	313,492	302,2 - 318,8	4,70
Nb	15,646	15,22 - 16,09	0,25	16,031	15,21 - 16,38	0,31
Cs	4,567	4,203 - 4,768	0,16	5,776	5,48 - 6,054	0,15
Ba	362,700	355,5 - 370	4,05	360,183	352,8 - 369,6	4,61
La	41,884	41,1 - 43,77	0,71	42,813	41,52 - 44,04	0,72
Ce	73,393	71,98 - 75,84	1,06	77,059	72,75 - 79,14	1,46
Pr	8,655	8,302 - 9,087	0,19	9,009	8,632 - 9,159	0,14
Nd	34,067	32,99 - 35,52	0,67	35,591	34,91 - 36,75	0,47
Sm	6,935	6,624 - 7,292	0,18	7,112	6,879 - 7,364	0,13
Eu	1,236	1,186 - 1,308	0,04	1,320	1,28 - 1,375	0,03
Gd	6,472	6,187 - 6,805	0,18	6,769	6,579 - 7,101	0,18
Tb	0,935	0,897 - 0,987	0,03	0,962	0,936 - 1,002	0,02
Dy	5,727	5,587 - 5,968	0,12	6,082	5,851 - 6,346	0,15
Ho	1,140	1,096 - 1,165	0,02	1,187	1,147 - 1,272	0,04
Er	3,289	3,169 - 3,4	0,06	3,459	3,331 - 3,662	0,09
Tm	0,482	0,463 - 0,511	0,01	0,505	0,478 - 0,528	0,01
Yb	3,013	2,88 - 3,205	0,09	3,122	2,979 - 3,27	0,09
Lu	0,497	0,465 - 0,523	0,02	0,509	0,484 - 0,533	0,01
Hf	7,674	7,446 - 7,913	0,16	8,443	8,148 - 8,77	0,19
Ta	1,373	1,325 - 1,413	0,03	1,416	1,343 - 1,469	0,03
Pb	1,213	0,966 - 1,446	0,16	6,282	5,738 - 6,73	0,31
Th	15,826	14,89 - 16,49	0,42	16,250	15,33 - 17,09	0,41
U	1,962	1,761 - 2,081	0,10	2,372	2,141 - 2,611	0,12

Tab. 9 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: \bar{x} – průměrných hodnot; range – rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Prvky	AAT13			AAT13k		
	\bar{x} (ppm)	range	σ	\bar{x} (ppm)	range	σ
V	100,799	86,27 - 110,2	6,70	70,330	64,21 - 75,05	3,35
Cr	140,871	96,31 - 253	46,99	64,109	60,26 - 67,09	2,42
Mn	960,420	874,4 - 1077	61,34	728,867	662,7 - 770,9	27,12
Co	20,799	15,34 - 34,11	5,60	10,693	9,806 - 11,5	0,57
Ni	96,872	59,89 - 197	46,15	16,376	14,06 - 18,15	1,25
Cu	8,568	7,618 - 9,722	0,60	3,229	2,73 - 3,917	0,33
Zn	26,194	15,43 - 30,35	4,11	10,268	6,462 - 13,26	1,67
As	2,616	0 - 7,179	4,18	1,787	0 - 3,627	1,24
Rb	141,270	124,9 - 157,3	8,45	98,257	89,56 - 102,8	3,84
Sr	173,100	166,1 - 176,9	2,95	154,093	147,6 - 161,2	3,34
Y	46,079	43,75 - 48,35	1,58	31,554	28,78 - 33,74	1,22
Zr	438,510	422,8 - 455,1	12,47	286,933	241,3 - 316,7	17,95
Nb	23,334	21,72 - 24,92	0,95	16,149	13,39 - 17,06	0,90
Cs	8,145	7,16 - 8,822	0,53	5,503	5,01 - 5,785	0,24
Ba	522,520	482,3 - 558,5	19,71	383,047	354,2 - 402,3	13,42
La	59,472	55,52 - 62,59	1,93	41,533	33,72 - 44,72	2,58
Ce	103,573	95,82 - 111,4	4,19	76,166	63,77 - 80,27	4,20
Pr	12,298	11,3 - 13,15	0,48	8,981	8,369 - 9,387	0,30
Nd	48,782	44,5 - 51,56	1,99	35,387	33,9 - 36,85	0,89
Sm	9,570	8,74 - 10,3	0,48	6,815	6,539 - 7,321	0,21
Eu	1,776	1,665 - 1,901	0,07	1,298	1,249 - 1,34	0,03
Gd	9,417	8,536 - 10,05	0,44	6,727	6,428 - 7,639	0,31
Tb	1,340	1,193 - 1,447	0,07	0,946	0,886 - 0,987	0,03
Dy	8,437	7,6 - 9,11	0,43	5,916	5,606 - 6,283	0,17
Ho	1,667	1,523 - 1,787	0,08	1,170	1,106 - 1,244	0,04
Er	4,772	4,331 - 5,128	0,22	3,415	3,161 - 3,649	0,12
Tm	0,703	0,657 - 0,759	0,03	0,500	0,465 - 0,526	0,02
Yb	4,359	3,922 - 4,647	0,24	3,082	2,923 - 3,242	0,10
Lu	0,727	0,666 - 0,793	0,04	0,500	0,472 - 0,526	0,02
Hf	11,832	11,06 - 12,78	0,57	7,818	6,837 - 8,575	0,45
Ta	2,035	1,923 - 2,215	0,08	1,377	1,12 - 1,496	0,09
Pb	8,630	3,81 - 10,2	1,78	3,220	2,667 - 3,648	0,31
Th	22,552	21,1 - 24,1	1,06	15,342	11,45 - 16,4	1,27
U	3,135	2,47 - 3,436	0,27	1,999	1,765 - 2,192	0,12

Tab. 10 Statisticky zpracované hodnoty naměřené při analýzách na ICP-MS (LA); výstupní data jsou uvedena jako: \bar{x} – průměrných hodnot; range – rozmezí hodnot; σ – směrodatná odchylka)

Prvky	AAT15		
	\bar{x} (ppm)	range	σ
V	58,048	50,44 - 66,76	4,56
Cr	54,696	50,32 - 61,06	3,27
Mn	646,540	573,1 - 725,1	43,17
Co	8,811	6,846 - 10,54	1,05
Ni	10,946	4,752 - 15,26	3,88
Cu	2,829	2,284 - 3,543	0,36
Zn	5,159	1,185 - 7,145	1,74
As	1,763	0 - 6,25	2,53
Rb	87,628	77,74 - 102,1	6,98
Sr	128,493	115,5 - 140	8,62
Y	28,861	25,07 - 34,09	3,16
Zr	279,687	223,8 - 407,6	59,71
Nb	15,633	13,32 - 18,88	1,80
Cs	4,549	3,897 - 5,48	0,40
Ba	361,353	307,5 - 430,3	39,85
La	38,847	33,85 - 45,19	3,96
Ce	72,562	61,36 - 87,12	8,51
Pr	8,251	7,112 - 9,784	0,83
Nd	32,027	27,56 - 36,92	3,12
Sm	6,398	5,373 - 7,632	0,68
Eu	1,184	0,983 - 1,397	0,11
Gd	6,026	5,048 - 7,393	0,72
Tb	0,847	0,698 - 0,996	0,08
Dy	5,366	4,638 - 6,249	0,53
Ho	1,070	0,893 - 1,274	0,13
Er	3,060	2,532 - 3,706	0,36
Tm	0,450	0,384 - 0,564	0,05
Yb	2,695	2,284 - 3,215	0,28
Lu	0,455	0,368 - 0,594	0,07
Hf	7,655	5,851 - 10,85	1,62
Ta	1,333	1,149 - 1,641	0,16
Pb	1,259	0,09 - 2,032	0,73
Th	16,878	12,54 - 27,93	4,78
U	1,615	1,004 - 2,025	0,25

V bližším pohledu na tyto tabulky spočtených dat je zřejmé, že obsahy všech stopových prvků jsou velmi malé. Některé se dokonce v určitých vzorcích pohybují pod mezí detekce nebo velice blízko ní. Typickým příkladem pro tato měření se staly hodnoty arsenu. Ten vzhledem jeho charakteristické vysoké ionizační energii se v takto malých hodnotách měří velice těžko a jsou tedy možné jisté odchylky v měření. Některé hodnoty, které se nacházely pod mezí detekce, musely být z dalšího zpracování eliminovány.

Ze stanovení je možno zmínit rozmezí hodnot, která se pohybovala pro vzorky Lybijského skla a zvláště australsko-asijských tektitů ve dvou poměrně různých mezích hodnot. Pro příklad zmíním například Mn 10 - 23ppm, Sr 18-25ppm nebo Zr v hodnotách kolem 240 - 440 ppm, Pb 5 – 9 ppm nebo Th 4 – 8 ppm. Jak bude patrné z porovnání v části diskuze a tam zmíněného grafu, například z pohledu Cu nebo Zn jsou tato skla oproti zemské kůře těmito prvky ochuzena. Opačný trend můžeme konstatovat například pro Zr. To může ukazovat na důležitý fakt, že zdrojový materiál svrchní kůry mohl obsahovat těžké minerály ve významném zastoupení pro podobná zkoumání, čemuž by se mohly věnovat některé budoucí analýzy podobných materiálů.

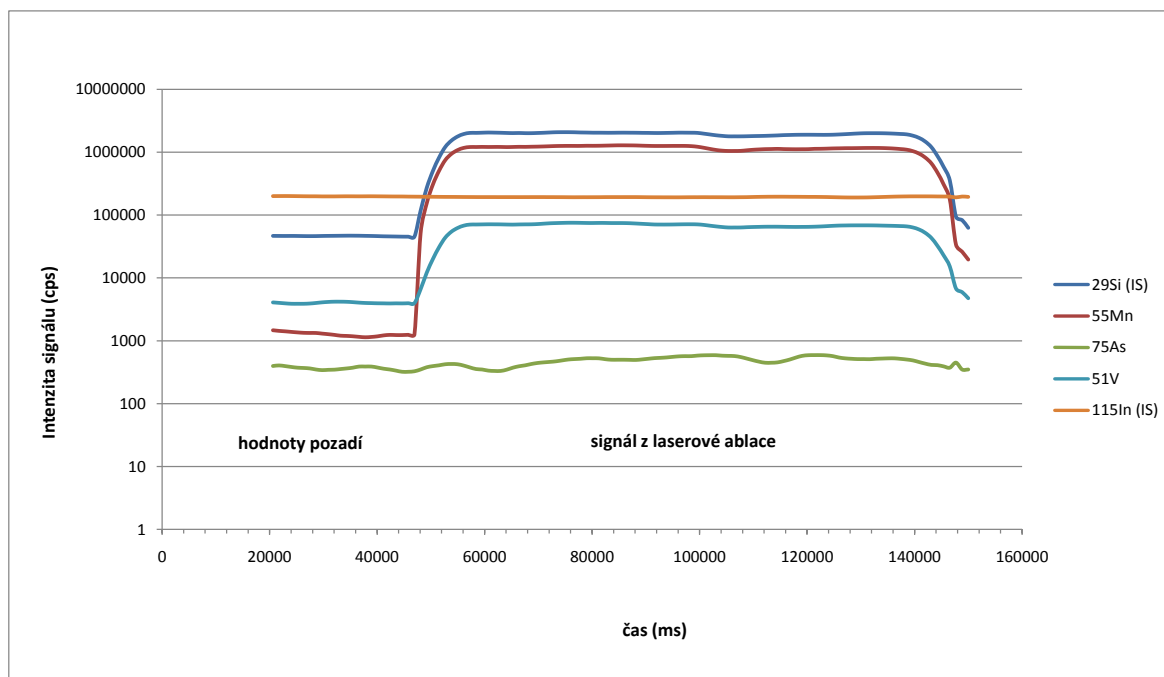
V hodnotách získaných pro vzorky australsko-asijských tektitů zmíním opět například rozmezí hodnot pro Mn. To se pohybuje pro tyto vzorky kolem 600 – 700 ppm. V tomto celkovém pohledu na zmíněnou pádovou oblast následují například hodnoty Cr, které vystupují v jednotkách ppm v rozmezí 60 – 80 ppm. Jako další je možno uvést hodnoty Co se 7 – 11 ppm. Pro vzorek AAT13 jsou všechny hodnoty shledávány obecně vyšší. To může být dáno chybou měření nebo mírnými odlišnostmi v možném zdrojovém materiálu.

Pokud se ještě budeme zabývat pohledem na jednotlivé vzorky zvláště a rozdíly v různých jejich částech, musíme se vrátit například ke vzorku AAT 15. V detailním pohledu na tento vzorek se jednotlivé stanovované části nijak extrémně od sebe neliší. Což opět potvrzuje spíše teorii, že se jedná pouze o úkaz fyzikálního charakteru v materiálu tohoto vzorku.

Podobně je tomu ostatně i u dalších vzorků. Většinou nejsou patrné žádné extrémní výkyvy v rámci jednoho vzorku. To potvrzuje také spíše celkovou homogenitu tohoto přírodního materiálu. Zvláště v případě vzorků Lybijských skel je toto ještě více patrné. Pro vzorky australsko-asijské budou rozlišována později určitá celková nabožení oproti jiným přírodním materiálům. Heterogenity „uvnitř“ jednotlivých vzorků nebyly při těchto stanoveních shledány.

Následující obrázek ukazuje časový průběh analýzy na hmotnostním spektrometru. Zobrazuje intenzitu signálu vybraných prvků během stanovení. Příklad je uváděn konkrétně pro vzorek AAT15. Jako konstantní je v grafu znázorněna hodnota In, protože se v jeho případě jedná o roztok, který je neustále přiváděn do přístroje, jak již bylo řečeno v textu dříve. Prvek ²⁹Si slouží též jako interní

standard. V grafu dále následují hodnoty V, Mn a As. Arsen se vyskytuje ve vzorku ve velice malém množství, proto je jeho intenzita signálu malá.



Obr. 37 Časový průběh analýzy (TRA) na hmotnostním spektrometru (zpracováno pro vybrané prvky vzorku AAT15 a interní standard a roztok In)

5 DISKUSE

Jak již bylo mnohokrát řečeno v předchozím textu, v této práci byly hodnoceny výsledky pro přírodní materiály lze říci extrémního původu. Již mnoho autorů a publikací věnovalo svou pozornost studiu tektitů a různými možnostmi stanovení se pokoušeli ukazovat nová a nová data, která by vnesla více pochopení pro vznik a charakteristiku těchto materiálů.

Podobným určením se zabývá i tato práce. Pomocí postupného zkoumání všech zmiňovaných vzorků byla získána data, která mohou být nyní srovnána se zjištěními ostatních autorů.

Pro tyto porovnání je potřeba zmínit i obrázky, které jsou řazeny jako přílohy v poslední části tohoto textu. Zde jsou uvedena data získaná některými autory, kteří se již zabývali stanovením podobného typu, a podobnými metodami, které používá tato práce a jsou proto nejvíce reprezentativní pro možné srovnání.

V úvodu kapitoly se v první řadě zpět zmíním o pozorováních, která byla provedena optickým mikroskopem. Jednalo se o standardní postup, který je uváděn ve velkém počtu publikací. Tento obvyklý krok pomáhá autorům se zorientovat ve zkoumaném materiálu a případně detekovat zajímavosti ve struktuře nebo neobvyklosti ve vnitřním spořádání.

Někteří autoři dokonce používají detailnějšího pohled elektronových mikroskopů, jak uvádí například Skála et al.(2009). Tyto mikrofotografie však nebyly pro tuto práci snímány.

Ve výsledku se však zjištěná fakta pro vnitřní uspořádání tektitů často shodují. Jsou nalézány šliry, lechatellierity a další, podobně jako tomu bylo v této studii.

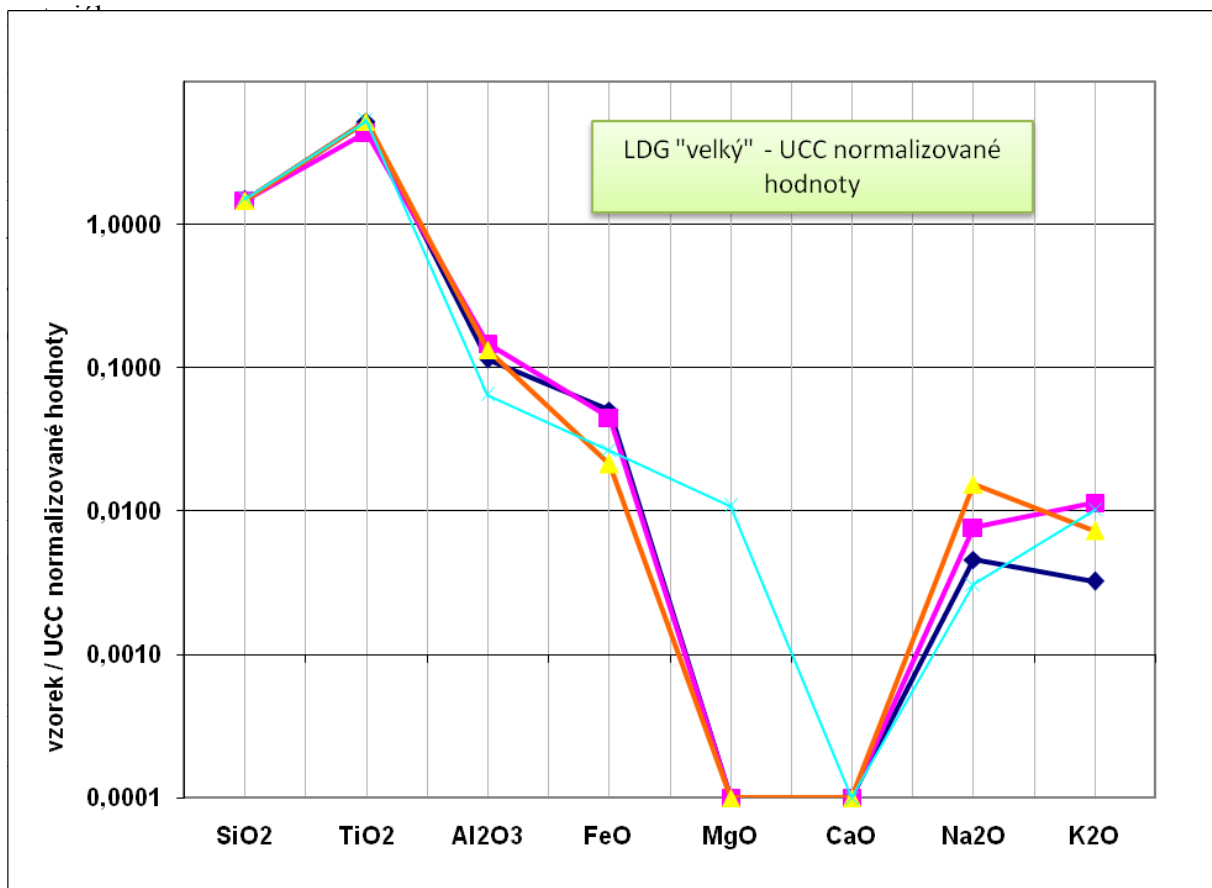
Ohledně dalších měření získaných elektronovou mikroanalýzou je třeba zmínit například souhrnnou tabulku podobného uspořádání pro australsko-asijské tektity, ivority, vltavíny, severoamerické tektity a jejich srovnání s obsidiány. Tu zhotovil jako jeden z mnoha například B. P. Glass již roku 1988 ve své publikaci Tectites and microtektites: key facts and inferences. Obrázek této tabulky je uveden jako příloha ihned za textem práce.

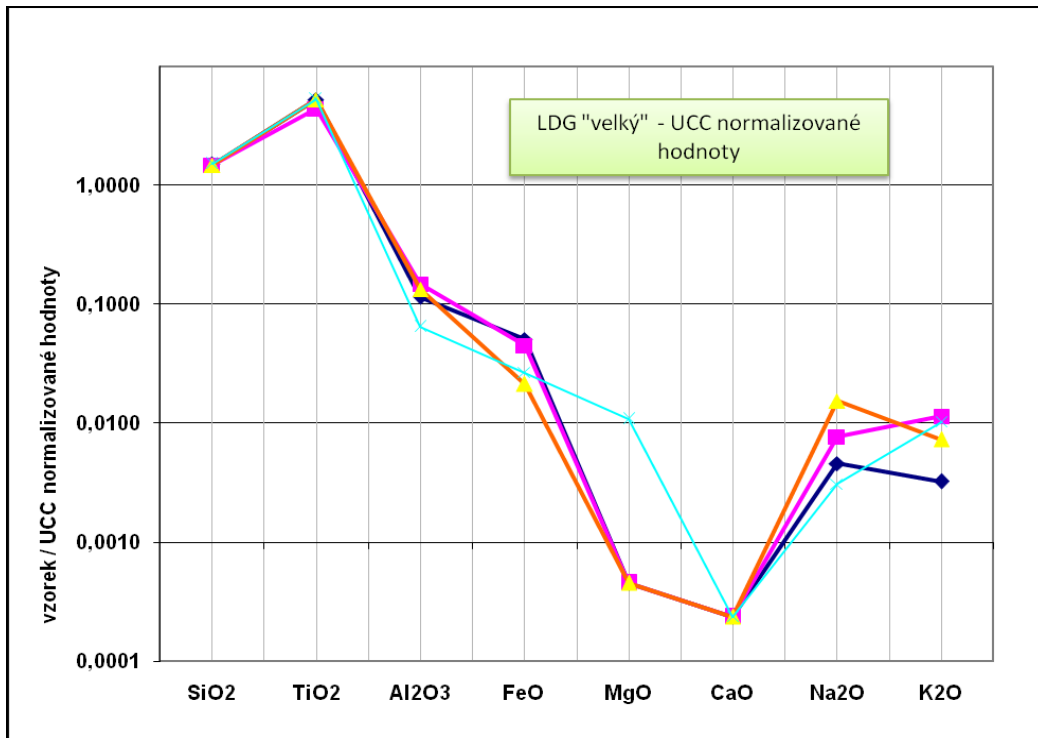
Zjištění, která jsou uvedena v tabulce zmíněného textu (Glass, 1988) jsou pro australsko-asijské tektity velice podobná těm, která byla určena v souboru měření prováděných v souvislosti s touto prací. Hodnoty SiO_2 jsou zde udávány v rozmezí 70 – 73 hm%. Výjimkou je pouze vyšší stanovení obsahu pro tektity Muong-Nong. Vzorek tohoto speciálního typu tektitů však nebyl pro tuto práci k dispozici, nelze proto srovnávat, jelikož tento typ se obvykle svým složením oproti ostatním tektitům odlišuje.

Hodnoty získané měřením elektronovou mikroanalýzou se liší ve stanoveních pro australsko-asijské tektity a pro Lybijská skla.

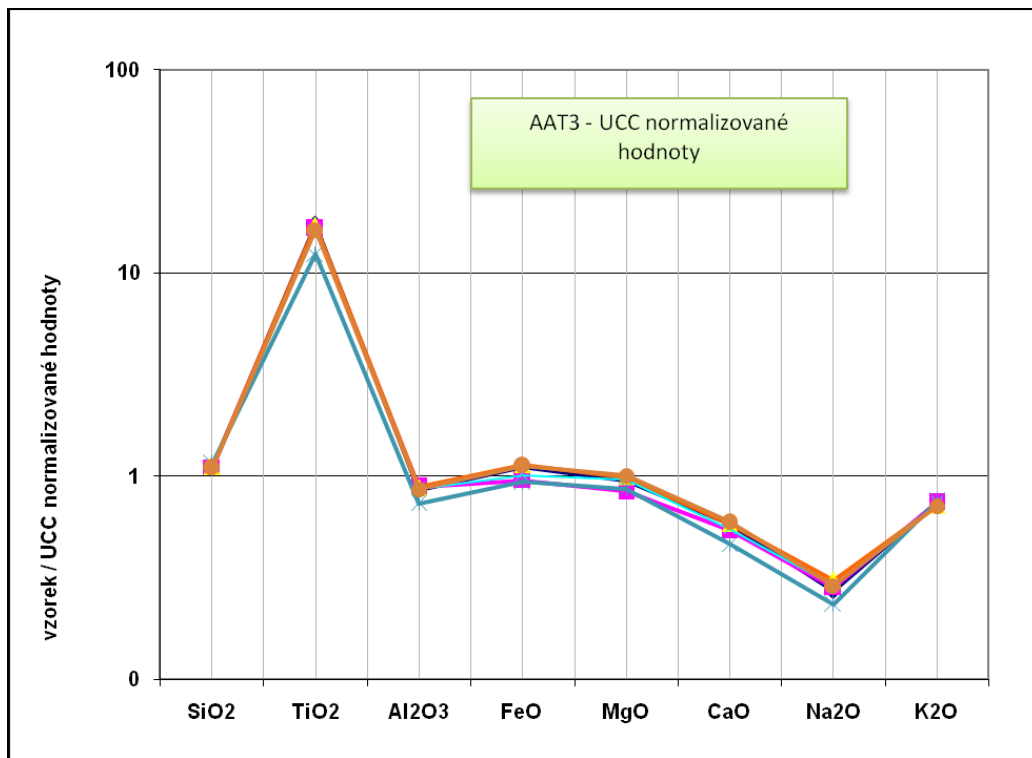
Skla Lybijské pouště vykazují již výše zmíněných 98% SiO₂, to je zcela očekávaná vysoká hodnota, charakteristická pro tento materiál. Podobně potvrdil 98% hmotnostního podílu SiO₂ například Barrat et al. (1997). Z dalšího studia jsou patrné hodnoty, které odpovídají hmotnostnímu podílu jednotlivých složek, jak je uvedl dále již zmíněný J. A. Barrat ve své publikaci. Celkové složení Lybijských skel je tedy vysoce ovlivněno převážným obsahem hlavní složky.

V porovnání s jinými tektity jsou tyto výsledky více než zřejmé. Při měřeních použitých pro tuto práci byly stanoveny hodnoty SiO₂ pro ostatní australsko-asijské tektity kolem hranice 73%. Obdobně je tomu například v již také zmíněné publikaci o tektitech a mikrotektitech (Barrat et al., 1997). Zde dosahují hodnoty pro nálezy z australsko-asijské oblasti 70,8 – 78,3 hm%. Obsahy dalších důležitých oxidů, které byly zjištěny v tomto měření, jako například Al₂O₃ 12,6 hm%, FeO 4,2 hm%, CaO a K₂O shodně zhruba na hodnotě 2,5 hm% pro všechny vzorky AAT. Glass (1988) udává hodnoty Al₂O₃ 11,53 – 13,85 hm%, FeO 4,05 – 4,81 hm%, CaO 1,91 – 3,50 hm%, K₂O 2,28 – 2,41 hm%. Všechna tato čísla ukazují na stejné složení v celé této oblasti a tedy nejspíše i stejný zdrojový

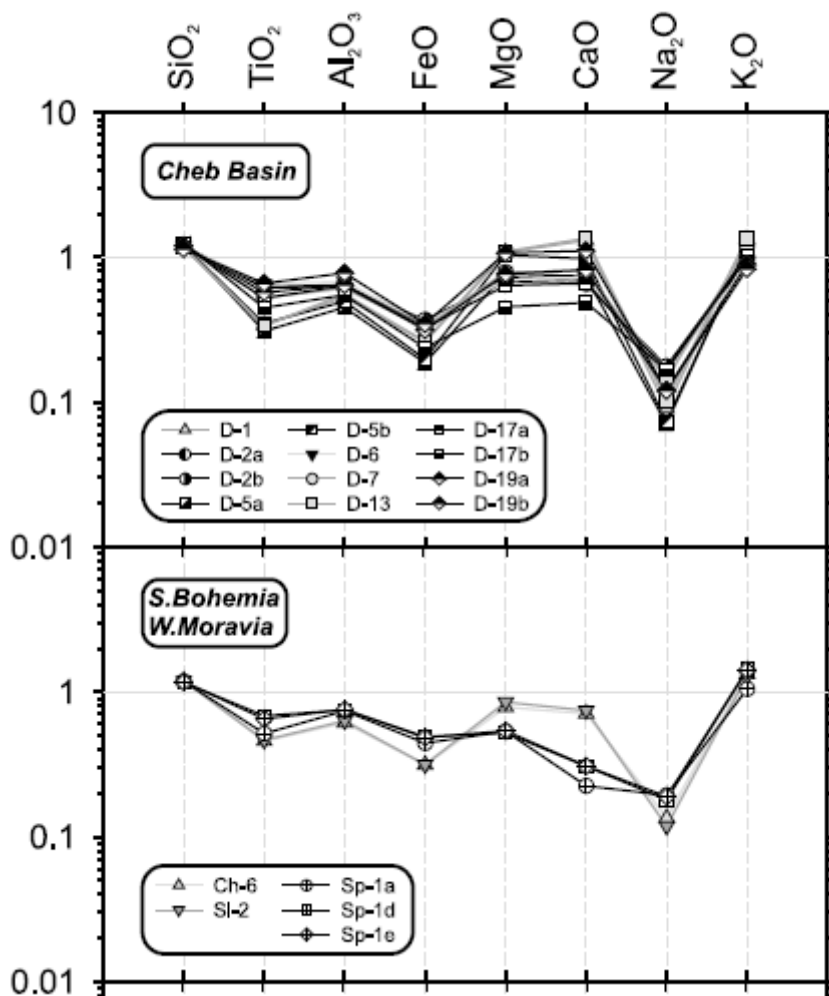




Obr. 38 hodnoty analyzovaných oxidů ve vzorku LDG „velký“ normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)



Obr. 39 hodnoty analyzovaných oxidů ve vzorku AAT3 normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)



Obr. 40 Obsah prvků normalizovaných pro svrchní kůru pro vzorky vltavínů (Skála et al., 2009)

Z uvedených grafických výstupů je jasné obohacení TiO_2 pro oba vynesené grafy nových stanovení. Vzorek lybijského skla je dále spíše ochuzen o MgO a CaO . Naproti tomu vzorek z australsko-asijské části (AAT3) je ochuzen spíše Na_2O . To také odpovídá výsledkům grafů ze zkoumání obr. 40 (Skála et al., 2009). Tyto výsledky korelují s veškerými zjištěními a příbuzností tektitů po celém světě, díky jejich stejné genezi, ačkoli tedy v jiných oblastech. Naproti tomu jsou křemičitá skla Lybijské pouště z tohoto pohledu odlišná svým vysokým obsahem SiO_2 .

Další fáze hodnocení náleží datům získaným díky měření hmotnostním spektrometrem (LA ICP-MS). Metoda se stává stále využívanější pro stanovení stopových prvků v tektitech a zdá se, že se tato situace bude do budoucna jen potvrzovat.

Avšak toto měření je stále v oblasti studia tektitů dosti nové. Dostupnost dat pro srovnání získaných hodnot je tedy mírně omezená. V poslední době se podobnými stanoveními zabývali například již zmiňovaný Skála et al. (2009) nebo Son a Koeberl (2005). Druzi zmiňovaní však používali pro měření metodu instrumentální neutronové aktivační analýzy a byly analyzovány vzorky typu Muong – Nong,

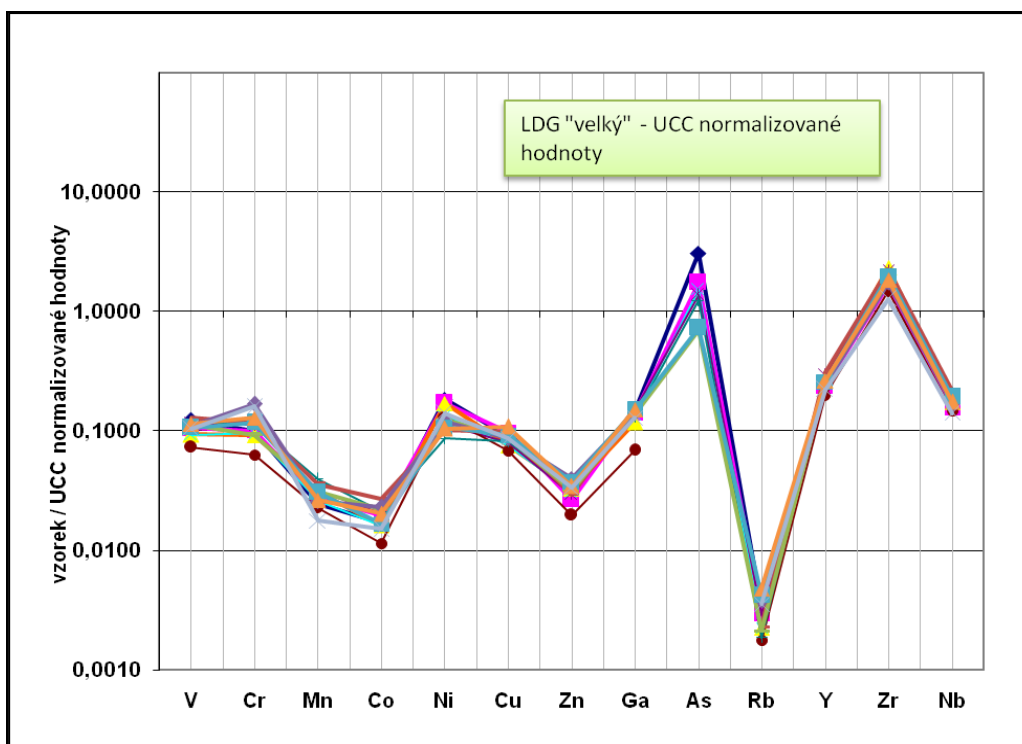
kteře se mohou v hodnotách lišit. Rozdíl mezi tektity všeobecně a úlomky typu Muong – Nong již byl dříve zmíněn v textu.

Z výsledků pro stopové prvky měřené v této práci vyplývají z velké škály hodnot například Mn v rozmezí 10 – 23 ppm, Sr 18 – 25 ppm, Zr 240 – 440 ppm, Pb 5 – 9 ppm nebo Th 4 – 8 ppm. Tyto hodnoty jsou pro vzorky LDG. U vzorků AAT se obsahy lišily a lze říci, že v souboru pro všechny vzorky AAT dosahovaly například hodnot Mn 6000 – 7000 ppm, Cr 60 – 80 ppm, nebo Co 7 – 11 ppm. Další hodnoty již byly uvedeny v kapitole výsledky v textu nebo v souhrnné tabulce pro vzorky.

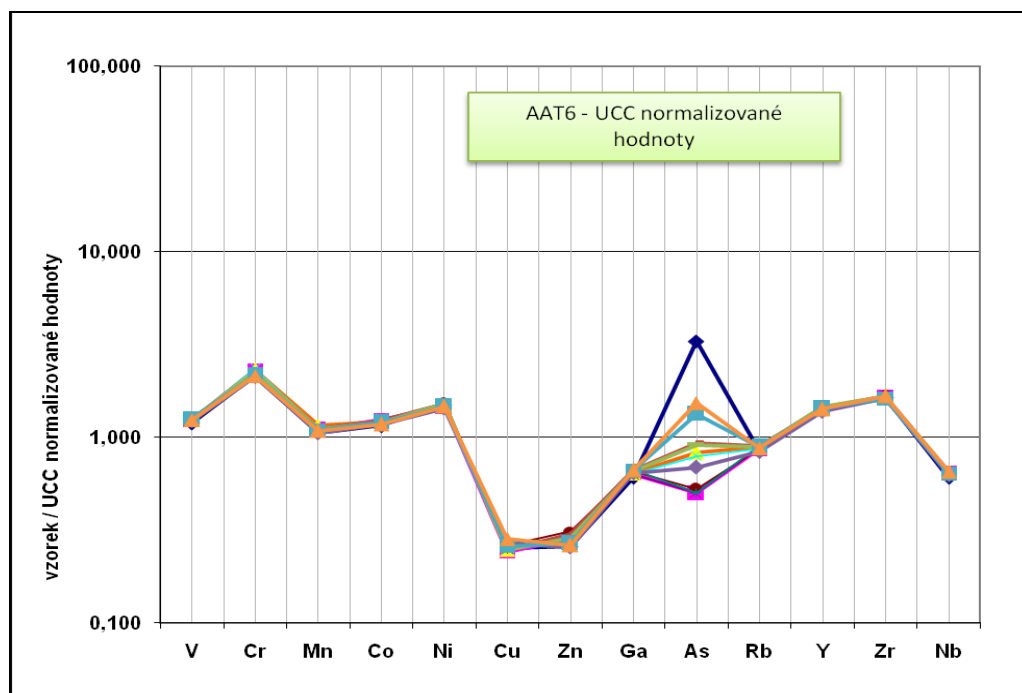
Z výsledků jiných autorů vyplývají v této oblasti opět podobné trendy. V případě hlavního srovnání s daty dostupnými také z měření pomocí hmotnostní spektrometrie, je třeba zmínit některé hodnoty z publikace Skála et al. (2009), kde bylo měření prováděno na vzorcích vltavínů z Chebské pánve. Pro názorné porovnání uvedu hodnoty pro stejné prvky jako výše zmíněné výsledky této práce. Jedná se o Mn v rozmezí hodnot 172 – 913 ppm, Cr 13,1 – 26,8 ppm, Co 3,85 – 7,81 ppm. Další hodnoty jsou uvedeny v tabulce vytvořené autory tohoto článku, která se nalézá v příloze této práce.

Se stejnými autory je provedeno i srovnání normalizovaných hodnot pro získané vzorky. Jelikož se jedná o analýzu stejnou metodou (hmotnostním spektrometrem) a navíc tato není ještě hojně používána, jsou tyto výsledky zdá se pro prezentaci všech faktů nejlépe dostačující.

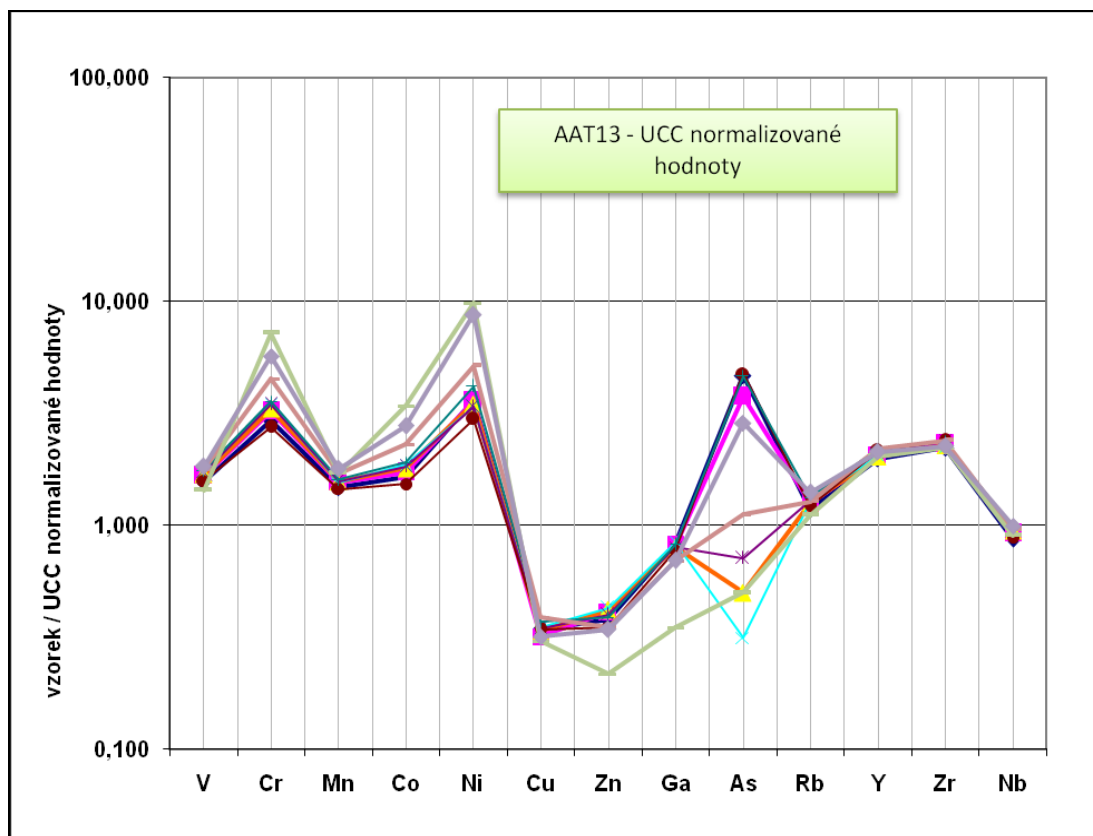
V následujících obrázcích je možno porovnat data normalizovaná opět pro hodnoty svrchní kůry. Pro zhotovení potřebných grafů byla zpracována data vzorků LDG „velký“, AAT6 a AAT13.



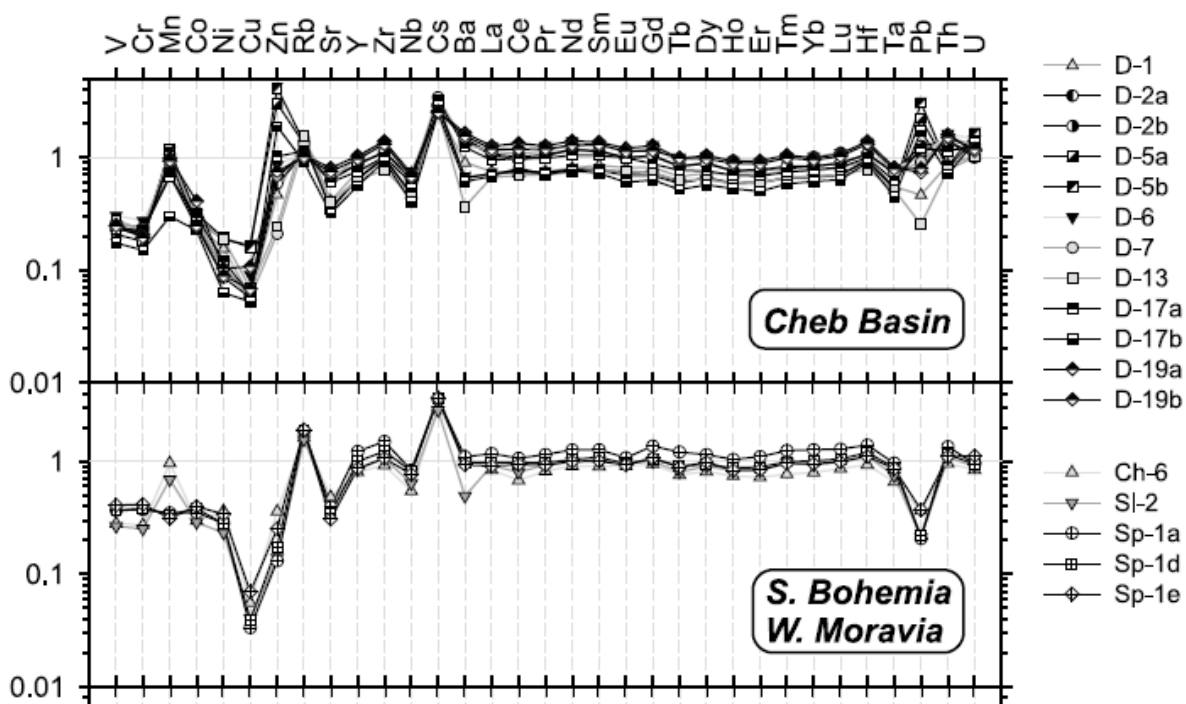
Obr. 41 hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku LDG „velký“ normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)



Obr. 42 hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku AAT6 normalizované hodnotami pro svrchní kůru (UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)



Obr. 43 Hodnoty vybraných stopových prvků ve vzorku AAT13 normalizované hodnotami pro svrchní kůru(UCC). Zdrojem pro hodnoty UCC byl Middlemost (1997)



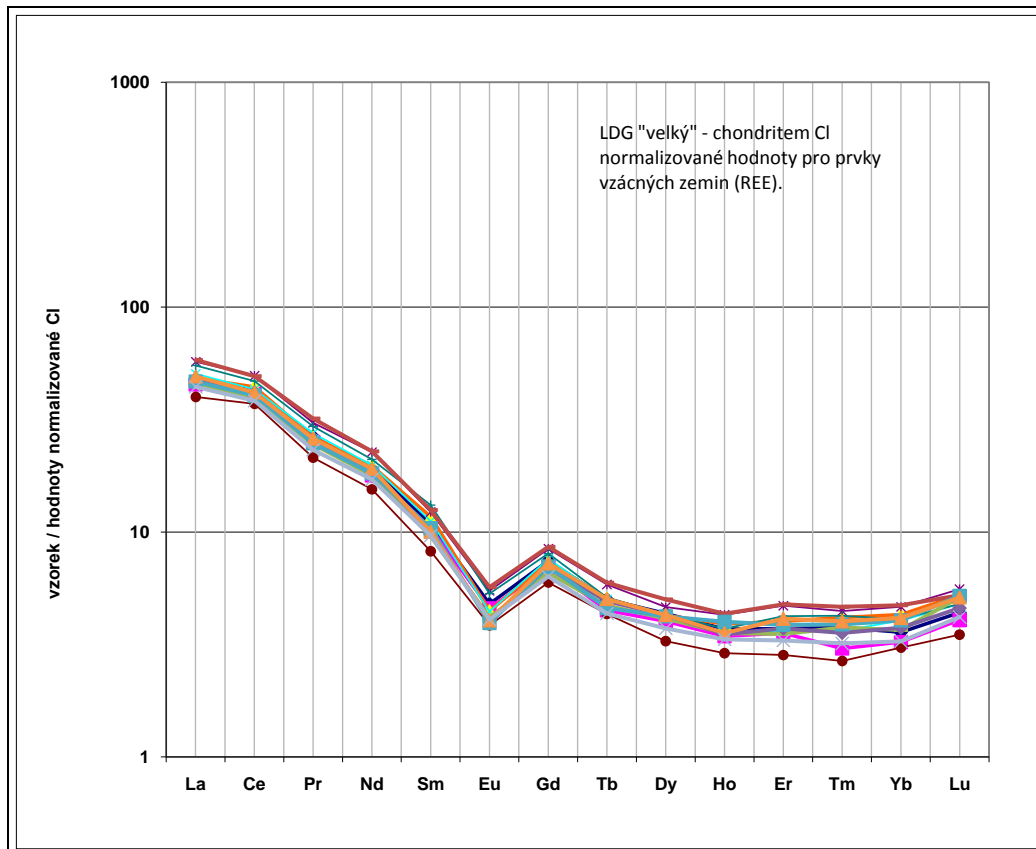
Obr. 44 Hodnoty měřených vzorků pro vltaviny z jižních Čech, Moravy a Cbebské pánve, hodnoty normalizované pro svrchní kontinentální kůru (Skála et al., 2009)

Z uvedených obrázků je jasné, že v případě skelného charakteru těchto vzorků je složení všech zkoumaných vzorků ve stejném trendu obohacení či ochuzení různých prvků. V případě LFG „velkého“ vzorku se jedná především o nabožení Cr, Ni nebo také Y a Zr. Oproti tomu je ochuzen o Rb. Problémovým prvkem se jeví As. Ten je ve všech případech specifický výkyvy ve svém složení. To je však spíše způsobováno chybou v měření z důvodu špatně měřitelného izotopu As v takto malé koncentraci.

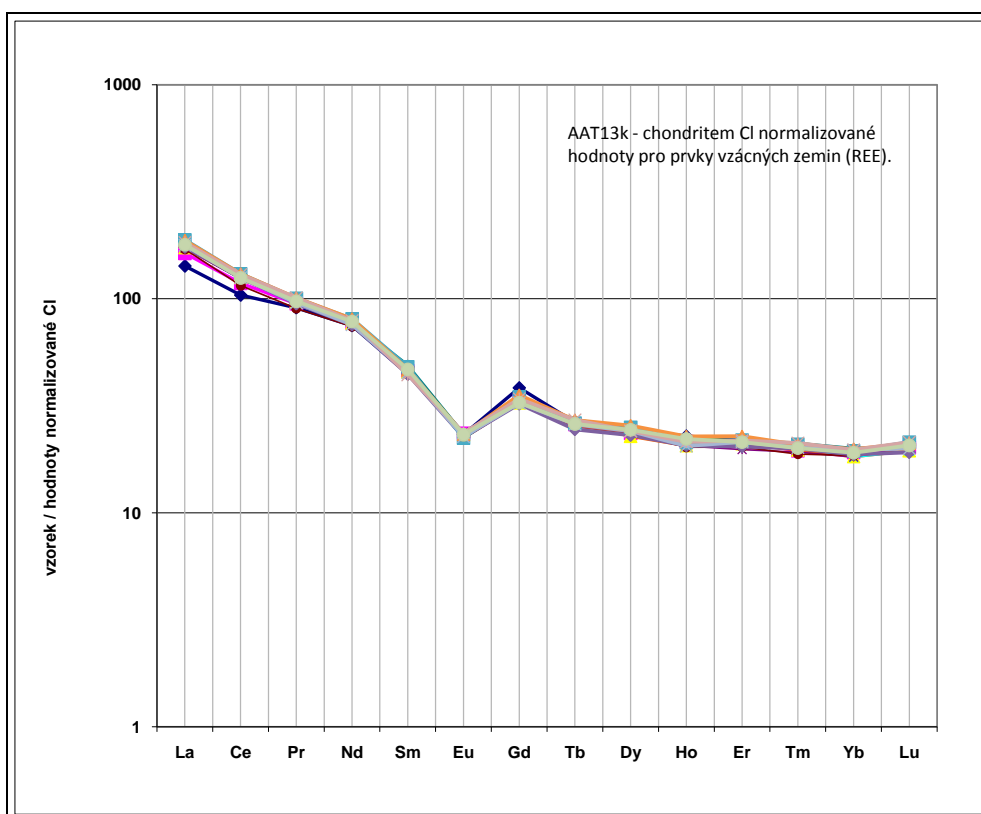
Z výsledků znázorněných předchozími grafy normalizovaných hodnot pro některé vybrané stopové prvky vzorků AAT6 a AAT13 je také znát jednoznačné rozložení hmotnostních poměrů v těchto materiálech. Zde je také obohacení Cr a Y, Zr u obou vzorků. Nižší obsahy jsou pro Cu nebo Zn.

Pro srovnání následuje obdobný graf stopových prvků pro vltaviny (Skála et al., 2009). Ten se liší ve vyšších hodnotách Zn nebo například Mn, které je zde vyšší. Ale trend zvýšených hodnot Y a Zr zde lze také mírně pozorovat

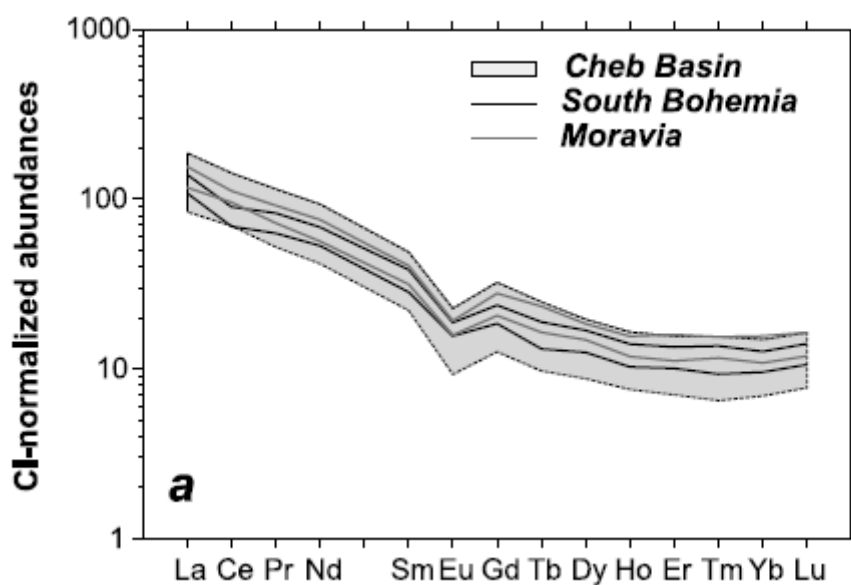
Jako další možnost srovnání se nabízí normalizace dat podle hodnot chondritu CI. Jelikož se jedná o srovnání s primárním materiálem jsou v následujících obrázcích uvedeny grafy pro hodnoty vzácných zemin. Porovnání je opět možné s daty publikovanými v článku o vltavínech z Chebské pánve (Skála et al., 2009).



Obr. 45 REE hodnoty vzorku LDG „velký“, normalizované chondritem CI



Obr. 46 REE hodnoty vzorku AAT13k, normalizované chondritem CI



Obr. 47 REE hodnoty normalizované chondritem CI, stanovení pro vzorky Chebské pánve a dalších vzorků vltavínů z České republiky (Skála et al., 2009)

Chondritem CI normalizované hodnoty, získané pro vzorek Lybijského skla a vzorek AAT13k, velice dobře korelují s podobnými hodnotami uváděnými R. Skálou (2009). Patrná je také typická europiová anomálie. Tento průběh v obsahu vzácných zemin se shoduje s teorií původu materiálu ze zemské svrchní kůry.

ZÁVĚR

Pro základní orientaci ve vzorcích byla vybrána počáteční metody studia vzorků optickou mikroskopií. Ta se ukázala být velice užitečná a díky ní byla později o mnoho snadnější orientace ve vzorcích. Kromě toho tento postup umožnil sledování některých zajímavých jevů ve vzorcích, které jsou pro tektity typické. Byly pozorovány mimo jiné například lechatellierity, proudové struktury nebo bubliny ve vnitřním uspořádání těchto skelných materiálů.

Při následném stanovení hlavních složek zkoumaného materiálu byla pomocí elektronové mikroanalýzy získána velmi cenná data pro možnost základního porovnání a zařazení tektitů. Obsahy hlavní složky SiO_2 se pohybovaly pro skla Lybijské pouště na 98 hm.%. Zmíněná hodnota je pro tento materiál velice charakteristická a tato měření jí opět pevně potvrdila. Pro australsko-asijské vzorky tektitů byla hodnota majoritního SiO_2 stanovena na 73 hm.%. Hmotnostní podíl dalších hlavních oxidů byl například pro Al_2O_3 12,6 hm.% nebo FeO 4,7 hm.%. Důležitým byl později shledán TiO_2 . Ten pomocí normalizace dat na hodnoty pro svrchní kontinentální kůru ukázal nabohacení materiálu touto složkou. Dále měření v rámci jednoho vzorku nevykazovala žádné odlišnosti v různých částech, což svědčí o homogenitě materiálu.

Hlavním stanovením pro tuto práci byla metoda LA ICP-MS. Data získaná na hmotnostním spektrometru ukazovala hodnoty pro jednotlivé stopové prvky. Pro vzorky LDG například hodnoty Mn v rozmezí 10 – 23 ppm, Zr 240 – 440 ppm nebo Pb 5 – 9 ppm. U australsko-asijských vzorků například Mn 600 – 700 ppm nebo Cr 60 – 80 ppm.

V následné normalizaci a úpravě hodnot do vypovídajících grafů bylo zjištěno zajímavé obohacení zejména Zr. Vysoké hodnoty oproti svrchní kontinentální kůře vykazoval například také Cr nebo lehce Ni a Y. Hodnoty byly také normalizovány na chondrit CI. Zde byla pozorována negativní europiová anomálie pro vzácné zeminy.

Celkový pohled na získaná data při hodnocení nových poznatků je ucelený. Získané hodnoty většinou potvrzují již zjištěné trendy v těchto materiálech, avšak stanovení byla prováděna metodou (LA ICP-MS), která ještě není pro podobné analýzy tolik běžná. Proto každé nové zpřesnění poznatků o tektitech může být velice přínosné.

Není tedy ze všech získaných zkušeností pochyb o tom, že navzdory moderním výzkumným metodám zůstanou některé stránky původu tektitů a dalších přírodních skel prozatím neosvětleny. Je spousta otázek, na které vznikají odpovědi formou nejrůznějších hypotéz a bádání. Je otázkou budoucnosti, zda budou jednotlivá tajemná zákoutí těchto materiálů uspokojivě nalezena a uznána.

Ostatně jak to v geologii bývá dost často.

6 LITERATURA

- Baker G., 1963. Form and sculpture of tektites. *Tektites*, 1-24
- Barnes V. E., Underwood J. R., 1976. New investigations of the strewn field of Lybian Desert Glass and its petrography. *Earth and Planetary Science. Letters*. 30, 117-122
- Barrat J. A. Jahn B. M., Amossé J., Rocchia R., Keller F., Poupeau G. R., Diemer E., 1997. Geochemistry and origin of Lybian Desert Glasses. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 1953-1959
- Barsová L., 2006. *Distribuce platinových kovů v rašelinném profilu na hřebeni Brd*. MS diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů PřF UK, Praha
- Beran A., Koeberl C., 1997. Water in tektites and impact glasses by fourier-transformed infrared spectrometry. *Meteoritics Planet Science* 32
- Bouška V., Povondra P., 1964. Correlation for some physical and chemical properties of moldavites. *Geochimica et Cosmochimica. Acta* 28, 783-791
- Bouška V., 1992. *Tajemné vltavíny*. Gabriel, Praha
- Clarke R. S., Henderson E. F., 1961. Georgia tektites and related glasses. *Georgia mineral Newsletter* 14, 90-114
- Clayton P. A., Spencer L. J., 1934. Silica glass from the Lybian desert. *Mineralogical. Magazine*. 23, 501-508
- Cohen A. J., 1963. Asteroid or comet-impact hypothesis of tektite origin I., The moldavite strewn field. *Tektites*, 189-211
- Dulap R. A., Sibley A. D. E., 2004. A Mossbauer effect study of Fe-site occupancy in Australasian tektites. *Journal of Non-Crystalline Solids* 337, 36-41
- Engelhardt W. von, Luft E., Arndt J., Weiskirchner W., 1987. Origin of moldavites. *Geochimica et Cosmochimica. Acta* 51, 1425-1443
- Frey F. A., Spooner C. M., Baedeker P. A., Microtektites and Tektites: A Chemical Comparison, 1970. *Science* 170, 845-847
- Gentner W., Storzer D., Wagner G. A., 1969. New fission track ages of tektites and related glasses. *Geochimica et Cosmochimica. Acta* 33, 1075-1081
- Gilchrist J., Thorpe A. N., Senftle T. E., 1969. Infrared analysis of water in tektites and other glasses. *Journal of Geophysical. Research* 74, 1475-1484
- Glass B. P., 1984. Tektites. *Journal of Non-Crystalline Solids* 67, 333-344

- Glass B. P., 1990. Tektites and microtektites: key facts and inferences. *Tectonophysics*, 393-404
- Glass B. P., Wu J., 1993, Coesite and shocked quartz discovered in the Australian and North American microtektite layers. *Geology* 21, 435-438
- Hanuš F., 1928. *O moldavitech čili vltavínech z Čech a Moravy*, Rozprava České Akademie Věd, tř. II., 1-83
- Heinen G., 1998. *Tektites: witnesses of cosmic catastrophes*. Luxembourg
- Chapman D. R., Larson H. K., 1963. On the lunar origin of tektites. *Journal of Geophysical Research*. 68, 14. 4305-4358
- Izett G. A., Obradovich J. D., 1992. Laser fusion $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of Australasian tektites. *23th Lunar and Planetary Science Conference*, 593-594
- King E. A., 1964. New data on Georgia tektites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28, 915-919
- King E. A., Arndt J., 1977. Water content of Russian tektites. *Nature* 269, 48-49
- Koeberl C., 1986. Muong-Nong type tektites from the moldavite and North American strewn field. *17th Lunar and Planetary Science Conference., Journal of Geophysical Research* 91, 253-258
- Koeberl C., Poag C., Reimond W.U., Brandt D., 1996. Impact origin of Chesapeake Bay structure and the source of North American Tektites. *Science* 271, 1263-1266
- Lacroix A., 1935. Les tektites sans formes figurées de l'Indochine. *Les Comptes Rendus de l'Académie des sciences* 200, 2129-2132
- Laurenzi M. A., Bigazzi G., Balestrieri M. L., Bouška V., 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe dating of the Central European tektite-producing impact event. *Meteoritics & Planetary Science* 38, 887-893
- Lukanin O. A., Kadik A. A., 1988. Water in tektitic and impactitic glasses *Proceeding of the 2nd International Conference of Natural Glasses, Prague*
- Mestek O., Fonverne A., Polák J., 2005. Stanovení platiny v půdách hmotnostní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem. *Chemické listy*, 99: 718-725.
- Middlemost E., 1988. *Magmas, Rocks and Planetary Development*. Longman
- Mihaljevič M., Strnad L., Šebek O., 2004. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chemické listy*, 98: 123-130
- Muller-Sohnius D., Horn P., Preuss E., Storzer D., 1933. Neue Spatspuren und K-Ar Alter von Lybischem Wüstenglass. *European Journal of mineral proceeding and environmental protection*
- O'Keefe J. A., 1976. *Tektites and their origin*. Elsevier.

Pearce J. G. N., Perkins W. T., Westgate J. A., Gorton M. P., Jackson S. E., Neal C. R., Chenery S. P., 1996. A compilation of new and published major and trace elements data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Geostandards Newsletter* 21, 115-144

Preuss E., 1964. Das Ries und die Meteoritentheorie. *Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie*. 41, 271-312

Rost R., 1972. *Vltavíny a tektity*. Academia, Praha

Skála R., Strnad L., McCammon C., Čada M., 2009. Moldavites from Cheb Basin, Czech Republic. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 1145-1179

Son T. H., Koeberl C., 2005. Meteoric and Planetary *Science* 40, 805-815.

Soukeník K., Střelec J., 1966. *Pnutí v tektitech a zvonivé vltavíny*. Časopis pro mineralogii a geologii 11, 384-404

Spencer L. J., 1933. Meteoric iron and silica-glass from the meteorite crater of Henbury (Central Australia) and Wabar (Arabia). *Mineralogical Magazine* 23, 387-404

Strnad L., Mihaljevič M., Šebek O., 2005. Laser ablation and solution ICP-MS determination of rare earth elements in USGS BIR - 1 G, BHVO - 2G and BCR - 2G glass reference materials. *Geostandards and Geoanalytical Research*. 29, 303-314

Suess F. E., 1900. Die Herkunft der Moldavite und verwandter Glasser. *Jahrbuch der geologischen Reichsanstalt* 50, 193-382

www.psi.edu/explorecraters/tektites.htm (21.10.2009)

<http://earthsci.org/fossils/space/tektites/tektites.html> (21.10.2009)

www.tektites.co.uk/australasian.html (21.10.2009)

www.australites.com/theories.htm (21.10.2009)

www.tektites.co.uk (21.10.2009)

<http://web.natur.cuni.cz> (19.4.2010)

<http://barrande.nm.cz/index.php?p=5> (19.4.2010)

7 PŘÍLOHY

Příloha 1 Výstupní data elektronová mikroanalýza (1.část). Uvedená čísla v tabulce jsou v jednotkách hm.%

OXIDY	Na2O	MgO	SiO2	Al2O3	K2O	CaO	TiO2	FeO	Cr2O3	MnO
LDGvelky	0,018	0	98,461	1,757	0,011	0	0,261	0,228	0	0
LDGvelky	0,03	0	97,272	2,248	0,039	0	0,219	0,202	0	0
LDGvelky	0,06	0	97,483	2,031	0,025	0	0,262	0,096	0,052	0
LDGvelky	0,012	0,024	100,051	0,981	0,035	0	0,265	0,12	0	0
LDGmaly	0,042	0,021	98,361	0,641	0	0,008	0,727	0,335	0,039	0
LDGmaly	0,006	0,024	98,795	0,807	0	0	0,154	0,261	0,141	0
LDGmaly	0	0,075	99,533	0,791	0,003	0	0,248	0,071	0	0
LDGmaly	0	0	98,364	0,812	0,027	0,02	0,316	0,166	0,141	0,118
13k	1,159	2,097	73,663	12,575	2,613	2,769	0,772	4,413	0	0
13k	1,266	1,934	73,564	12,604	2,748	2,681	0,802	5,067	0,013	0,14
13k	1,296	1,941	73,536	12,645	2,665	2,696	0,723	4,197	0	0,094
13k	1,237	1,999	73,991	12,375	2,67	2,731	0,759	4,812	0,152	0,199
13k	1,046	1,894	73,404	12,452	2,667	2,644	0,716	4,47	0	0,14
13k	1,192	2,057	72,825	12,588	2,59	2,726	0,797	4,503	0,013	0,128
13k	1,266	2,052	73,836	12,32	2,621	2,553	0,791	4,888	0,05	0,129
13k	1,187	2,038	73,434	12,325	2,619	2,681	0,782	4,773	0	0,046
13k	1,166	1,757	72,963	12,599	2,642	2,711	0,772	4,917	0,05	0,082
13k	1,368	2,067	73,266	12,314	2,654	2,669	0,734	4,922	0	0,07
13k	1,228	1,778	73,334	12,345	2,552	2,669	0,774	4,993	0,025	0,14
13k	1,248	1,86	73,385	12,302	2,809	2,626	0,711	4,566	0,013	0,023
13spodni	1,266	1,827	74,241	12,321	2,743	1,62	0,76	4,799	0	0,093
13spodni	1,435	2,804	71,813	12,409	2,458	2,005	0,845	5,716	0,038	0,257
13spodni	1,261	3,618	70,972	12,69	2,276	2,193	0,86	6,513	0,05	0
13spodni	1,296	3,141	71,749	12,182	2,337	2,067	0,736	6,238	0,101	0,058
13spodni	1,078	3,161	71,199	13,028	2,36	2,161	0,779	6,48	0,013	0,152
13spodni	1,127	2,399	73,835	12,363	2,544	1,743	0,685	4,989	0,013	0,047
13spodni	1,222	2,722	73,352	12,158	2,68	1,985	0,755	5,369	0,063	0,234
13spodni	1,268	4,024	68,837	12,526	2,184	2,358	0,764	7,535	0	0,093
13spodni	1,144	2,247	73,653	12,18	2,747	1,735	0,833	4,556	0,177	0
13spodni	1,115	1,927	74,026	12,457	2,634	1,76	0,745	4,926	0	0,105
13stredni	1,391	1,77	74,992	12,001	2,721	1,956	0,731	4,409	0,075	0,139
13stredni	1,163	1,751	74,329	12,172	2,776	1,903	0,768	4,263	0,101	0,211
13stredni	1,058	1,836	75,778	12,264	2,755	1,984	0,797	4,877	0,025	0,058
13stredni	1,383	1,839	74,793	12,059	2,755	1,931	0,774	4,722	0,038	0,105
13stredni	1,28	1,925	74,964	11,923	2,722	2,059	0,734	4,21	0,051	0,187
13stredni	1,168	2,134	74,231	12,507	2,64	1,774	0,807	4,748	0,025	0,047
13stredni	1,448	2,695	71,922	13,061	2,487	2,249	0,755	5,615	0	0,14
13stredni	1,144	2,352	74,379	12,174	2,541	1,836	0,818	5,269	0,114	0,105
13stredni	1,105	2,545	73,545	12,609	2,496	2,015	0,854	5,059	0,038	0,129
13stredni	1,347	2,037	73,883	12,236	2,554	1,843	0,724	4,596	0	0,117
13horni	1,319	1,921	74,401	12,802	2,708	1,963	0,82	4,945	0,076	0,07
13horni	1,334	1,886	74,692	12,339	2,641	1,902	0,695	4,667	0,025	0
13horni	1,157	2,048	75,371	12,281	2,784	1,895	0,753	4,396	0,114	0,21

Příloha 2 Výstupní data elektronová mikroanalýza (2.část); uvedená čísla v tabulce jsou v jednotkách hm. %

OXIDY	Na2O	MgO	SiO2	Al2O3	K2O	CaO	TiO2	FeO	Cr2O3	MnO
1spodni	1,457	2,402	70,951	13,473	2,656	3,586	0,806	5,194	0	0,093
1spodni	1,364	2,279	71,242	13,336	2,531	3,276	0,841	5,036	0	0,116
1spodni	1,265	2,267	70,888	12,96	2,605	3,373	0,761	4,942	0	0,151
1spodni	1,302	2,261	71,924	13,174	2,596	3,492	0,799	4,771	0,013	0,303
1spodni	1,309	2,32	71,161	13,45	2,618	3,347	0,82	4,882	0,013	0,117
1spodni	1,391	2,395	71,063	13,61	2,469	3,465	0,798	4,933	0,088	0,012
1spodni	1,207	1,696	76,203	11,285	2,702	2,511	0,639	3,233	0,064	0,164
1spodni	1,193	2,348	70,767	13,564	2,569	3,407	0,763	4,893	0,051	0,07
1spodni	1,118	1,881	74,785	11,682	2,409	2,898	0,688	4,132	0	0,082
1spodni	1,224	2,198	71,498	12,914	2,337	3,467	0,697	4,742	0,101	0,047
1horni	1,343	1,911	74,743	11,843	2,633	2,896	0,723	4,299	0	0,059
1horni	1,365	2,306	71,292	13,518	2,647	3,399	0,815	5,041	0,038	0,035
1horni	1,44	2,289	72,027	13,642	2,657	3,369	0,807	4,799	0,025	0,151
1horni	1,384	2,405	71,543	13,568	2,611	3,451	0,796	5,106	0	0
1horni	0,984	2,288	71,826	13,421	2,555	3,312	0,845	4,548	0,038	0,117
1vpravo	1,265	1,711	76,418	11,211	2,547	2,456	0,675	3,448	0	0,07
1vpravo	1,363	1,206	77,639	11,468	2,694	1,756	0,688	3,024	0	0,14
1vpravo	1,634	2,2	71,224	13,649	2,537	3,387	0,842	4,498	0	0,058
1vpravo	1,153	1,19	78,337	11,627	2,889	1,479	0,699	3,146	0	0
15hvezda	0,995	1,954	74,59	12,894	2,13	2,319	0,689	4,515	0,075	0,175
15hvezda	0,864	1,76	78,015	11,175	2,061	1,863	0,751	3,662	0,063	0
15hvezda	0,657	1,707	78,143	11,078	1,983	1,846	0,712	3,697	0,088	0,093
15hvezda	0,674	1,601	79,494	10,427	2,013	1,773	0,598	3,496	0,063	0,058
15hvezda	0,754	1,763	78,495	10,818	2,07	1,807	0,772	3,637	0	0,105
15hvezda	0,91	1,87	75,319	12,95	2,169	2,407	0,797	4,681	0,05	0,058
15stred	0,998	1,822	75,977	11,752	2,577	2,035	0,721	4,162	0,113	0,081
15stred	1,08	1,869	73,343	12,882	2,514	2,262	0,769	4,96	0,088	0,035
15stred	0,979	1,903	74,221	12,489	2,494	2,228	0,721	4,805	0,063	0,081
15stred	0,88	1,785	74,087	12,462	2,552	2,184	0,701	4,963	0	0,07
15stred	0,926	1,919	73,99	12,866	2,625	2,258	0,788	4,542	0	0,128
15vpravo	0,895	1,998	73,387	12,988	2,624	2,322	0,787	5,159	0,013	0,232
15vpravo	1,178	1,897	74,357	12,858	2,618	2,218	0,822	4,832	0	0,151
15vpravo	1,252	1,944	73,999	13,094	2,576	2,342	0,745	4,461	0,126	0,128
15vpravo	1,194	1,962	74,044	12,443	2,504	2,189	0,801	4,86	0,075	0
15vpravo	1,154	1,883	73,614	12,527	2,631	2,275	0,763	4,439	0	0,116
6vpravo	1,429	2,351	72,734	12,866	2,784	2,86	0,712	5,024	0,05	0
6vpravo	1,519	2,269	72,278	13,105	2,666	2,997	0,777	5,079	0	0,035
6vpravo	1,698	2,113	71,493	12,768	2,775	2,945	0,761	4,891	0	0,07
6vpravo	1,443	2,069	72,761	13,073	2,796	2,892	0,833	4,806	0,088	0,198
6vpravo	1,42	2,082	71,858	12,794	2,811	2,777	0,736	4,895	0,05	0,07
6vpravo	1,517	2,273	72,875	13,035	2,773	2,85	0,809	4,766	0	0,117
6vlevo	1,325	2,232	71,695	13,119	2,659	2,931	0,772	4,823	0,013	0,07
6vlevo	1,369	2,219	71,901	13,158	2,733	2,98	0,771	5,09	0	0,129
6vlevo	1,476	2,175	72,517	13,053	2,661	2,869	0,785	5,355	0	0,128
6vlevo	1,448	2,108	72,17	12,931	2,672	2,91	0,804	4,97	0,063	0,152
6vlevo	1,186	2,017	71,584	12,61	2,667	2,856	0,875	4,745	0	0,21
6vlevo	1,473	2,305	71,564	12,783	2,547	2,815	0,821	5,154	0,076	0,058
6vlevo	1,573	2,273	71,722	12,968	2,756	2,858	0,84	4,621	0	0,047
6vlevo	1,537	2,301	72,522	12,909	2,785	2,862	0,717	5,14	0,088	0,012
3	1,063	2,103	72,518	13,013	2,506	2,451	0,87	4,967	0	0,047
3	1,104	1,846	73,023	13,524	2,522	2,282	0,831	4,281	0	0,082
3	1,202	2,169	73,148	13,386	2,442	2,449	0,856	5,098	0,025	0,128
3	1,132	2,118	74,121	13,184	2,499	2,314	0,816	4,556	0	0,105
3	0,912	1,908	76,233	11,136	2,548	1,952	0,619	4,225	0,076	0,105
3	1,125	2,218	72,781	13,082	2,425	2,497	0,815	5,059	0,114	0,058

Příloha 3 Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Tektites and microtektite: key facts and inferences (Glass; 1988):

Major oxide compositions of tektites and obsidian

	Australasian tektites ¹⁻⁴					Ivory Coast tektites ⁵		
	Averages					Range (5)	Average (7)	Range (7)
	Austra- lites (17)	Indochi- nites (3)	Philip- pinites (4)	Java- nites (5)	Muong Nong-type (19)			
SiO ₂	73.45	73.0	70.8	72.32	78.30	64.76–82.4	68.0	67.2 –69.1
Al ₂ O	11.53	12.83	13.85	11.68	10.18	8.2 –17.7	16.3	15.8 –16.8
Fe ₂ O ₃	0.58	0.64	0.70	0.85			0.57	0.38– 0.74
FeO	4.05	4.37	4.30	4.81	3.75 *	3.09– 8.63 *	5.99	5.71– 6.29
MgO	2.03	2.48	2.60	2.75	1.43	1.13– 7.95	3.32	2.64– 3.93
CaO	3.50	1.91	3.09	2.89	1.21	0.73– 9.77	1.12	0.71– 1.35
Na ₂ O	1.28	1.45	1.38	1.78	0.92	0.62– 1.70	2.06	1.84– 2.44
K ₂ O	2.28	2.40	2.40	2.35	2.41	1.34– 2.81	1.89	1.74– 2.07
TiO ₂	0.69	0.73	0.79	0.75	0.63	0.43– 1.00	0.57	0.54– 0.60

	Czechoslovakian tektites ⁶		North American tektites ^{2,7}		Range (29)	Obsidian Average (10)
	Average (53)	Range (53)	Average			
			Bediasites (21)	Georgiites (8)		
SiO ₂	78.82	75.05–84.48	76.37	81.3	71.89–83.6	74.02
Al ₂ O	10.62	7.99–13.80	13.78	10.8	9.50–17.56	11.38
Fe ₂ O ₃	0.25	0.00– 0.72	0.19	0.08	0.00– 0.45	1.36
FeO	1.61	0.98– 4.2	3.81	2.49	1.82– 5.26	2.23
MgO	1.84	1.10– 2.74	0.63	0.53	0.37– 0.95	0.14
CaO	2.08	0.95– 3.81	0.65	0.51	0.40– 0.96	0.48
Na ₂ O	0.56	0.29– 2.43	1.54	1.24	1.07– 1.84	5.21
K ₂ O	2.61	2.40– 3.81	2.08	2.37	1.60– 2.51	4.28
TiO ₂	~ 0.35	0.22– 0.74	0.76	0.50	0.42– 1.05	0.18

¹ Taylor (1962);

² Chao (1963);

³ Weinke and Koeberl (1984);

⁴ Chapman and Scheiber (1969);

⁵ Cuttitta et al. (1972);

⁶ Rost (1972);

⁷ Cuttitta et al. (1967);

* Total Fe as FeO

± average of 44 analyses.

Figures in parentheses indicate number of analyses.

Příloha 4 Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Microtektites and tektites: A chemical comparison (Frey et al.; 1970)

Element	Australasian				Ivory Coast		Apollo 12 No. 12013 (6)
	Microtektites (composite of five)	"Normal" group	Indochinite T-3991	"HNa/K" group	Microtektites (composite of ten)	Tektites	
Na (%)	0.45	0.97– 1.16	1.07 (1.08)	2.04– 2.90	1.68	1.33– 1.52	0.51
K (%)	1.42	1.93– 2.17	2.06 (2.17)	0.75– 0.93	1.66	1.41– 1.58	1.66
Rb (ppm)	66	62 –144	125 (129)	19.7 – 25.4	70	59 – 75	33
Cs (ppm)	2.3	2 – 4	6.0	—	2.9	—	—
Sc (ppm)	11.9	8.2 – 14	10.0	—	15.9	—	21
Cr (ppm)	81	72 –105	71	220 –385	230	175 –375	1050
Mn (ppm)	820	670 –830	735 (700)	710 –890	600	530 –555	950
Fe (%)	3.26	3.54– 3.98	3.41 (3.50)	4.31– 5.35	5.15	4.69– 4.97	7.80
Co (ppm)	9.9	11 – 14	25.2	41 – 68	51	19 – 26	13
Ba (ppm)	530	330 –425	440	300 –395	830	540 –680	2150
La (ppm)	40	37 – 60	37.8	*	28	*	—
Ce (ppm)	93	60 – 88	82.4	*	56	45.2	—
Nd (ppm)	36	22 – 35	37	*	37	24.9	—
Sm (ppm)	7.1	4.1 – 5.6	6.4	*	5.6	4.59	—
Eu (ppm)	1.37	1.1 – 1.5	1.18	*	1.28	1.13	—
Gd (ppm)	5.4	3.9 – 7.7	4.2	*	2.8	3.57	—
Tb (ppm)	0.9	0.6 – 1.0	0.74	*	0.9	*	—
Dy (ppm)	5.1	3.8 – 4.5	5.2	*	3.7	2.76	—
Yb (ppm)	2.2	1.6 – 2.6	2.0	*	1.3	1.68	20
Lu (ppm)	0.45	0.36	0.40	*	0.29	*	—
Zr (ppm)	—	285 –390	—	140 –170	—	120 –150	—
Hf (ppm)	6.4	3.7 – 5.0	7.1	—	3.8	—	—
Ta (ppm)	2.4	—	7.1	—	—	—	—
Th (ppm)	14.5	9.0 – 14.5	13.5	—	3.8	2.9	34.3

20 NOVEMBER 1970

845

Příloha 5 Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Chemical variation within fragments of Australasian tektites (Son, Koeberl; 2005); (1. část)

	MNS-1	MNS-2	MNS-3	MNS-4	MNS-5	MNS-6	MNS-7	MNS-8	MNS-9	MNS-10	MNS-11	Avg.	Std. dev.	Avg.-MN
SiO ₂	76.39	77.43	78.14	77.04	76.74	77.96	77.73	76.81	76.99	74.92	77.44	77.05	0.89	78.93
TiO ₂	0.77	0.71	0.65	0.75	0.69	0.67	0.66	0.70	0.75	0.77	0.68	0.71	0.04	0.63
Al ₂ O ₃	11.87	10.84	10.07	11.00	11.20	10.38	10.91	11.14	11.11	12.20	11.12	11.08	0.59	10.18
FeO	4.03	3.67	3.77	3.92	3.91	3.80	3.79	3.96	3.82	4.21	3.76	3.88	0.15	3.74
MnO	0.09	0.09	0.10	0.08	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.01	0.08
MgO	1.76	1.55	1.52	1.57	1.61	1.54	1.52	1.61	1.57	1.77	1.53	1.59	0.09	1.43
CaO	1.35	1.29	1.28	1.28	1.22	1.21	1.23	1.27	1.29	1.39	1.18	1.27	0.06	1.21
Na ₂ O	1.14	1.09	1.04	1.06	1.12	1.08	1.07	1.08	1.13	1.20	1.05	1.09	0.05	0.92
K ₂ O	2.53	2.47	2.35	2.43	2.45	2.43	2.50	2.46	2.42	2.53	2.46	2.46	0.05	2.42
P ₂ O ₅	0.12	0.10	0.07	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.01	—
Total	100.05	99.22	98.99	99.20	99.15	99.24	99.62	99.24	99.27	99.17	99.42	—	—	99.54
Sc	8.9	9.3	8.9	9.7	9.0	9.4	9.2	9.8	10.0	10.2	9.2	9.4	0.43	7.70
Cr	65.4	68.7	67.9	71.9	65.7	73.2	67.9	70.6	73.7	75.2	68.7	69.9	3.27	60.6
Co	10.2	10.8	10.8	11.4	10.6	11.3	10.6	11.1	11.4	11.7	10.9	11.0	0.44	12.6
Ni	30	28	31	29	30	27	32	30	35	35	37	33	6.88	48.6
Zn	62	71	75	70	67	77	76	82	80	80	69	74	6.58	66.7
As	4.43	4.19	4.21	5.11	4.02	4.73	5.06	4.77	5.04	4.52	3.12	4.47	0.58	4.75
Se	0.1	0.1	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.11	0.2
Br	1.0	1.4	1.2	1.6	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	0.6	0.7	1.2	0.32	4.1
Rb	99	106	105	115	104	120	121	111	117	116	107	111	7.33	109.8
Zr	276	329	306	333	284	341	294	310	323	342	334	316	23.2	280
Sb	0.67	0.71	0.72	0.80	0.70	1.08	0.76	0.76	0.72	0.63	0.61	0.74	0.13	0.82
Cs	5.66	6.07	5.82	6.48	5.93	6.72	6.65	6.39	6.68	6.73	5.78	6.26	0.42	5.09
Ba	186	205	214	222	202	232	231	224	218	220	204	214	13.9	341
La	34.6	36.5	36.8	38.6	36.1	37.4	36.5	37.7	38.6	38.6	36.7	37.1	1.24	28.2
Ce	65.7	70.6	70.5	74.5	68.3	71.3	70.1	72.2	73.8	76.4	70.2	71.2	2.96	60.7
Nd	32.6	34.9	30.4	32.4	30.3	29.5	31.5	30.0	31.6	32.7	30.0	31.4	1.62	29.1
Sm	5.33	5.87	5.86	6.24	5.73	6.20	6.18	5.95	6.01	5.96	5.66	5.91	0.27	4.9
Eu	1.02	1.08	1.04	1.17	1.07	1.13	1.02	1.16	1.16	1.17	1.11	1.10	0.06	1.01
Gd	5.17	5.76	5.68	6.19	5.51	6.32	6.12	5.89	6.06	6.03	5.60	5.85	0.34	4.3
Tb	0.84	0.77	0.78	0.80	0.77	0.84	0.85	0.78	0.81	0.82	0.74	0.80	0.04	0.75
Tm	0.45	0.42	0.42	0.45	0.42	0.45	0.45	0.43	0.44	0.45	0.41	0.44	0.02	0.42
Yb	2.87	2.89	2.96	3.10	2.89	3.13	2.97	2.96	2.90	3.03	2.80	2.95	0.10	2.71
Lu	0.40	0.44	0.46	0.47	0.44	0.48	0.43	0.45	0.42	0.45	0.42	0.44	0.02	0.42
Hf	7.05	7.58	8.09	8.28	7.41	7.94	7.55	7.56	7.92	7.93	7.65	7.72	0.35	8.13
Ta	0.97	1.03	1.21	1.29	1.03	1.23	1.33	1.04	1.30	1.26	1.07	1.16	0.13	1.17
W	3.6	2.4	4.1	1.7	2.0	2.7	1.4	3.4	3.0	<0.8	1.6	2.6	0.92	1.0
Ir (ppb)	<0.8	<0.9	<0.9	<1	<0.8	<1	<0.9	<0.9	<1	<1.1	<1	<1.1	<1.5	<1.5
Au (ppb)	0.8	0.8	0.5	0.8	0.9	0.7	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	0.3	0.7	0.21	2.1
Th	12.3	13.5	13.5	14.8	13.0	14.6	14.9	14.1	14.3	14.6	13.0	13.9	0.86	11.1
U	2.00	2.35	2.35	2.53	2.30	3.01	2.88	2.44	2.47	2.40	2.23	2.45	0.28	2.48
K/U	7700	8170	7787	8221	8217	6379	6181	7746	7692	7958	8700	7705	767	8350
Th/U	6.15	5.74	5.74	5.85	5.65	4.85	5.17	5.78	5.79	6.08	5.83	5.70	0.38	4.54
La/Th	2.81	2.70	2.73	2.61	2.78	2.56	2.45	2.67	2.70	2.64	2.82	2.68	0.11	2.54
Zr/Hf	39.1	43.4	37.8	40.2	38.3	42.9	38.9	41.0	40.8	43.1	43.7	40.9	2.16	34.9
Hf/Ta	7.27	7.36	6.69	6.42	7.19	6.46	5.68	7.27	6.09	6.29	7.15	6.71	0.57	6.95
La _N /Yb _N	8.1	8.5	8.4	8.4	8.4	8.1	8.3	8.6	9.0	8.6	8.9	8.5	0.28	7.07
Eu/Eu*	0.59	0.57	0.55	0.58	0.58	0.55	0.51	0.60	0.59	0.60	0.60	0.57	0.03	0.68

N = chondrite-normalized (Taylor and McLennan 1985); major elements in wt%, trace elements in ppm, except when noted; all Fe given as FeO; average of Muong Nong tektites (Avg.-MN) from Koeberl (1992).

Příloha 6 Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů hlavních oxidů v článku Chemical variation within fragments of Australasian tektites (Son, Koeberl; 2005); (2.část)

	PLS-1	PLS-2	PLS-3	PLS-4	PLS-5	PLS-6	Avg.	Std. dev.	Avg.-indochinite
SiO ₂	72.67	72.92	71.63	72.81	73.21	72.50	72.62	0.54	72.70
TiO ₂	0.70	0.69	0.67	0.74	0.72	0.73	0.71	0.03	0.78
Al ₂ O ₃	11.69	11.94	11.75	11.87	11.92	12.04	11.87	0.13	13.37
FeO	4.19	4.17	3.89	4.23	4.20	4.30	4.16	0.14	4.85
MnO	0.12	0.11	0.09	0.09	0.11	0.10	0.10	0.01	0.08
MgO	2.08	2.10	2.07	2.13	2.14	2.28	2.13	0.08	2.14
CaO	3.81	3.79	3.68	3.79	3.80	3.78	3.77	0.05	1.98
Na ₂ O	1.22	1.19	1.15	1.15	1.16	1.09	1.16	0.04	1.05
K ₂ O	2.40	2.44	2.37	2.42	2.42	2.32	2.39	0.04	2.62
P ₂ O ₅	0.10	0.12	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.01	
Total	98.99	99.46	97.40	99.33	99.77	99.25			99.57
Sc	10.9	11.2	11.0	11.2	10.9	11.0	11.0	0.14	10.5
Cr	75.5	79.6	76.6	80.7	78.5	76.4	77.9	2.04	63.0
Co	12.4	12.8	12.7	13.1	12.8	12.7	12.8	0.23	11
Ni	31	45	34	25	39	26	33	7.73	19
Zn	27	19	27	25	27	26	25	3.09	5.7
As	0.94	1.61	1.65	1.14	1.92	1.07	1.39	0.39	0.9
Se	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.02	0.1
Br	0.6	0.5	1.2	0.8	2.0		1.0	0.62	0.23
Rb	106	116	118	115	111	104	112	5.68	130
Zr	278	257	298	289	302	253	280	20.7	252
Sb	0.33	0.63	0.50	0.54	0.44	0.47	0.49	0.10	0.5
Cs	6.25	6.68	6.78	6.72	6.37	6.18	6.50	0.26	6.5
Ba	221	273	249	264	225	217	242	23.9	360
La	38.9	40.9	39.1	41.5	38.7	41.0	40.0	1.25	36.5
Ce	75.9	78.6	76.7	79.4	75.9	73.7	76.7	2.06	73.1
Nd	34.1	36.1	34.9	34.7	34.4	34.9	34.9	0.69	33.2
Sm	6.13	6.94	6.76	7.08	6.36	6.61	6.65	0.36	6.6
Eu	1.25	1.31	1.28	1.32	1.30	1.29	1.29	0.02	1.22
Gd	6.09	6.94	6.88	7.09	6.38	6.64	6.67	0.38	5.24
Tb	0.84	0.91	0.89	0.97	0.86	0.89	0.89	0.05	0.85
Tm	0.46	0.50	0.47	0.51	0.47	0.50	0.49	0.02	–
Yb	3.00	3.40	3.20	3.40	3.07	3.37	3.24	0.18	2.9
Lu	0.43	0.51	0.48	0.50	0.44	0.50	0.48	0.03	–
Hf	6.72	7.00	7.01	7.04	6.75	6.76	6.88	0.15	6.95
Ta	1.34	1.27	1.22	1.15	1.24	1.24	1.24	0.06	1.60
W	<0.7	7.8	1.8	4.3	<2.3	2.0	3.9	2.81	0.3
Ir (ppb)	<1.5	<1	<1.7	<1.6	<1.1	<1.5			0.02
Au (ppb)	0.8	0.5	2.3	1.5	1.6	2.3	1.5	0.75	2
Th	14.1	15.2	16.1	15.5	14.6	14.0	14.9	0.83	14.0
U	1.91	2.35	2.65	2.50	2.20	2.17	2.30	0.26	2.07
K/U	9738	9064	8453	8200	10227	8664	9058	786	10530
Th/U	7.38	6.47	6.08	6.20	6.64	6.45	6.54	0.46	6.76
La/Th	2.76	2.69	2.43	2.68	2.65	2.93	2.69	0.16	2.61
Zr/Hf	41.4	36.7	42.5	41.1	44.7	37.4	40.6	3.06	36.3
Hf/Ta	5.01	5.51	5.75	6.12	5.44	5.45	5.55	0.37	4.34
La _N /Yb _N	8.8	8.1	8.3	8.2	8.5	8.2	8.3	0.24	8.5
Eu/Eu*	0.63	0.58	0.57	0.57	0.62	0.60	0.59	0.03	0.63

N = chondrite-normalized (Taylor and McLennan 1985); major elements in wt%, trace elements in ppm, except when noted; all Fe given as FeO; average of indochinites (Avg.-indochinites) from Koeberl (1986).

Příloha 7 Zdrojem pro obrázek je tabulka obsahů vybraných stopových prvků v článku Geochemistry and origin of Libyan Desert Glasses (Barrat et al.; 1997)

VL#	1A	1B	2	3A	3B	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂ (%)	98.0	99.4	99.4	98.1	97.1	98.1	98.1	99.4	98.5	98.2	99.0	99.2
Al	8837	2545	1933	8633	12118	7976	8292	2414	6409	6932	4320	3457
Ti	1181	453	715	605	810	1127	1226	351	898	1005	650	423
Fe	887	336	499	759	1814	1136	1131	344	831	1932	608	441
Mn	12	6	10	8	24	13	14	6	12	11	9	5
Mg	19	12	11	143	1086	153	88	10	45	25	15	13
Ca	<75	108	<75	<75	<75	132	<75	<75	<75	<75	<75	<75
Co	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ni	<3	<3	<3	<3	20	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sr	23	15	14	19	22	21	23	13	19	21	17	15
Y	6.3	3.4	3.3	4.8	6.0	6.0	6.8	2.5	5.1	6.4	4.7	3.7
Zr	299	118	193	148	208	284	346	89	235	240	171	105
Nb	3	1	2	2	3	3	4	1	3	3	2	1
Ba	24	18	14	24	28	23	23	14	21	24	19	17
La	11.84	6.41	7.73	6.99	8.38	10.09	11.03	5.01	8.64	9.28	7.41	6.26
Ce	25.20	13.69	16.83	15.09	18.09	22.24	23.36	11.04	18.88	20.02	16.21	14.19
Pr	2.66	1.39	1.66	1.57	1.89	2.30	2.47	1.10	1.97	2.10	1.66	1.42
Nd	9.30	4.94	5.71	5.55	6.79	8.14	8.76	3.88	6.93	7.45	5.89	5.10
Sm	1.67	0.902	1.03	1.03	1.26	1.49	1.58	0.712	1.26	1.36	1.10	0.94
Eu	0.297	0.170	0.180	0.216	0.267	0.268	0.280	0.137	0.235	0.252	0.209	0.184
Gd	1.21	0.676	0.807	0.825	0.99	1.11	1.23	0.557	0.98	1.08	0.874	0.727
Tb	0.171	0.094	0.112	0.123	0.148	0.157	0.172	0.078	0.140	0.158	0.126	0.106
Dy	0.930	0.500	0.585	0.697	0.852	0.858	0.934	0.400	0.760	0.880	0.698	0.574
Ho	0.188	0.099	0.116	0.143	0.176	0.173	0.189	0.076	0.151	0.179	0.139	0.112
Er	0.526	0.267	0.324	0.390	0.494	0.484	0.538	0.207	0.419	0.505	0.385	0.306
Yb	0.579	0.285	0.373	0.429	0.544	0.551	0.616	0.227	0.468	0.538	0.433	0.323
Lu	0.116	0.060	0.095	0.088	0.093	0.116	0.148	0.051	0.093	0.104	0.095	0.065
Hf	6.93	2.71	4.49	3.48	4.70	6.40	7.78	2.12	5.33	5.42	3.99	2.55
Ta	0.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1
Pb	6.4	3.4	3.9	4.1	5.3	5.8	5.3	2.6	4.4	4.7	3.6	3.0
Th	4.4	1.7	2.3	2.2	2.8	4.0	4.6	1.4	3.3	3.8	2.7	2.0
U	1.04	0.52	0.67	0.71	0.91	0.97	1.13	0.42	0.84	1.02	0.68	0.53