



# Tektity a impaktní skla

## Struktura přednášky

- úvod, základní terminologie
- Členění impaktních skel a tektitů
- Charakteristika impaktních skel a tektitů
- Výskyty a názvosloví, vltaviny
- Metodika výzkumu

Kráter Kaali, Estonsko  
5-7 tisíc let, 23 metrů průměr



Kráter Pingualuit, Kanada  
140 mil.let, 1200 m průměr

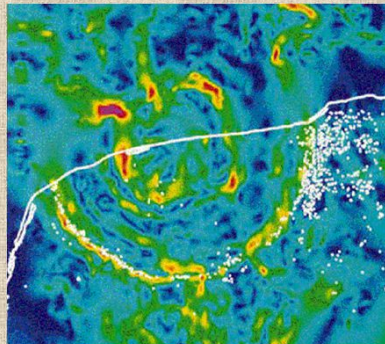


### Impaktní proces a impaktní kráter

Impaktní kráter (meteoritický kráter, impaktní struktura) je produktem srážky dvou vesmírných těles velmi rozdílných velikostí, kdy kráter vzniká na povrchu většího tělesa (tzv. target body, terčové, cílové těleso) dopadem menšího tělesa (projektilu). V případě, že dvě tělesa se svou velikostí příliš neliší, dochází nejčastěji ke kompletnímu zničení (rozpadu) obou těles.

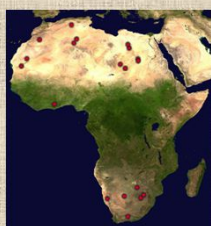
Impaktní krátery se nachází na většině těles ve Sluneční soustavě (na planetách s pevným povrchem, měsících, asteroidech).

Na Zemi je dnes známo 176 impaktních struktur (Earth impact database)



Don Davis

### Impaktní krátery na Zemi



Afrika	17
Asie	29
Austrálie	26
Evropa	37
S. Amerika	59
J. Amerika	8
	<hr/>
	176

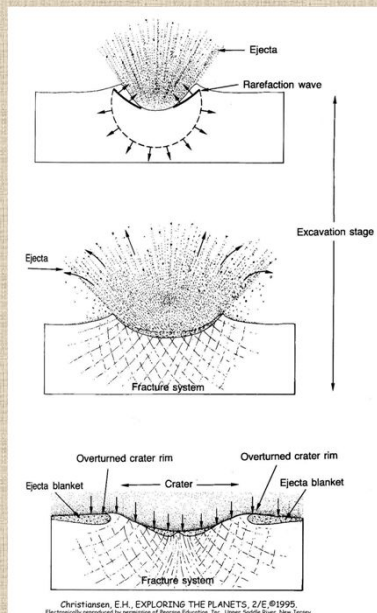
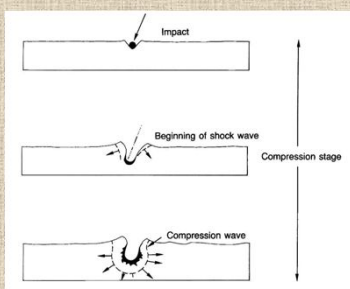


Earth impact database

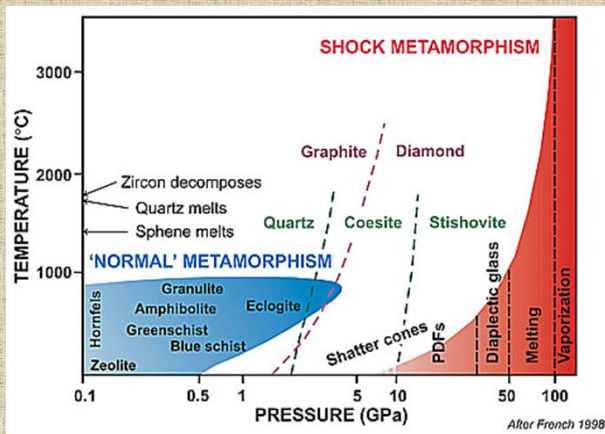
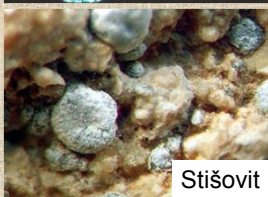
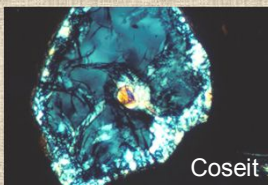


### Impakový proces

V prvních okamžicích po dopadu (impaktu) extraterrestrického tělesa nastává kompresní fáze, kdy se kinetická energie projektilu přenáší do terčových hornin ve formě šokové vlny. Ta se šíří horninami v místě dopadu a dochází ke stlačení hornin (vzniká přechodná dutina) a jejich šokové přeměně. V další fázi dochází k uvolnění (dekompresi) vlivem zeslábnutí šokové vlny a stlačené horninový materiál je vyzdvižen nebo vyvržen do okolí po balistických drahách (ejecta). Struktura se dále modifikuje zejména gravitačními silami.



### Impaktní produkty neobsahující sklo



## Impaktní produkty sklo nebo sklo obsahující

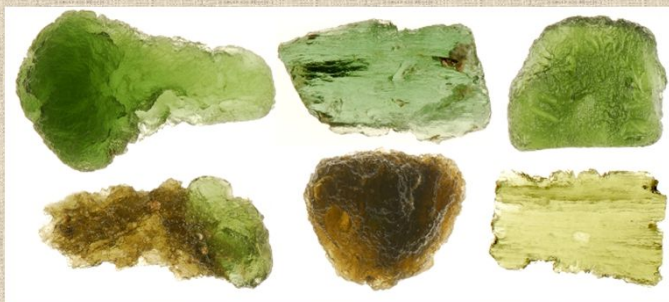


Foto libyjské sklo (nahore), pseudotachylit (vlevo) a suevit (vpravo), [www.amonline.net.au](http://www.amonline.net.au)

### Impaktní produkty

#### sklo nebo sklo obsahující

- **impaktní (suevické) brekcie** (brekcie s obsahem sklovité fáze - **suevity**, **pseudotachylity**, vyskytující se uvnitř, pod povrchem i v blízkém okolí kráteru-ejecta)
- **diaplektická skla** (tzv. thetomorphy)
- **impaktní skla** (horniny přetavené na sklo za tlaku vyšších než 45 GPa nachází se v blízkosti mateřského kráteru; libyjské sklo, Darwinovo sklo, zhamanšinity...)
- sklovité **sférule** (např. sférule na rozhraní K/T, haitská skla )
- **tektity**
- **mikrotektity**



Středoevropské tektity-vltavíny



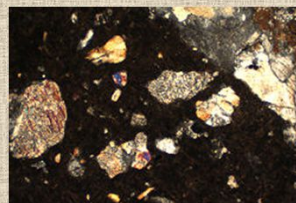
### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

- **Suevity** (složeny z rozdrčených klastů hornin, obsahující sklo a šokově přeměněné fragmenty matečných hornin, krátery Ries v Německu, Sudbury, Chicxulub, Popigal, Kara, Azuara).



### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

- **Pseudotachylity** (tvoří žíly, výskyt na zlomech, trhlinách, vznik při kompresní fázi vzniku krátera a při vyzdvižení centrálního pahorku. Umístění pod povrchem uvnitř krátera. Patrné jsou po obnažení dna-kráter Vredefort v J. Africe a imp. pánev Sudbury v Kanadě), mají obvykle černou barvu a mocnost žilek je o zlomků mm, po několik metrů, tvoří matrix imp. brekcií.



SANUJA SEWANAYAKE | Copyright 2013 APR | WWW.SANUJA.COM



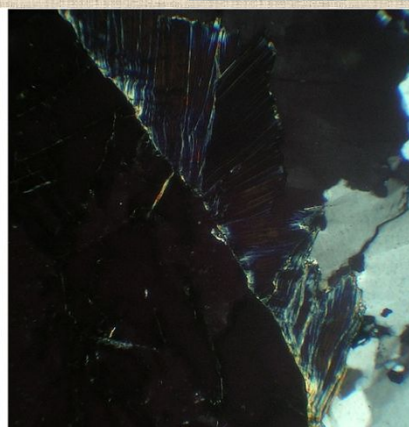
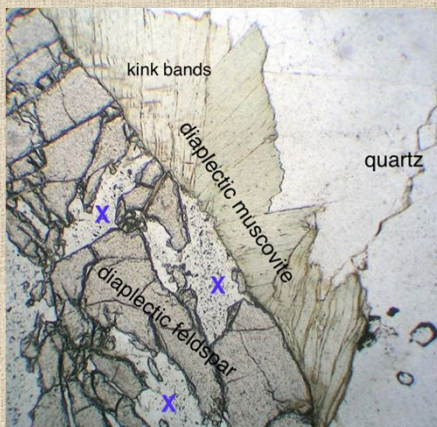
**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Diaplektická skla**

-sklo vzniklé nepřetavením, ale rozdrčením vlivem velmi vysokého tlaku (impakty, nukleární reakce).

Na rozdíl od běžných přetavených skel mají diaplektická skla vyšší index lomu, nebývají bublinatá, nemají fluidální strukturu.

Bývá zachován tvar původního zrna -tzv. thetomorphy



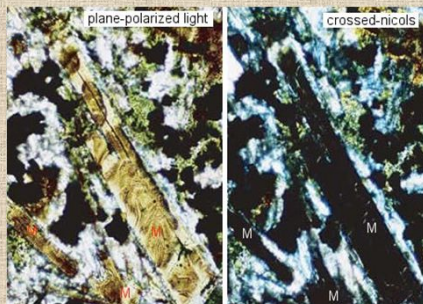
Diaplektické minerály z impaktní struktury Chiemgau, Německo, stáří cca 3000 let.

**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

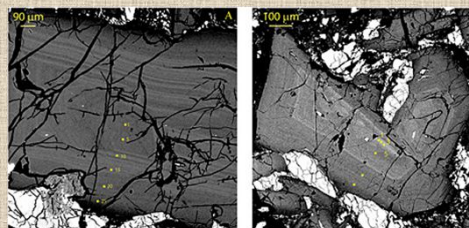
**Diaplektická skla**



Diaplektický křemen s planárními strukturami (Rubielos de la Cérda), Stáří cca 30-40 mil. Let.



Diaplektický plagioklas - maskelynit





## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Impaktní skla

- vznikají šokovou metamorfózou v prvotní fázi při impaktních událostech, kdy tlak přesahuje 45GPa.

Roztavená hornina je vymrštna z prostoru dočasné dutiny kráteru ven a utuhne před dopadem na zemský povrch.

Impaktní skla odráží svým chemizmem složení původních matečných hornin a obsahují přetavená i nepřetavená minerální zrna těchto hornin.

Tato skla se v případě malých kráterů (Henbury) nachází v izolovaných místech v blízkosti kráteru jako nesouvislé, tenké nebo paprscité vyvrženiny.

V případě větších kráterů (Ries) jsou tato skla zahrnuta v impaktních brekcích velkých mocností uvnitř nebo v blízkosti kráteru. Na povrchu však sklo snadno podléhá erozi.



Wabar glass, [www.meteorite-times.com](http://www.meteorite-times.com), [www.rst.gsfc.nasa.gov](http://www.rst.gsfc.nasa.gov)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Impaktní skla

- Stejně jako sopečná skla se impaktní skla mohou vyskytovat v podobě těles tvaru bomb (cm-m, mísovitá, diskovitá, hruškovitá, kapkovitá tvary apod.), nebo jako nepravidelná tělesa (vypadající jako struska), lapilli, kuličky..
- některá impaktní skla mohou být relativně homogenní, některá jsou vysoce heterogenní
- často obsahují velké množství bublin různých velikostí, někdy může sklo nabývat až pemzovitěho charakteru (až 60% bublinatost)



- častá laminární nebo fluidální textura, různě barevné hmoty skla, devitrifikační textury, šířovitá, perlitická struktura

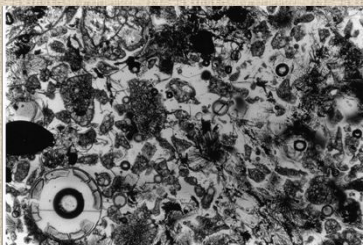
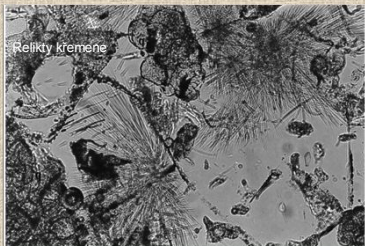




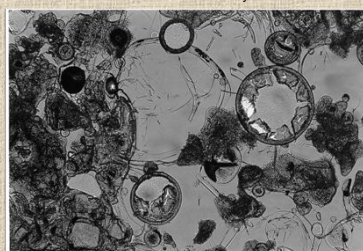
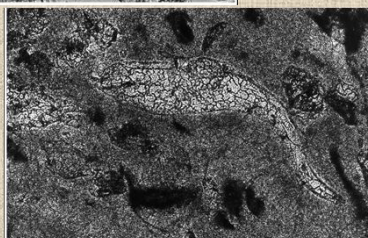
**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Impaktní skla**

- obsahují šokově postižené inkluze pocházející z matečných hornin (lechatelierity, badelleyity, křemen, coesit, stishovit, magnetit, rutil, živce, šlíry živcového složení, plagioklasy, orto/klinopyroxeny, smektitové lemy kolem bublin apod.), nebo vzácně klasty matečných hornin



Ortopyroxenové mikrolity



kráter Wanapitei, Canada, Dressler, Reimold (2001)

**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Impaktní skla**

- Impaktní skla nesou v některých případech regionální označení podle místa výskytu, jsou to například: **žamanšinity** (kráter Zhamanshin (Kazachstán), **libyjská skla** (Libye) apod.
- v některých případech jsou pojmenovány i podle lidí – **Darwinovo sklo** (Tasmanie, Austrálie), někdy mají dokonce vlastní petrologické označení – např. **kárnaity** (kráter Lappajärvi ve Finsku) nebo **tagamity** (kráter Popigai na Sibiři)

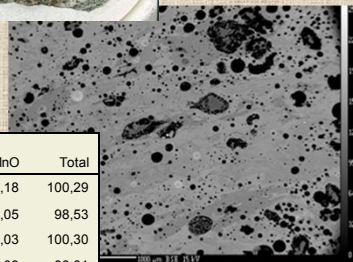




### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující - Žamanšinitý

chemizmus žamanšinitů je velice heterogenní, obsah  $\text{SiO}_2$  zde kolísá od 50-95 hm% bylo vyčleněno 5 skupin podle obsahu  $\text{SiO}_2$ : 55,65,73,82 a 93 hm%, tyto skupiny korespondují s různými typy matečných hornin, při tavení nedošlo k míšení matečných komponent

tato skla se vyskytují v podobě bomb a fragmentů, jako lapilli (irgizity, tvary a chemizmus podobný tektitům, nízký obsah vody a trojmocného železa, vyšší homogenita)



DataSet/ Point	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Total
1 / 1 .	1,60	74,61	13,72	0,65	4,87	0,91	3,06	0,69	0,18	100,29
2 / 1 .	1,48	82,20	7,81	0,36	2,89	0,44	2,84	0,42	0,05	98,53
3 / 1 .	0,00	100,13	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	0,03	100,30
4 / 1 .	1,37	82,99	7,62	0,28	2,62	0,51	2,93	0,41	0,09	98,81
5 / 1 .	1,59	75,00	12,90	0,63	4,57	0,90	3,19	0,60	0,22	99,61
6 / 1 .	1,00	70,59	7,79	1,07	12,98	1,02	2,29	0,42	0,21	97,37

### Libyjská skla (Libye)

- matečný kráter není doposud znám (možnosti podle geochemického studia-BP a Oasis krátery), skla se nachází v libyjské poušti v oblasti velké 80x25 km

- stáří přibližně 29 Ma

- hmotnostně se pohybují od jednotek gramů až po 25 kg, celkový objem se předpokládá vyšší než  $10^{10}$  kg

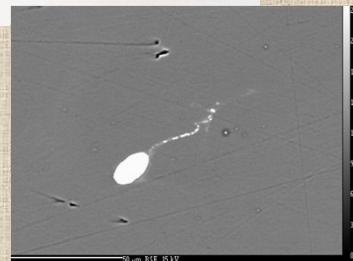
- v minulosti byl využíván prehistorickými lidmi k výrobě různých artefaktů, použito i ve tvaru skarabea v Tutanchamově pektorálu (prsním štítu)

- bělavé až oranžově žluté odstíny, někdy s tmavšími šmouhami (nabohacení siderofilními prvky jako Ir-obohacení extraterrestickým tělesem, sklovité kuličky obohacené Al, Fe a Mg, grafitové uzavřeniny)

- předpokládán impaktní původ (lechatelierity, badelleyity, Ir, cristobalit)

- fluidální struktura

- je téměř výhradně složeno z  $\text{SiO}_2$  (~98hm%)



DataSet/ Point	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Total
9 / 1 .	100,68	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	100,80
10 / 1 .	98,98	0,77	0,00	0,08	0,01	0,02	0,12	0,01	99,97
11 / 1 .	93,24	5,26	0,02	0,38	0,00	0,03	0,26	0,00	99,18



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Tektity

- Pojem tektit zavedl Fr. Eduard Suess v roce 1890 podle řeckého slova „tektós“ (zn. tavený)

Tektit:

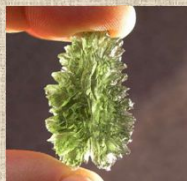
- přírodní sklo impaktního původu
- relativně homogenní (jednotný chemizmus)
- bohaté na  $\text{SiO}_2$  (65 – 85%)
- vysoký poměr Al / K+Na
- velmi nízký obsah vody (<0,02 hm. %)
- nízký obsah těkavých látek
- málo uzavřenin (lechatelierit)
- z povrchového, porézního, nezpevněného materiálu
- nízký tlak v bublinách (utuhnutí ve vyšší nadmořské výšce)



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Tektity

Glass (1990)	vtaviny (n = 53)	australsko-asijské (n = 48)	severoamerické (n = 29)	ivority (n = 7)
$\text{SiO}_2$	75–84,5	71,9–83,6	64,8–82,4	67,2–69,1
$\text{Al}_2\text{O}_3$	7,9–13,8	9,5–17,5	8,2–17,7	15,8–16,8
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0–0,7	0,0–0,5	x	0,4–0,7
FeO	0,1–4,2	1,8–5,3	3,1–8,6	5,7–6,3
MgO	1,1–2,7	0,4–0,9	1,1–7,9	2,6–3,9
CaO	0,9–3,8	0,4–1,0	0,6–1,7	0,7–1,4
$\text{Na}_2\text{O}$	0,3–2,4	1,1–1,8	0,6–1,7	1,8–2,4
$\text{K}_2\text{O}$	2,4–3,8	1,6–2,5	1,3–2,8	1,7–2,1
$\text{TiO}_2$	0,2–0,7	0,4–1,1	0,4–1,0	0,5–0,6



[www.tektitesource.com](http://www.tektitesource.com), [www.meteorite-times.com](http://www.meteorite-times.com)



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Typy tektitů

- tektity se dělí do několika podskupin podle typických vlastností:

- **Typ splash form**

Tato podskupina tektitů je nejčastější formou tektitů.

Jsou relativně malé (jednotky až desítky gramů, výjimečně stovky gramů).

Jejich tvary jsou velice rozmanité a formovaly se během průletu tektitů atmosférou, proto mají (pokud se nerozpadly) aerodynamické celotvary - kapkovité, diskovité, elipsoidální

Jejich chemismus je relativně homogenní v rámci jednotlivých kusů, avšak vyskytují se rozdíly v chemizmu v jednotlivých částech pádových polí.

Je pro ně typické celkové vnitřní prnutí.



edamgaard.dk, www.meteorite-times.com

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Typy tektitů:

- **Typ splash form**

V této podskupině se vylučuje zvláštní skupina tektitů s tzv. **ablačným lemem** (australity). Tyto tektity se nachází v nejvzdálenějších oblastech pádového pole. Po utužení tektitových tělísek ve vyšší nadmořské výšce (než běžné tektity typu splash form) se během průletu atmosférou směrem k zemi tato tělíška opět sekundárně natají a vzniká typický lem.

Tělíška lze rozlišit na tzv. **jádro** a **lem**. Někdy se tato tělíška rozdělí a jednotlivé části se nachází samostatně.



www.meteorite-times.com, meteorites-for-sale.com, www.tektite-source.com



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Typy tektitů:

- **Muong Nong**

Tektity typu Muong Nong poprvé popsal Lacroix v roce 1935. Tyto velké bloky tektitů (až několik kg) nacházeli lidé nejhojněji v blízkosti vesnice Muong Nong v Laosu, podle které tento typ tektitů nese své označení. Jsou to nepravidelně tvarované, ostrohranné tektity s vrstevnatou stavbou. Jsou více heterogenní jak chemicky tak strukturně než tektity typu splash form a jsou často složeny se světlých a tmavých vrstev.



Foto: M. Trnka; www.tektite-source.com

Největší tektity na světě- tzv. „dvojčata“, každý váží přibližně 24 Kg (ve sbírce P. Boonmana v Bangkoku v Thajsku (foto L. Dziková) Lacroix (1935), Koeberl (1988)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Typy tektitů:

- **Muong Nong**

Tyto tektity mají vyšší obsah těžkých látek (voda, Br, Cl, Zn, Cu, B), vyšší porozitu a obsah inkluzí lechatelieritu (někdy jsou tyto inkluze zpěněné - „frothy“). Obsahují však i řadu dalších uzavřenin jako zirkon (nejhojnější), křemen, coesit, cristobalit, tridimit, chromit, rutil, monazit, korund a možná baddeleyit. Typické je absence celkového vnitřního pnutí.



Tektit typu Muong Nong v muzeu v Savannakethu (Laos)



Foto: L. Dziková

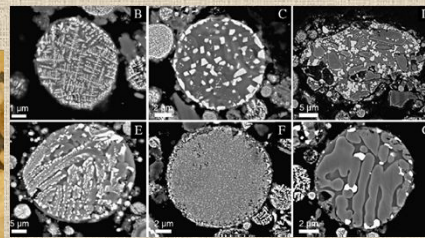
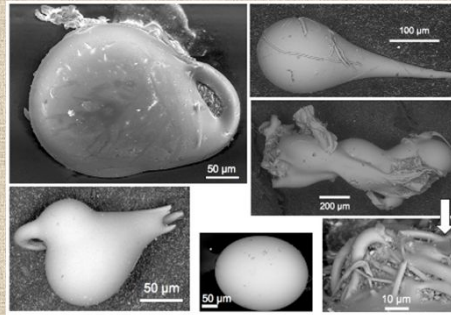


**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Mikrotektity**

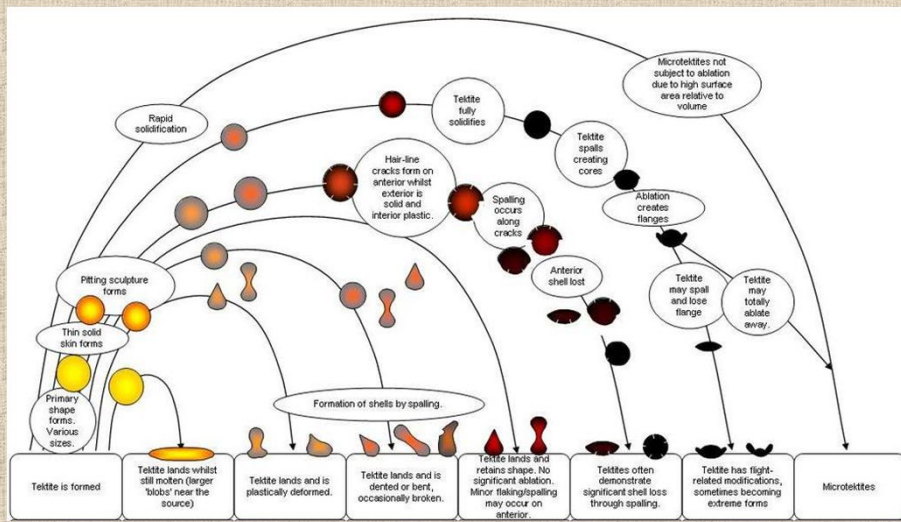
Mikrotektity jsou malé (do 1 mm) sklovité produkty impaktních událostí. Většinou jsou kulovitého tvaru, někdy mohou mít tvar kapek nebo tyčinek. Nachází se v sedimentech moří a oceánů (hlubokomořské vrty), ale i na pevnině (Antarktida).

Mikrotektity jsou známy u všech pádových polí, kromě středoevropského. Je to způsobeno značným kontinentálním zvětráváním, kdy malé skleněné mikrotektity zřejmě nemohly být zachovány.



**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Typy tektitů:**



www.tektites.co.uk



### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

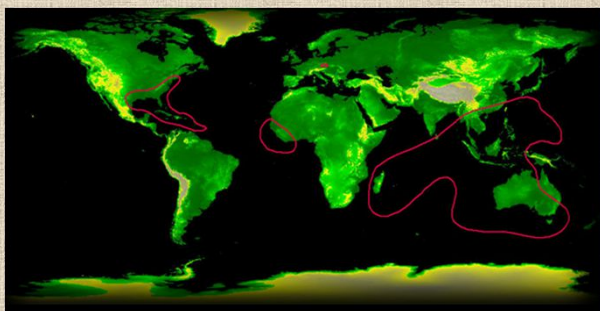
#### Pádová pole tektitů:

**Australsko-asijské** (indočínity, australity, filipinity, javaniity apod.): stáří cca **0,7 Ma**, matečný kráter - zatím nepotvrzen

**Pobřeží slonoviny** (Ivory coast, ivority): stáří cca **1 Ma**, matečný kráter – **Bosumtwi** (Ghana)

**Středoevropské** (vltavíny): stáří cca **15 Ma**, matečný kráter – **Ries** (Německo)

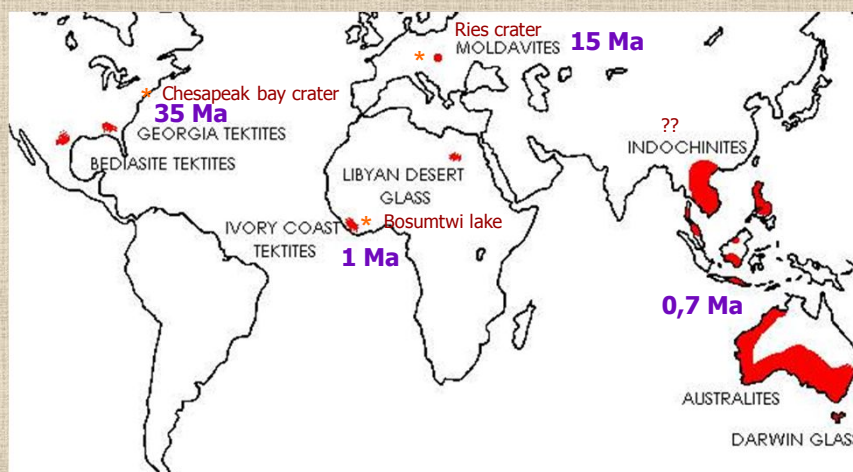
**Severoamerické** (georgiaity, bediasity): stáří **35 Ma**, matečný kráter – **Chesapeake bay** (USA)



www.utexas.edu, V.E.Barnes

### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

#### Pádová pole tektitů:



Upraveno, www.meteorite.com



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

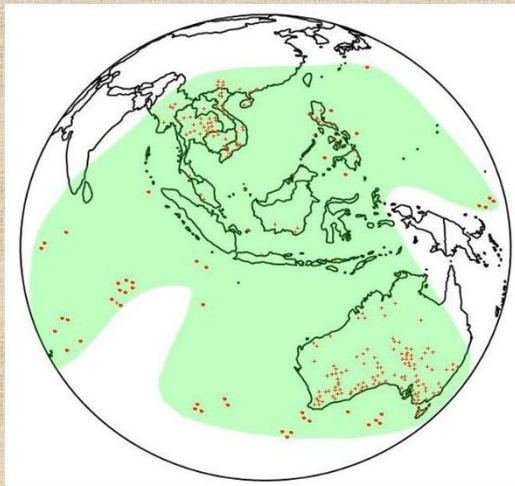
#### Australsko-asijské

Tektity typu splash form, Muong Nong i mikrotektity

Většinou tmavě zbarvené tektity (černé, černohnědé)

Tvary aerodynamicky tvarované – kuličky, kapky, čínky, disky, ablační lemy, ale i nepravidelně tvarované (MN)

\* nálezy tektitů, nálezy mikrotektitů



[www.tektites.co.uk](http://www.tektites.co.uk); [www.towercrystals.com](http://www.towercrystals.com)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

#### Australsko-asijské

Zajímavosti – stolečky, rizality, paprsčité tektity apod.

rizalit



Bilitonity (ostrov Biliton)



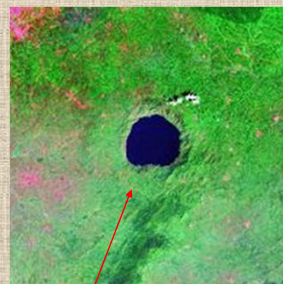
[www.tektites.co.uk](http://www.tektites.co.uk); [www.towercrystals.com](http://www.towercrystals.com)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

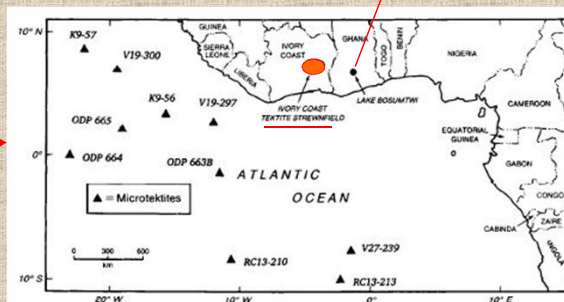
### Pádová pole tektitů:

#### Pobřeží slonoviny (Ivory coast, ivority):

První tektity zde byly objeveny na území města Quellé v roce 1934. Na pevnině se nachází tektity typu splash form a v v přilehlé části Atlantiku se nacházejí jim odpovídající tektity. Dodnes známo přibližně jen 200 kusů (nebezpečná oblast). Matečný kráter Bosumtwi (o průměru 10,5 km) se nachází přibližně v 300 km vzdálenosti.



Kráterové jezero Bosumtwi v Ghaně



Koeberl et al. (1997), <http://omzg.sssc.ru>

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

#### Pobřeží slonoviny (Ivory coast, ivority):

Ivority se svým vzhledem podobají tektitům z australskoasijského pádového pole



[www.tektites.co.uk](http://www.tektites.co.uk)



## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

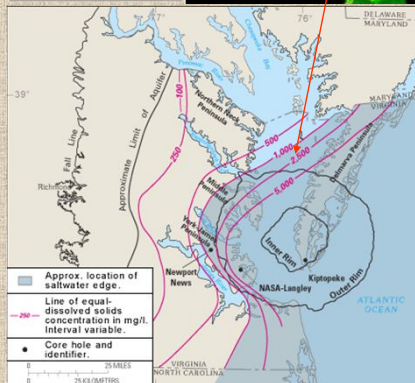
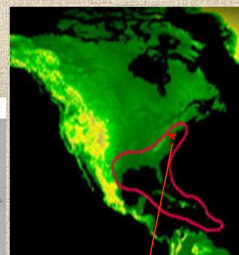
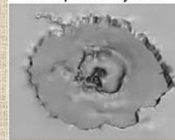
### Pádová pole tektitů:

#### Severoamerické (georgiaity, bediasity):

První zmínka o severoamerických tektitech pochází z roku 1940. Bediasity jsou pojmenovány podle indiánského kmene žijícího v oblasti nálezů, georgiaity podle náleové oblasti v Georgii. Dále se nalézají v oblasti Martha's Vineyard (Barbados). Mikrotektity byly nalezeny v hlubokomořském vrtu DSDP 612 (Deep Sea Drilling Project) na pobřeží New Jersey. Dosud bylo v tomto pádovém poli nalezeno přes 2 tisíce tektitů. V tomto pádovém poli byl popsán i tektit typu Muong Nong (georgiait).



Chesapeake Bay Crater



Deutsch, Koeberl (2006)

www.wikimedia.org/http://meteor.pwnet.org, www.tektites.co.uk

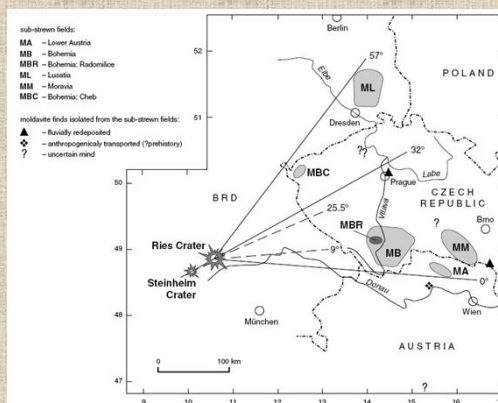
## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

#### Středoevropské (vltaviny):

Vltaviny se vyskytují na území České republiky, Rakouska a Německa. Na území České republiky se nacházejí na třech ne zcela souvisejících oblastech – v jižních Čechách, na jihozápadní Moravě a v okolí Chebu. Vltaviny na území Rakouska se nacházejí v oblasti Hornu, nedaleko moravských nalezišť v okolí Znojma. Doposud bylo nalezeno přibližně dvacet kusů. Na území Německa v oblasti Lužice se od roku 1967 našlo více jak 300 vltavinů.

Nachází se na území přibližně 1 300 km<sup>2</sup> sv. od Drážďan. I když existuje jistá odlišnost vltavinů z jednotlivých oblastí (koroze, velikost, tvar, barva), předpokládáme jejich stejnou genezi (stejně stáří, podobný chemismus).



Artemieva et al. (2002)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

#### Středoevropské (vltavíny):

Model vzniku vltavínů:

červená-vltavíny

žlutá-přetavené horniny  
(impaktní skla)

černá-nepřetavené horniny

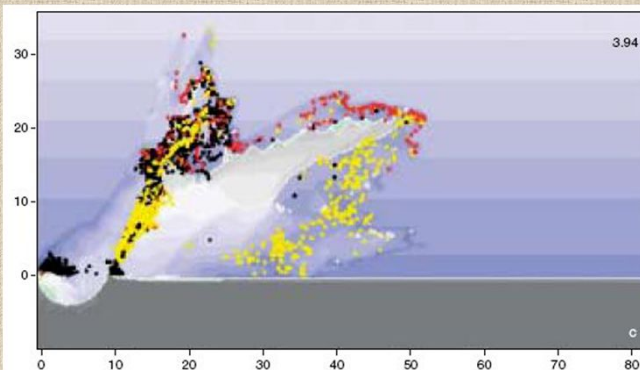


Figure 3. Tektite ejection model results for a 30° impact and impact speed of 20 km/s at a) 0.6 sec, b) 2 sec, and c) 3.9 sec. after the impact. ● – molten upper layer material (possible tektites); ● – molten target materials (not tektites); ● – solid target material.

Artemieva et al. (2002)

## Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

### Pádová pole tektitů:

#### Středoevropské (vltavíny):

- mateřským kráterem je Ries v Německu (24 km), vltavíny jsou produkty přetavení svrchních, převážně písčitých, sedimentů
- pádová pole vzdálená 200-450 km

přítomny splash formy i vrstevnaté vltavíny (Muong Nong), mikrotektity nenalezeny

variabilita v chemickém složení

- jihočeské, moravské (méně CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> vs. více Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO), radomilické (vysoký obsah SiO<sub>2</sub>)



Foto: L. Dziková, [www.gemfrance.com](http://www.gemfrance.com), [tektitesource.com](http://tektitesource.com)



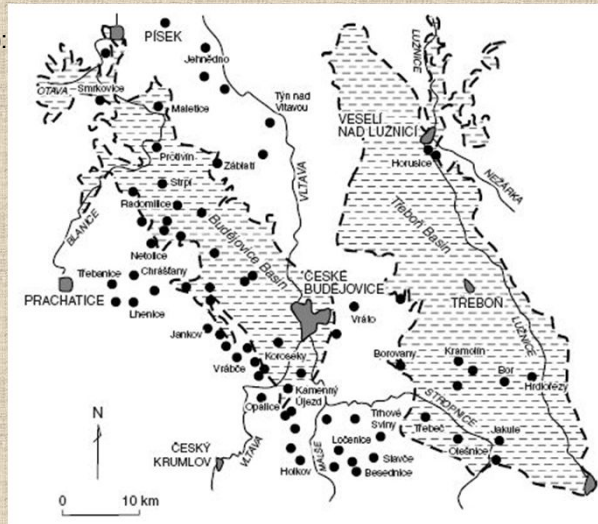
**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Pádová pole tektitů:**

**Středoevropské (vltavíny):**

Jihočeské lokality

(V rámci jihočeských vltavínů se ještě vylučuje tzv. Radomilická oblast)



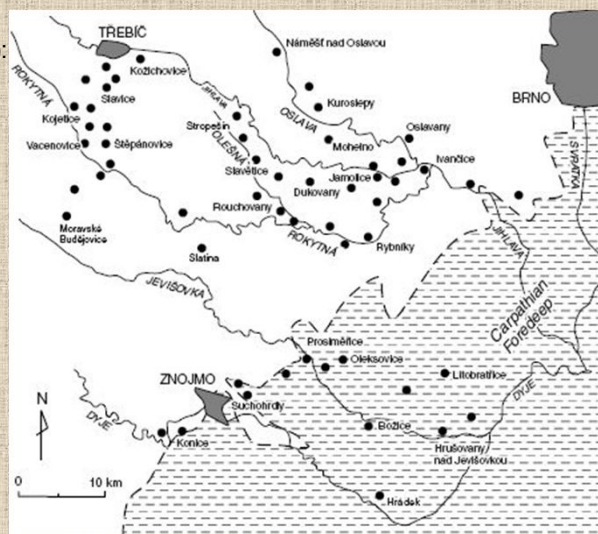
Trnka a Houzar (1992)

**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Pádová pole tektitů:**

**Středoevropské (vltavíny):**

Moravské lokality



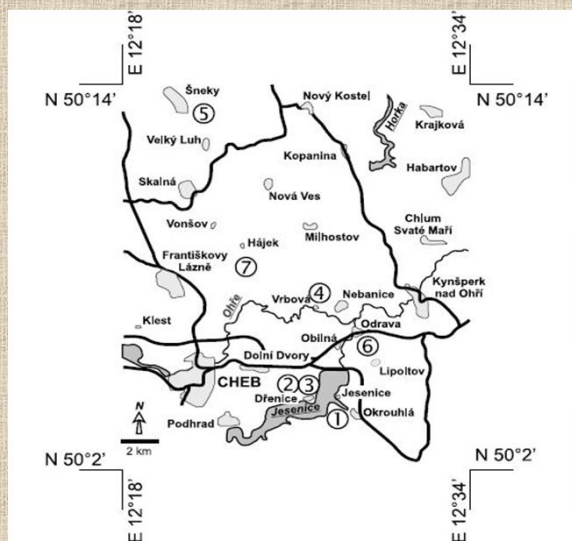
Trnka a Houzar (1992)

### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

#### Pádová pole tektitů:

#### Středoevropské (vltavíny):

Chebská oblast



Skála et al. (2009)

### Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

#### Pádová pole tektitů:

#### Středoevropské (vltavíny):

Některé typické znaky a chemizmus vltavínů jednotlivých oblastí podle Trnky a Houzara (1992):

Properties	Southern Bohemia (except Radomilice area)	Radomilice area	Cheb area	Western Moravia	Lusatian area, Germany	Horn area, Austria
Predominant colour	bottle green (80%)	pale and bottle green (90%)	bottle green (80%)	olive green and brown (89%)	olive green and bottle green (71%)	bottle green
Number of found pieces	10 000,000	50,000	1,200	20,000	300	20
Maximum weight (g)	122	172	36	258	74	104
Muong Nong type	found	not found	not found	not found	not found	not found
Sphericity	lower	higher	lower	higher	higher	not determined
SiO <sub>2</sub> wt%	78.6	82.6	78.7	79.3	79.3	79.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt%	10.1	8.2	10.1	11.0	10.5	9.8
ΣFeO wt%	1.62	1.18	1.62	2.26	1.84	1.54
CaO + MgO wt%	5.31	4.20	5.10	3.03	3.75	4.13
HCa / Mg types	found	not found	not found	not found	not found	not found
δ <sup>18</sup> O	11.29 ‰	11.42 ‰	not determined	11.13 ‰	not determined	not determined
Homogeneity	lower	higher	lower	higher	higher	not determined
Lechatelierite abundance	higher	lower	higher	lower	medium	not determined
Bubble abundance	higher	lower	higher	lower	lower	not determined
Crystalline inclusions	rare	rare	not found	not found	not found	not found
Strewn field sediments	found	not found	not found	found	not found	found (?)



**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Pádová pole tektitů:**

**Středoevropské (vltavíny):**

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

kompaktní (1) a porézní (2) vrstvy skla (0,0X – X cm rozsah)

barevné šlíry – vícebarevné vltavíny (3)

uzavřeniny více odolného skla (4) – velká chemická heterogenita

Hojné bubliny – (0,0X – X mm rozsah), někdy zploštělé, kanálky

Dominují tmavé odstíny jako hnědá, hnědo-černá, hnědo-zelená

Díky velké strukturální heterogenitě často opaktní




**Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující**

**Středoevropské (vltavíny):**

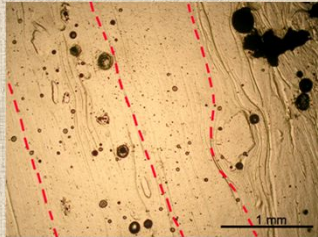
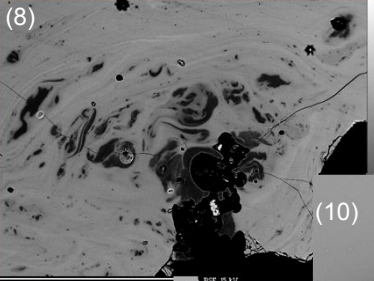
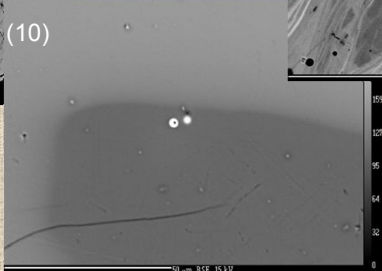
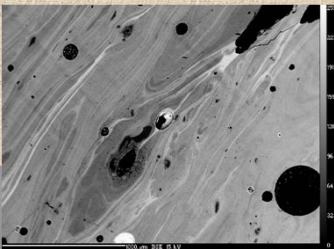
Typ Muong Nong mezi vltavíny:

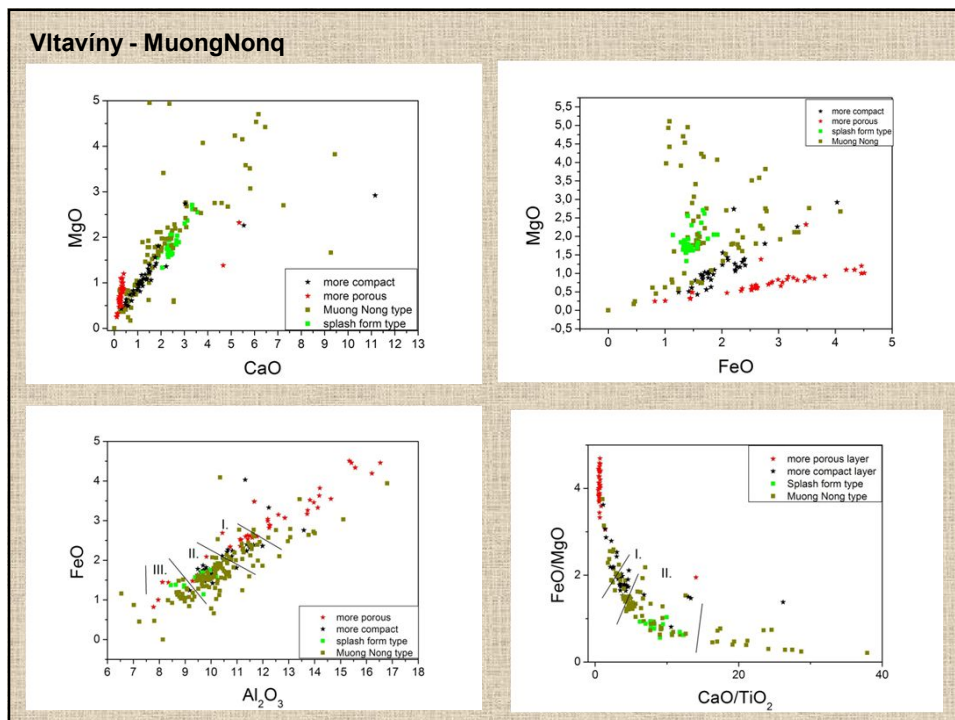
Velké množství lechatelieritových inkluzí (8),

Zr uzavřeniny, apatitová inkluze (10)

Porézní vrstva obsahuje více bublin a lechatelieritových inkluzí než kompaktní vrstva

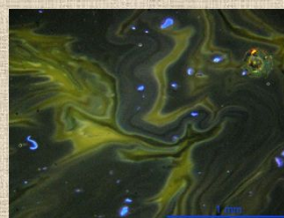
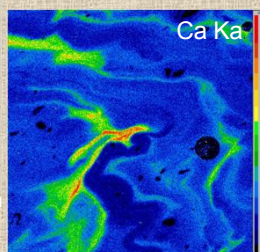
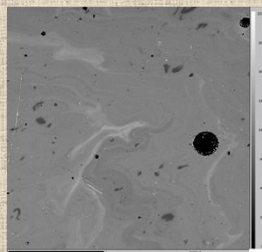
Více porézní vrstva je méně odolná vůči zvětrávání



## Metody studia přírodních skel

- Polarizační mikroskop
- Elektronová mikrosonda
- Katodoluminiscence
- Kalorimetrie
- Laserová ablace
- Infračervená spektroskopie





## Metody studia přírodních skel

### Kolorimetrie – měření barev

Barvy se například u vltavinů doposud určovaly pouze na základě lidského vnímání barev – nepřesné (každý může vnímat jinak)

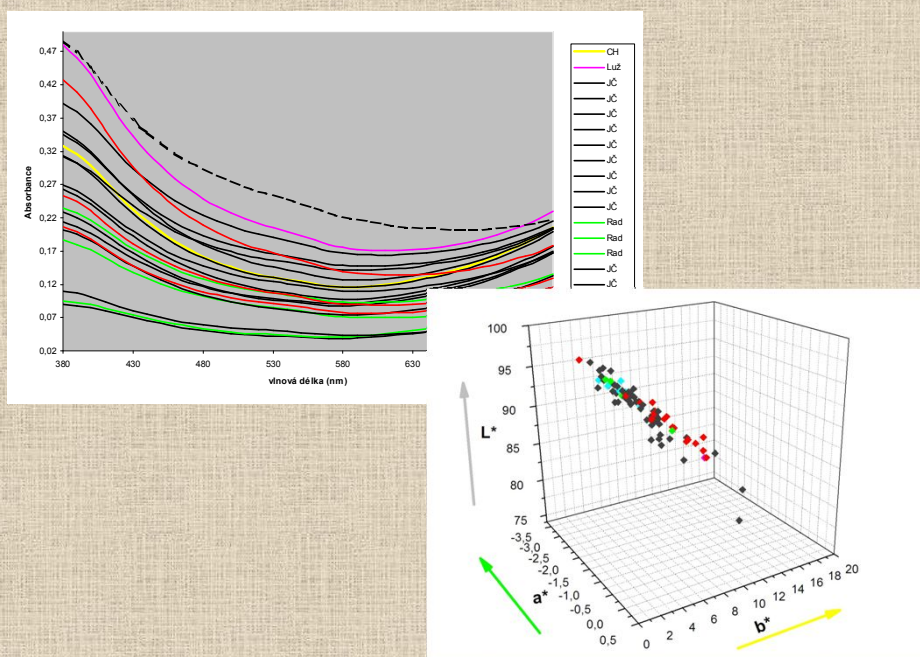
Bouška a Povondra (1964) vizuálně rozlišili 6 základních barevných odstínů vltavinů a porovnali je z chemizmem:

- jedovatě zelená    hodně CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O
- bledě zelená       hodně Na, málo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- světle zelená      hodně MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, málo Na<sub>2</sub>O
- lahově zelená     hodně FeO, CaO, málo Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO
- olivově zelená    hodně Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- hnědá              hodně FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, málo Na<sub>2</sub>O



Foto: L. Dziková

### Kolorimetrie – měření barev – měření barev vltavinů



### Laserová ablace

**LA-ICP-MS** (Laser Ablation with Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry-laserová ablace s hmotností spektrometrií v indukčně vázaném plazmatu):

- ultrastopová analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Tato technika umožňuje analyzovat téměř všechny prvky od lithia po uran s citlivostí až jednotek ppt po stovky ppm.

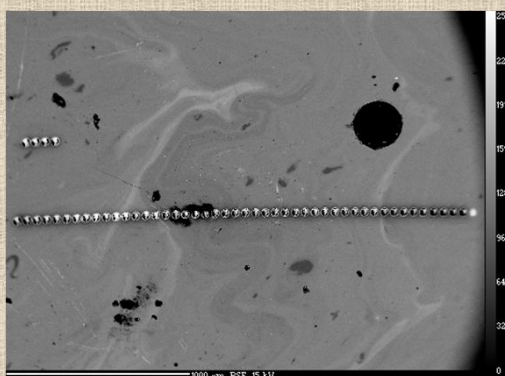


Table 1  
Monitored isotopes and detection limits (DL) for LA-ICP-MS analysis.

Isotope ( <i>m/z</i> )	DL ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
V	0.081
Cr	1.4
Mn	0.85
Co	0.095
Ni	1.5
Cu	0.92
Zn	1.6
As	1.0
Rb	0.41
Sr	0.096
Y	0.045
Zr	0.54
Nb	0.053
Sb	0.075
Cs	0.049
Ba	0.25
La	0.067
Ce	0.033
Pr	0.021
Nd	0.095
Sm	0.086
Eu	0.029
Gd	0.062
Tb	0.013
Dy	0.065
Ho	0.012
Er	0.057
Tm	0.004
Yb	0.069
Lu	0.008
Hf	0.095
Ta	0.049
Pb	0.33
Th	0.078
U	0.069
Sr <sup>a</sup>	29

<sup>a</sup> Internal standard.

### Literatura

- Angell C. A. (1996): The glass transition. –Current Opinion in Solid State and Materials Science, Vol. 1, 4, s. 578–585.
- Artemieva N., Pierazzo E. a Stöffler D. (2002): Numerical modeling of tektite origin in oblique impact: Implication to Ries-Moldavites strewn field. – Bull. Czech Geol. Survey, 77, 4, 303-311.
- Bouška et al. (1993): Natural glasses. Academia, Praha, 354 s
- Bouška V. a Povondra P. (1964): Correlation of some physical and chemical properties of moldavites. –Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 783–791.
- Bouška V. a Čilek V. (1992): Železnaté vřtáviny. – 6. konf. o vřtávinech. Přírodov. Sbor. Západo-morav. muzea v Třebíči. 18–1992, 86–95.
- Deutsch A. a Koeberl Ch. (2006): Establishing the link between the Chesapeake Bay impact structure and the North American tektite strewn field: The Sr-Nd isotopic evidence. – Meteoritics and Planetary Science 41, Nr. 5, 689–703. Dressler B. O. a Reimold W. U. (2001): Terrestrial impact melt rocks and glasses. Earth-Science Reviews, Vol. 56, 1-4, s. 205–284.
- Folco L., D'Orazio M., Tiepolo M., Tonariny S., Ottoliny L., Perchiazzi N., Rochette P., Glass B.P. (2009): Transantarctic Mountain microtektites: Geochemical affinity with Australasian microtektites. –Geochim. Cosmochim. Acta 73, s. 3694–3722.
- Koeberl C. (1986): Muong Nong type tektites from the Moldavite and North American strewn fields? – Proc. 17th Lunar Planet. Sci. Conf., Jour. Geophys. Res., 91, E 253–E 258.
- Koeberl C. (1988): Geochemistry of Muong Nong type tektites: a review. – Second Int. Conf. On Natural Glasses (Prague 1987), 371–377, Praha.
- Lacroix A. (1935): Les tectites sans formes figurées de l'Indochine. – Comptes rendus, 200, 2129–2132, Academie des Sciences, Paris. Maa et al. (2001):
- Prchal V. a Fasurová N. (2006): Návod pro praktikum z koloristiky a kolorimetricky. –FCH VUT, Brno, 2–3.
- Skála R., Strnad L., McCammon C., Čada M. (2009): Moldavites from the Cheb basin, Czech republic. –Geochim. Cosmochim. Acta, 73, s. 1145–1179.
- Trnka M. a Houzar S. (1991): Moravské vřtáviny. – Muzejní a vlastivědná společnost v Brně a Západo-moravské muzeum v Třebíči.
- Trnka M. a Houzar S. (2002): Moldavites: a review. – Bulletin of the Czech Geological Survey, 77, No. 4, 283–302.
- <http://colour-emotion.co.uk/funda.html>