



Přírodní skla

(II.)

G7681

Mgr. Lenka Dziková
Ústav geologických věd
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita
Brno (2009)

Úvod

**Ústav geologických věd
Přírodovědecká fakulta
Masarykova univerzita v Brně**

Mgr. Lenka Dziková

Definice skla

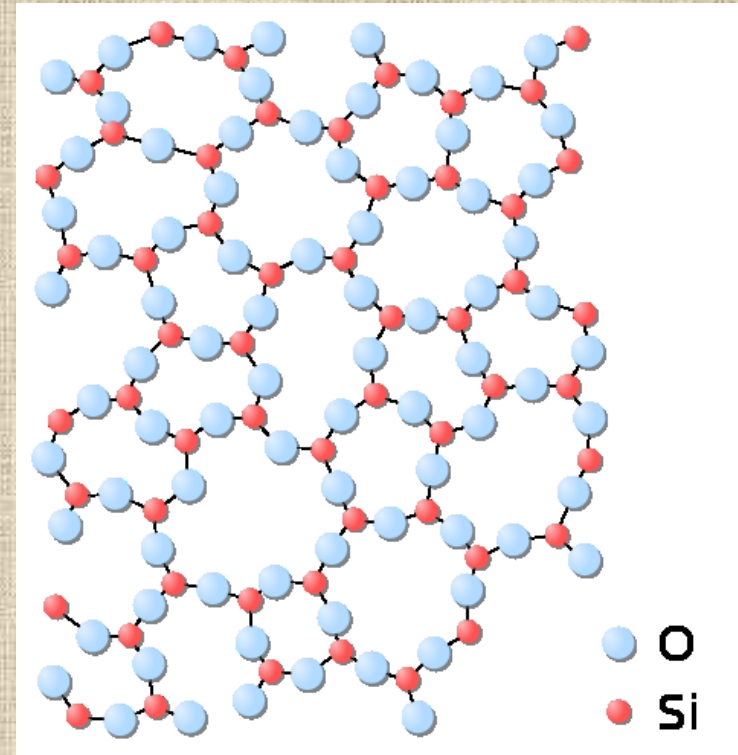
Sklo je amorfní pevná látka. Všechny jeho vlastnosti jsou izotropní (nezávislé na směru). Ve fyzikální chemii je sklo produkt utuhnutí termodynamicky nerovnovážné podchlazené tekutiny, která vznikla z taveniny procesem velmi rychlého ochlazení.

Pokud je ochlazení dostatečně rychlé (vzhledem k charakteristické krystalizační době látky), nestačí se vytvořit krystalická struktura a neuspořádaná atomová konfigurace podchlazené tekutiny se zachová i v pevném stavu pod teplotou přeměny skla T_g (tzv. *glass transition temperature*). Struktura skla se však i po utuhnutí stále nachází v metastabilním stavu.



Struktura skla

Sklo je amorfní látka. Na atomární úrovni „amorfní“ znamená, že v trojrozměrném prostoru neexistuje žádná periodicitu v uspořádání atomů na velké vzdálenosti. Sklo však jeví známky uspořádanosti ve formě strukturních jednotek (tetraedrální umístění kyslíkových atomů kolem atomů křemíku) na velmi krátkou vzdálenost (2-3 atomy). Vnitřní energie nepravidelně uspořádané vnitřní struktury vzniklého skla je jen o něco vyšší než u korespondující krystalové mřížky, ale nižší než pro gel.



Definice a systematika přírodních skel

Většina přírodních skel vzniká při vulkanických procesech, menší množství pak vzniká při impaktivých událostech, úderech blesků, nebo hoření uhlí. Tyto procesy vedou ke vzniku termodynamicky nestabilní fáze s tendencí k chemické přeměně a krystalizaci. Jeden z nejdůležitějších faktorů ovlivňující charakter přeměny je chemické složení výchozí taveniny.

Vulkanická skla (obsidiány, smolky apod.)

Skla vzniklá při hoření uhlí (buchit)

Skla vzniklá při úderech blesků (fulgurinity)

Skla vzniklá při impaktních událostech (impaktní skla, tektity, mikrotektity, sklovité sferule)



Impaktní proces

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.

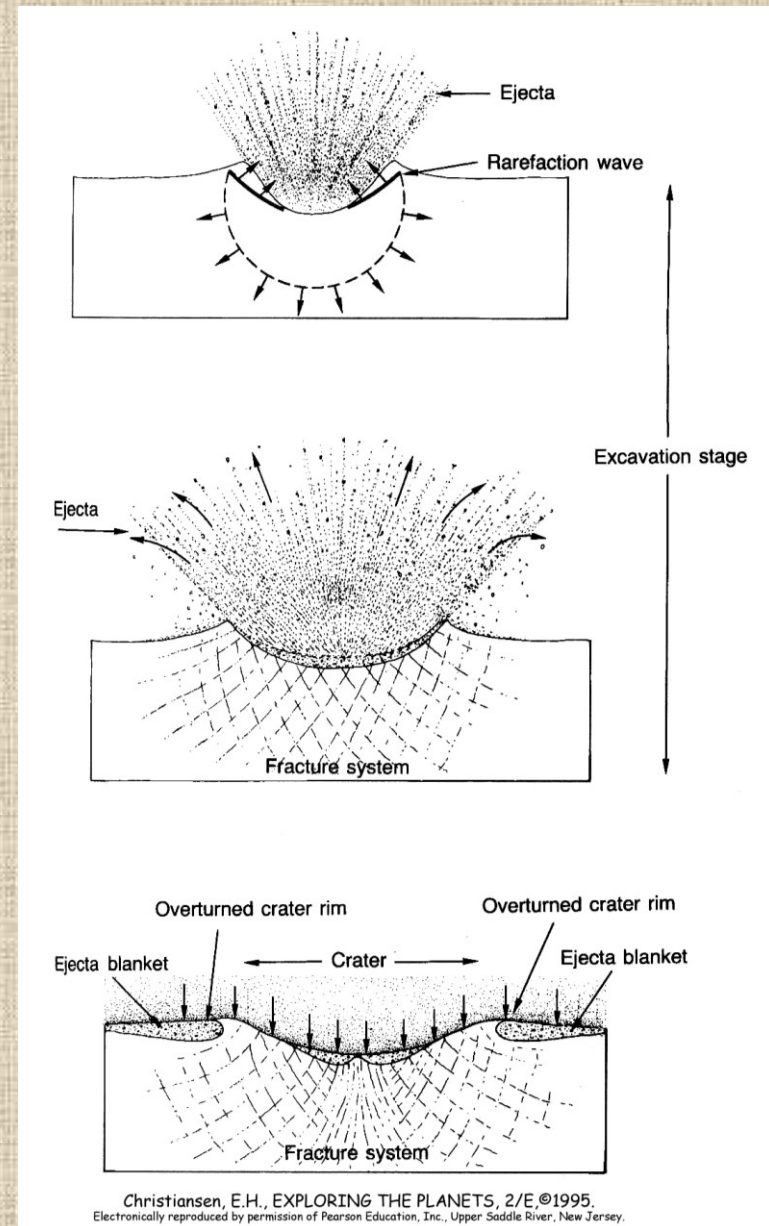
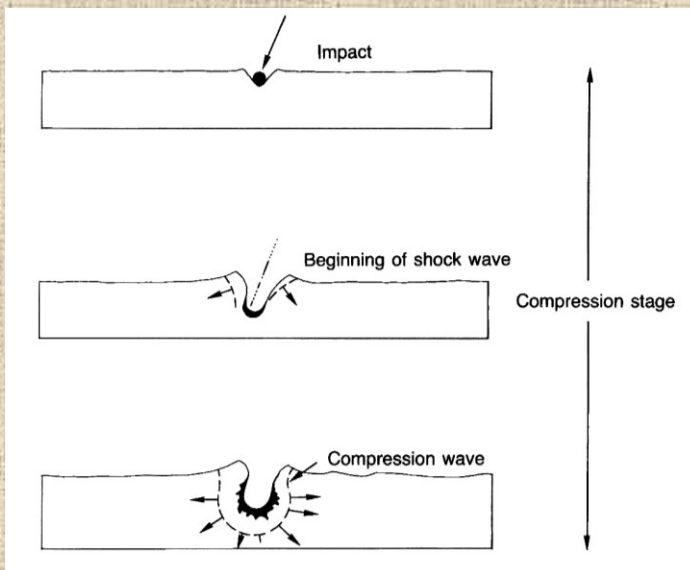
Impaktní krátery se nachází na většině těles ve Sluneční soustavě (na planetách s pevným povrchem, měsících, asteroidech).

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



Impaktový proces

V prvních okamžicích po dopadu (impaktu) extraterestrického 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 vyzdvýžen nebo vyvržen do okolí po balistických drahách (ejecta). Struktura se dále modifikuje zejména gravitačními silami.



Impaktový proces

V závislosti na mnoha faktorech (velikost, rychlost a složení impaktoru, úhel dopadu, složení terčových hornin aj.) mohou vznikat různé typy kráterů – jednoduché nebo komplexní. Jednoduché krátery jsou menších rozměrů, mísovitého tvaru a bez centrálního pahorku. Jsou vyplněny sesunutým materiálem ze svahů kráteru. Komplexní krátery jsou větších rozměrů a mají centrální pahorek-ky nebo více kruhových valů (vzniklé např. opětovným zhroucením centrálního pahorku).

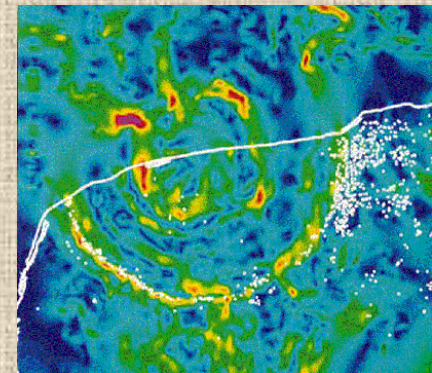
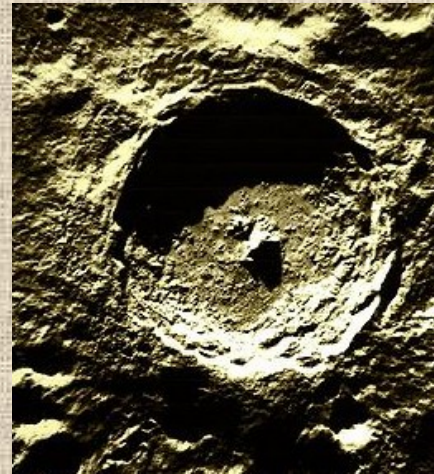
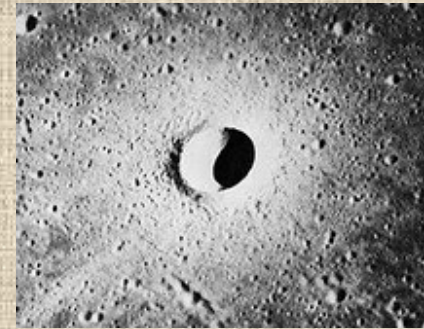
small, bowl-shaped
crater – a *simple crater*



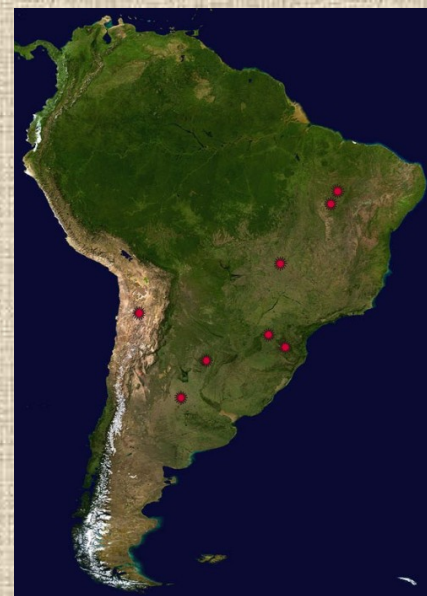
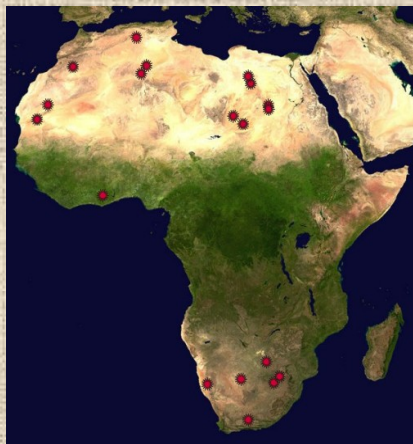
or into a large
complex crater
exhibiting a central uplift



or into a large complex crater
exhibiting a ring or several rings



Impaktní krátery na Zemi



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



Impaktní produkty

neobsahující sklo

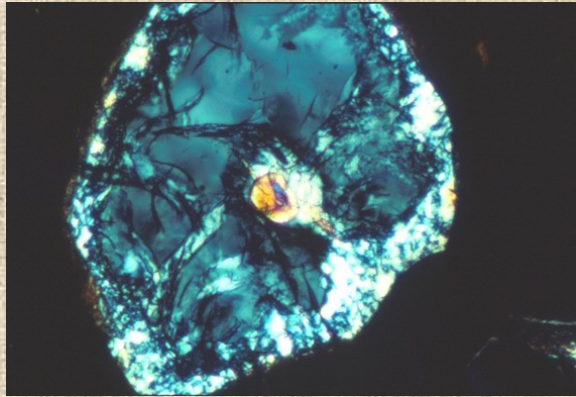
- **tříštvivé kužely** (tzv. shatter cones)
- planární def. znaky tzv. **PDF** (křemen, živce)
- **vysokotlaké modifikace křemene** (coesit a stishovit)
- impaktní **diamanty** (z grafitu obsaženého v terčových horninách)
- **chemická a izotopická kontaminace** extraterestrickým materiálem (iridium, osmium)
- **impaktní (lithické) brekcie** (bez obsahu sklovité fáze - např. bunte breccia, Ries)



Don Davis

Impaktní produkty neobsahující sklo

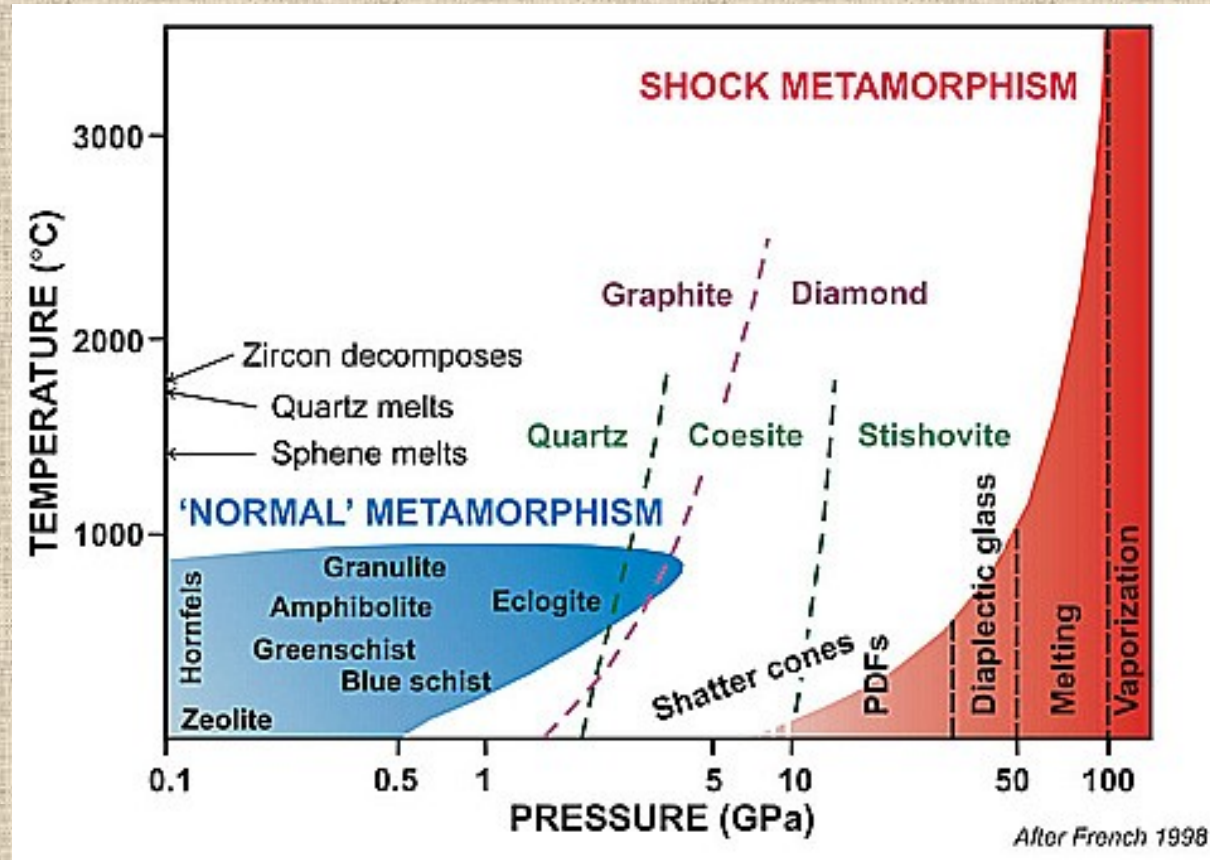
coesit



stishovit



diamanty



Impaktní produkty neobsahující sklo

- **tříštivé kužely** (vznikají v podloží impaktních událostí nejčastěji v jemně zrnitých sedimentárních horninách - vápencích, pískovcích; tlak 2-30 GPa)



Santa Fe, Mexiko

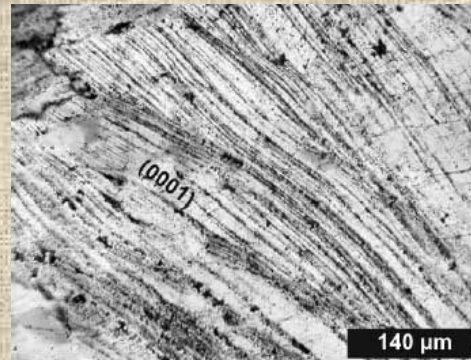
Foto Wikipedia, www.suevite.com



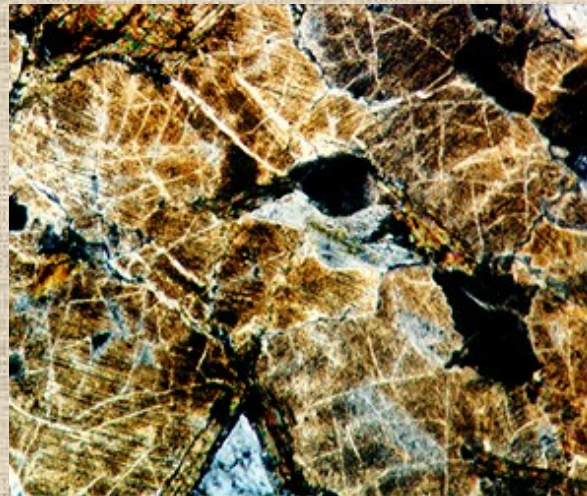
Steinheim, Německo; Wells Creek, USA

Impaktní produkty neobsahující sklo

PDF struktury



- **uzké deformační linie**
(paralelní laminace často orientovaná v krystalografických směrech, křemenná a živcová zrna)
- „**toasting**“ (zhnědnutí křemenných zrn působením vysokého tlaku)



Impaktní produkty sklo nebo sklo obsahující



Impaktní produkty

sklo nebo sklo obsahující

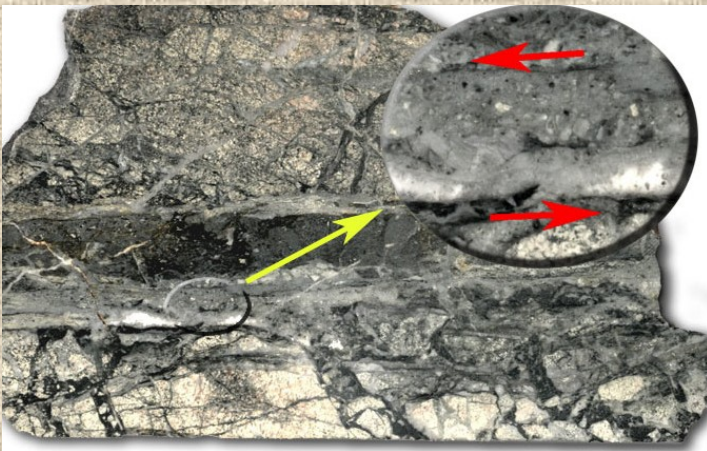
- **impaktní (suevitické) brekcie** (brekcie s obsahem sklovité fáze - **suevity**, **pseudotachylity**, vyskytující se uvnitř, pod povrchem i v blízkém okolí kráterú-ejecta)
- **diaplektická skla** (tzv. thetomorphy)
- **impaktní skla** (horniny přetavené na sklo za tlaku vyšších než 45 GPa nachází 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, Popigai, Kara, Azuara)
- **Pseudotachylity** (žíly sklovitého pseudotachylitu, výskyt na zlomech, vznik při kompresní fázi vzniku kráteru a při vyzdvižení centrálního pahorku. Umístění pod povrchem uvnitř kráteru. Patrné jsou po obnažení dna-kráter Vredefort v J. Africe a imp. pánev Sudbury v Kanadě)



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 bublinaté, nemají fluidální strukturu.

Bývá zachován tvar původního zrna - tzv. thetomorphy (na obrázku původní zrno světlého živce)



Granit z Nevady, vlivem nukleární exploze kompletně změněná zrna na thetomorphy,
www.rst.gsfc.nasa.gov

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Impaktní skla

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

Roztavená hornina je vymrštěna 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.

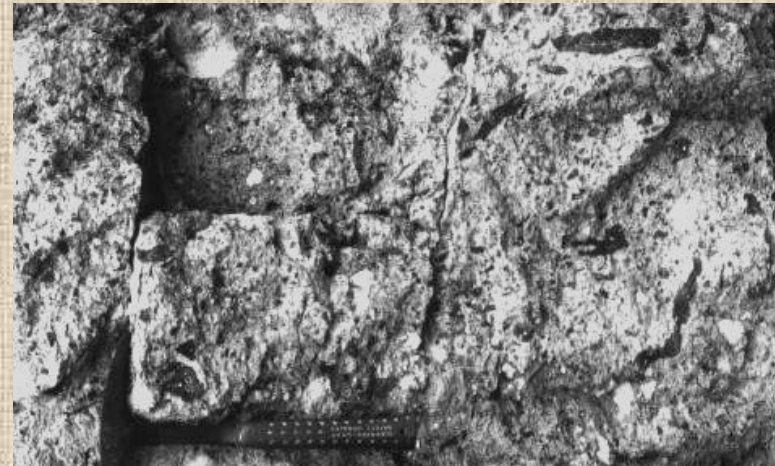
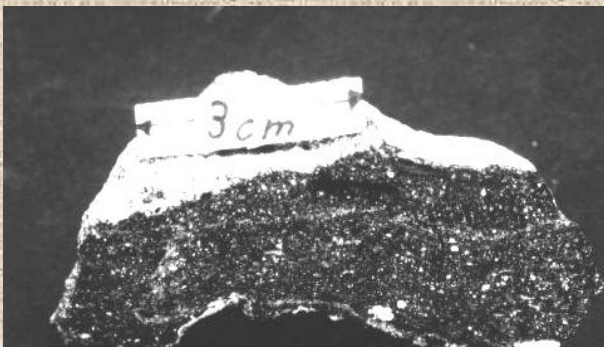
V případě větších kráterů (Ries) jsou tato skla zahrnuta v impaktních brekcích velkých mocností uvnitř nebo v blízkosti kráteru. Na povrchu však sklo snadno podléhá erozi.



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Impaktní skla

- Stejně jako sopečná skla se impaktní skla mohou vyskytovat v podobě těles tvaru bomb (cm-m, mísovité, diskovité, hruškovité, kapkovité tvary apod.), nebo jako nepravidelná tělesa (vypadající jako struska), lapilli, kuličky..
- Vyskytují se buď samostatně nebo jsou zabudovány do impaktních brekcií (suevitů), vlivem eroze se však mohou sklovité fáze od brekcií oddělit, alterace na povrchu
- některá impaktní skla mohou být relativně homogenní, některá jsou vysoce heterogenní
- často obsahují velké množství bublin různých velikostí, někdy může sklo nabývat až pemzovitého charakteru (až 60% bublinatost)
- častá laminární nebo fluidální textura, různé barevné hmoty skla, devitrifikační textury, šlírovitá, perlitická struktura

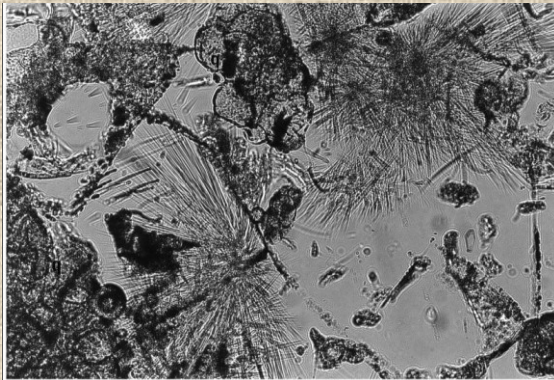


Impaktní sklo ze suevitu (vlevo), suevit (vpravo) Ries, Dressler, Reimold (2001)

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

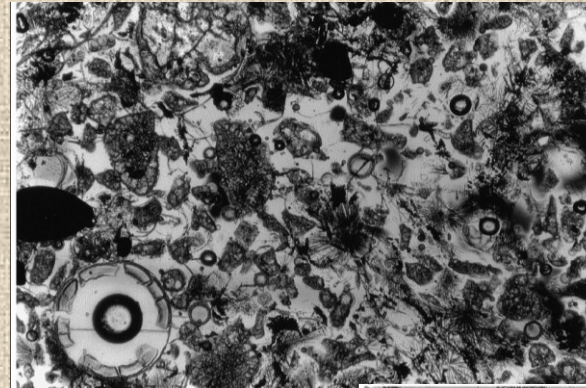
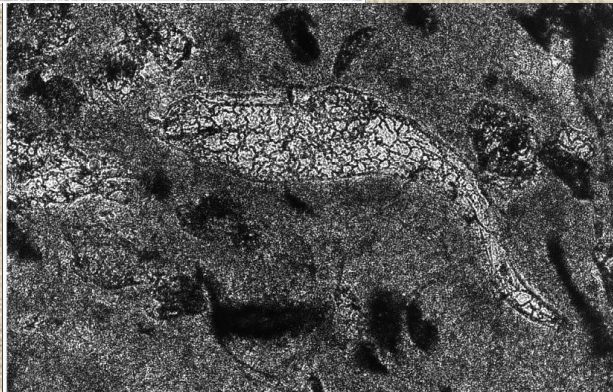
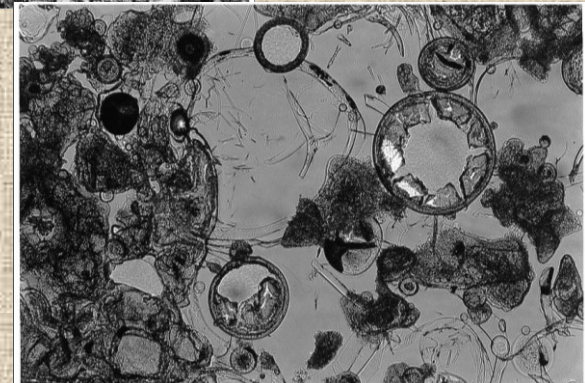
Impaktní skla

- 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 klasy matečných hornin



Relikty křemene

Ortopyroxenové mikrolity

Relikty křemene,
ortopyroxenové
mikrolity a opakní
magnetitLechatelieritová
šlíra „ballen
strukture“Ortopyroxenové mikrolity,
křemen, smektit lemující
bubliny

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. **kärnäity** (kráter Lappajärvi ve Finsku) nebo **tagamity** (kráter Popigai na Sibiři)



Darwinovo sklo, www.wikimedia.org



Aouelleoul impact glass, www.rst.gsfc.nasa.gov

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Kráter Zhamanshin (Kazachstán) - žamanšinity

- kráter Zhamanshin má průměr asi 13 km
- jeho stáří je přibližně 0,9 Ma



www.fas.org



Foto: L. Dziková

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Kráter Zhamanshin (Kazachstán) - žamanšinity

- chemismus žamanšinitů je velice heterogenní, obsah SiO_2 zde kolísá od 50-95 hm%
- bylo vyčleněno 5 skupin podle obsahu 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 chemismus podobný tektitům, nízký obsah vody a trojmocného železa, vyšší homogenita)

Composition of impact glasses of the Zhamanshin crater, Kazaksthan^a

	1	2	3	2	3	2	3	1	2	3	1
n	27	4	5	50	15	32	13	22	12	41	127
SiO_2	92.56	82.21	81.70	75.79	74.80	71.72	66.83	64.86	57.80	56.50	54.34
TiO_2	0.15	0.46	0.45	0.64	0.74	0.73	1.11	1.17	1.22	0.79	0.93
Al_2O_3	2.86	8.17	8.84	11.71	12.73	11.25	17.25	20.16	25.88	19.11	19.66
$\text{FeO}^{\text{total}}$	1.96		3.29		4.74		6.31	7.79	8.53	6.47	9.14
Fe_2O_3		0.59		0.76		2.14					
FeO		3.32		4.57		4.25					
MnO	0.04	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.11	0.10	0.15	0.13
MgO	0.75	0.42	0.54	0.86	1.33	2.87	2.17	1.23	1.38	3.32	3.24
CaO	0.79	0.32	0.56	0.89	1.47	2.47	1.89	1.94	1.73	8.13	7.31
Na_2O	0.34	1.66	1.57	1.80	1.44	1.65	1.55	1.12	1.26	4.34	3.59
K_2O	0.48	2.73	2.95	2.87	2.65	1.91	2.75	1.91	2.11	1.19	1.35
P_2O_5	0.06							0.12			0.24

(1) Feld'man and Sazonova (1993); (2) Boiko et al. (1991); (3) Masaitis and Selivonovskaya (1987); n: Number of analyses; Blank fields: No determination.

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

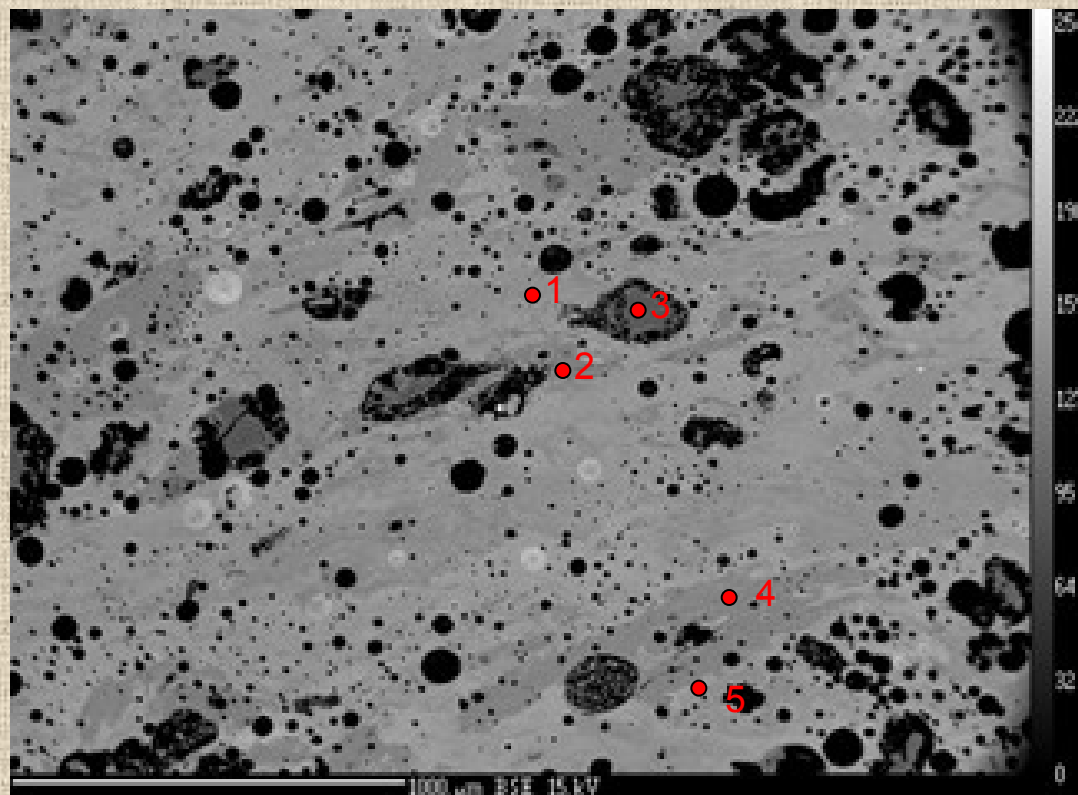
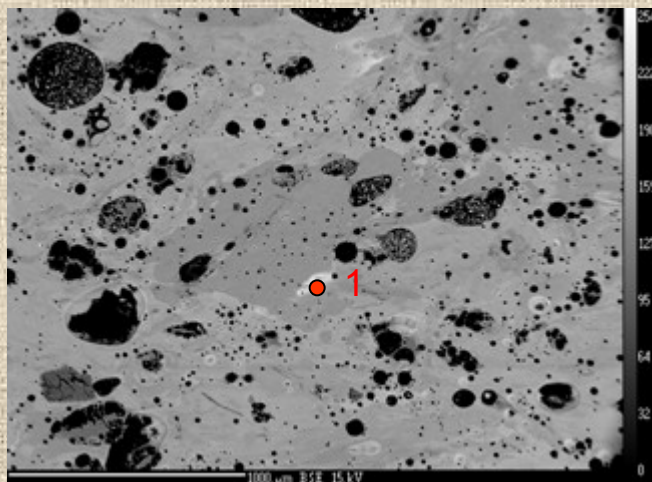
Kráter Zhamanshin (Kazachstán) - žamanšinity

- žamanšinity i irgizity jsou ve srovnání s tektity typu splash form a australity obohaceny o halogenidy a alkalické kovy (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) a některé volatilní prvky jako Sb a As
- v irgizitech jsou nabožaceny Ni a Co, nabožacení meteorickým zdrojem
- střídání sklovité hmoty pemzovitého charakteru (vysoký obsah bublin) s hmotou méně bublinatou



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Kráter Zhamanshin (Kazachstán) - žamanšinity



BSE

lechatelierit

Foto: L. Dziková, P. Gadas

DataSet/ Point	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	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

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Kráter Zhamanshin (Kazachstán)

- žamanšinity

- vysoká strukturní i chemická heterogenita



Výbrus žamanšinitu

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

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



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Libyjská skla (Libye)

- v minulosti byl využíván prehistorickými lidmi k výrobě různých artefaktů, použito i ve tvaru skarabea v Tutanchamově pektorálu (prsním štítu)
- bělavě až oranžově žluté odstíny, někdy s tmavšími šmouhami (nabohacení siderofilními prvky jako Ir-obohacení extraterestrickým tělesem, sklovité kuličky obohacené Al, Fe a Mg, grafitové uzavřeniny)



Libyjské sklo

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Libyjská skla (Libye)

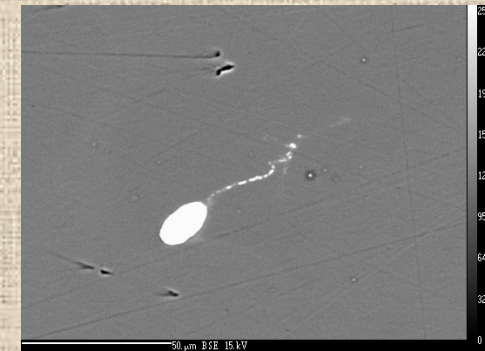
- předpokládán impaktní původ (lechatelierity, badelleyity, Ir, cristobalit)
- fluidální struktura
- je téměř výhradně složeno z SiO_2 (~98hm%)



Výbrus v optickém mikroskopu



Zr inkluze (badelleity)



DataSet/ Point	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	MgO	K_2O	TiO_2	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:

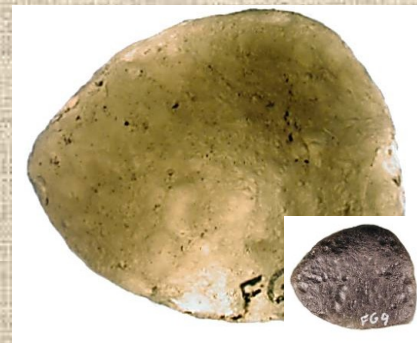
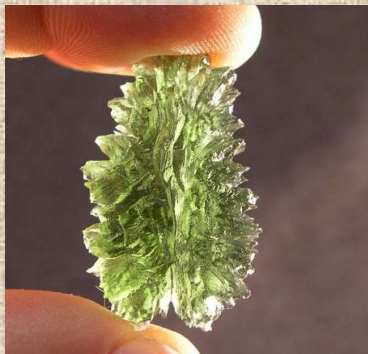
- přírodní sklo impaktního původu
- relativně homogenní (jednotný chemizmus)
- bohaté na SiO_2 (65 – 85%)
- vysoký poměr Al / K+Na
- velmi nízký obsah vody (<0,02 hm. %)
- nízký obsah těkavých látek
- málo uzavřenin (lechatelierit)
- z povrchového, porézního, nezpevněného materiálu
- nízký tlak v bublinách (utuhnutí ve vyšší nadmořské výšce)



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Tektity

Glass (1990)	vtavíný (n = 53)	australsko-asijské (n = 48)	severoamerické (n = 29)	ivority (n = 7)
SiO ₂	75–84,5	71,9–83,6	64,8–82,4	67,2–69,1
Al ₂ O ₃	7,9–13,8	9,5–17,5	8,2–17,7	15,8–16,8
Fe ₂ 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
Na ₂ O	0,3–2,4	1,1–1,8	0,6–1,7	1,8–2,4
K ₂ O	2,4–3,8	1,6–2,5	1,3–2,8	1,7–2,1
TiO ₂	0,2–0,7	0,4–1,1	0,4–1,0	0,5–0,6



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 pnutí.



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Typy tektitů:

- **Typ splash form**

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

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



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 Muang 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 těkavých 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)



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Typy tektitů:

- **Mikrotektity**

Mikrotektity jsou malé (do 1 mm) sklovité produkty impaktních událostí. Většinou jsou kulovitěho 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.

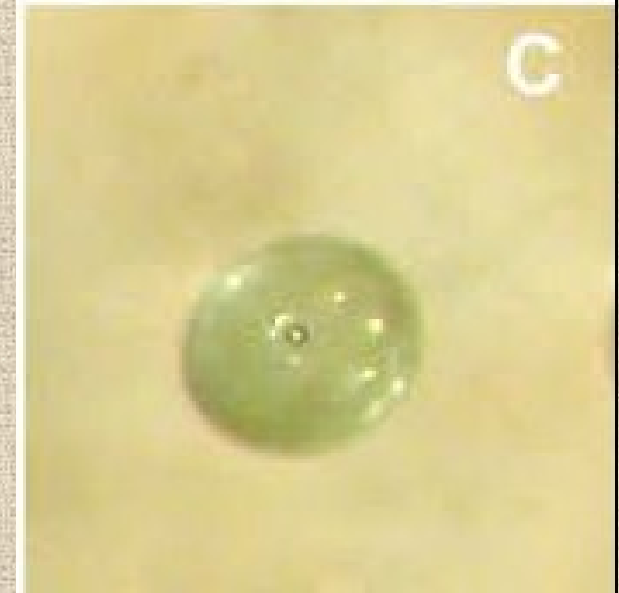
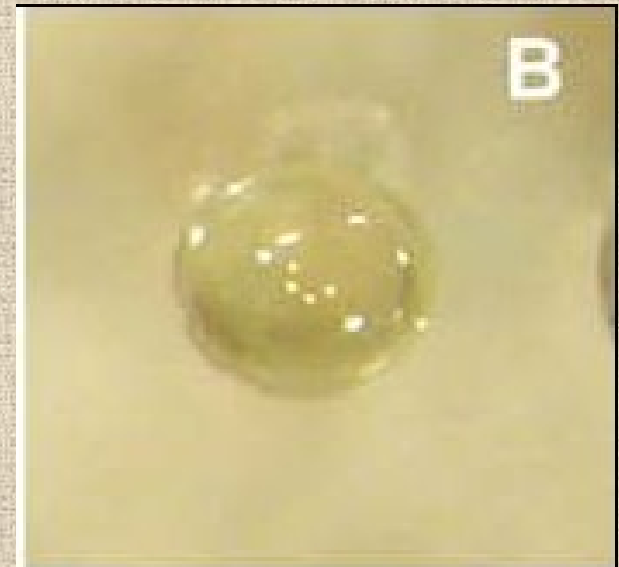
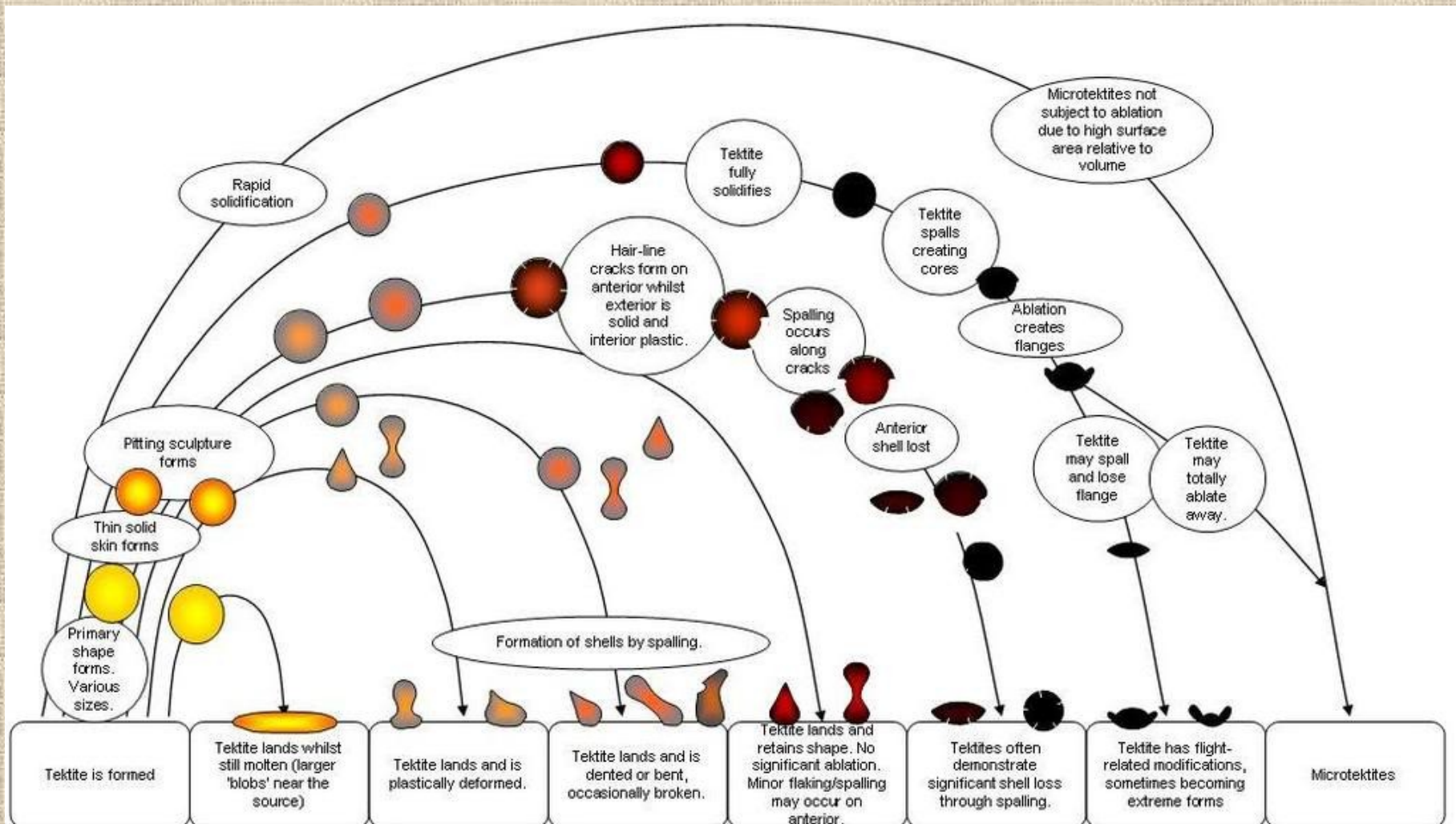


Foto: Folco et al. (2009)

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Typy tektitů:



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

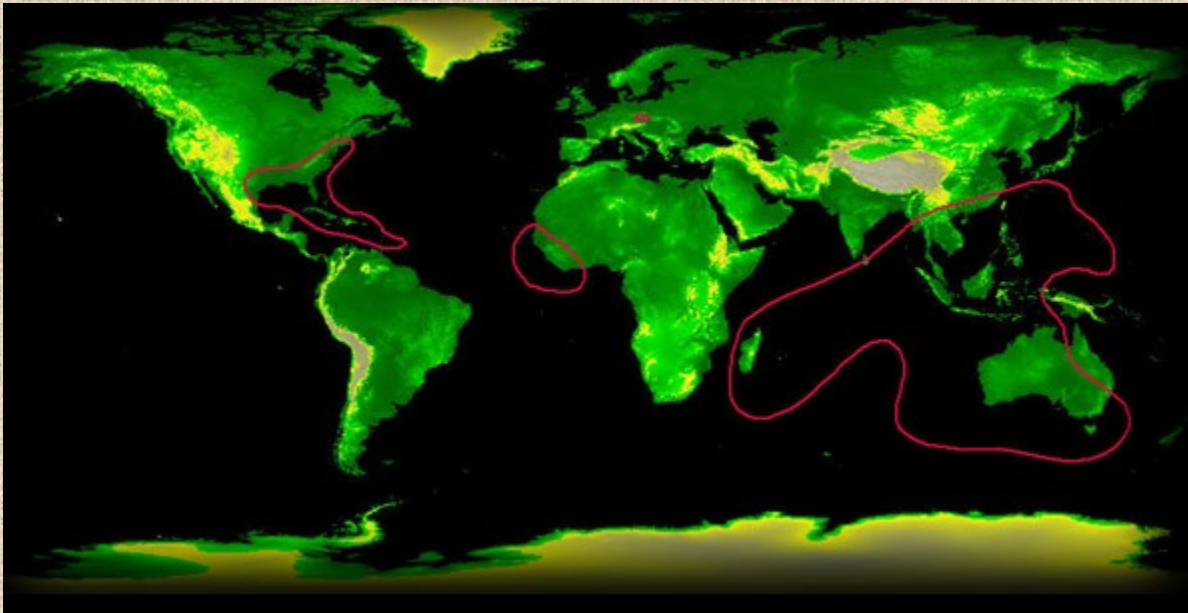
Pádová pole tektitů:

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

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

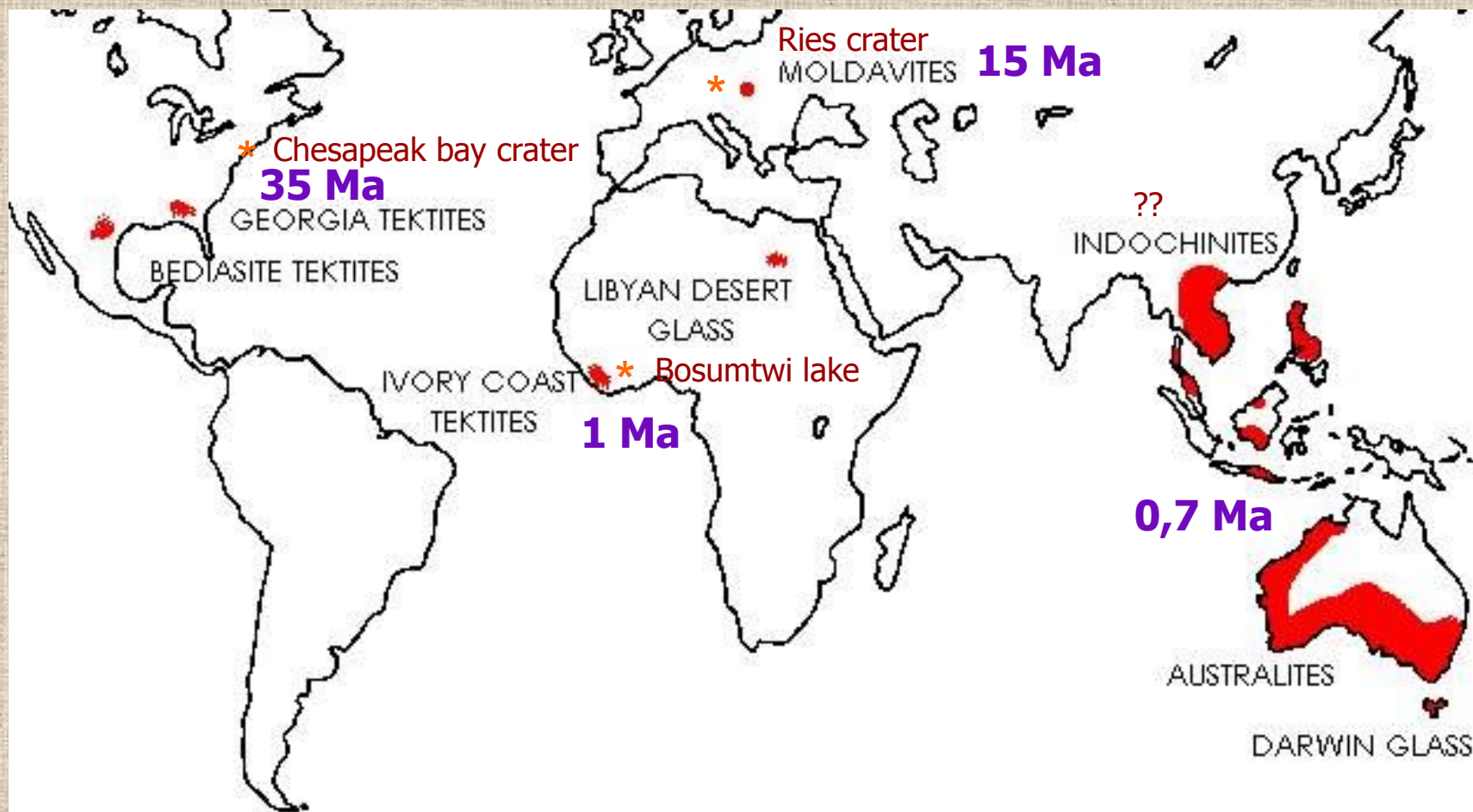
Středoevropské (vltavíny): stáří cca **15 Ma**, matečný kráter – **Ries** (Německo)

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



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

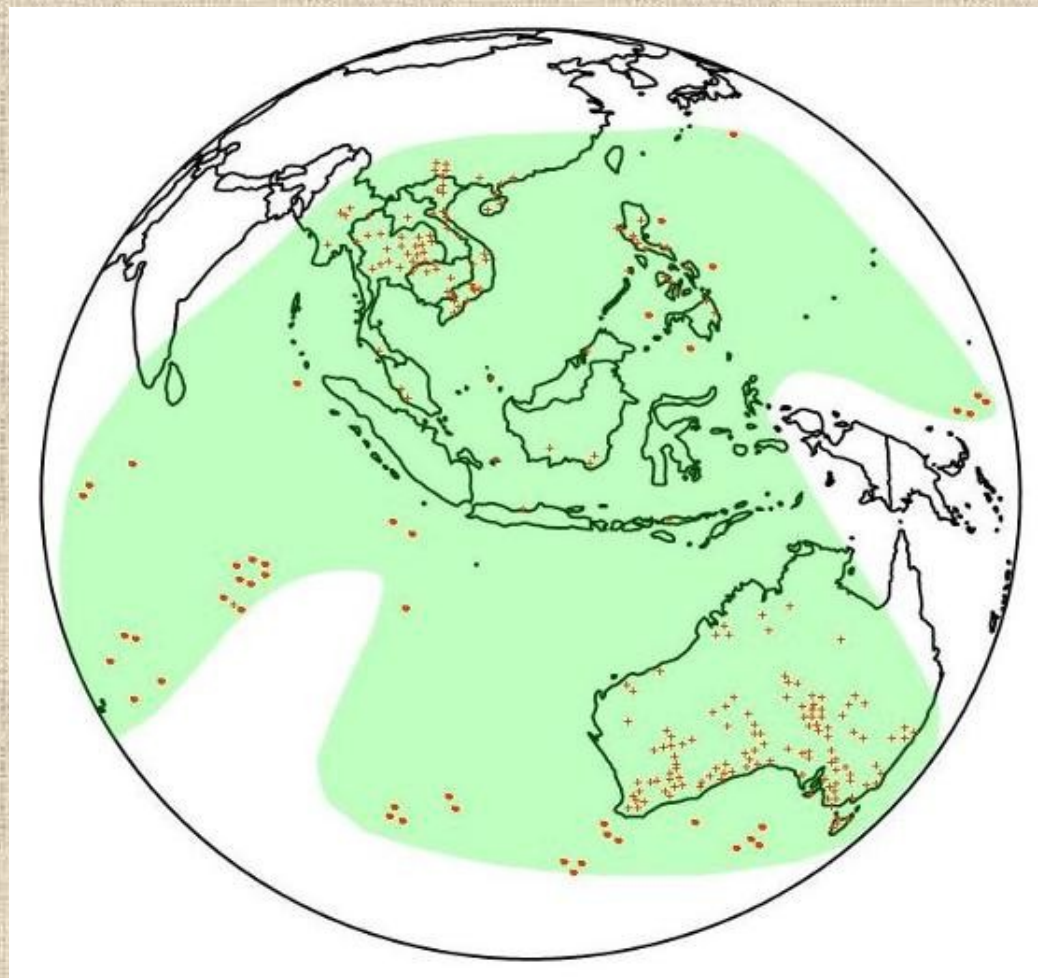
* nálezy tektitů, nálezy mikrotektitů

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)



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

rizalit



Pádová pole tektitů:

Australsko-asijské

Zajímavosti – stolečky, rizality, paprscité tektity apod.



Bilitonity (ostrov Biliton)

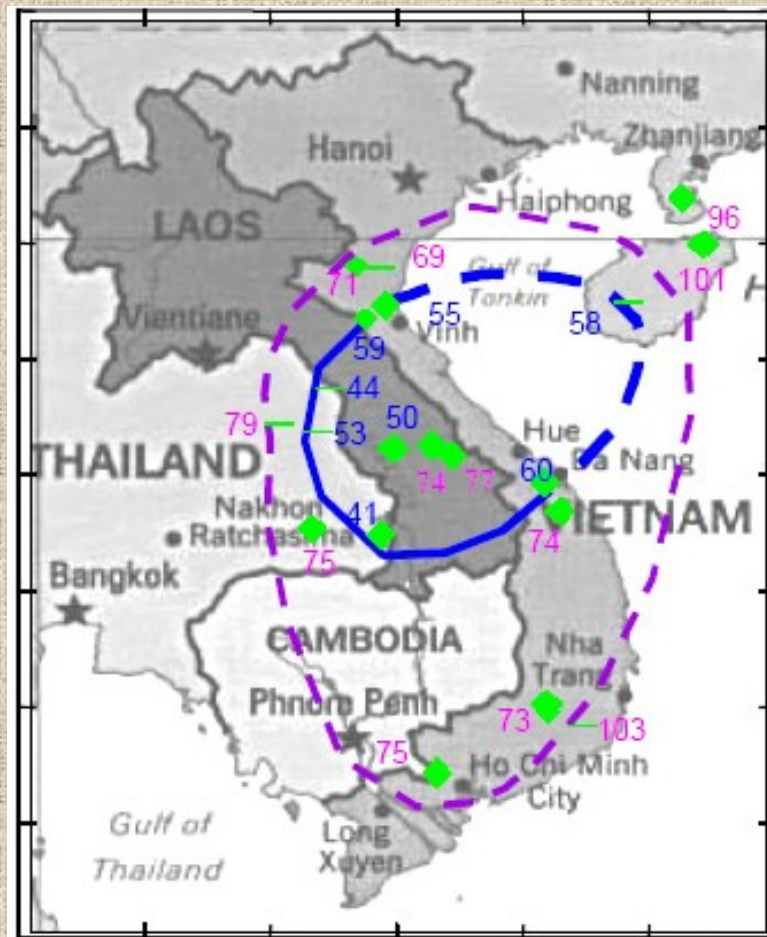


Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Australsko-asijské

Výskyt tektitů typu Muong Nong podle obsahu ^{10}Be :



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

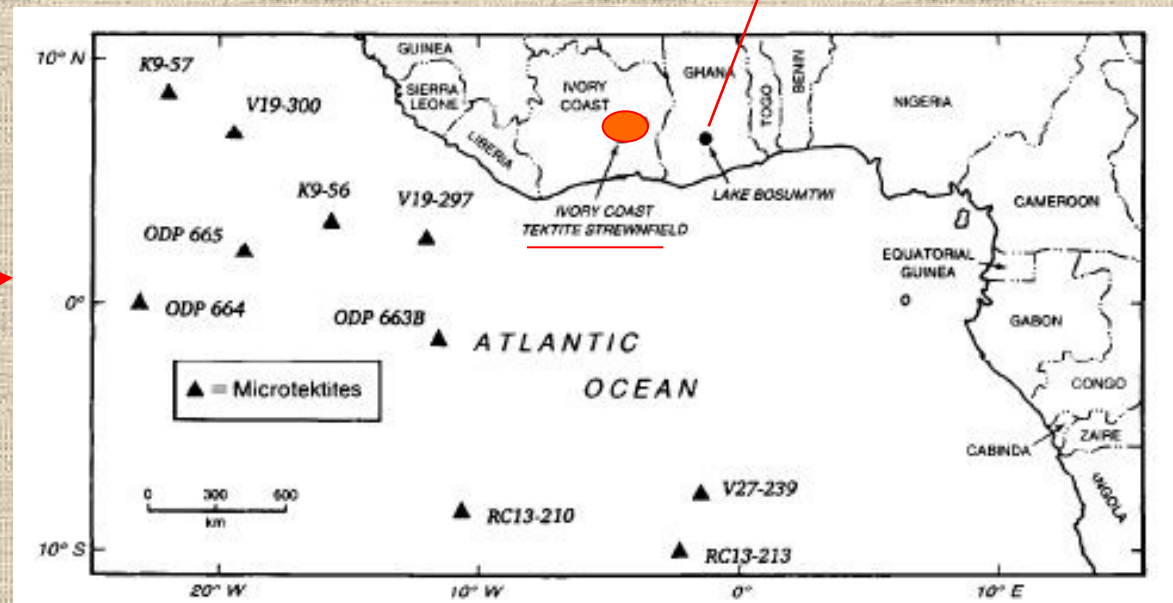
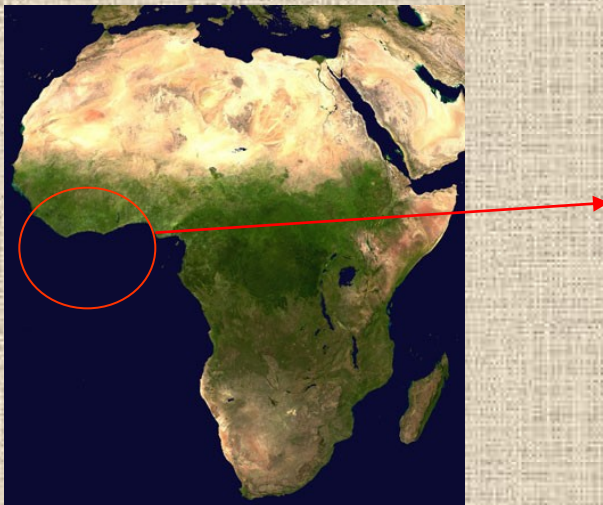
Pádová pole tektitů:

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



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Pobřeží slonoviny (Ivory coast, ivority):

Ivority se svým vzhledem podobají tektitům z australskoasijského pádového pole



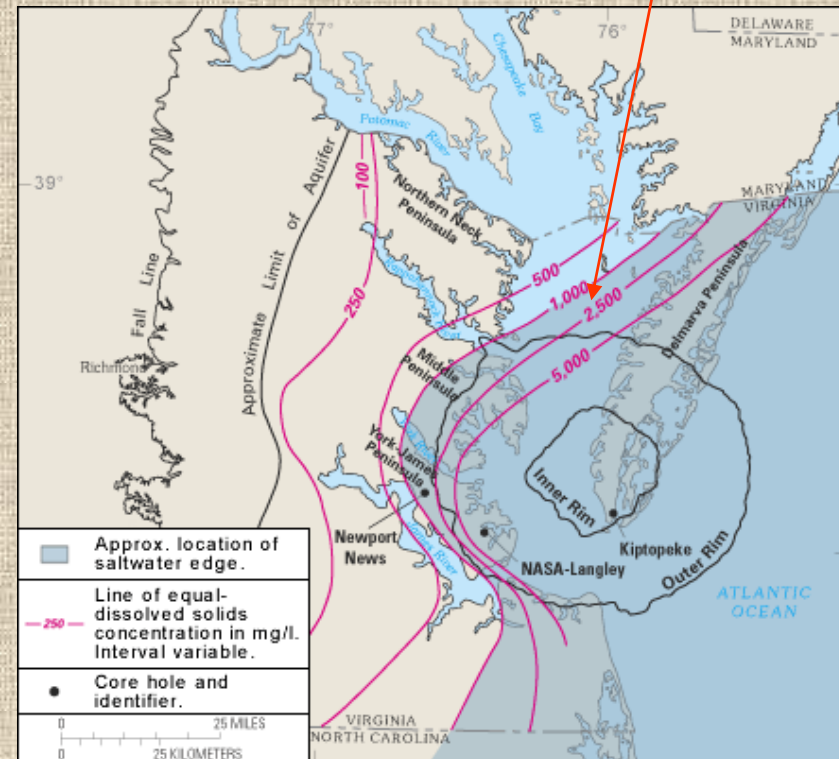
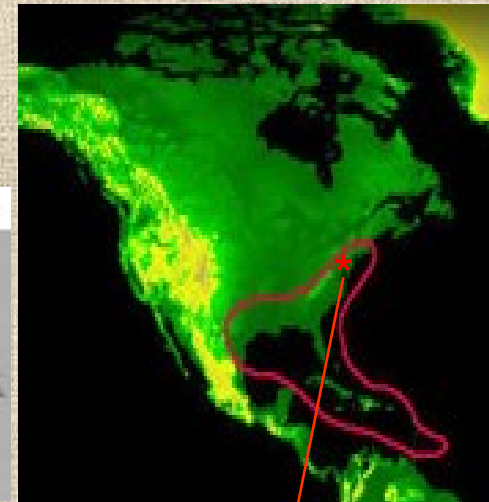
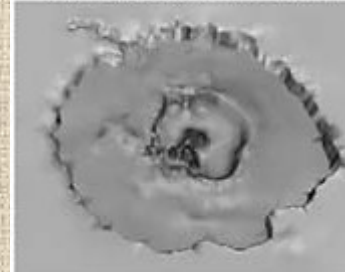
Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

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 nálevoé 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



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

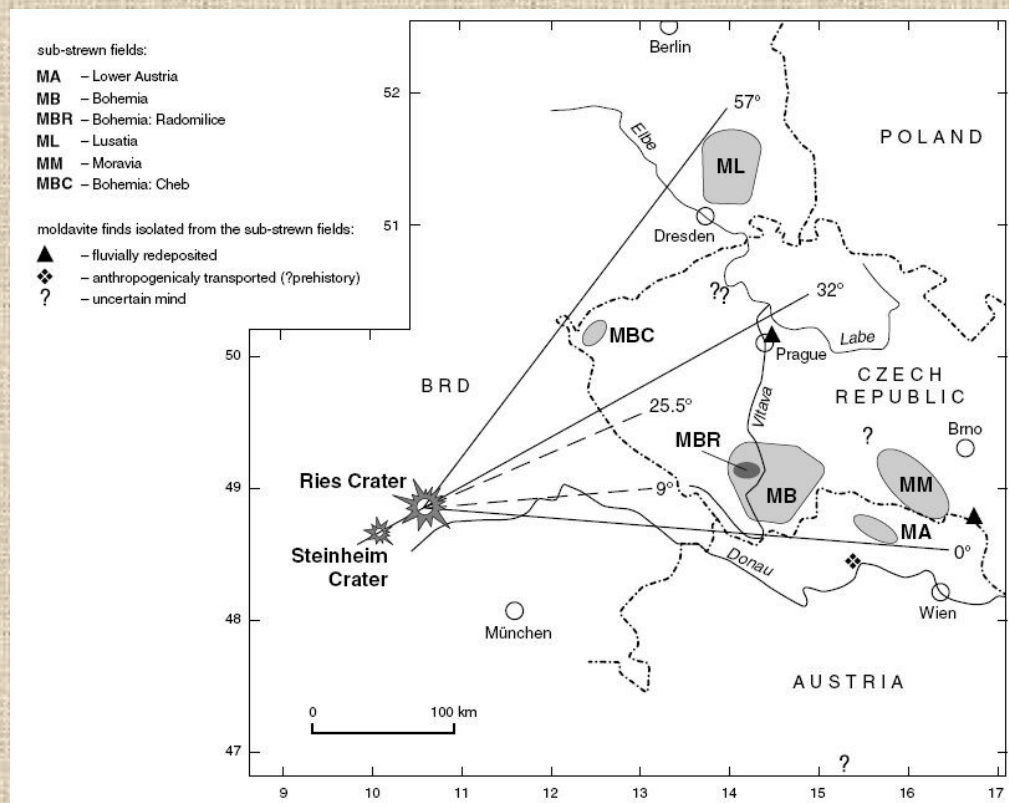
Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Vltavíny 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.

Vltavíny 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 vltavínů.

Nachází se na území přibližně 1 300 km² sv. od Drážďan. I když existuje jistá odlišnost vltavínů z jednotlivých oblastí (koroze, velikost, tvar, barva), předpokládáme jejich stejnou genezi (stejně stáří, podobný chemizmus).



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Model vzniku vltavínů:

červená-vltavíny

žlutá-přetavené horniny
(impaktní skla)

černá-nepřetavené horniny

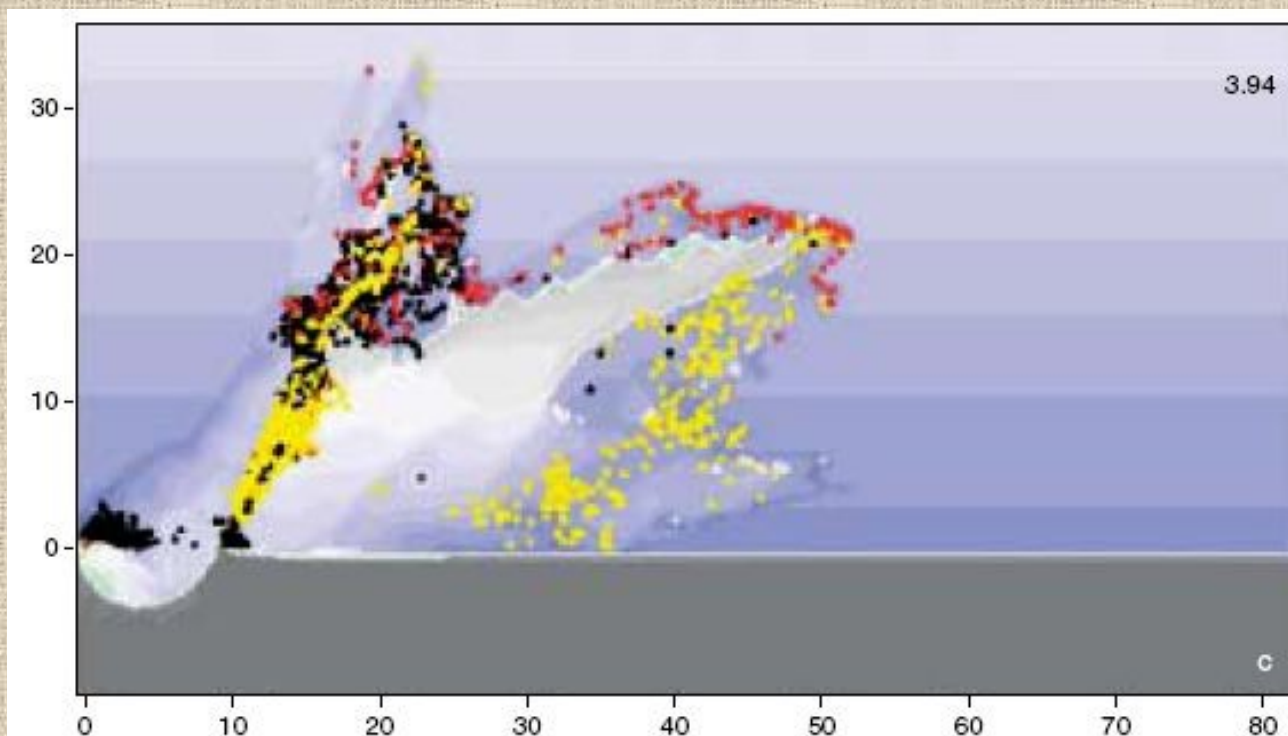


Figure 3. Tektite ejection model results for a 30° impact and impact speed of 20 km/s at a) 0.6 sec, b) 2 sec, and c) 3.9 sec. after the impact. ● – molten upper layer material (possible tektites); ● – molten target materials (not tektites); ● – solid target material.

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

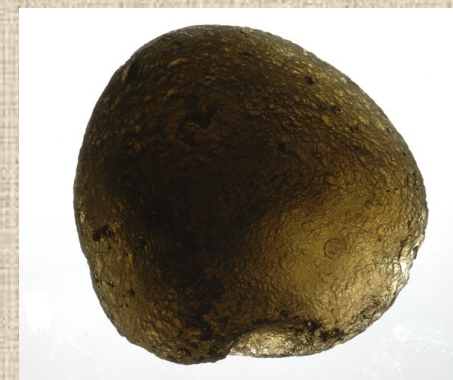
Středoevropské (vltavíny):

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

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

variabilita v chemickém složení

- jihočeské, moravské (méně CaO, MgO, SiO₂ vs. více Al₂O₃, FeO), radomilické (vysoký obsah SiO₂)

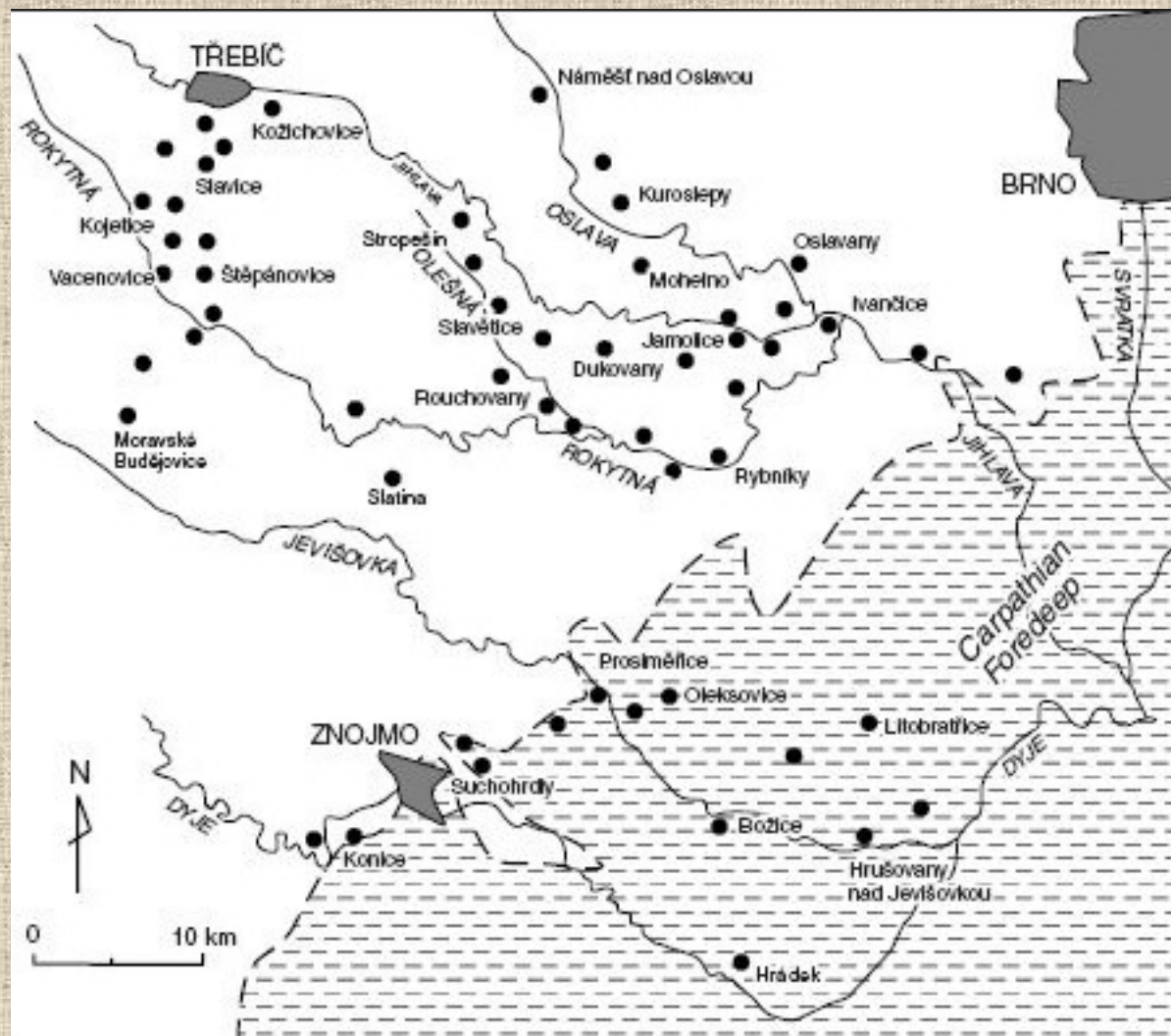


Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Moravské lokality

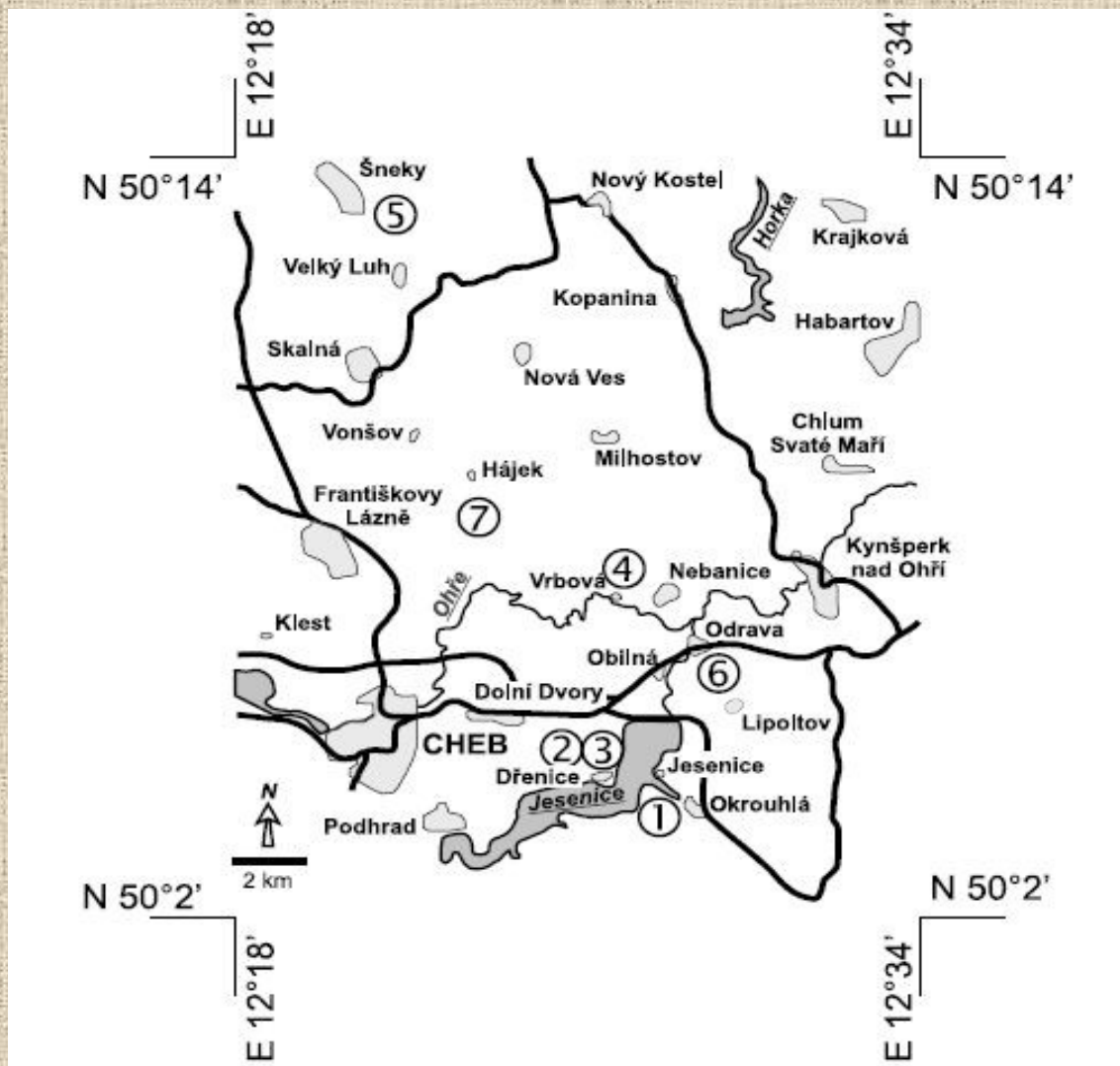


Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Chebská oblast



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 ₂ wt%	78.6	82.6	78.7	79.3	79.3	79.7
Al ₂ O ₃ 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
CuO + 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 ¹⁸ 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):

Chemizmus vltavínů jednotlivých oblastí podle Trnky a Houzara (1992):

	Southern Bohemia n = 43		Radomilice area n = 3		Cheb area n = 4		Western Moravia n = 46		Lusatian area n = 15		Austrian area n = 7	
	range	average	range	average	range	average	range	average	range	average	range	average
SiO ₂	71.90–81.00	78.60	80.00–84.70	82.60	78.46–79.89	78.97	74.91–83.10	79.28	77.20–84.10	79.30	78.10–85.10	79.73
TiO ₂	0.23–0.50	0.31	0.24–0.29	0.26	0.28–0.40	0.33	0.30–0.72	0.42	0.26–0.42	0.34	0.24–0.35	0.30
Al ₂ O ₃	8.96–12.70	10.10	7.27–9.36	8.22	8.38–10.13	9.17	9.27–13.18	11.01	8.94–11.80	10.50	8.10–10.60	9.81
Fe ₂ O ₃							0.09–0.72	0.33 (17)				
FeO							1.32–3.28	2.07 (17)				
FeO ^{tot}	1.28–2.86	1.62	1.00–1.41	1.18	1.34–1.86	1.54	1.40–3.50	2.26	1.32–2.51	1.84	1.02–1.78	1.54
MnO	0.05–0.20	0.09	0.05–0.07	0.06	0.12–0.25	0.22	0.02–0.13	0.13 (18)	0.03–0.11	0.06	0.03–0.08	0.06
MgO	1.52–3.73	2.33	1.60–2.26	1.91	1.86–2.75	2.34	0.88–2.11	1.39	1.06–2.73	1.75	1.10–2.03	1.72
CaO	2.05–4.48	2.98	1.80–2.82	2.29	2.36–4.56	3.60	0.61–3.17	1.64	0.93–3.85	2.00	1.46–3.30	2.41
Na ₂ O	0.25–0.60	0.42	0.19–0.32	0.24	0.31–0.59	0.41	0.27–1.08	0.57	0.28–0.70	0.47	0.19–0.49	0.39
K ₂ O	2.88–3.77	3.40	2.20–2.97	2.53	2.61–3.85	3.24	2.60–3.81	3.38	3.06–3.75	3.46	2.62–3.90	3.49
P ₂ O ₅							0.01–0.03	0.02 (4)				
refractive index	1.487–1.502	1.494	1.481–1.491	1.486		1.490	1.485–1.492	1.489	1.481–1.495	1.490		
density	2.33–2.44	2.36	2.32–2.37	2.34		2.36	2.33–2.37	2.35	2.31–2.38	2.35		
References	Lange (1995)		Lange (1995)		Bouška et al. (1995), Skála and Čada (2002)		Lange (1995), Trnka and Houzara (1991)		Lange (1995)		Koeberl et al. (1988)	

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

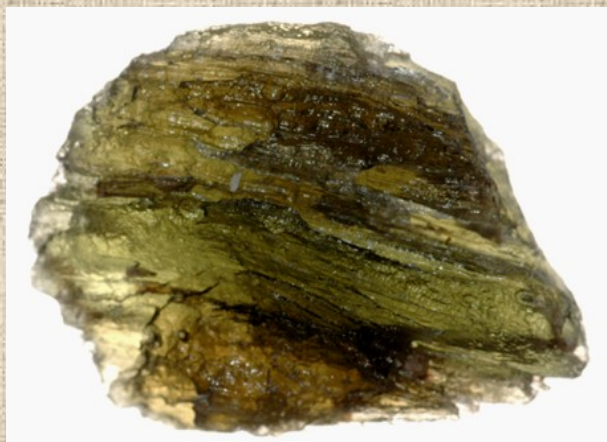
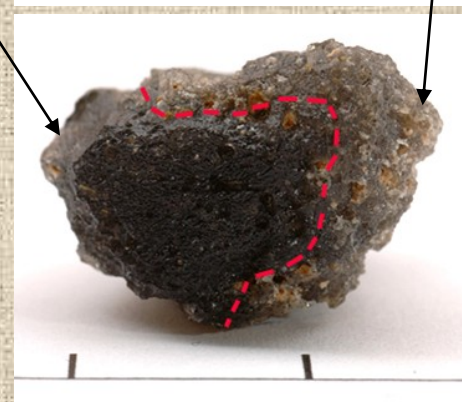
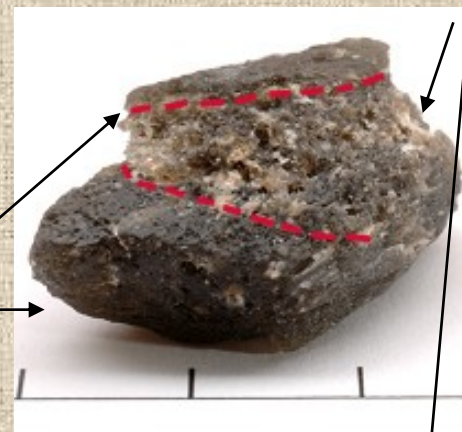
Typ Muong Nong mezi vltavíny:

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

barevné šlíry – vícebarevné vltavíny (3)

uzavřeniny více odolného skla (4) – velká chemická heterogenita

(1)



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

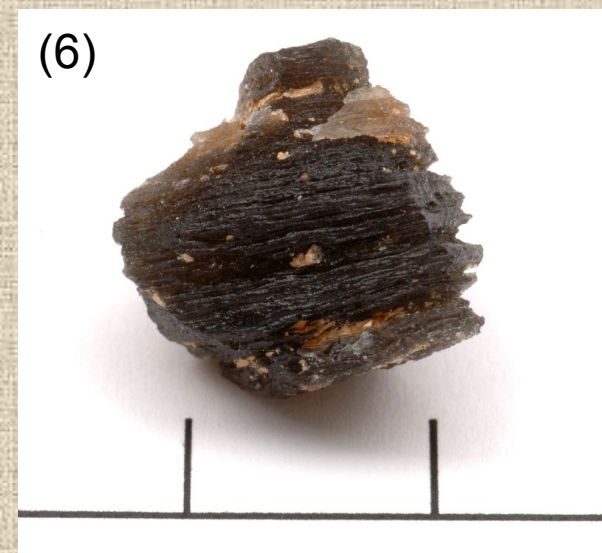
Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Hojné bubliny – (0,0X – X mm rozsah), někdy zploštělé, kanálky (5)

Dominují tmavé odstíny jako hnědá, hnědo-černá, hnědo-zelená (6)

Díky velké strukturní heterogenitě často opaktní (7)



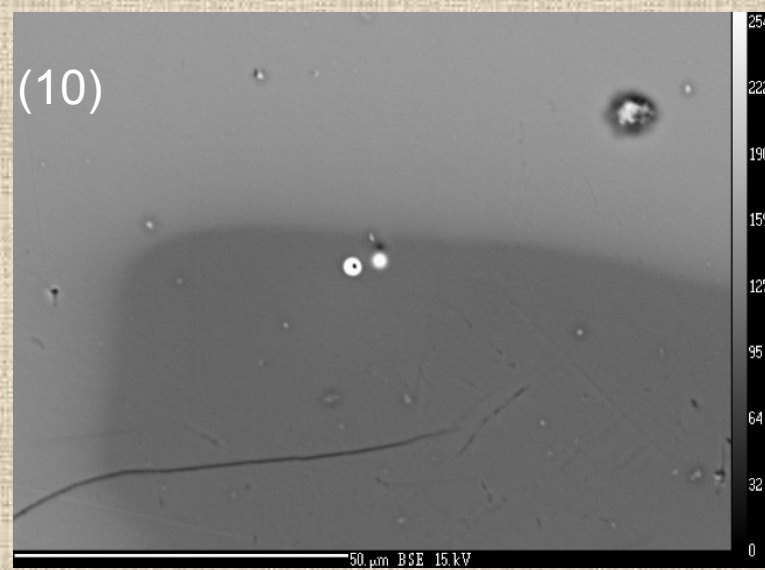
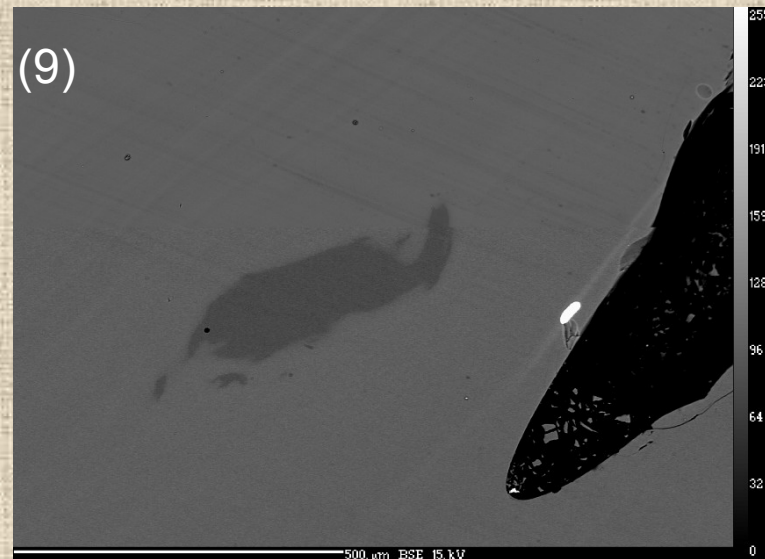
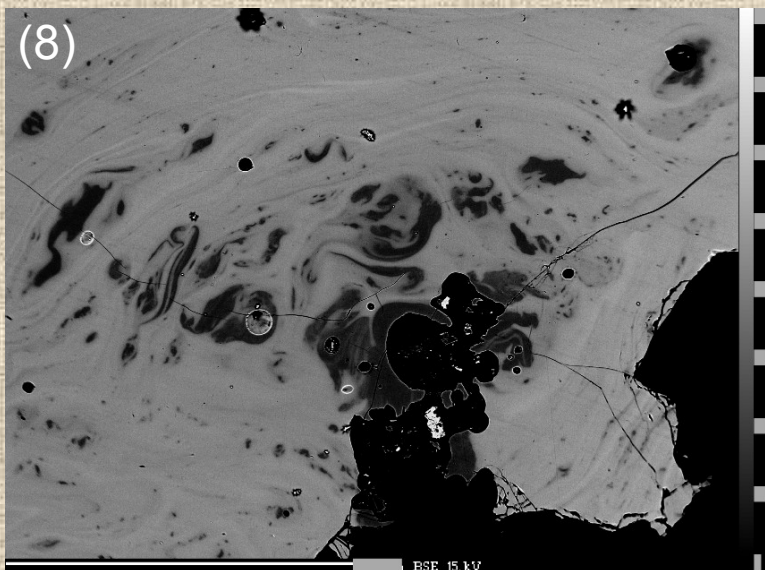
Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Velké množství lechatelieritových inkluzí (8),
Zr uzavřeniny (9),
apatitová inkluze (10)



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

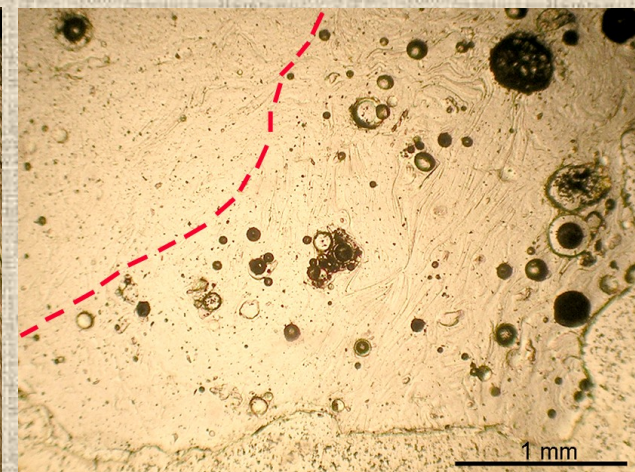
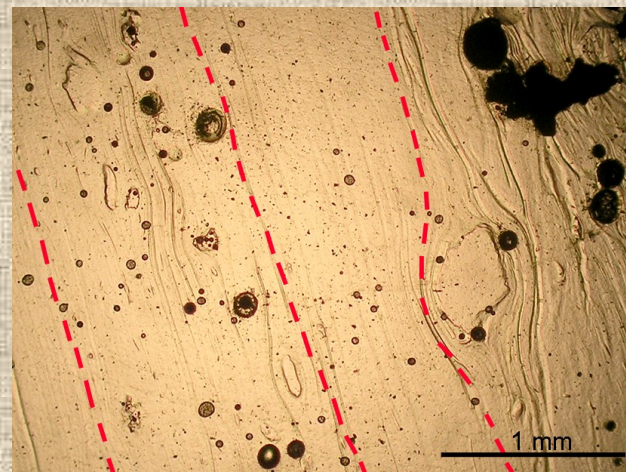
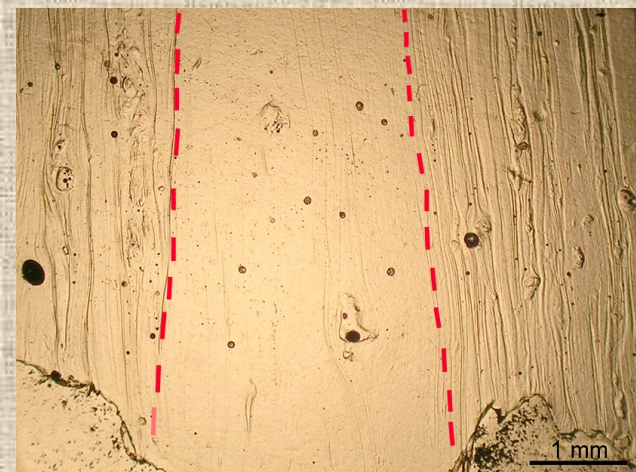
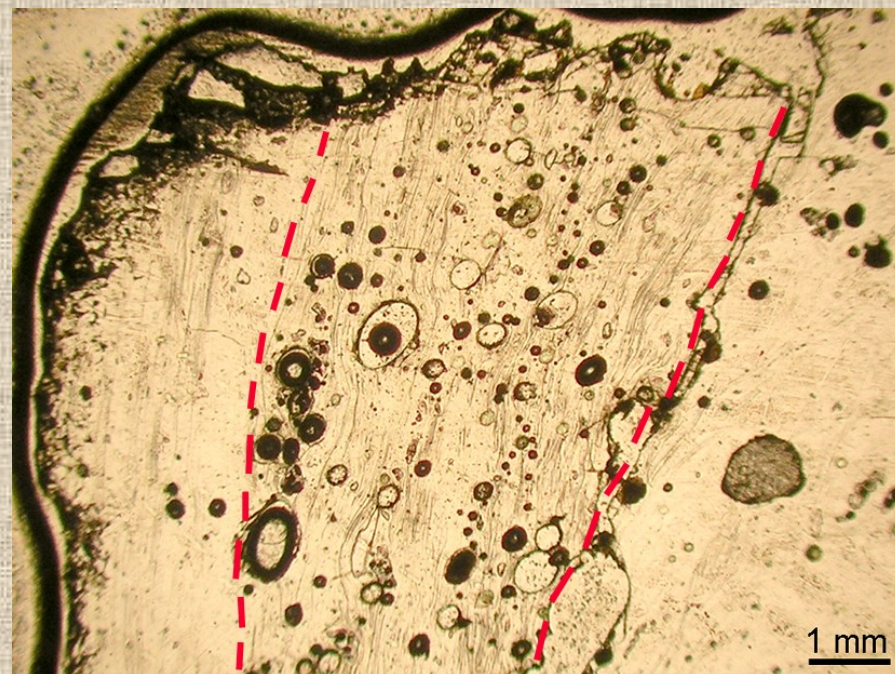
Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Porézní vrstva obsahuje více bublin a lechatelieritových inkluzí než kompaktní vrstva

Více porézní vrstva je méně odolná vůči zvětrávání



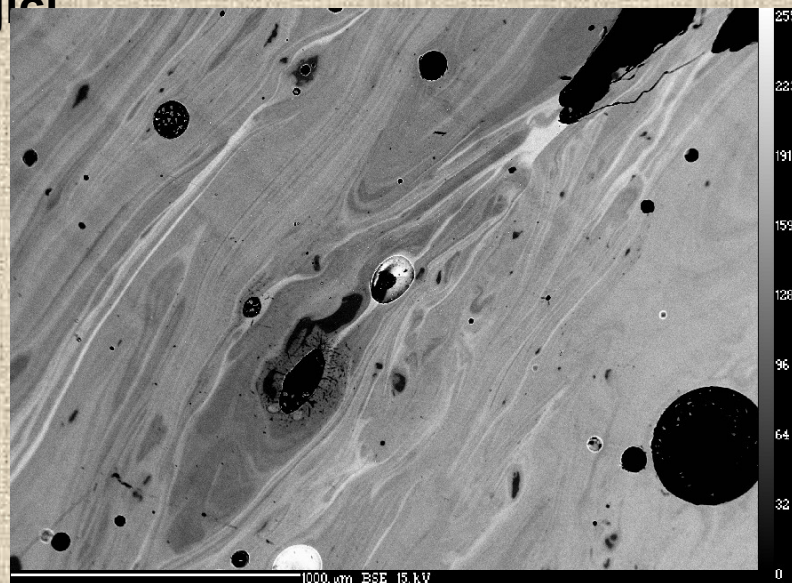
Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

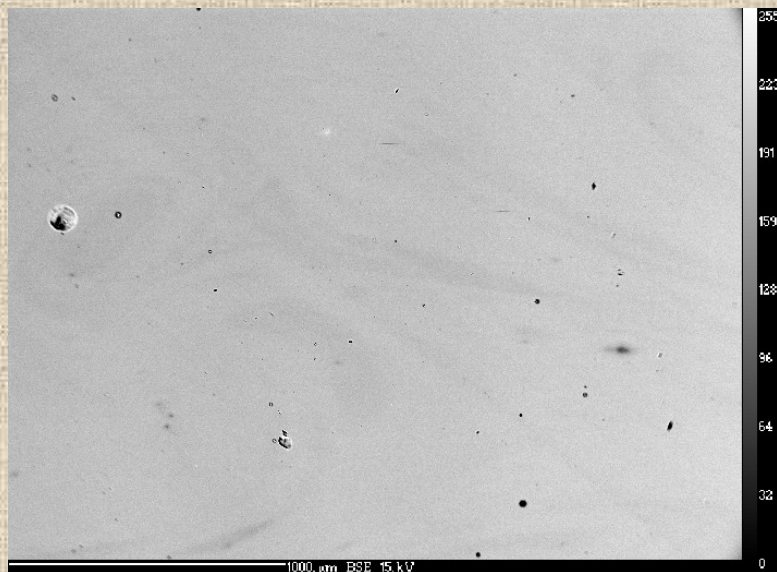
Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Mnohem vyšší chemická heterogenita než u běžných vltavínů typu splash form



Vltavín typu Muong Nong v BSE



Běžný vltavín typu Splash form v BSE

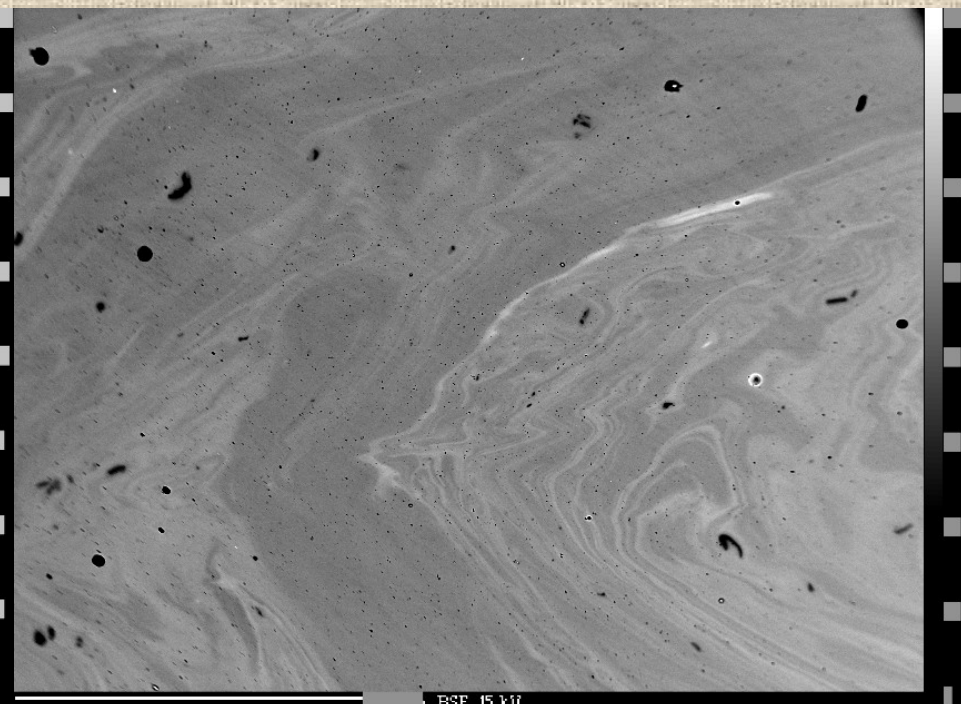
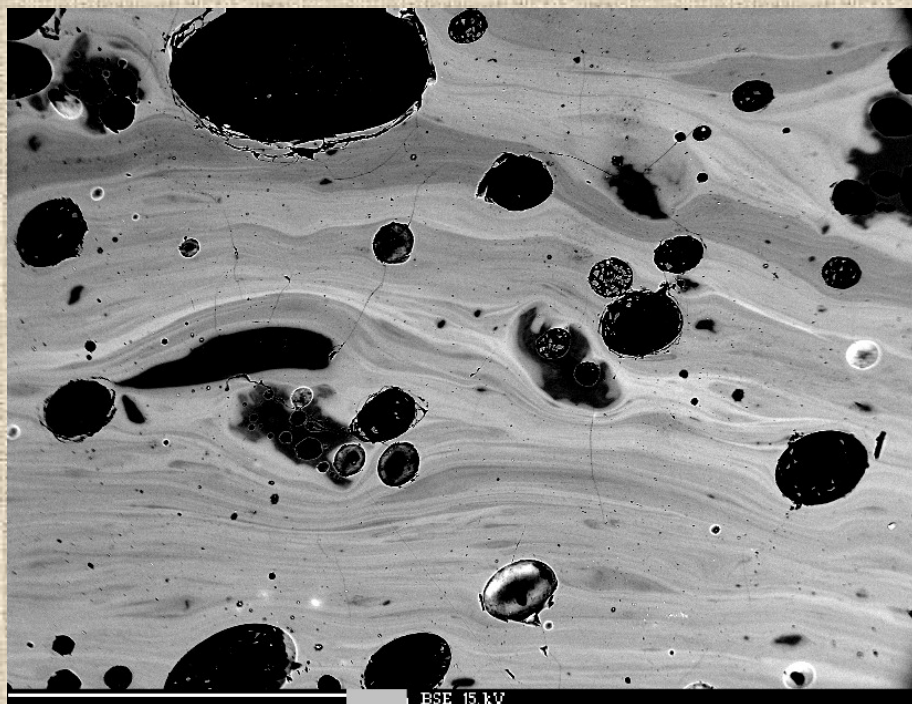
Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Poréznější vs. kompaktnější vrstva vltavínu
typu Muong Nong



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

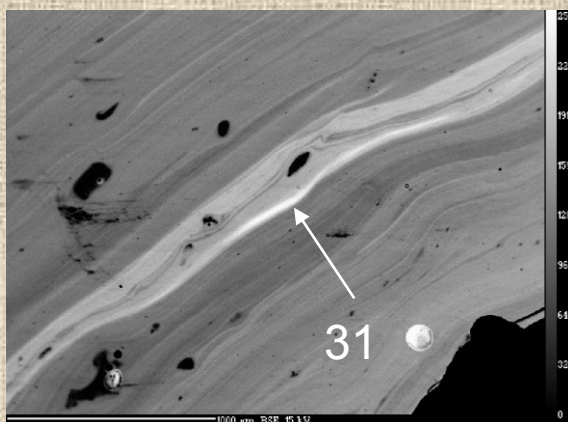
Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

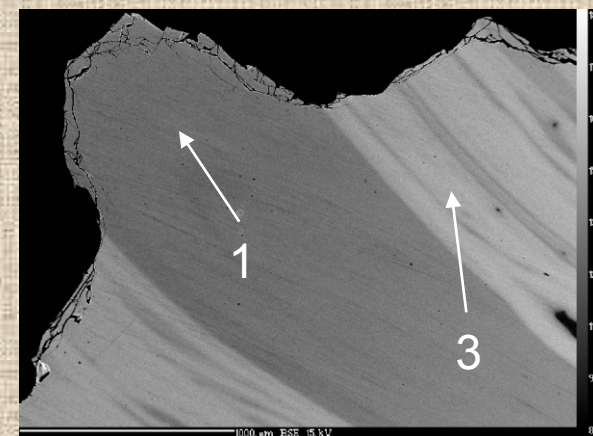
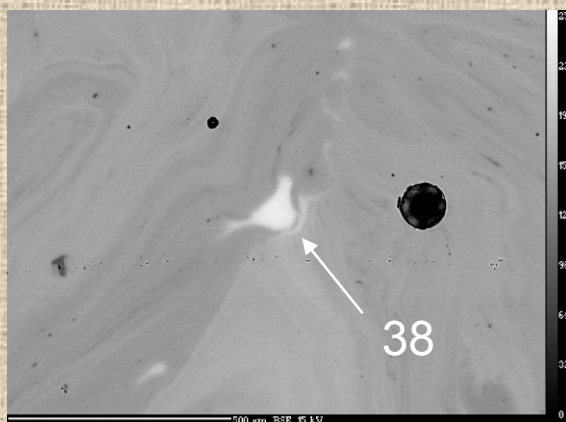
Výrazné heterogenity vltavínu typu Muong Nong

Analysis	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	K ₂ O	Total
31	66.354	5.065	2.752	15.687	6.009	0.726	2.719	100.114
38	63.644	14.956	3.532	11.451	3.699	0.458	1.201	99.418
1	80.213	2.524	1,76	9.172	1.492	0.257	3.631	99.049
3	72.402	1.821	2.113	13.988	3.352	0.576	4.234	99.453

High content of FeO, Al₂O₃ and CaO



High content of CaO, MgO and FeO



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

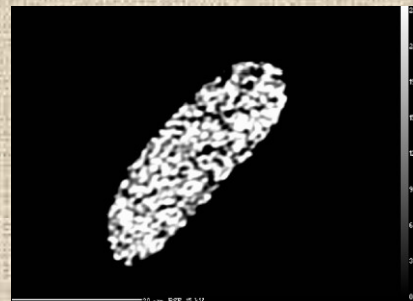
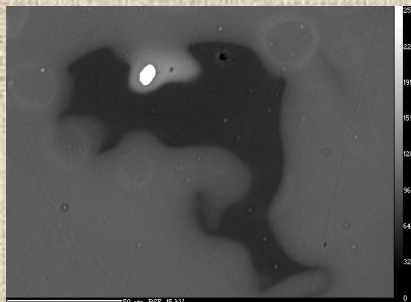
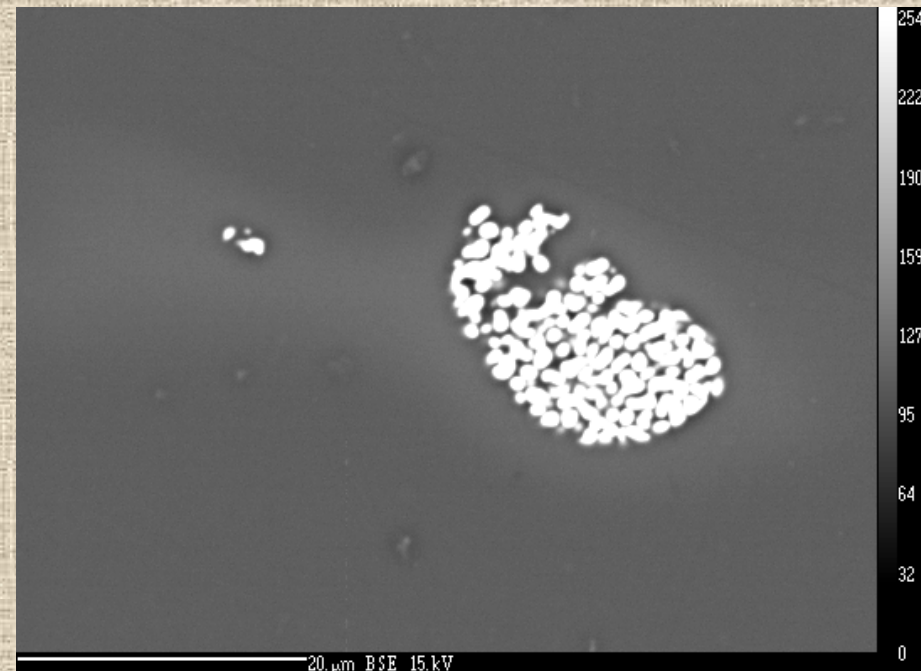
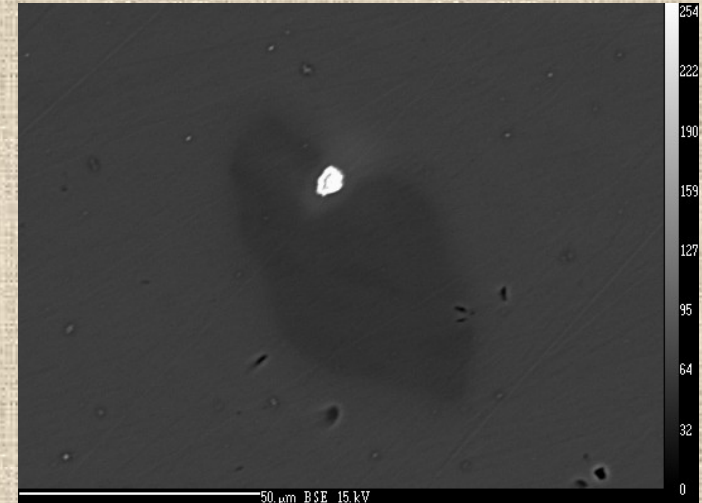
Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong mezi vltavíny:

Zr fáze v Muong Nong typu vltavínu

- nejspíš baddelleyit (produkt rozpadu zirkonu)
- granulární textura
- velikost 2 – 30 μm
- někdy v lechatelieritových inkluzích – lepší možnost k zachování díky vyšší hustotě lechatelieritů



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong vs. splash form u vltavínů:

Sample		N	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	TiO ₂	Na ₂ O
1	average	23	81,24	1,30	1,15	9,82	1,49	3,85	0,26	0,45
	σ		2,71	0,85	0,67	0,88	0,48	0,20	0,06	0,07
2	average	24	77,33	1,22	1,11	12,45	2,95	3,70	0,47	0,67
	σ		5,83	1,17	0,59	2,97	1,38	0,33	0,21	0,10
3	average	37	78,16	3,68	2,46	9,93	1,55	3,25	0,26	0,31
	σ		3,67	2,31	1,38	0,81	0,61	0,60	0,06	0,06
4	average	56	78,71	1,83	1,36	10,65	2,07	3,58	0,36	0,54
	σ		3,61	2,59	0,80	0,98	0,52	0,50	0,06	0,16
7	average	42	79,47	1,05	1,00	10,82	1,97	3,79	0,35	0,69
	σ		2,39	0,37	0,29	1,22	0,41	0,10	0,08	0,12
10C	average	39	79,98	1,59	1,14	10,53	2,00	3,68	0,33	0,58
	σ		3,02	1,77	0,53	0,90	0,52	0,34	0,06	0,10
10P	average	39	78,75	0,52	0,77	12,21	2,89	3,77	0,45	0,58
	σ		3,81	1,05	0,35	2,21	0,89	0,24	0,14	0,09
20 (SF)	average	23	81,35	2,52	1,79	8,81	1,39	3,46	0,26	0,43
	σ		0,79	0,28	0,21	0,20	0,05	0,08	0,02	0,06
all MN	average	283	79,05	1,63	1,30	10,88	2,12	3,64	0,35	0,55
	σ		3,74	1,98	0,90	1,74	0,86	0,42	0,12	0,16

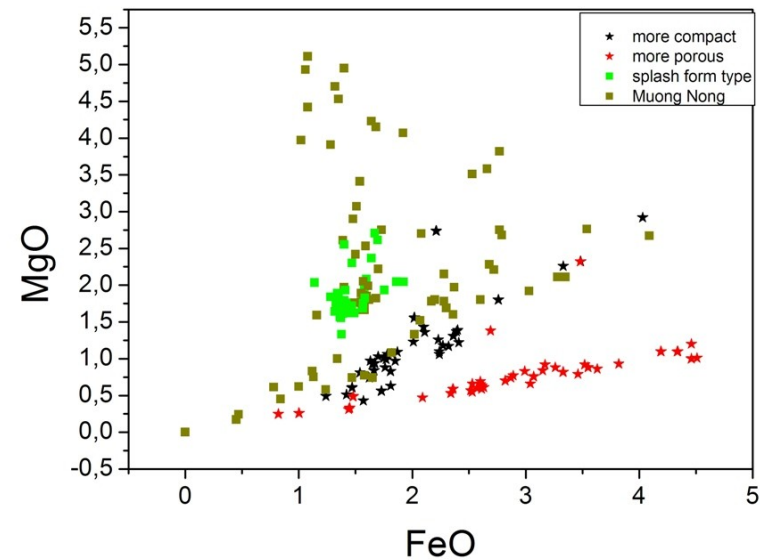
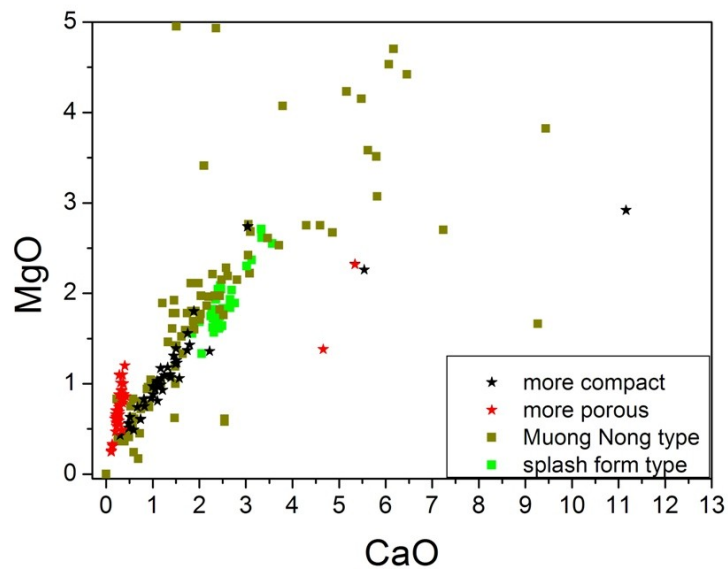
Vybraná data pro studované vltavíny, hodnoty jsou v hm%, N je počet analýz.

Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong vs. splash form u vltavínů:



Impaktní produkty - sklo nebo sklo obsahující

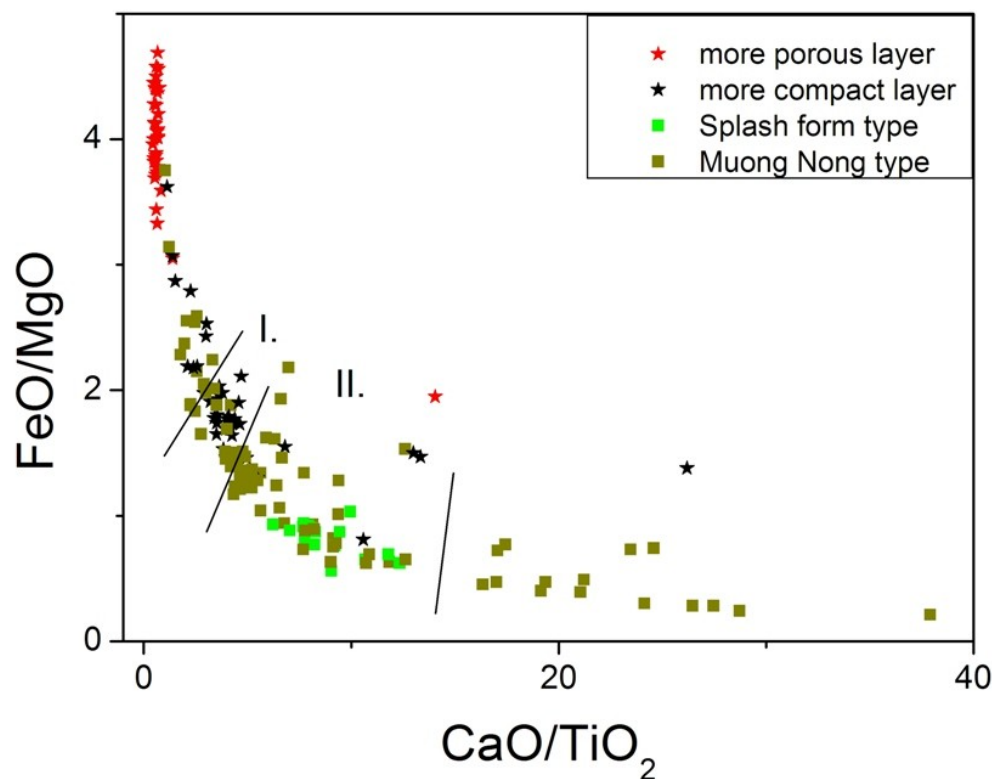
Pádová pole tektitů:

Středoevropské (vltavíny):

Typ Muong Nong vs. splash form u vltavínů:

Vyznačené oblasti
podle Koeberla (1986):

I. Moravská oblast,
II. Jihočeská oblast



Metody studia přírodních skel

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

Metody studia přírodních skel

Polarizační mikroskop

Heterogenita

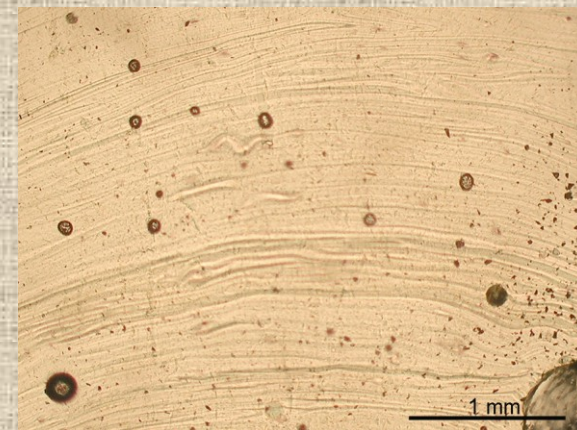
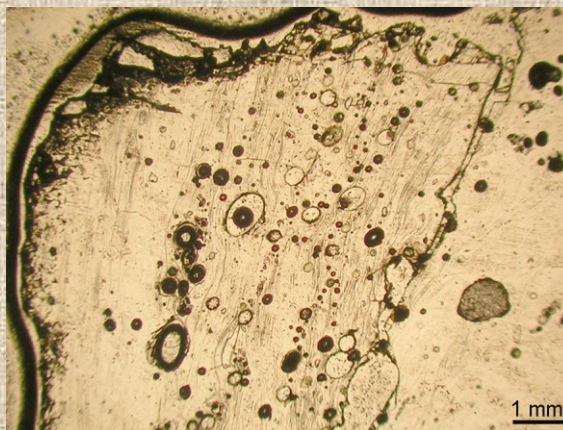
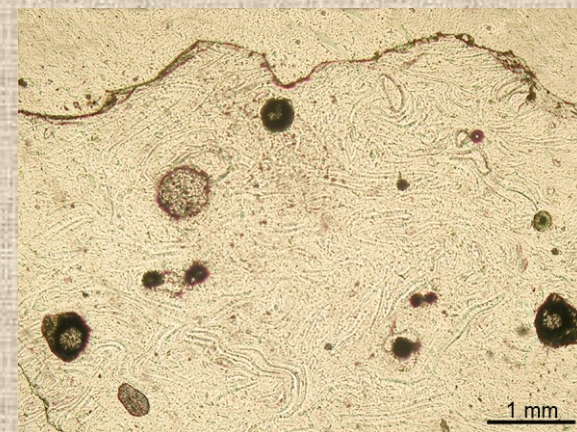
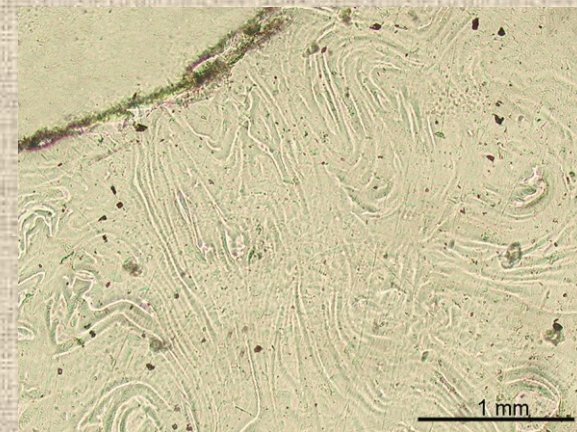
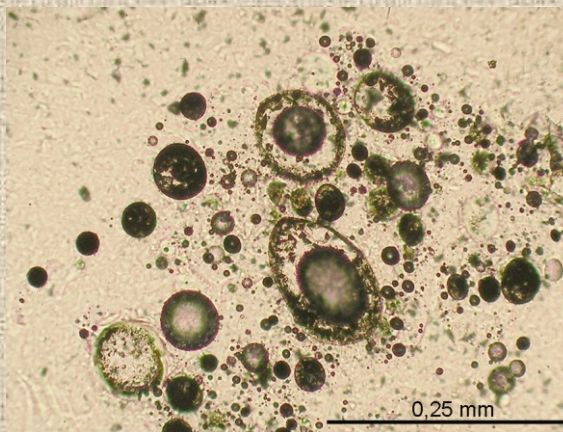
Fluidální stavba

Obsah bublin, tvar, velikost

Střídání vrstev

Uzavřeniny (lechatelierity)

Odolnější sklovina (vyčnívá na povrch)

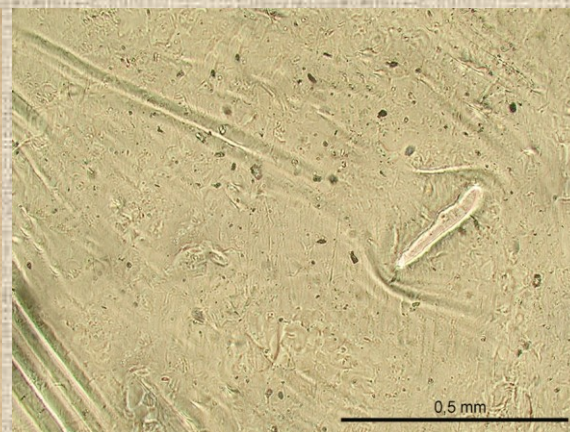
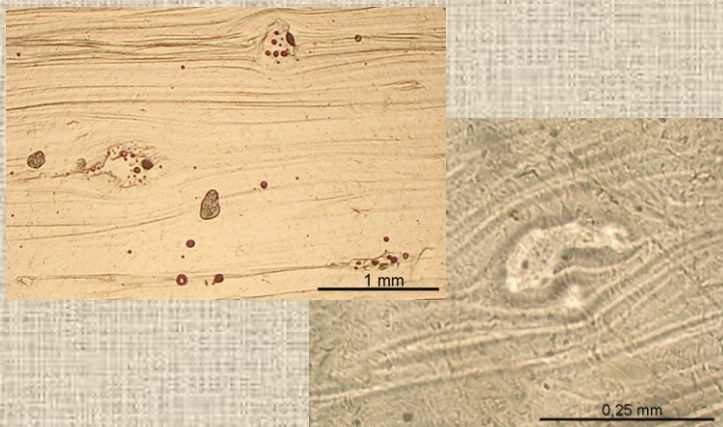
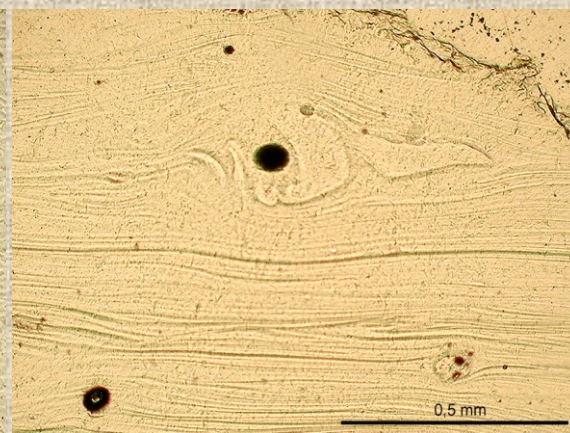
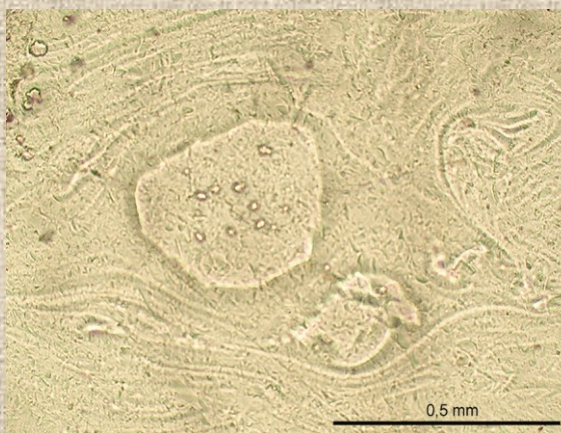
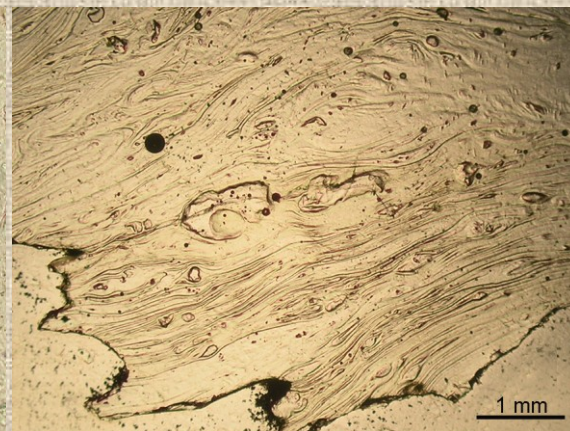


Metody studia přírodních skel

Polarizační mikroskop

Lechatelierity

- inkluze o složení přibližně 97-100 hm% SiO_2 , pochází roztavením křemenných zrn matečného materiálu
- mohou mít částečně zachovaný tvar zrna, ale většinou jsou tvarované tokem taveniny (hádkovité, spirálovité, nepravidelně tvarované, někdy zpěněné)

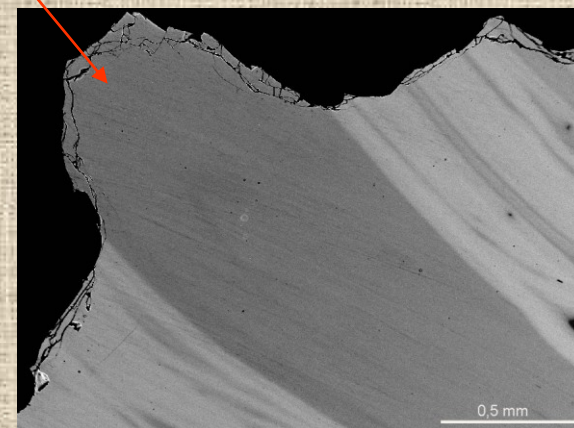
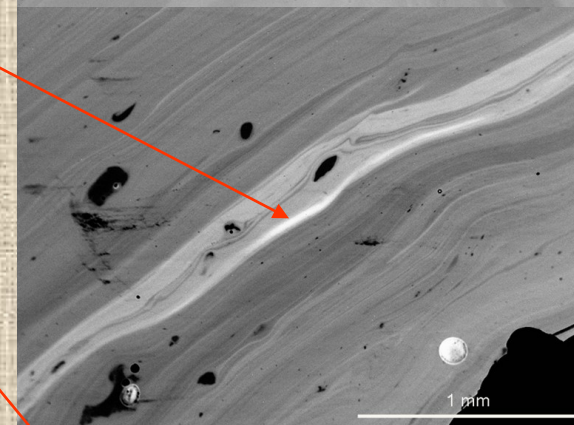
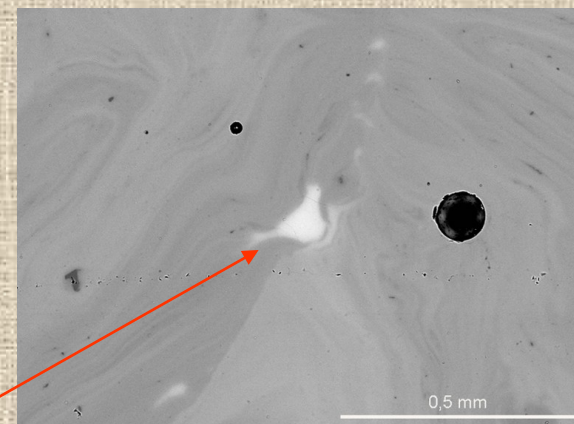
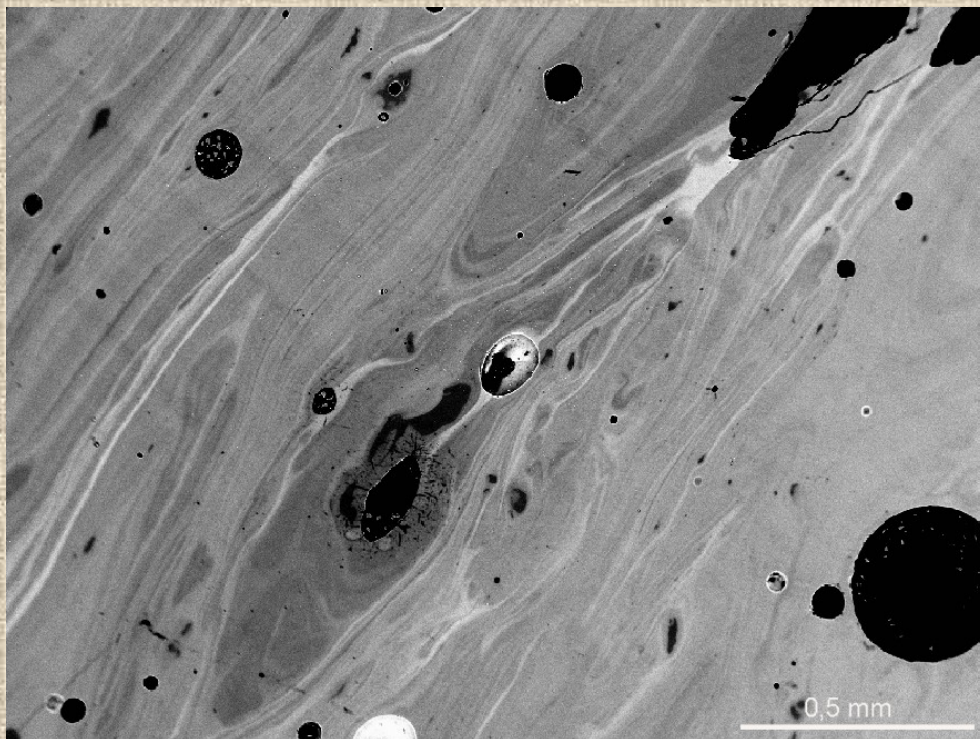


Metody studia přírodních skel

Elektronová mikrosonda

EI. mikrosonda – na první pohled je patrná chemická heterogenita vzorku

Šlíry odlišného chemického složení (např. vysoký obsah CaO, šlíry odolnějšího skla-vyšší obsah SiO₂ než okolí)

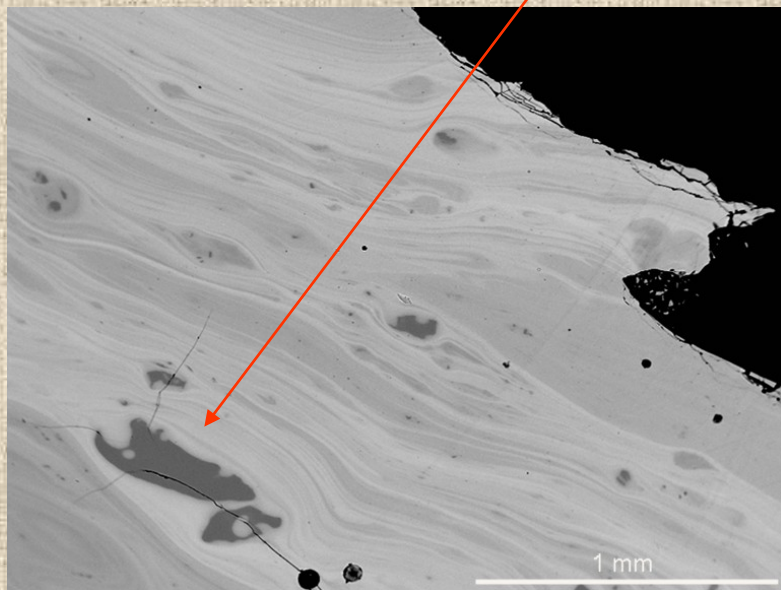
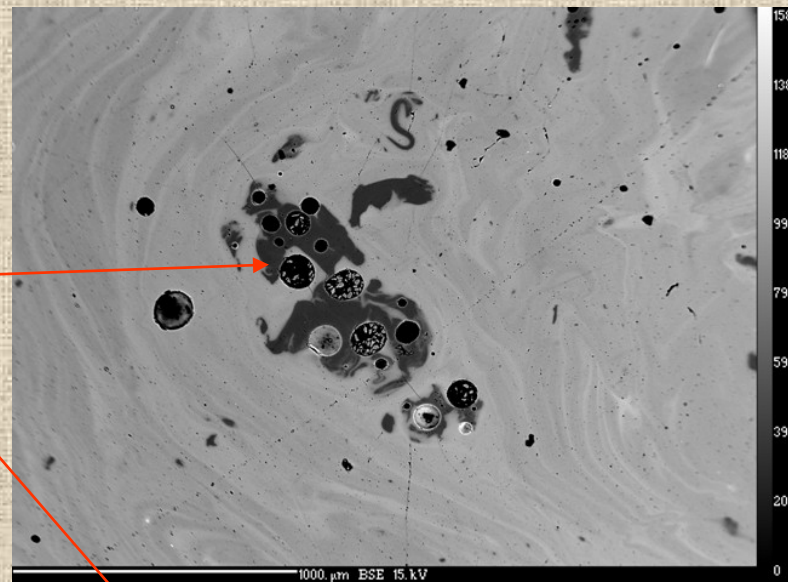


Metody studia přírodních skel

Elektronová mikrosonda

Lechatelierity

- v el. mikrosondě jsou to tmavé uzavřenéiny

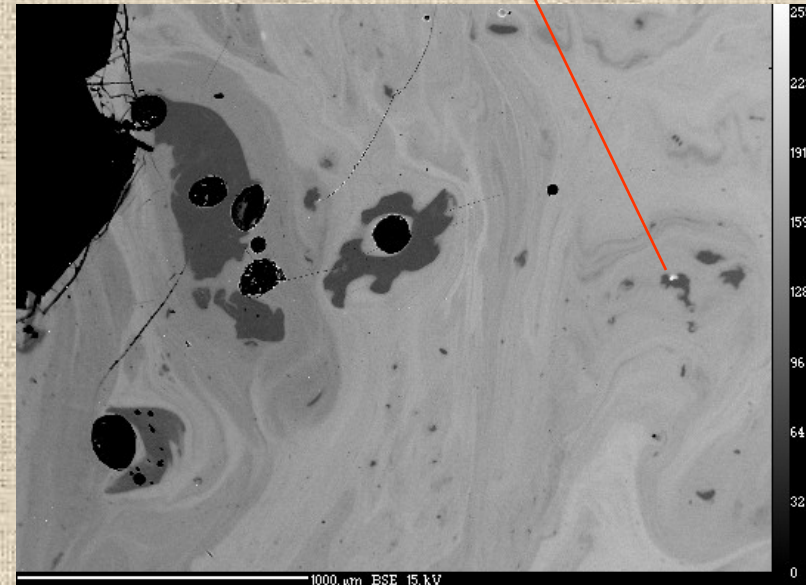
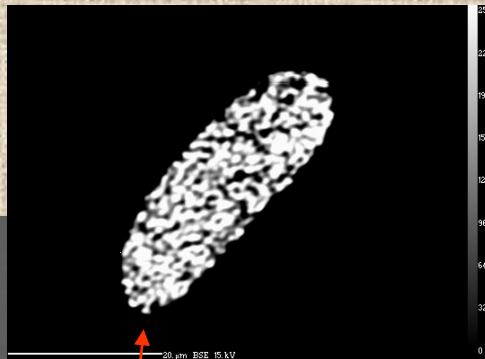
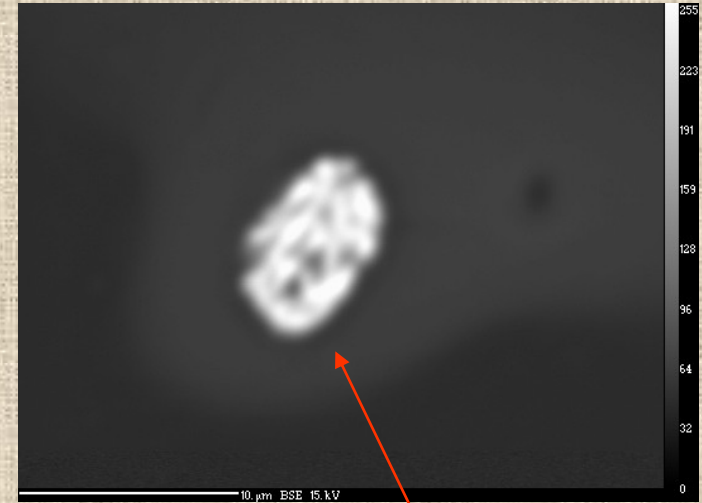


Metody studia přírodních skel

Elektronová mikrosonda

Identifikace inkluzí

- Zr inkluze (baddelleyit), apatit u vltavínů, u ostatních skel křemen, coesit, monazit, korund apod.



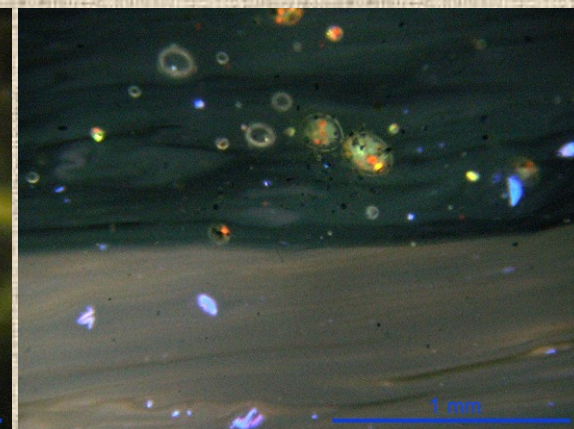
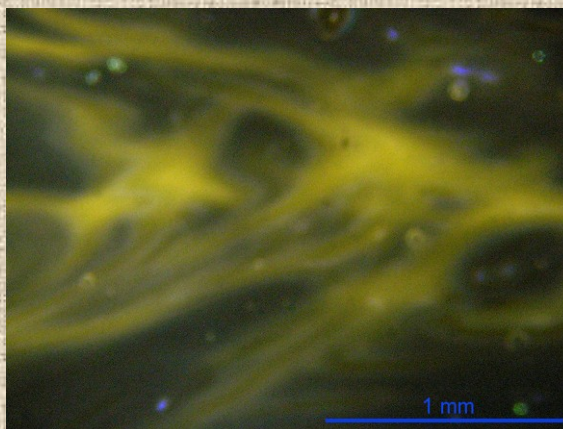
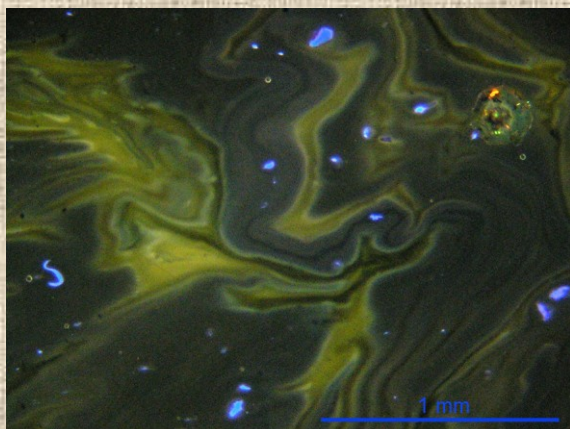
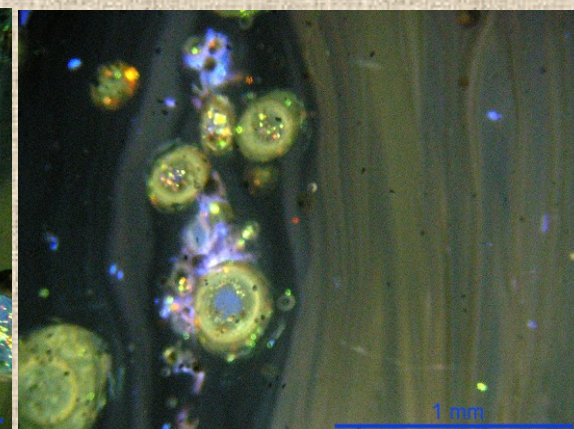
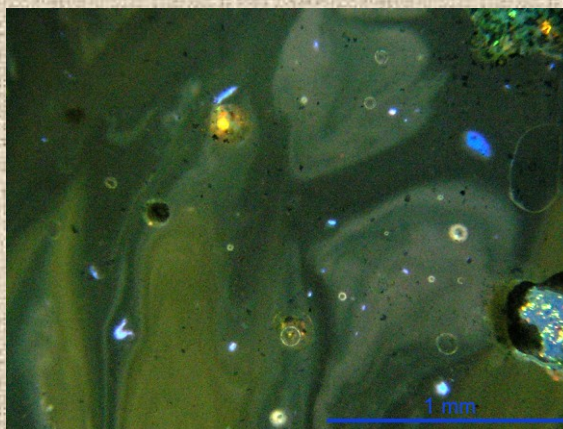
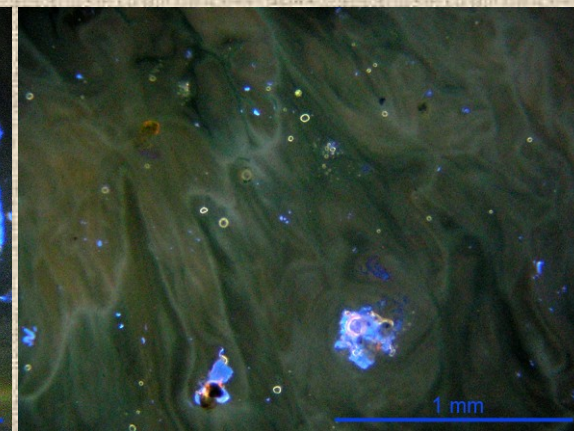
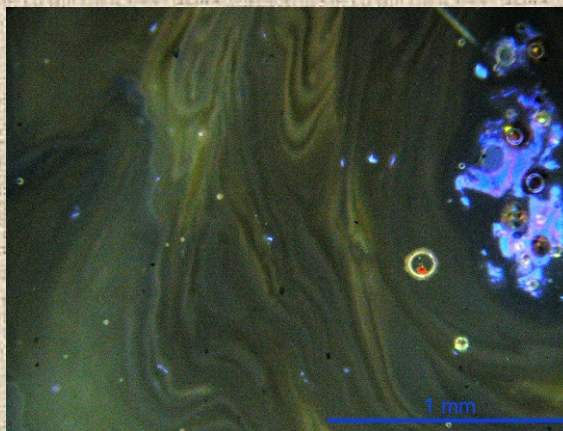
Zr fáze u vltavínů,
foto: L. Dziková

Metody studia přírodních skel

Katodová luminiscence

Luminiscence je vybuzená proudem elektronů (katoda)

V katodové luminiscenci je dobře patrná heterogenita (zejména nabození vzácnými prvky)

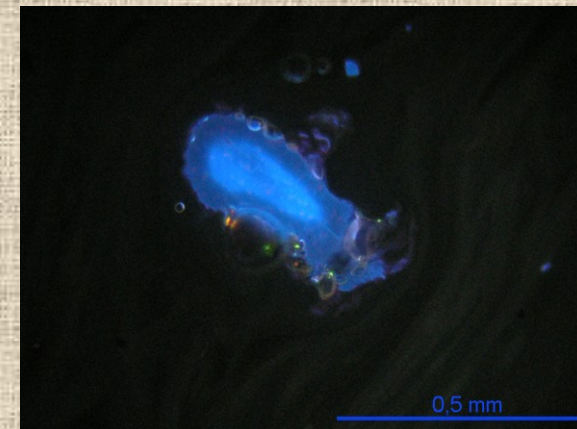
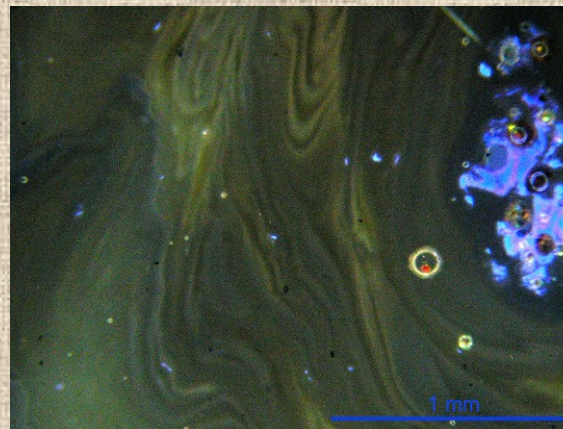
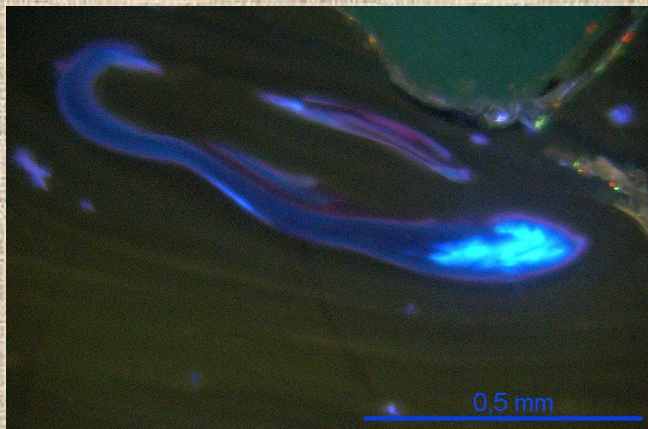
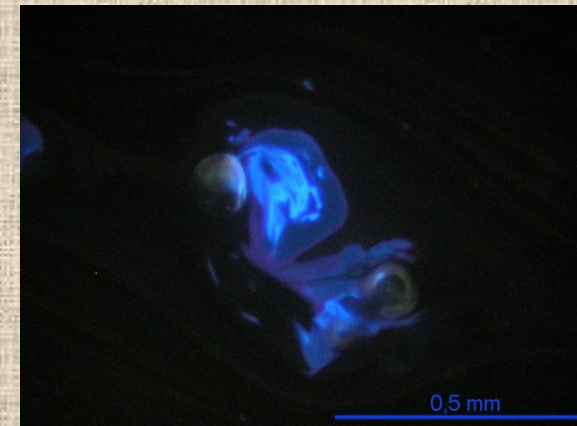
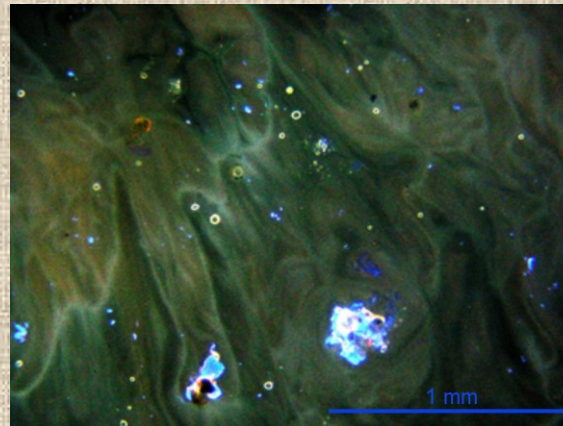
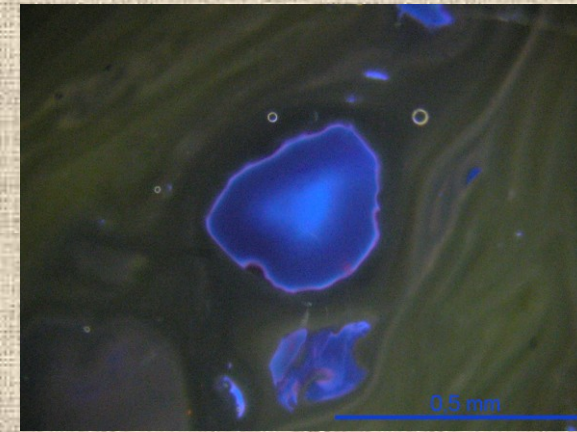


Metody studia přírodních skel

Katodová luminiscence

Lechatelierity

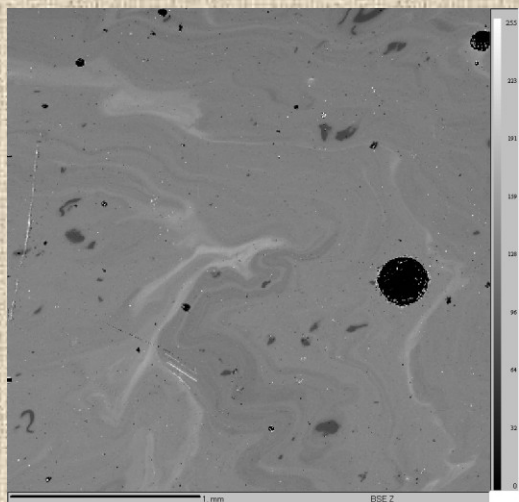
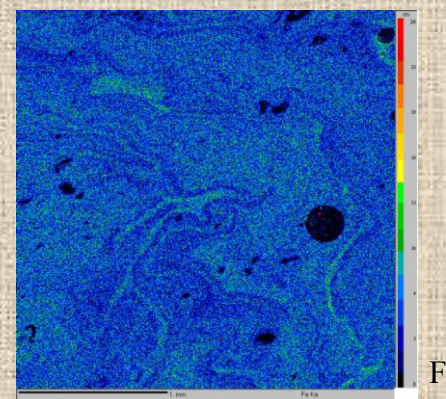
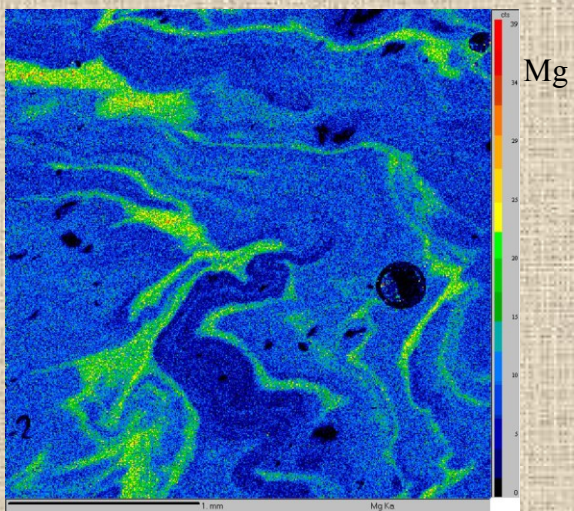
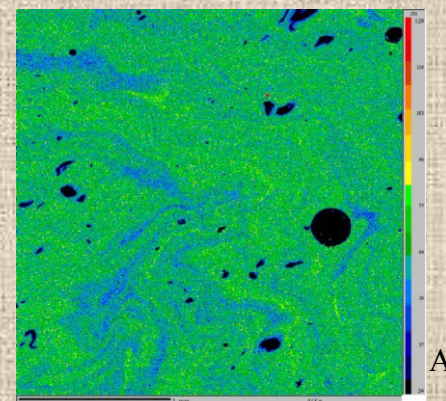
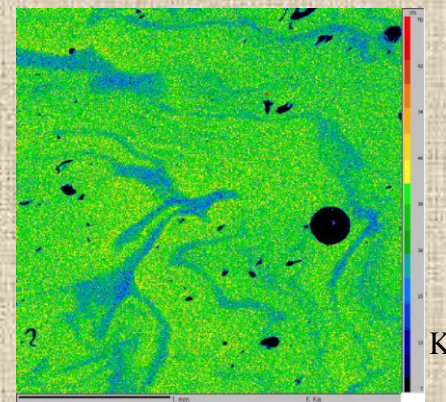
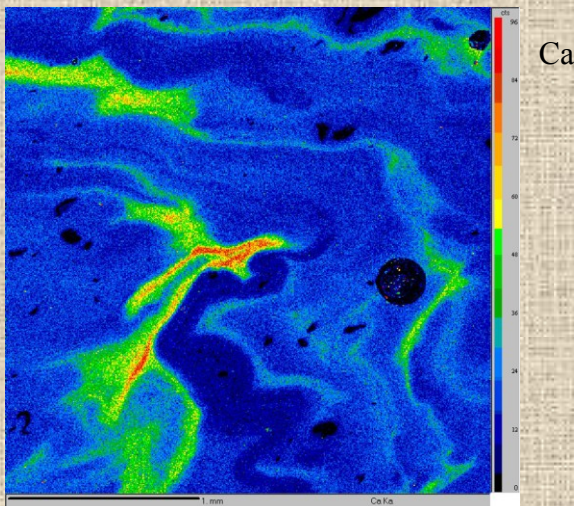
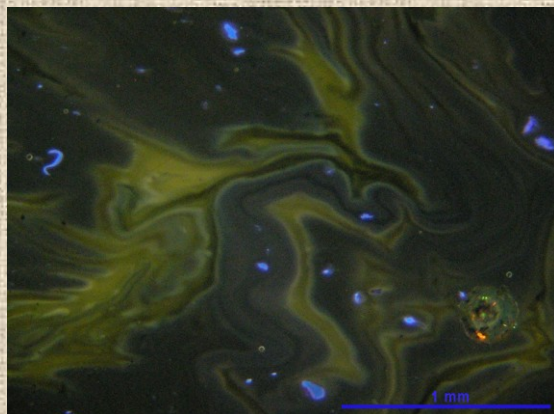
modrá luminiscence, někdy
s náznaky růžové
někdy zonální



Metody studia přírodních skel

Katodová luminiscence + el. mikrosonda

Distribuční mapy



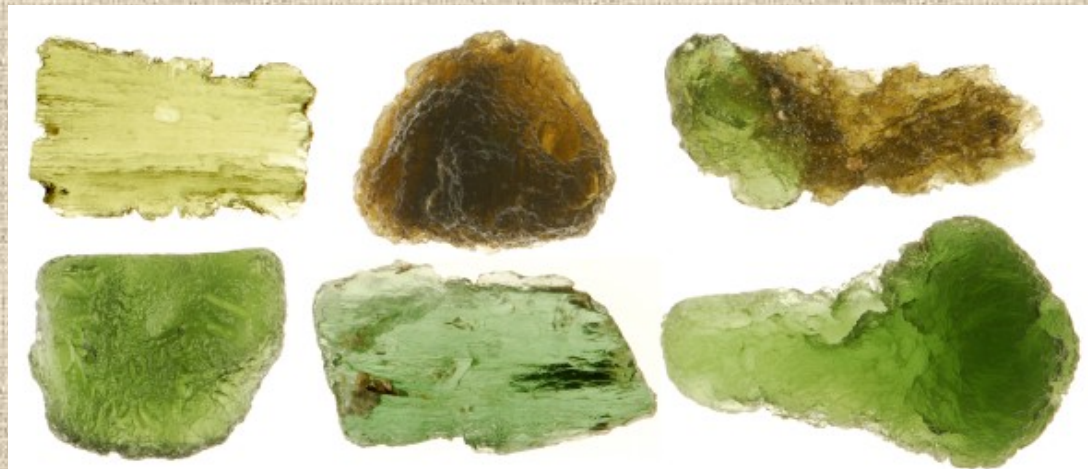
Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev

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

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

- jedovatě zelená hodně CaO, MgO, Na₂O
- bledě zelená hodně Na, málo Al₂O₃, FeO, Fe₂O₃
- světle zelená hodně MgO, Fe₂O₃, málo Na₂O
- lahvově zelená hodně FeO, CaO, málo Fe₂O₃, MgO
- olivově zelená hodně Fe₂O₃
- hnědá hodně FeO, Al₂O₃, málo Na₂O



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Pro vnímání barvy je zapotřebí 3 komponent:

světelného zdroje

vnímaný objekt

pozorovatel



Metody studia přírodních skel

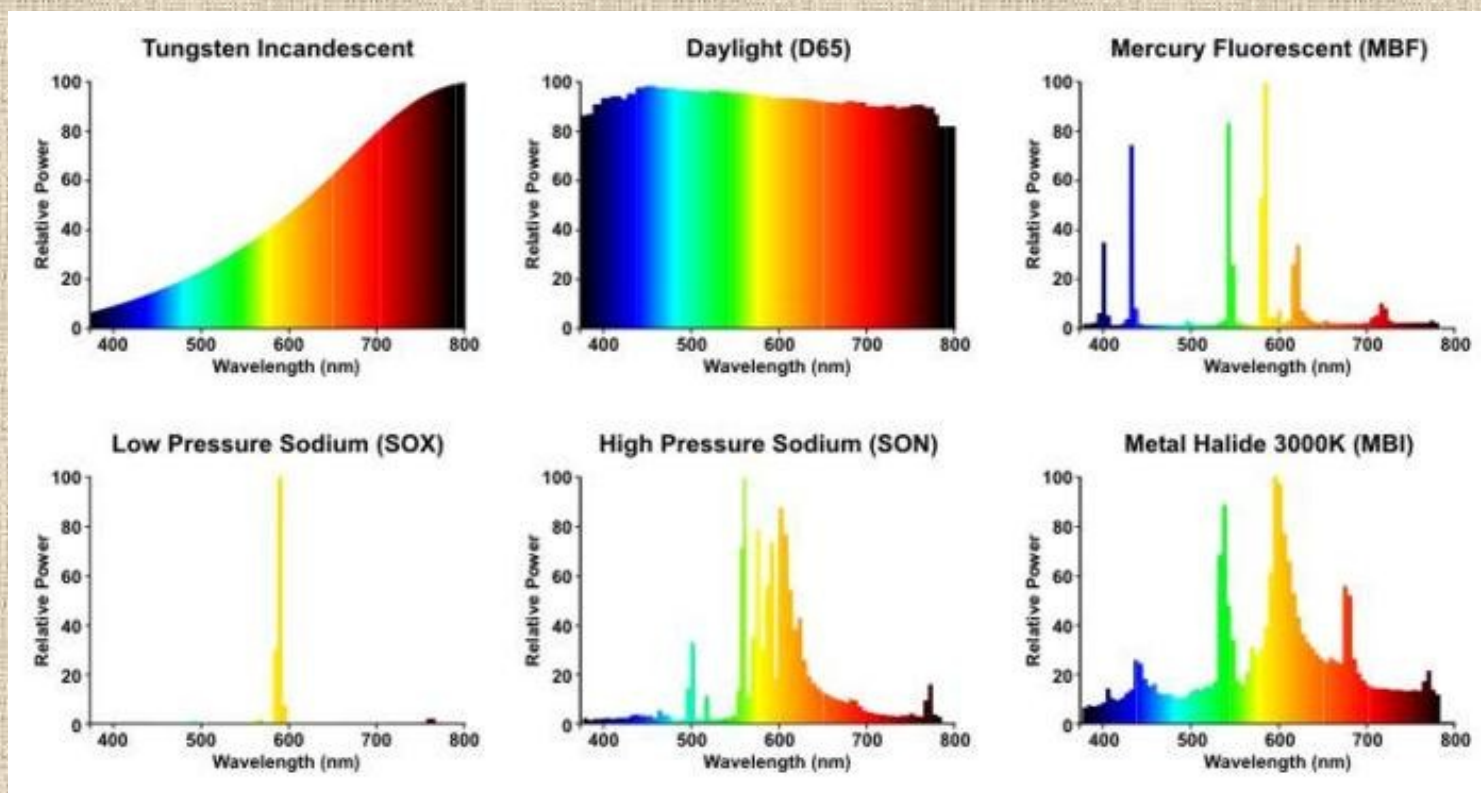
Kalorimetrie – měření barev – základy

Světelný zdroj:

Elektromagnetické vlnění 380-720 nm (viditelná okem)

spektrální distribuce

spojité/nespojité spektrum



Metody studia přírodních skel

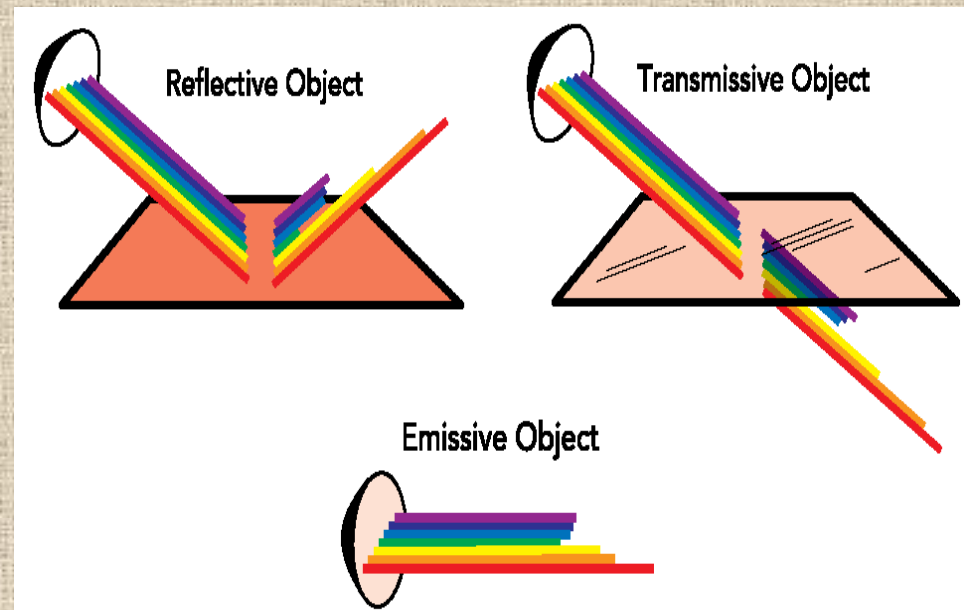
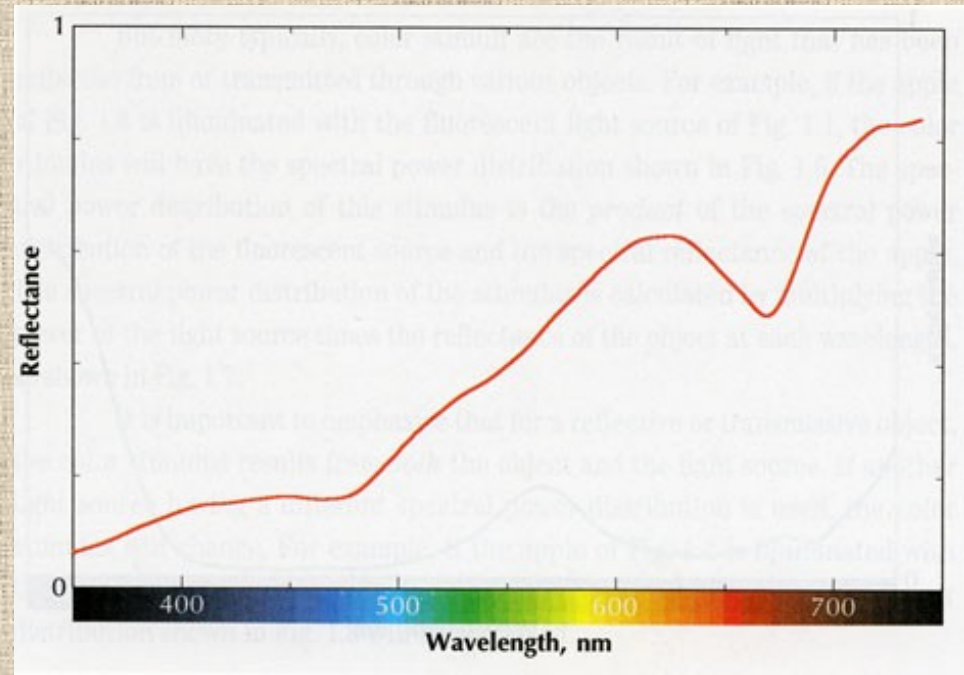
Kalorimetrie – měření barev – základy

Objekt:

Interakce se světlem
absorbují světlo
odráží
propouští
vyzařují

Barevnost je určena chemickým složením

Optické vlastnosti se nejčastěji
charakterizují absorpčními nebo
reflektančními křivkami



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

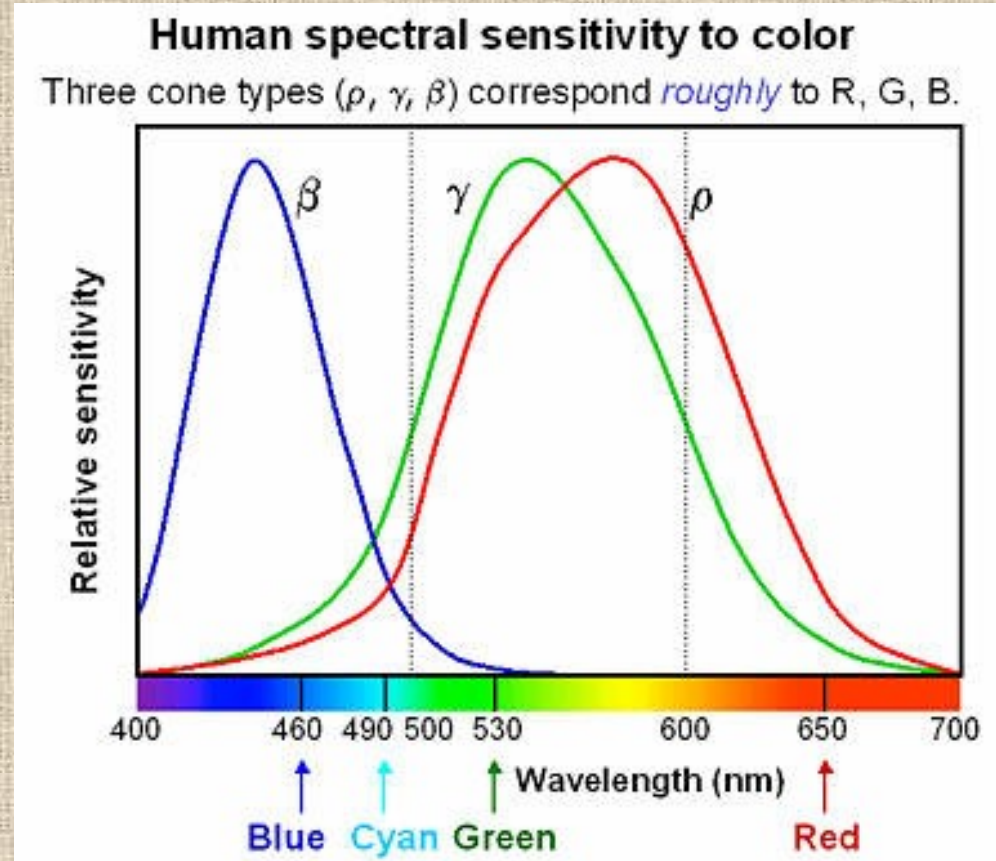
Pozorovatel:

Lidské vnímání barev je závislé na dvou fotoreceptorech:

tyčinky (černobílé, citlivější - v noci)

čípky (barevné)

Barevné vnímání je umožněno existencí tří typů čípků s rozdílnou spektrální citlivostí (zhruba odpovídajícím RGB), tzn. že lidské vidění je TRICHROMATICKÉ



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Funkce pozorovatele (Color matching functions):

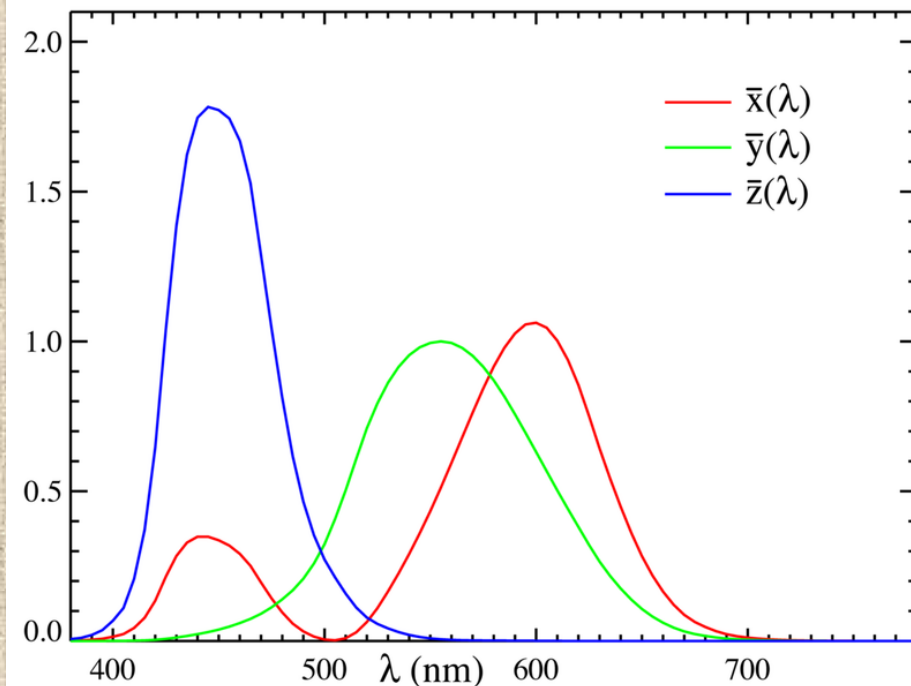
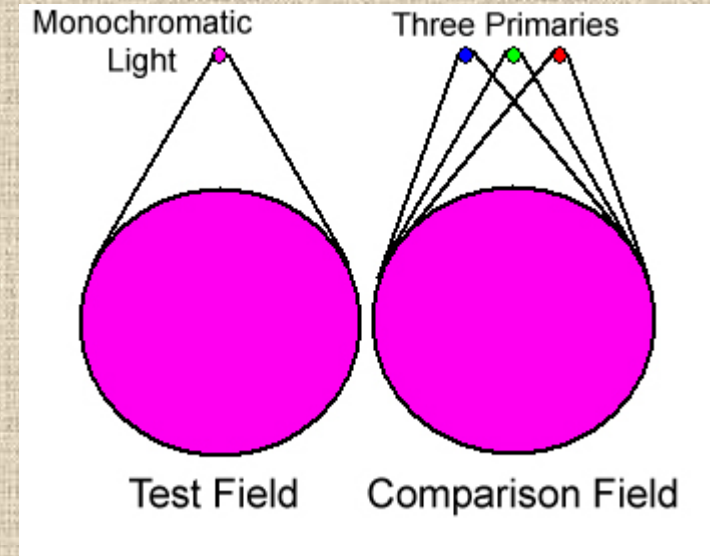
Experiment s mícháním barev

R = 700 nm

G = 546.1 nm

B = 435.8 nm

Rtuťová výbojka

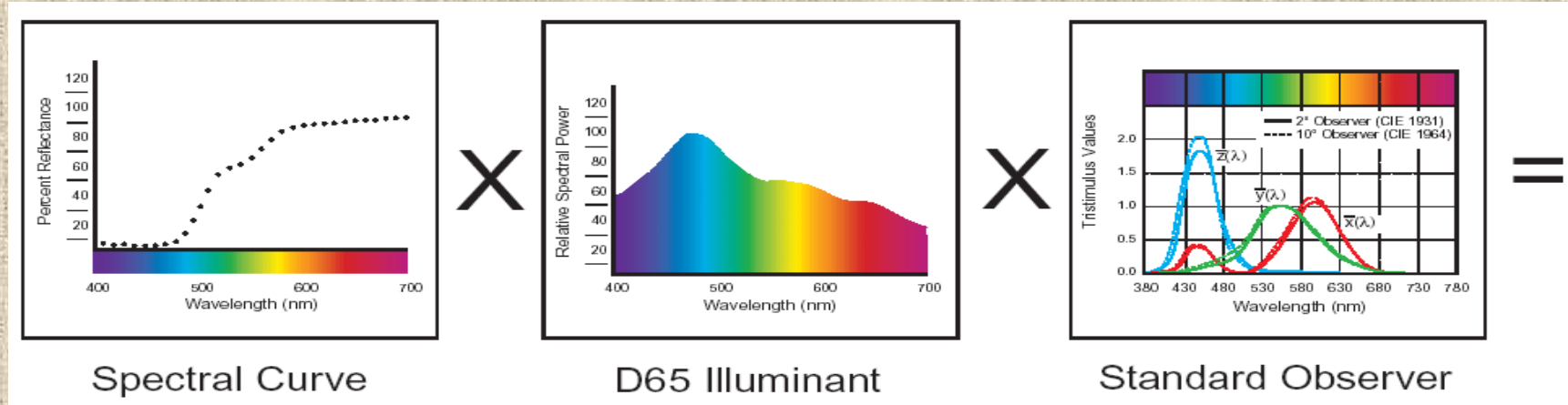


$$\lambda \Leftrightarrow \lambda_R + \lambda_G + \lambda_B$$

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Trichromatické složky (Tristimulus values):



Spektrální odrazivost objektu $R(\lambda)$

$$X = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \times R(\lambda) \times \bar{x}(\lambda)$$

$$Y = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \times R(\lambda) \times \bar{y}(\lambda)$$

$$Z = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \times R(\lambda) \times \bar{z}(\lambda)$$

Spektrální rozdělení intenzity
světelného zdroje $S(\lambda)$

Funkce normálního pozorovatele
 $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$

=

$$X = 62.04$$

$$Y = 69.72$$

$$Z = 7.34$$

Trichromatické složky

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Barvové souřadnice:

- Cílem je přepočítat trichromatické složky na barevné souřadnice určitého barvového prostoru
- Vlnové délky primárních barev RGB byly vybrány tak, aby velikost trichromatické složky Y korespondovala s hodnotou naměřeného jasů (v candelách)
- Naměřený jas (fyz.) přibližně koreluje s lidským vnímáním světlosti (vjem)
- X a Z nekorelují s žádným vjemem
- Trichromatické složky X, Y, Z jsou použity k výpočtu normalizovaných barvových souřadnic x, y, z
- Protože $x + y + z = 1$, k popisu barevného odstínu postačí souřadnice x a y a Y popisuje jas.
- Výsledkem je barevný prostor Yxy

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

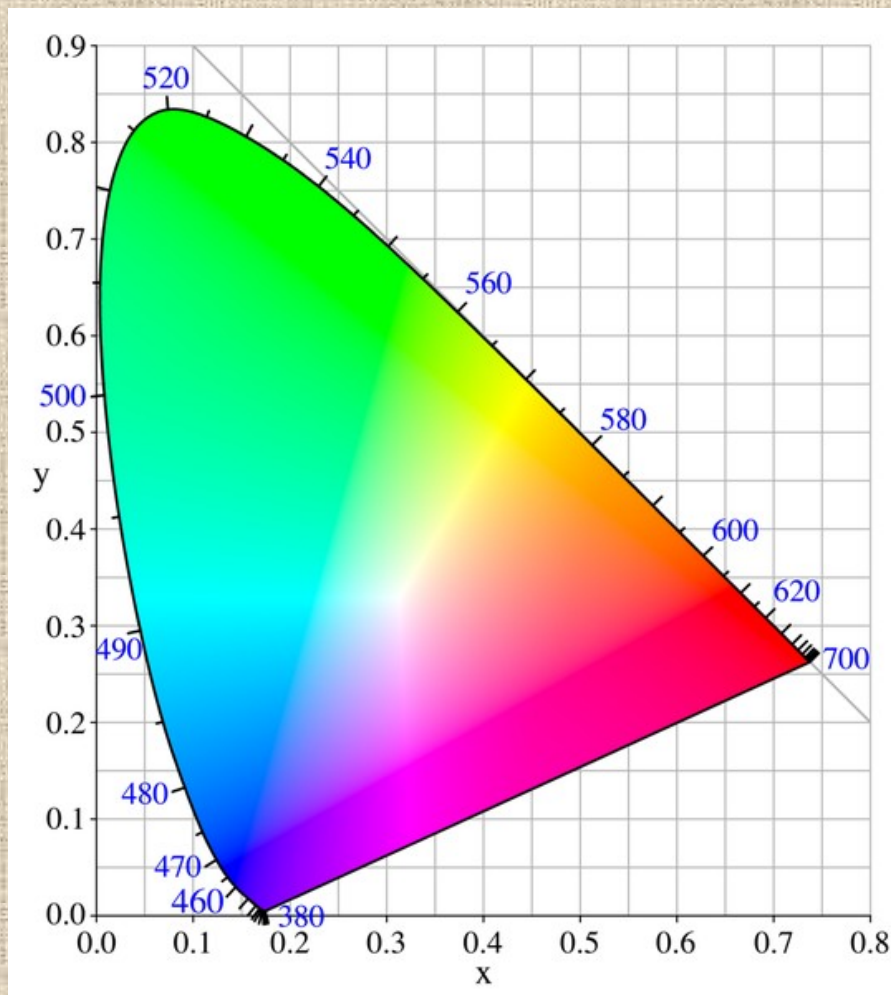
$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Diagram chromatičnosti Yxy (kolorimetrický trojúhelník)

- Rovinný řez trojrozměrným kolorimetrickým prostorem
- chromatičnost (pestré vlastnosti barvy) se vyjadřuje dvěma trichromatickými souřadnicemi x , y
- jas je vyjádřen Y

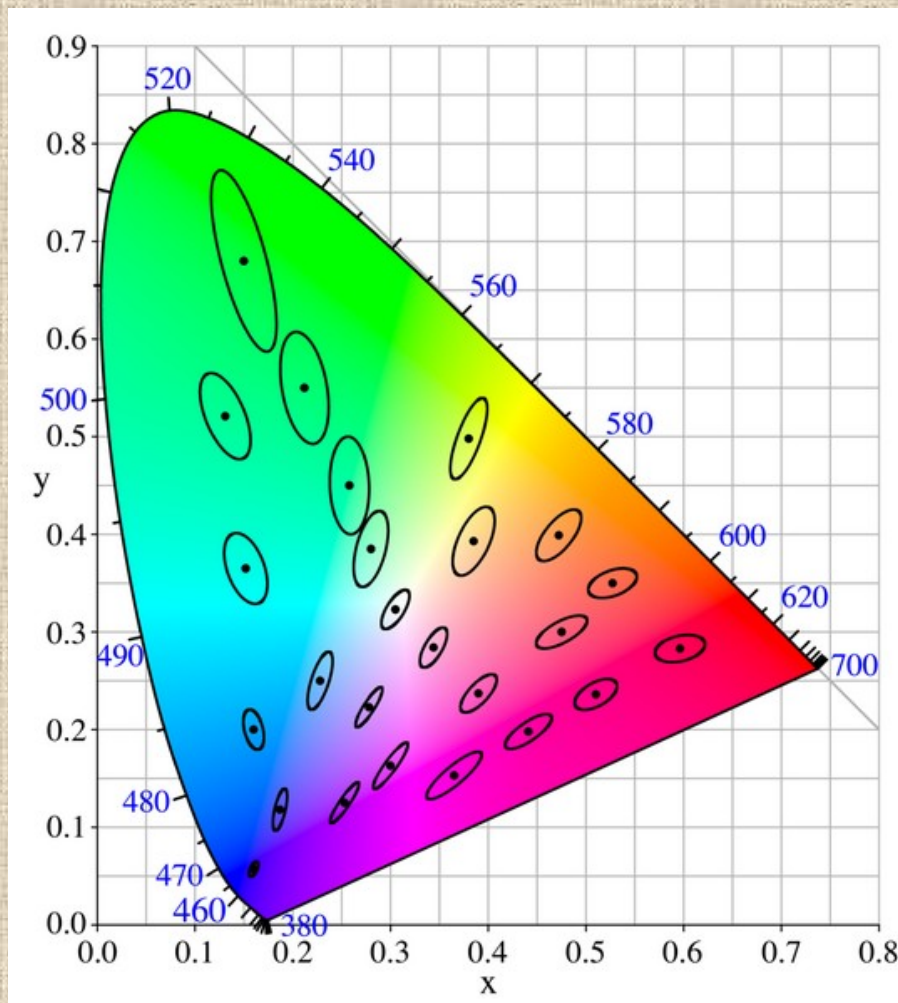


Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Diagram chromatičnosti Yxy (kolrimetrický trojúhelník)

- barevný prostor je neuniformní
- Adamsovy elipsy – definují oblasti barev, které lidské oko není schopné rozlišit
- Elipsy jsou různě veliké – prostor není vhodný pro vyjadřování barevných odchylek



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

Prostor $L^*a^*b^*$ (CIELAB)

Nelineární transformace trichr. složek na jiné nové barevné souřadnice:

$$L^* = 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 6$$

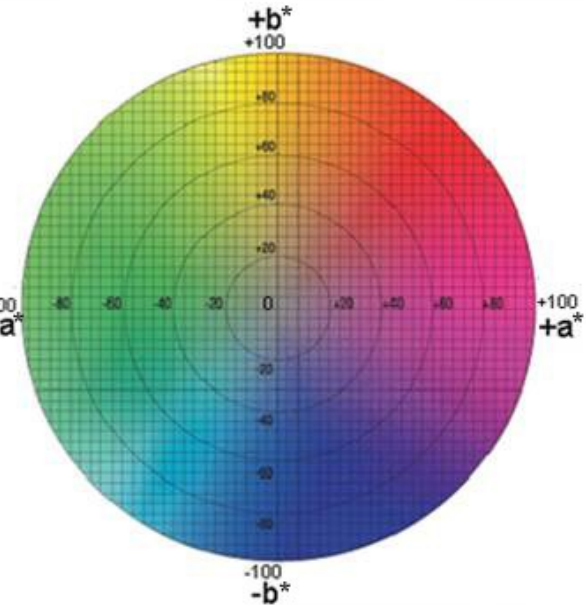
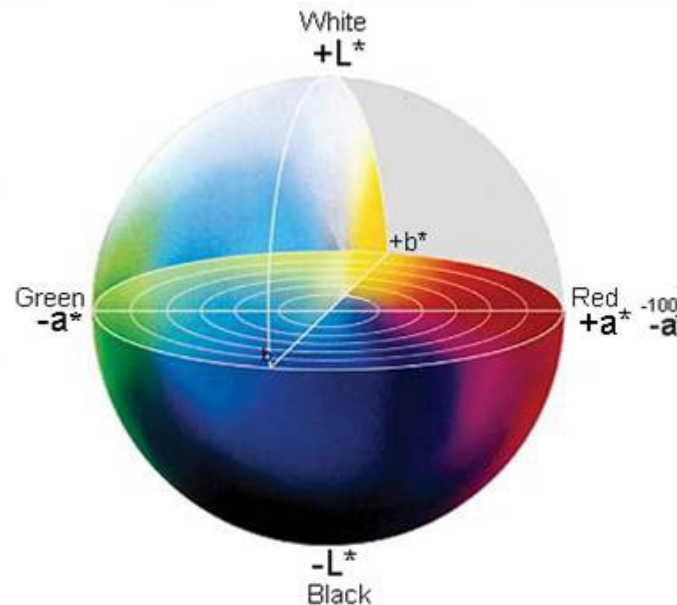
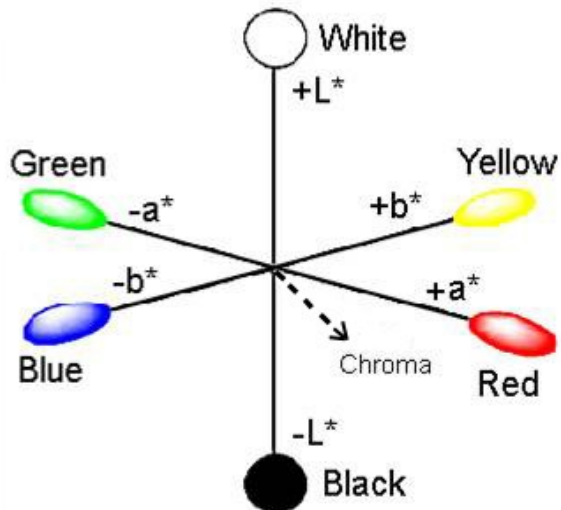
$$a^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$X_n = 94,811$$

$$Y_n = 100$$

$$Z_n = 107,305$$

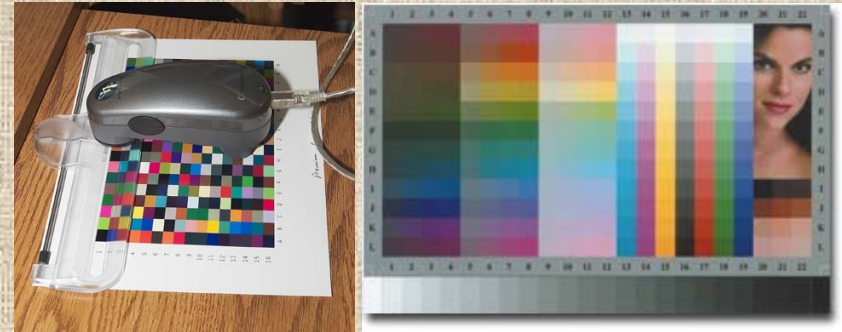


Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – základy

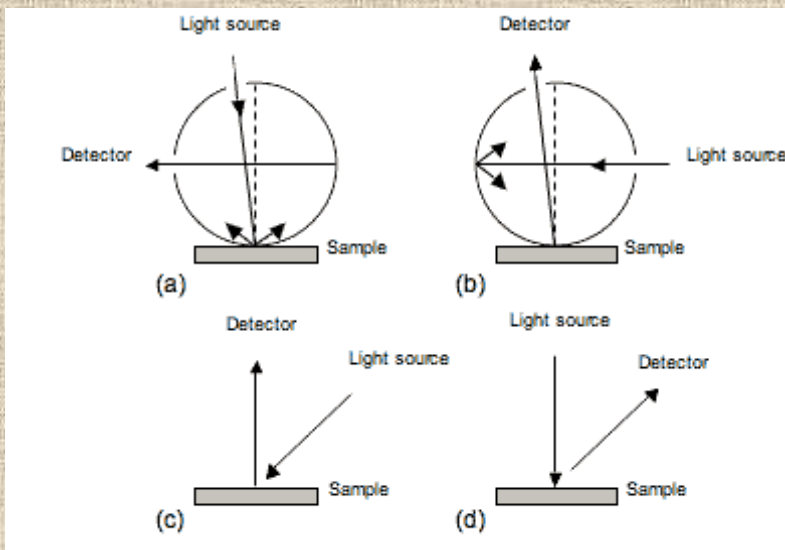
Aplikace - využití

- Jsme schopni změřit barvu
- Barva je vyjádřena jako trojrozměrná veličina ($L^*a^*b^*$)
- Stanovení barev, jejich změna a stálost jsou využívány v řadě oborů:
 - textilní průmysl
 - papírenský průmysl
 - umělecká díla – malby, obrazy
 - kosmetický průmysl
 - tiskařský průmysl, tisk fotografií apod.
 - potravinářství atd.



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů



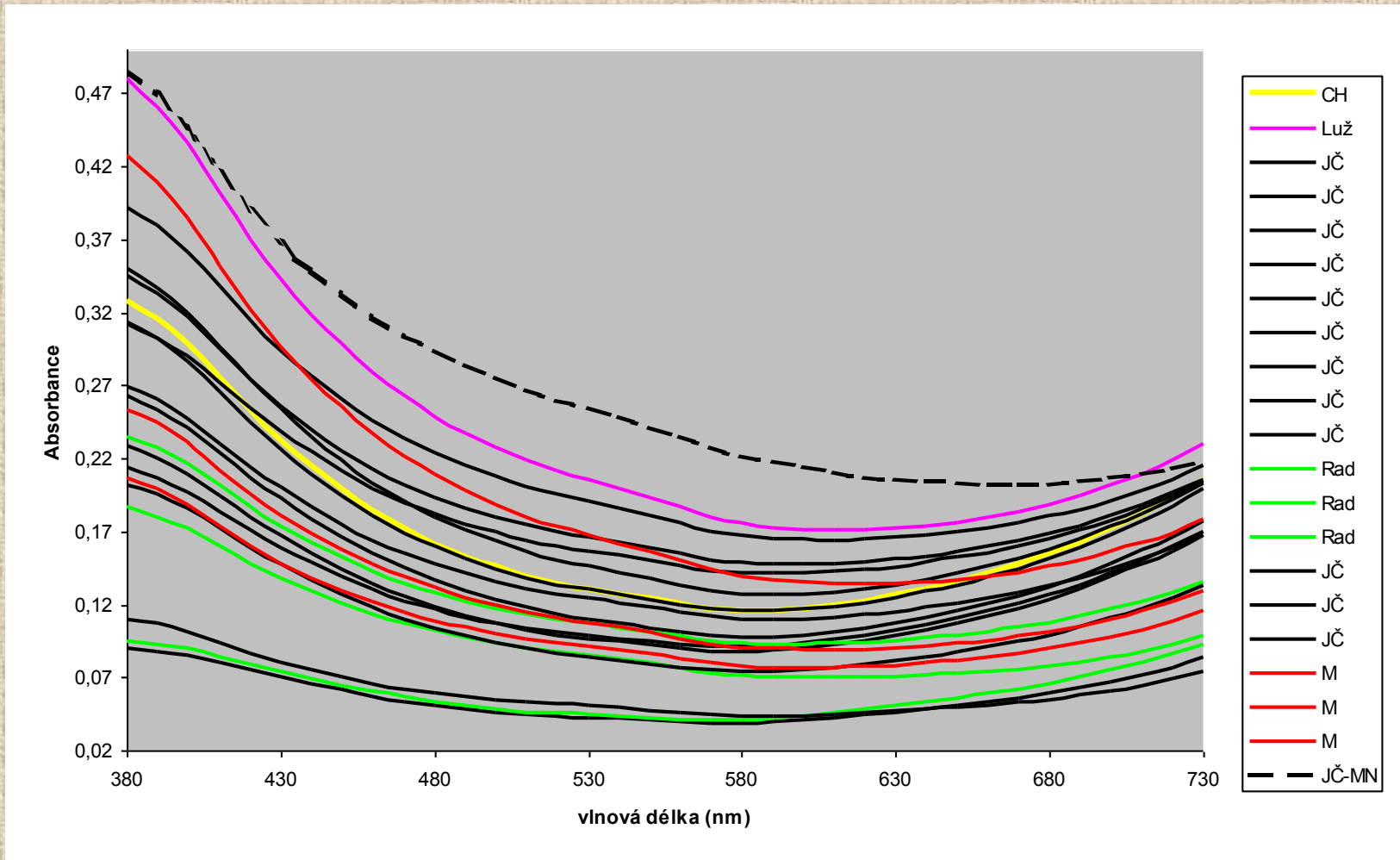
- světlo projde vzorkem, pryskyřicí, podložním sklíčkem a odrazí se od keramické bílé podložky zpět
- změřena a odpočtena pryskyřice a podložní sklíčko
- 10-15 měření na každém vzorku
- absorpční spektra, Lab

Spektrofotometr, spektrální kolorimetr, spektrální rozsah 380 - 730 nm, měřicí štěrba 4mm, měřicí geometrie $0/45^\circ$ (typ d viz obrázek vlevo).



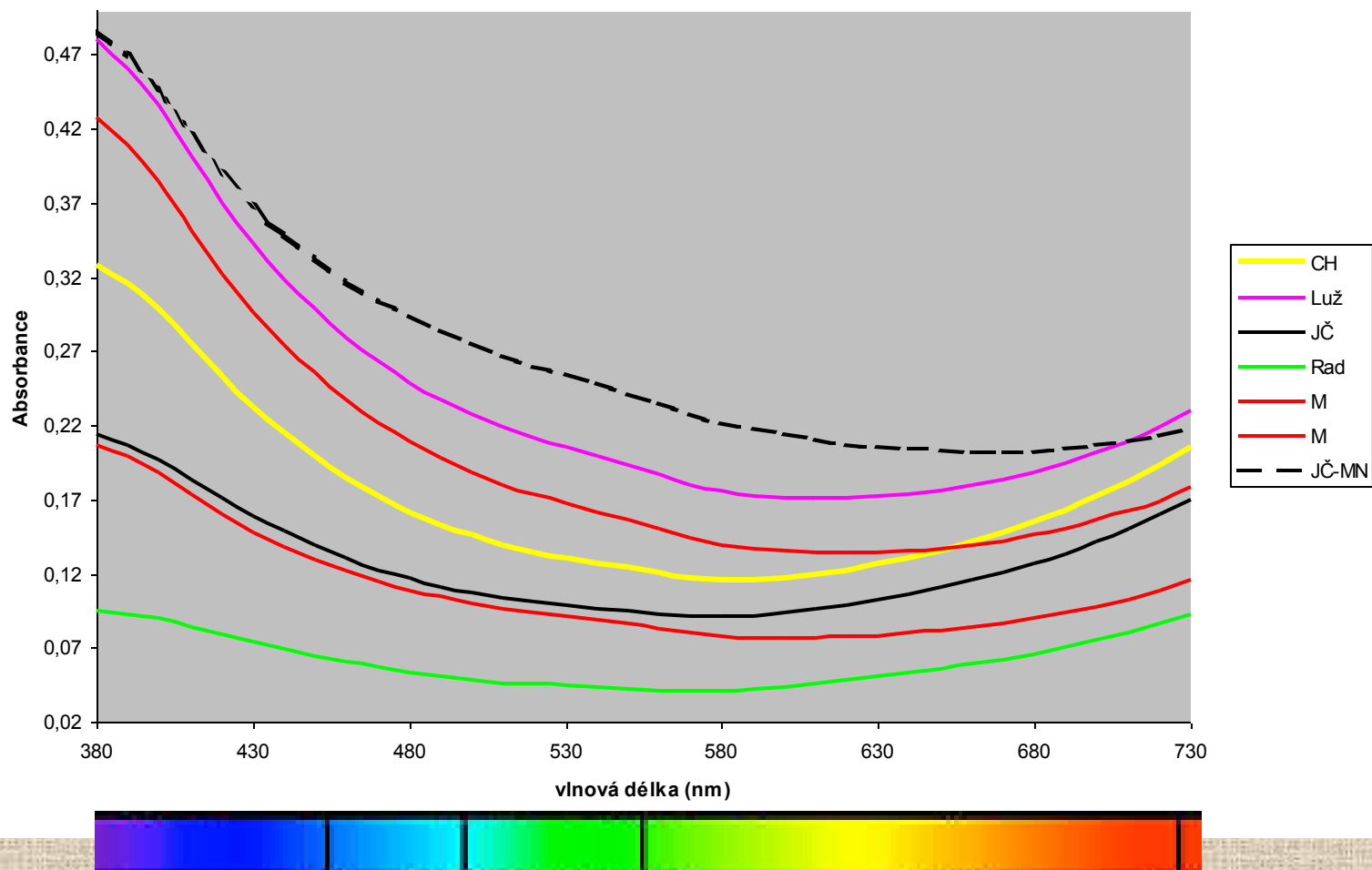
Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů



Metody studia přírodních skel

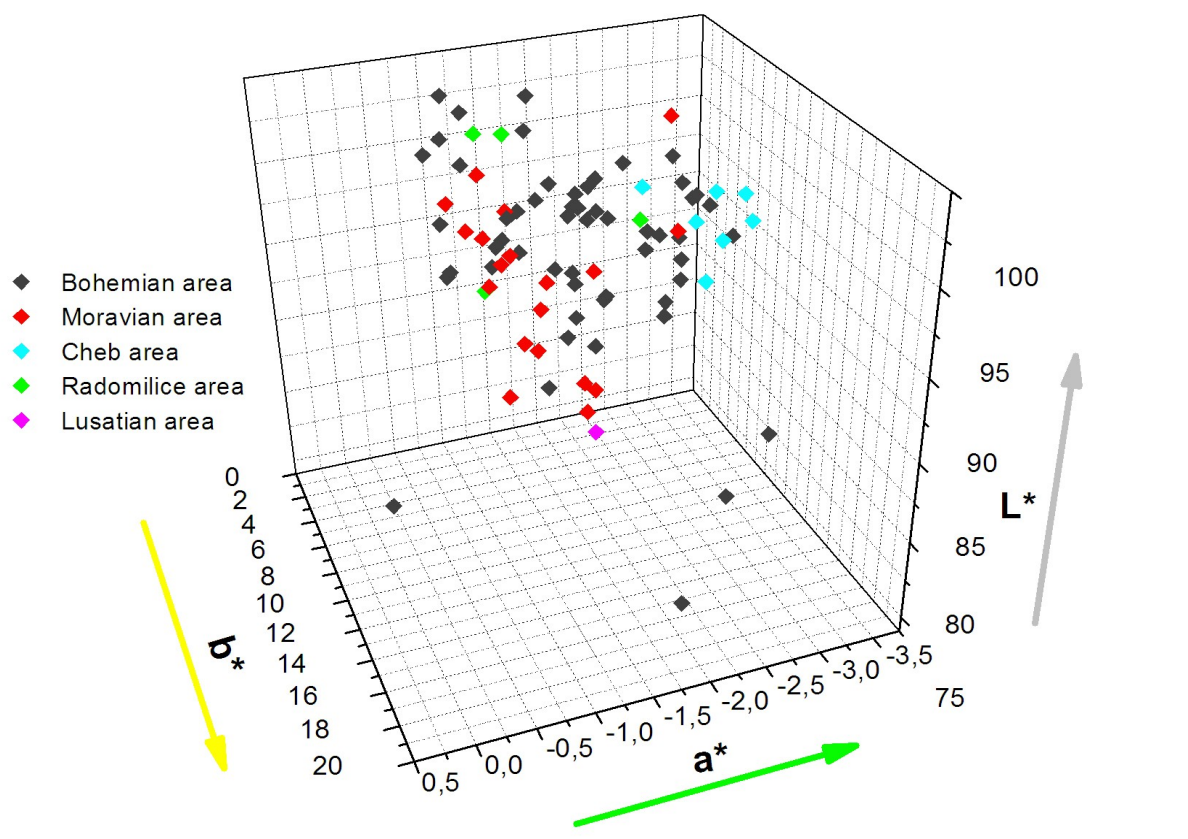
Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů



Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů

L*a*b* prostor

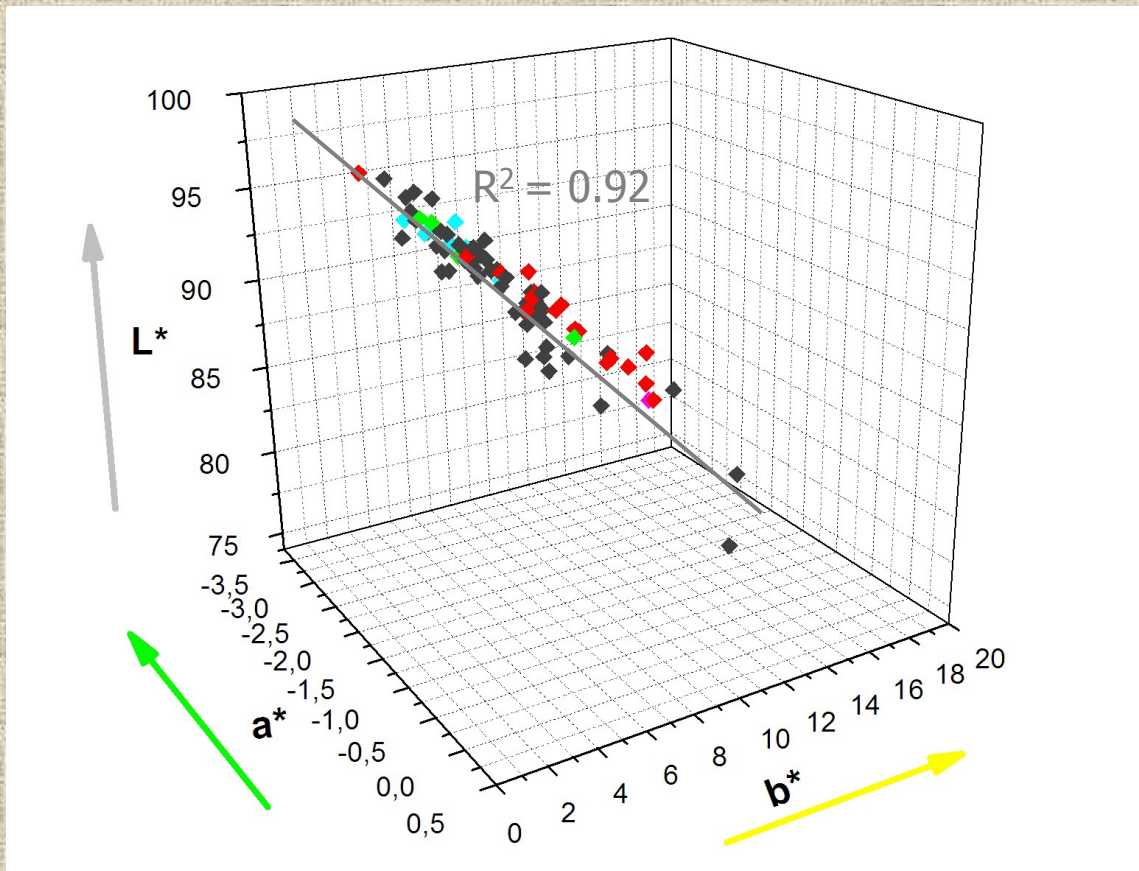


- všechny vzorky se až na jednu výjimku nachází v prostoru $+L^*/-a^*/+b^*$

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů

L*a*b* prostor



- všechny vzorky se až na jednu výjimku nachází v prostoru $+L^*/-a^*/+b^*$

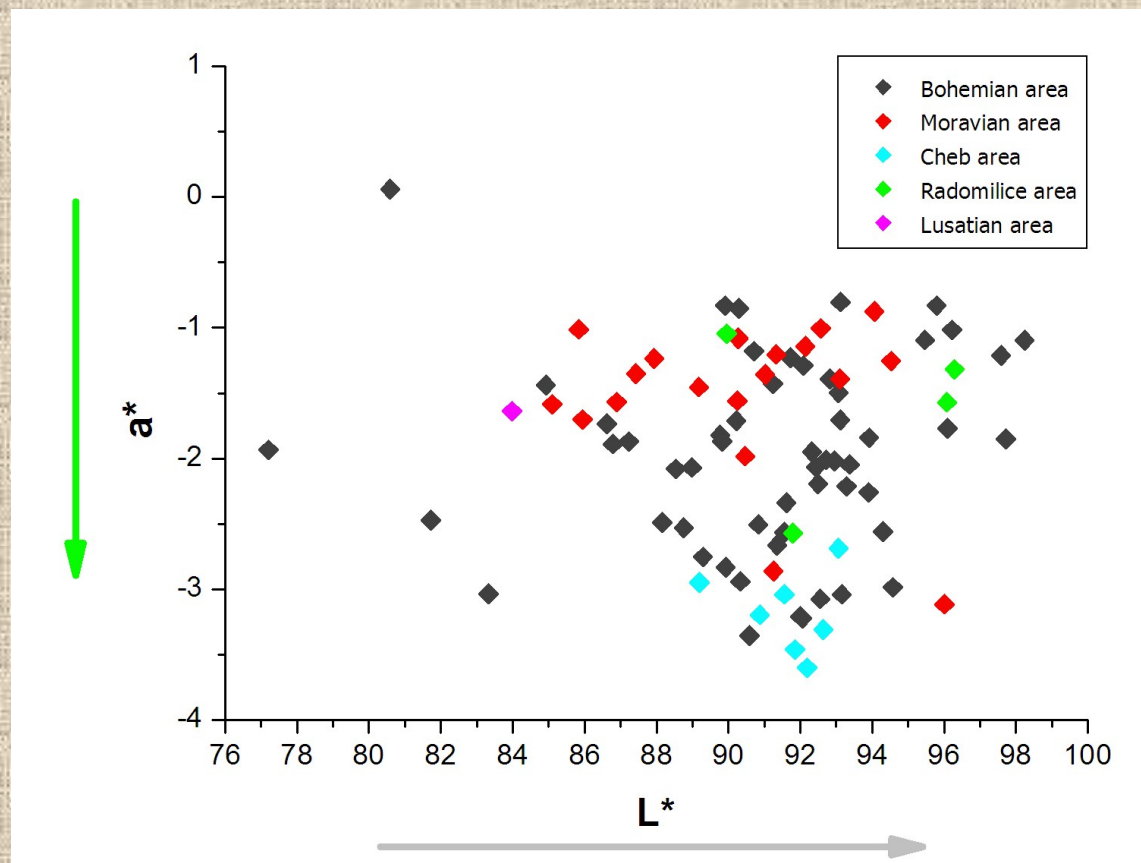
-statisticky významná lineární závislost ($R^2=0.92$) proměnných L*a*b*

- pro lepší názornost může být tedy 3D prostor zobrazen pouze ve 2D rovině (L*a* rovina)

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů

L*a*b* prostor



- všechny vzorky se až na jednu výjimku nachází v prostoru $+L^*/-a^*/+b^*$

- statisticky významná lineární závislost ($R^2=0.92$) proměnných $L^*a^*b^*$

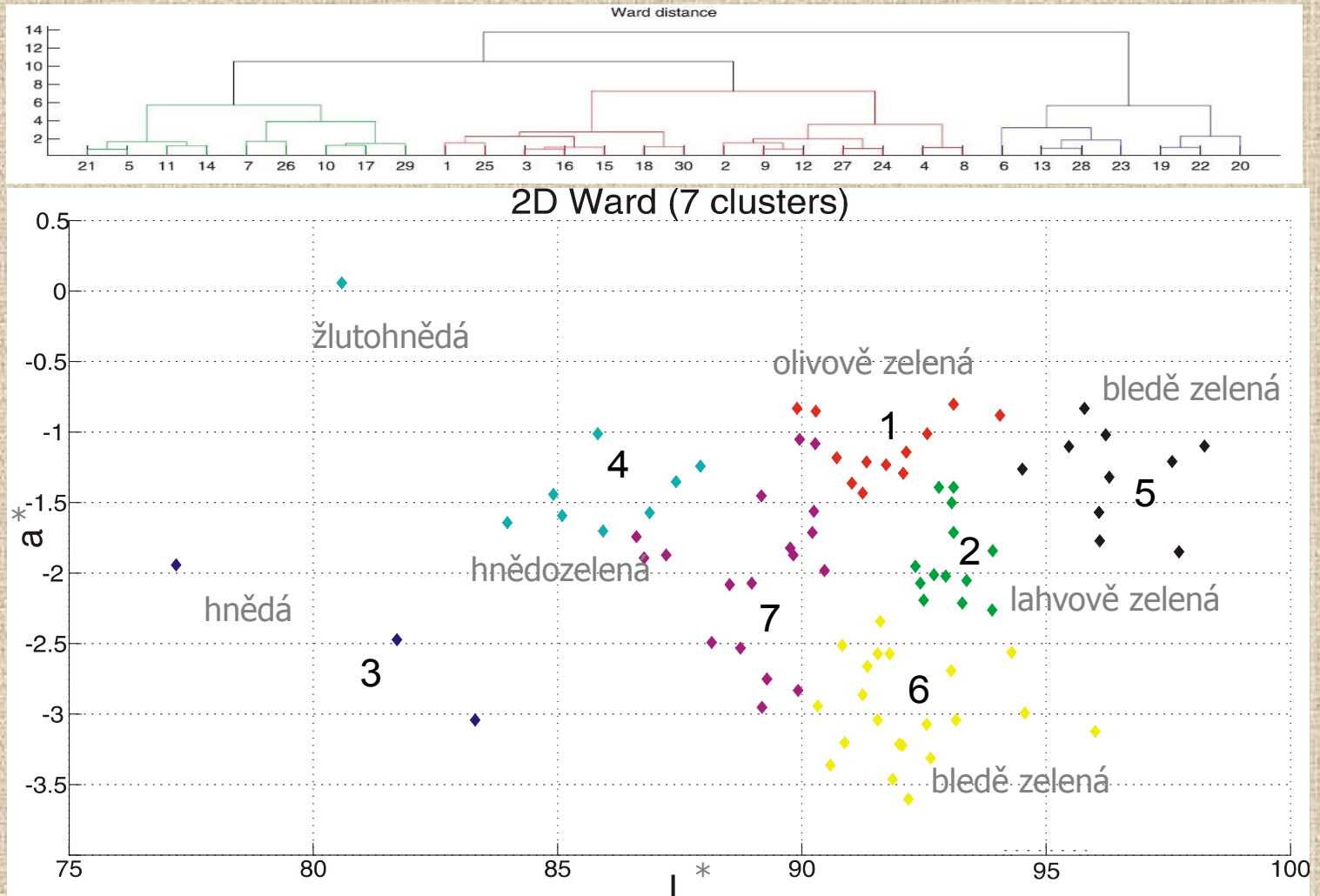
- pro lepší názornost může být tedy 3D prostor zobrazen pouze ve 2D rovině (L^*a^* rovina)

- určitá regionalita

Metody studia přírodních skel

Kalorimetrie – měření barev – měření barev vltavínů

Clusterová analýza



Metody studia přírodních skel

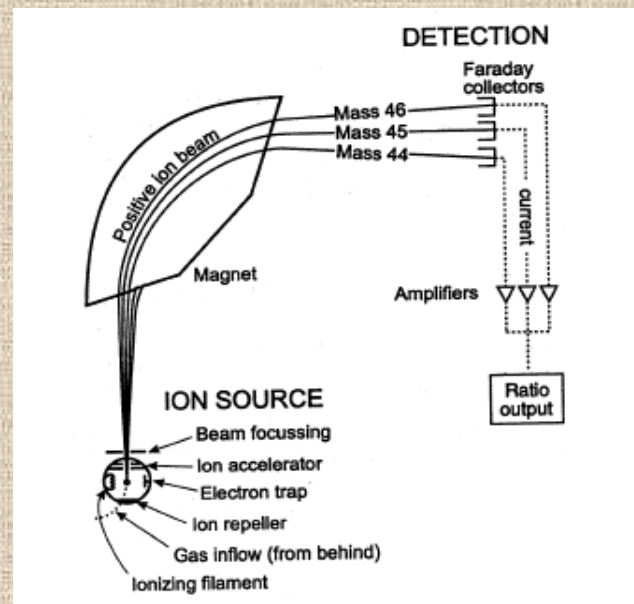
Laserová ablace

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.

Záření laseru je vzorkem absorbováno a odraženo. Při hustotě zářivého výkonu v rozsahu 10^7 - 10^9 W/cm² nastává ohřev vzorku, fázové změny (tavení, vypařování) a disociace, excitace a ionizace. Ve vzorku po odpaření materiálu vzniká kráter – destruktivní metoda.

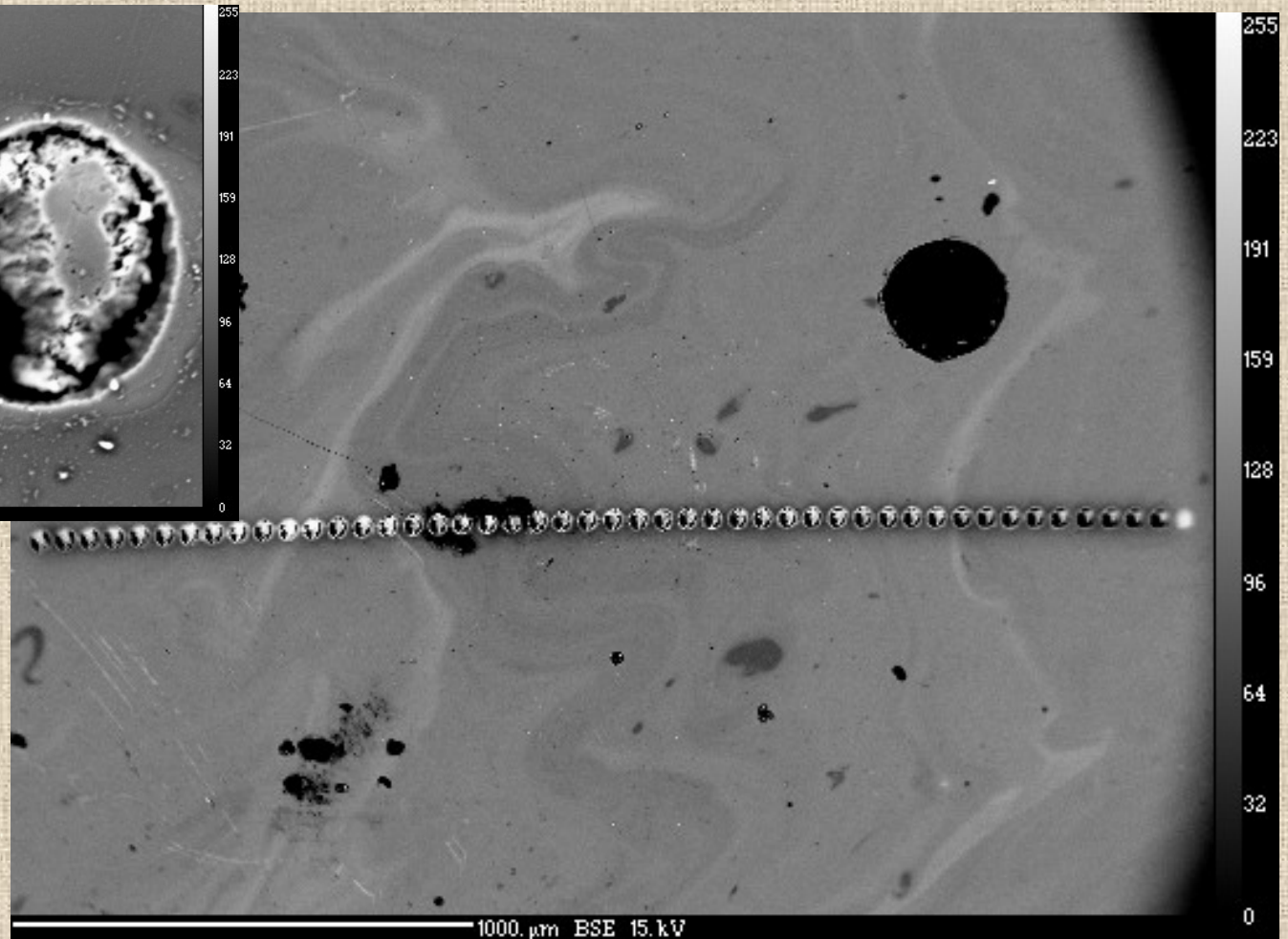
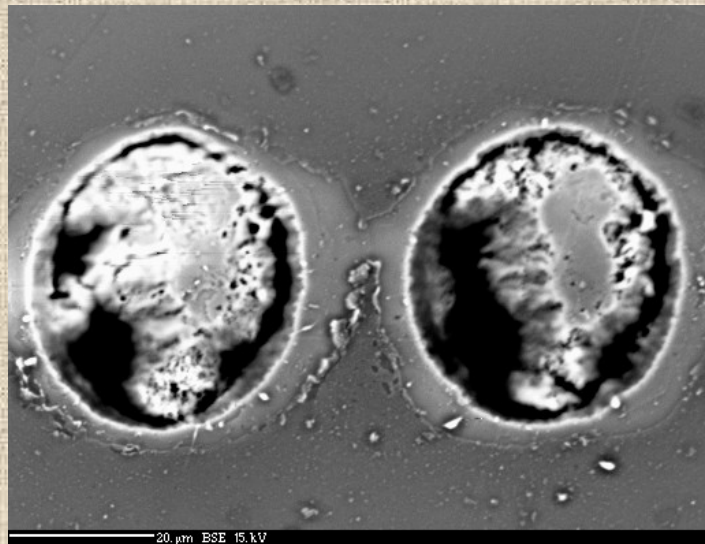
Sublimaci pevného materiálu vzniká plazma, jehož kladně nabitě iony jsou urychleny hnacím plynem (argon), posléze vytrženy magnetickým polem (kvadropól, dráha ionů magnetickým polem je dána poměrem hmotnosti/náboje ionu) a analyzovány pomocí detektoru (signál je úměrný koncentraci). Množství prvku se pak vypočítá po porovnání se známým standardem.



Metody studia přírodních skel

Laserová ablace

LA-ICP-MS



Krátery ve vzorku
vltavínu po použití
laserové ablace

Metody studia přírodních skel

Laserová ablace

LA-ICP-MS je jedna z metod, která se využívá ke stanovení množství stopových prvků u skel.

Vpravo jsou uvedeny prvky, jejich izotopy a detekční limity, které se měřily např. u chebských vltavínů (Skála et al. 2009)

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	51	0.081
Cr	52	1.4
Mn	55	0.85
Co	59	0.095
Ni	60	1.5
Cu	65	0.92
Zn	66	1.6
As	75	1.0
Rb	85	0.41
Sr	88	0.096
Y	89	0.045
Zr	90	0.54
Nb	93	0.053
Sb	121	0.075
Cs	133	0.049
Ba	137	0.25
La	139	0.067
Ce	140	0.033
Pr	141	0.021
Nd	146	0.095
Sm	147	0.086
Eu	151	0.029
Gd	157	0.062
Tb	159	0.013
Dy	163	0.065
Ho	165	0.012
Er	166	0.057
Tm	169	0.004
Yb	172	0.069
Lu	175	0.008
Hf	178	0.095
Ta	181	0.049
Pb	208	0.33
Th	232	0.078
U	238	0.069
Sr ^a	29	

^a Internal standard.

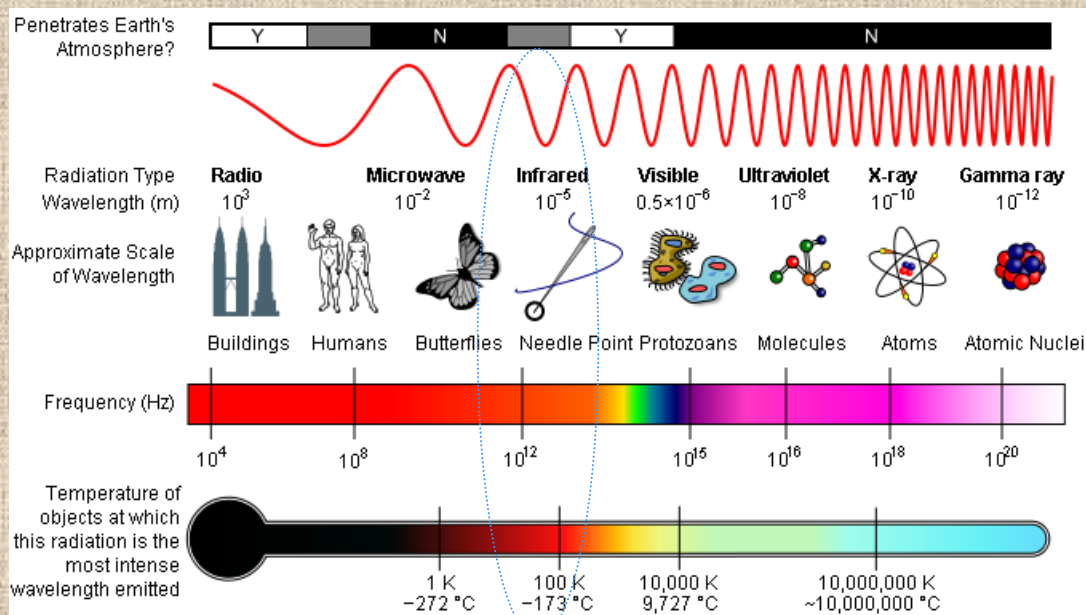
Metody studia přírodních skel

Infračervená spektroskopie - úvod

Infračervené záření (IR) je elektromagnetické záření o vlnových délkách 0,7-300 μm . Jeho vlnová délka je delší než délka viditelného světla. Elektrická a magnetická složka kmitají v rovinách kolmých na sebe, směr kmitů je kolmý na směr šíření vlny.

Spektroskopie je obor zabývající se měřením intenzity určitého vlnění po jeho interakci s hmotou v závislosti na jeho energii (frekvenci). Absorbční (těleso pohlcuje) x emisní (těleso po vybuzení urč. záření vydává – luminescence). Je to kvalitativní metoda poskytující přesnou identifikaci izolované látky. Infračervené spektrum totiž obsahuje tzv. fingerprint, který je pro každou látku typický ($100\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$).

Při interakci záření a vzorku dochází k pohybům molekul. Při určité vhodné frekvenci dojde k rezonanci funkčních skupin, molekul či strukturních polyedrů ve vzorku označované souhrnně termínem *fonon* (Beran, Libowitzky 2001). Dochází tak ke zvýšené absorpci záření o dané frekvenci.



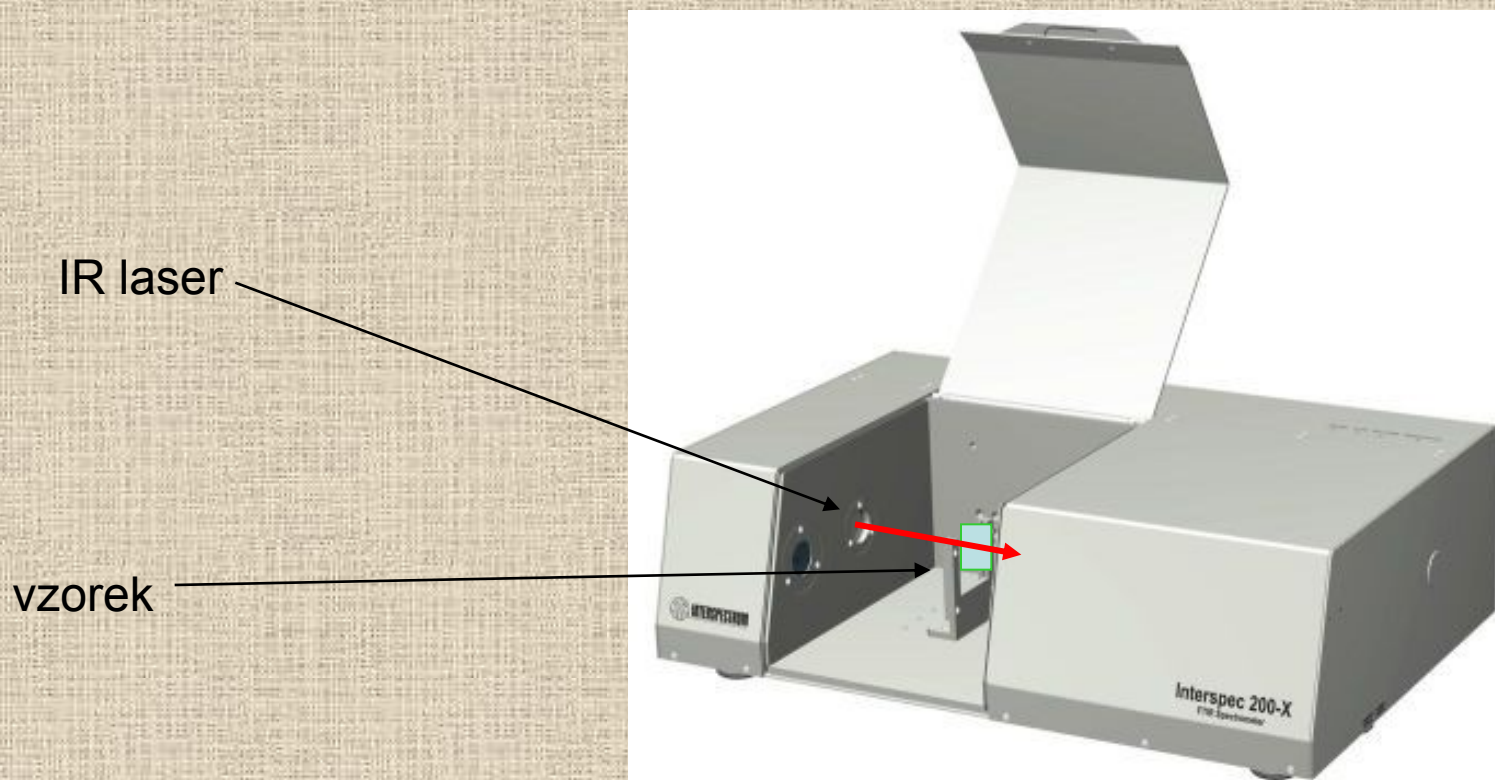
Metody studia přírodních skel

Infračervená spektroskopie

U přírodních skel se tato metoda využívá k určení obsahu vody ve vzorcích.

IR spektroskopie se měří na tenkých, oboustranně leštěných destičkách vzorků, pro vltaviny je ideální tloušťka destičky okolo 1-2 mm.

Měření se provádí na FTIR spektrometru (IR spektrometer s Fourierovou transformací - načtený interferogram převede FT do výsledné části spektra).



Metody studia přírodních skel

Infračervená spektroskopie

Skla jsou amorfní, bez vnitřní struktury – nesystematické deformace polyedrů. Spektrální peaky jsou nepravidelné a široké.

U tektitů převládá OH stretching vibrace na vlnové délce 2,73 μm (koresponduje s vlnočtem 3660 cm^{-1}).

Obsah se vypočítá podle Lambert-Beerova zákona (Gilchrist et al. (1969)

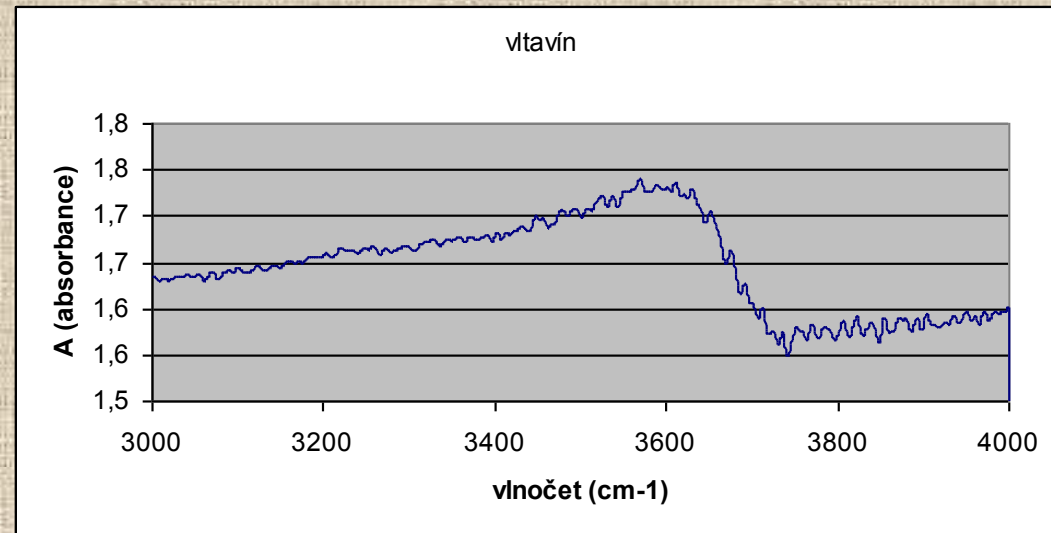
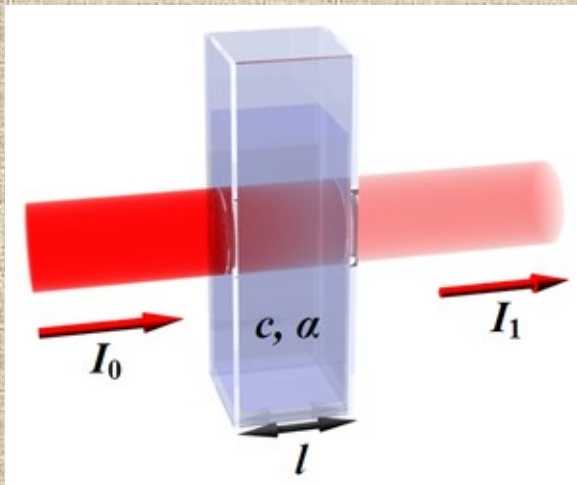
$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\alpha \ell} = 10^{-\varepsilon c \ell}$$

$$A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

ε extinční koeficient 75 21 L/mol.cm

a absorpční koeficient

c koncentrace absorbující složky



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 Cílek V. (1992): Železnaté vltavíny. – 6. konf. o vltavínech. Přírodov. Sbor. Západoomorav. 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): Transartactic 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 figurees de l’Indochine. – Comptes rendus, 200, 2129–2132, Academie des Sciences, Paris. Maa et al. (2001):
- Prchal V. a Fasurová N. (2006): Návod y 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 vltavíny. – Muzejní a vlastivědná společnost v Brně a Západoomoravské 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>