

## Lechatelieritové inkluze v moldavitech

Vladimír Knobloch<sup>1</sup>, Zdeněk Řanda<sup>2</sup>, Anna Langrová<sup>3</sup>, Zdeněk Urbanec<sup>4</sup>

*1 - K nádraží 155, 25166 Mirošovice*

*2 - Ústav jaderného výzkumu, 25006 Husinec-Řež*

*3 - Geologický ústav AVČR, Rozvojová 269, 16500 Praha 6*

*4 - Malinová 29, Praha 10*

**Abstrakt:** Předložený příspěvek předkládá stručný popis základních tvarů lechatelieritových inkluzí v moldavitech, lechatelieritových výčnělků na jejich povrchu, tvarů lechatelieritových úlomků ze sedimentů, a jejich skulptaci. Výčet je doplněn obrázky.

Tyto tvary dokumentují podmínky a procesy, při kterých vznikly moldavitové objekty.

Vedle toho jsou v příspěvku uvedeny výsledky analýzy difúzní vrstvy mezi základní moldavitovou hmotou a lechatelieritovou inkluzí na mikrosondě. Na základě těchto získaných údajů si autoři vytvořili představu o složení mateřských vrstev moldavitů a podmínkách, které panovaly při vzniku moldavitové hmoty i mechanických procesech, při kterých došlo k formování moldavitových objektů.

Na základě stanovení tloušťky difúzní vrstvy mezi lechatelieritovou inkluzí a okolní moldavitovou hmotou lze usuzovat, že doba tavení moldavitové hmoty nepřesáhla několik desítek sekund.

datum zveřejnění: 28.6. 2009

# Lechatelierite inclusions in moldavites

**Abstract:** The contribution presents a brief description of basic shapes of lechatelierite inclusions in moldavites, lechatelierite protrusions at their surface, shapes of lechatelierite fragments found in sediments, and their sculptation.

All these shapes yield documents of the conditions and processes of moldavite formation. Besides the contribution brings values of diffusion layer analysis measured by microprobe, which is created among basic moldavite substance and lechatelierite inclusion.

Obtained results lead the authors to a conception of the mother layers structure of the moldavite and of the conditions which regulate the formation of moldavite mass, even the mechanical processes on which is based the moldavite object formation.

Based on thickness of the diffusion layer, which is formed in the moldavite groundmass adjacent to lechatelierite inclusions, the authors deduce that the melting time has not exceeded several tens of seconds.

## Úvod

Frakce inkluzí v tektitech, které mají nízký index lomu (v oblasti 1,460), byly identifikovány jako relativně čistý tavený oxid křemíku - lechatelierit (Barnes 1940). Podobné inkluze byly nalezeny a popsány také v moldavitech (Suess 1900, Barnes 1969, Rost 1972, Konta 1970, Heide 1989, Knobloch et al. 1983, 1987, Knobloch et Urbanec 2003, Bouška et Konta 1990, Houzar et Trnka 2002, a další). Chemické složení těchto lechatelieritových inkluzí podle aktivační neutronové analýzy (INAA) popsal Kučera a Knobloch (1982) a Knobloch a Kučera (1996). Chemické čistotě a původu mateřských materiálů lechatelieritových inkluzí v tektitech věnoval pozornost Kinnunen (1990).

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

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

## Experimentální část a výsledky

### **Lechatelieritové výčnělky a úlomky**

Díky větší odolnosti lechatelieritové hmoty proti korozi moldavitové hmoty v přírodních podmínkách (zhruba asi 120 ti násobně: Knobloch et Urbanec 2003) tvoří lechatelieritové inkluze výčnělky na povrchu moldavitů. Při opatrném vyjímání moldavitů ze sedimentů zůstávají lechatelieritové výčnělky někdy zachovány neporušené na povrchu moldavitů. Délka těchto výčnělků nepřesahuje obvykle 2 mm. Ve výjimečných případech v průběhu koroze ulomené lechatelieritové výčnělky zůstaly přitmelené na povrchu moldavitových objektů a tvoří jakési lechatelieritové „hřbitovy“.

Lechatelieritové úlomky byly získávány izolací z písčitých sedimentů omytím moldavitových exemplářů vodou. Tyto sedimenty byly po čištění děleny v těžké kapalině (bromoform - ethylalkohol). Z lehké frakce byly lechatelieritové úlomky vyjmuty manuálně pod mikroskopem. Lechatelieritový koncentrát je znázorněn na obr. 1. Jde o malé, obvykle ploché objekty často charakteristicky skulptované, o specifické hmotnosti okolo  $2,2 \text{ g / cm}^3$  a indexem lomu kolem 1,462. Hmotnost jednotlivých úlomků nepřesahuje obvykle 100  $\mu\text{g}$ .

Obr. 1) Koncentrát s lechatelieritovými úlomky



## Lechatelieritové inkluze

Lechatelieritové objekty lze studovat jako inkluze přímo v moldavitové hmotě. Moldavity, díky své relativně dobré průhlednosti, umožňují podrobnější studium tvarů lechatelieritových inkluzí a textury zejména v menších moldavitových objektech (asi do 3 gramů). Inkluze v moldavitech byly pozorovány ve vhodné imersní kapalině. Ve vybraných případech byly moldavitové objekty rozříznuty a po vybroušení a po vyleštění dále zpracovány.

Lechatelieritové inkluze v moldavitové hmotě mají různé tvary, které lze rozdělit do několika základních skupin označených jako a – h. Tyto jednotlivé tvary lze považovat za doklad různých podmínek, které panovaly v průběhu tvorby moldavitové hmoty. Na rozdíl od tvarů bublin, které umožňují udělat si představu o mechanických procesech probíhajících v okamžiku jejich tuhnutí, lechatelieritové inkluze podávají v podstatě doklad o procesech, které probíhaly v celém období, kdy sklovitá hmota byla tvárná.

### a) *Nedeforovaná lechatelieritová zrna*

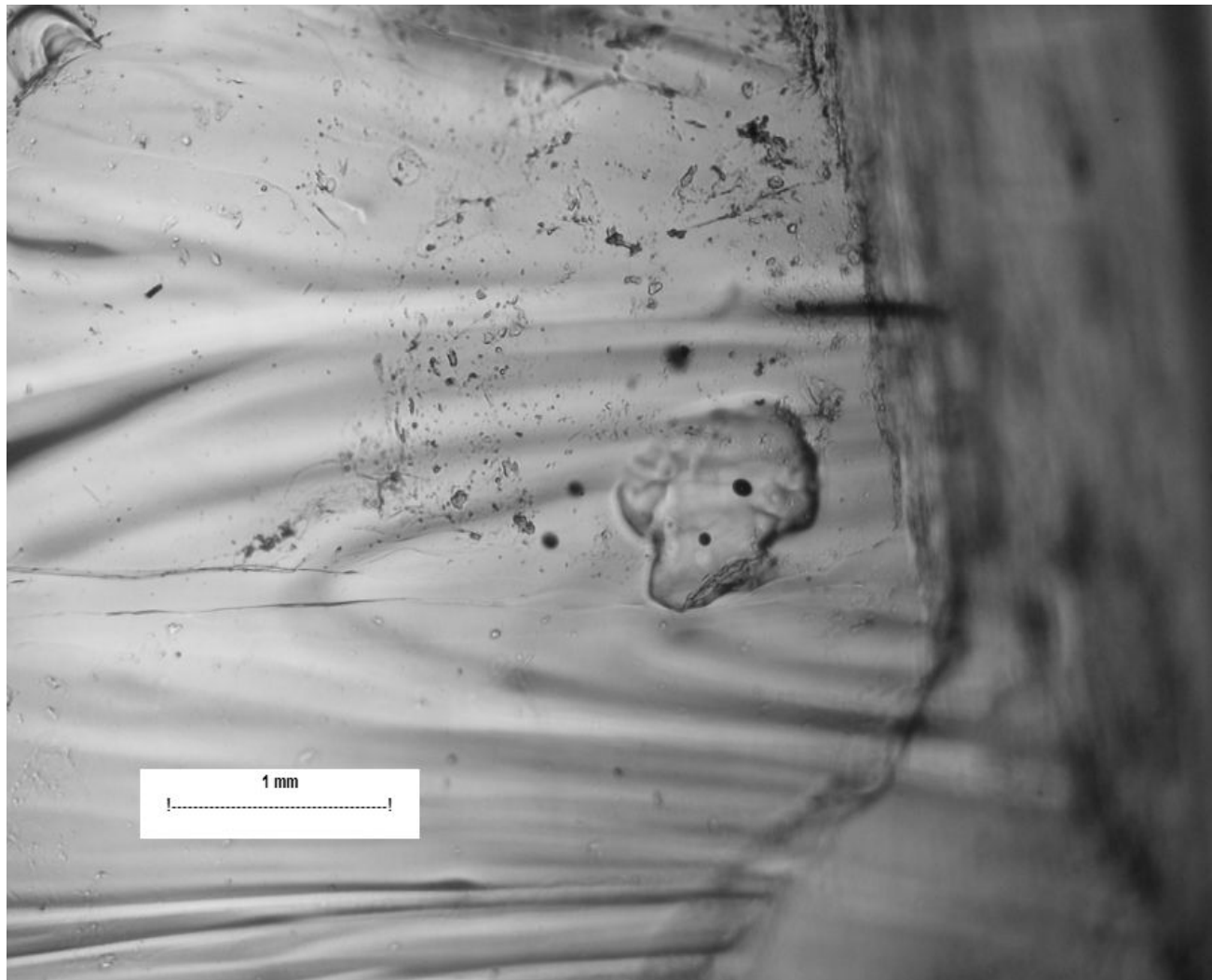
Na obr. 2 je znázorněno zrno lechatelieritu, které nebylo deformováno účinkem rychlostního gradientu. Je obtížné rozhodnout, do jaké míry to byl důsledek vysoké viskozity lechatelieritu nebo slabého proudění sklovité hmoty v dané oblasti. b) *Lechatelieritová zrna se zaoblenými hranami*

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

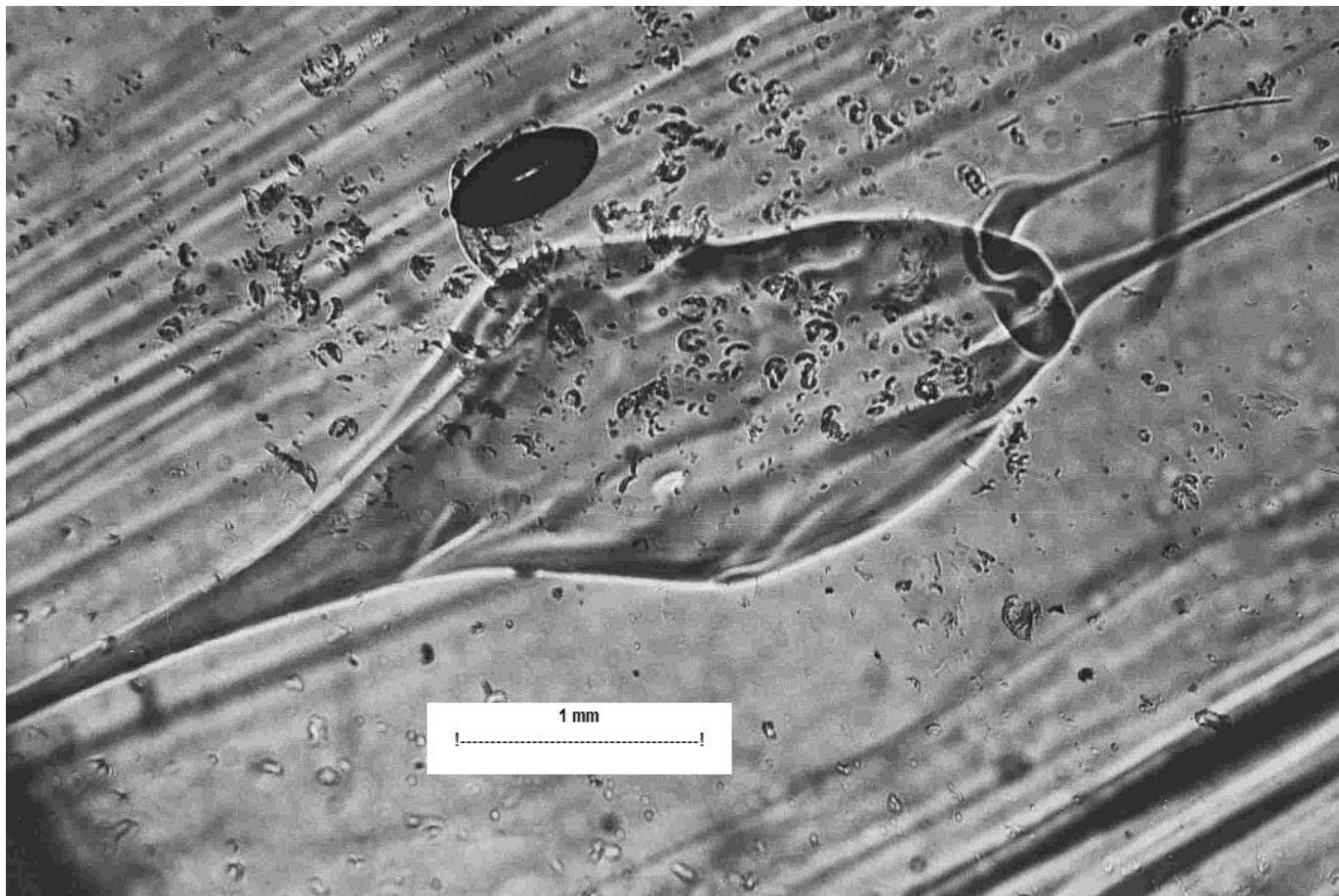
### c) *„Vzpěněná“ lechatelieritová zrna*

Vzpěněné lechatelieritové inkluze jsou dokladem toho, že některá mateřská křemenná zrna obsahovala plynokapalné inkluze, které po tavení vytvořily bubliny. Tyto objekty se zachovaly v místech, kde viskozita lechatelieritové hmoty byla relativně velká a gradient rychlostí proudící hmoty relativně malý (obr. 4). Většina plynů z bublin v lechatelieritových inkluzích byla ale pravděpodobně uvolněna teprve v průběhu deformací lechatelieritových inkluzí během formování moldavitových objektů. Únik bubliny z lechatelieritové inkluze pravděpodobně ukazuje obr. 5. Rozměry této bubliny nasvědčují tomu, že tlak plynů v bublině byl větší než v okolní moldavitové hmotě. Původ dnes v moldavitech nalézáných bublin z lechatelieritových inkluzí by vysvětloval vysokou korelaci mezi koncentrací lechatelieritových inkluzí a bublin v moldavitových objektech (Konta et Mráz 1968).

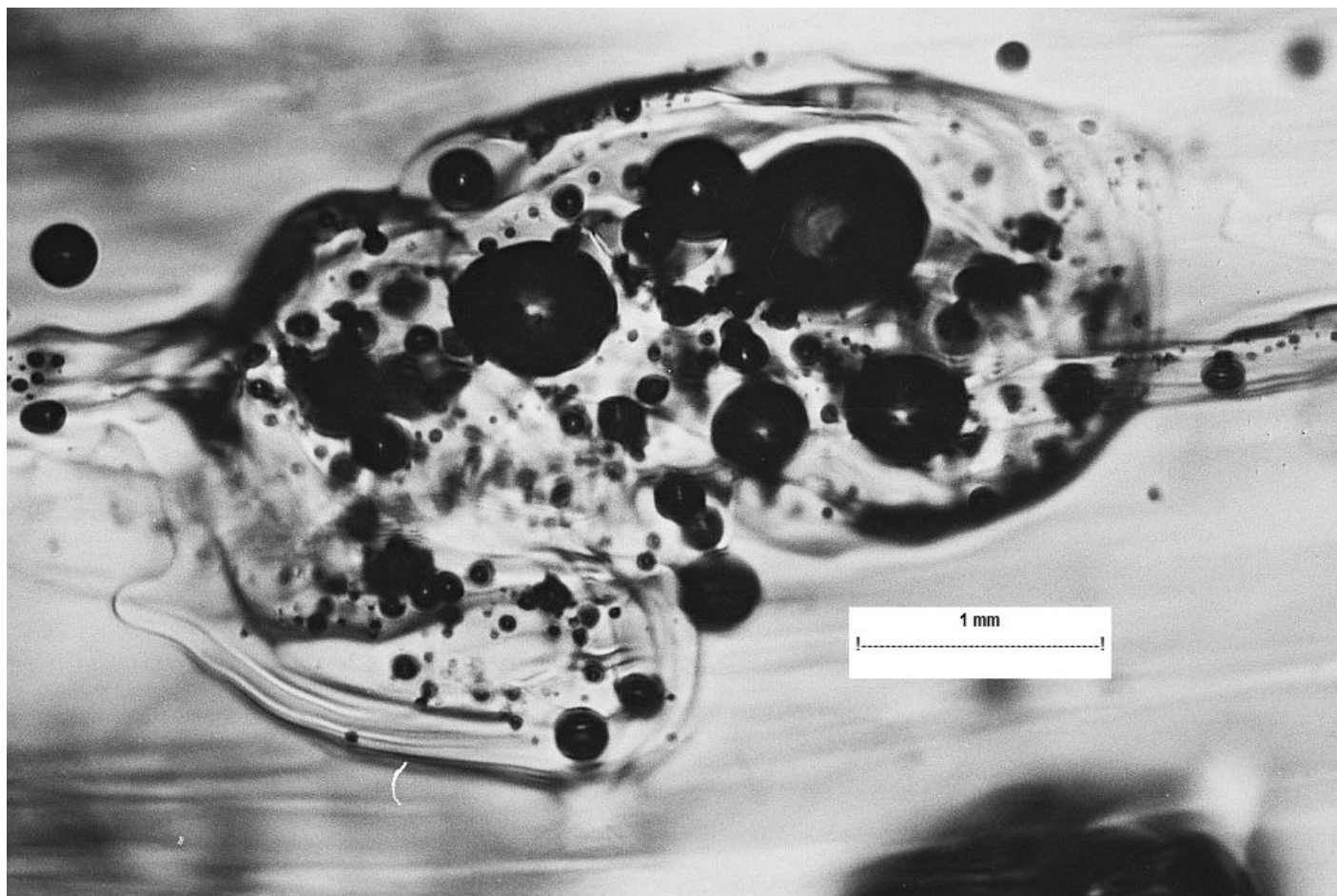
**Obr. 2)** Nedeformované lechatelieritové zrno v rychlostním gradientovém toku



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

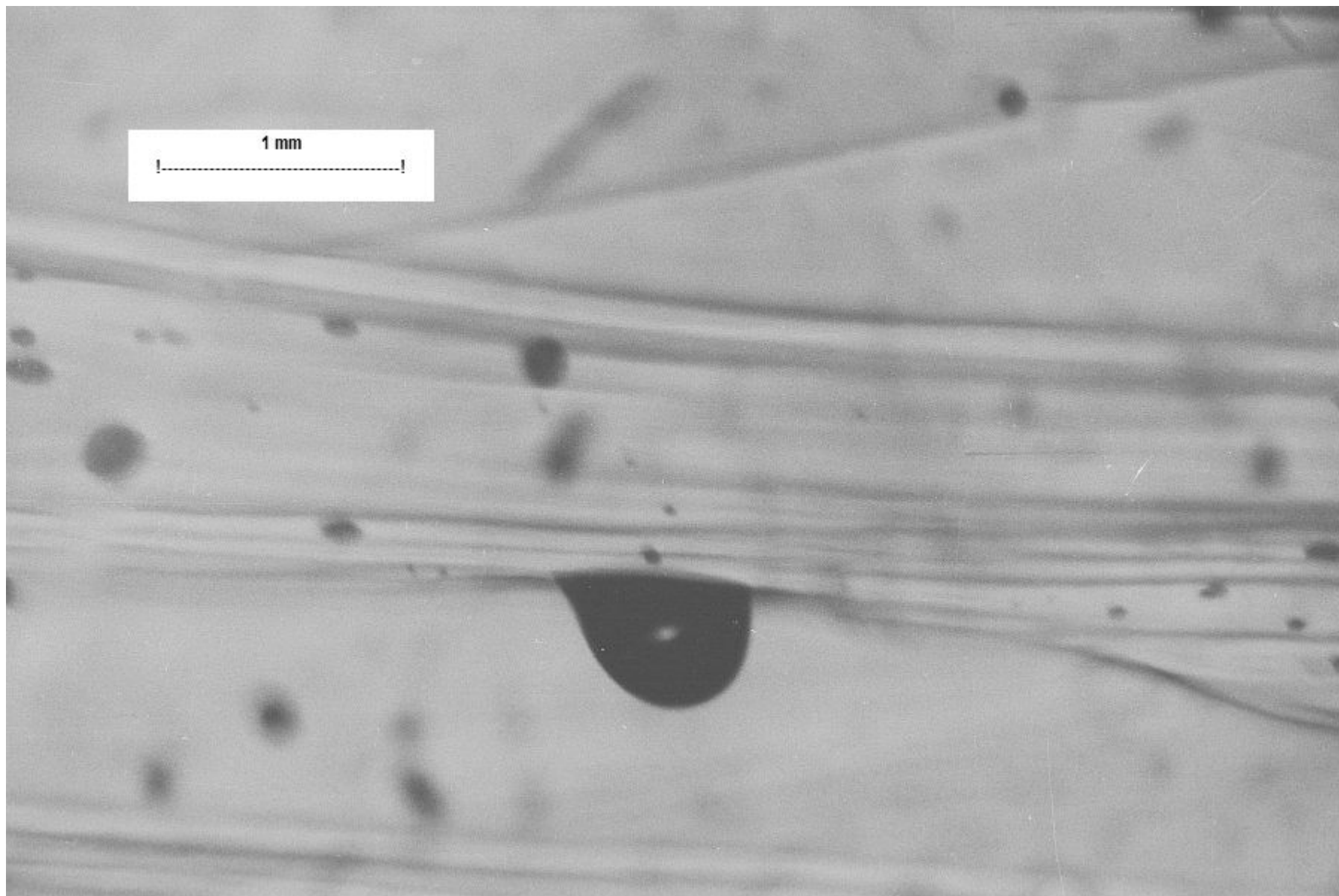


Obr. 4) Vzpěněné lechatelieritové zrno





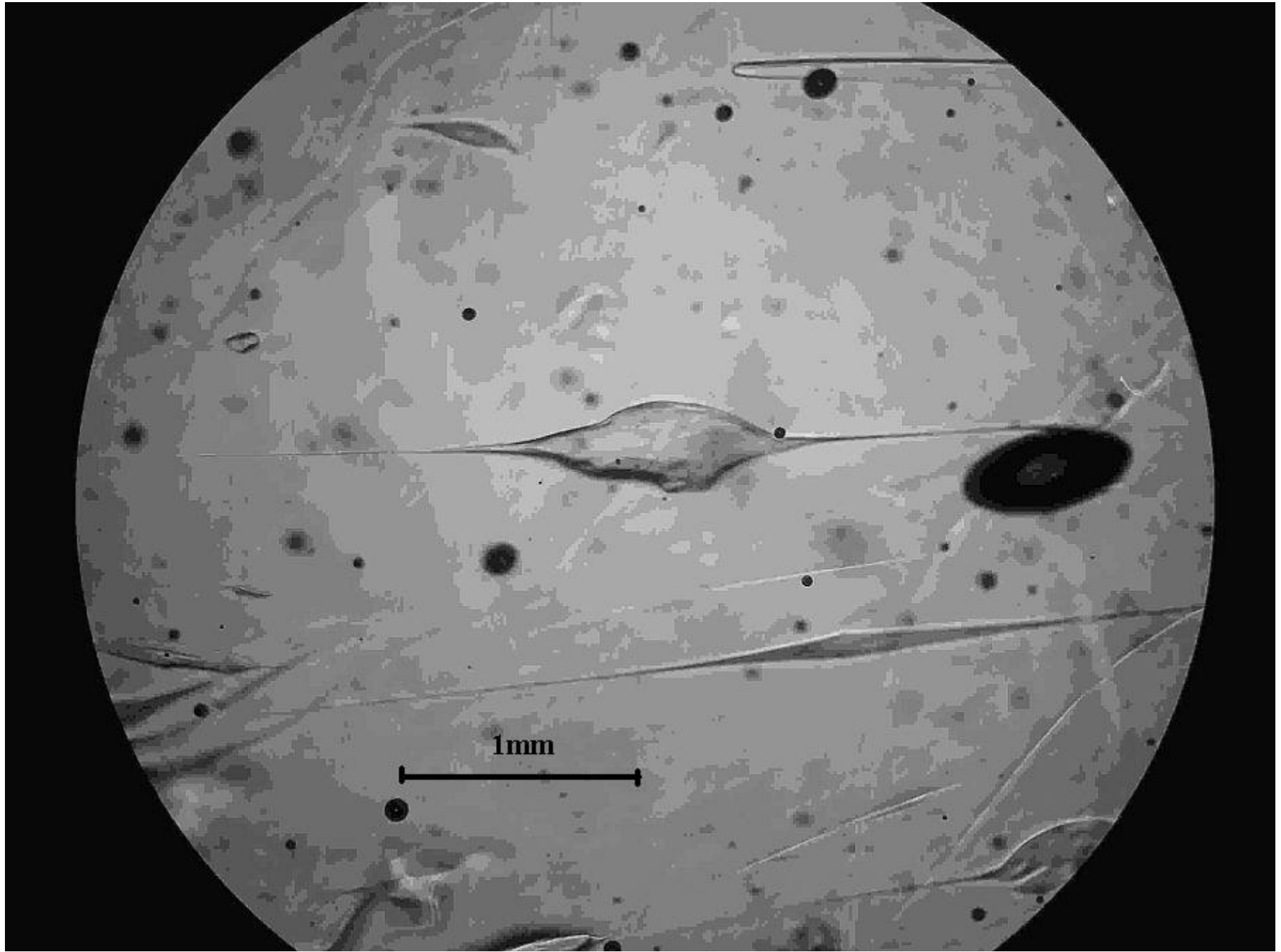
**Obr. 5)** Únik bubliny z lechatelieritové jehlice



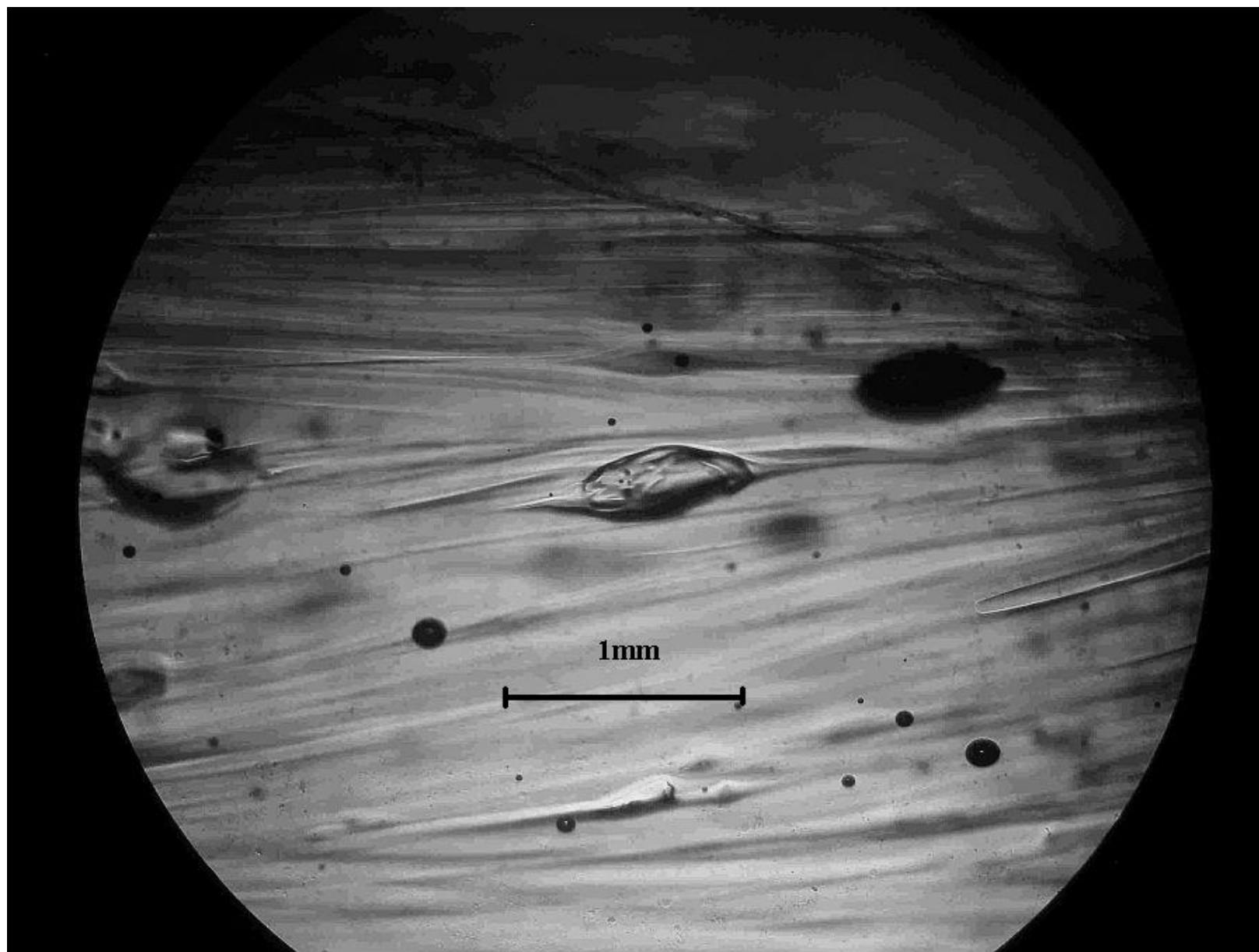
d) *Čočkovité lineárně deformované lechatelieritové inkluze vytažené na protilehlých koncích do plochých jehlic*

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

(na další straně) **Obr. 6a)** Čočkovitá inkluze (půdorys) >>>

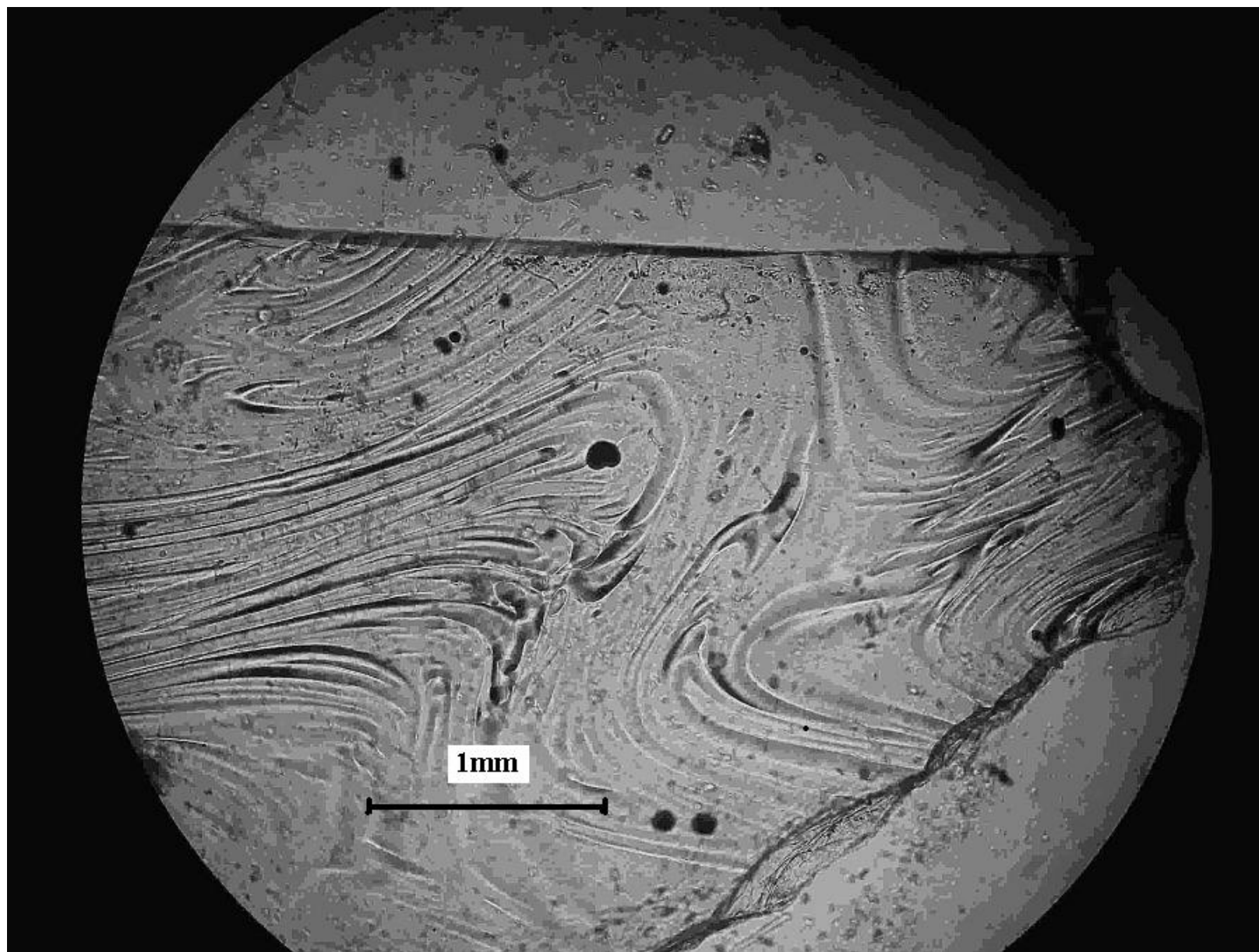


Obr. 6b) Čočkovitá inkluze (nárys)



[větší obrázek >>>](#) [alternativní odkaz](#)

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



[větší obrázek >>>](#) [alternativní odkaz](#)



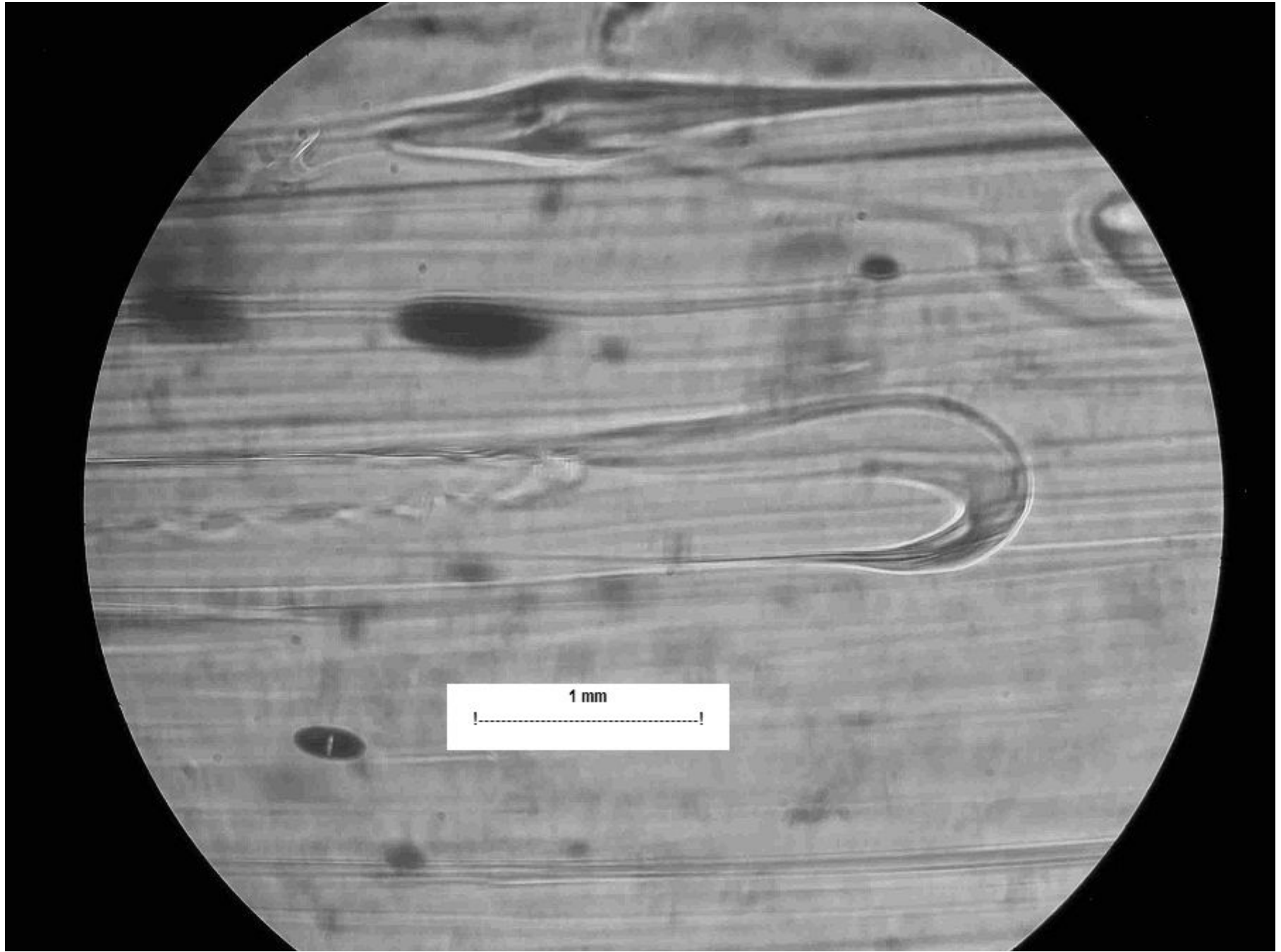
Rozsah nalézáných deformací mateřského zrna se pohybuje v širokých mezích. Malá zrna křemene (přibližně menší než asi 100  $\mu\text{m}$ ) za těchto podmínek zanechala pouze stopy ve formě šlír.

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

#### e) „Široké vlásenky“

Lechatelieritové ploché a ohnuté jehlice, lze nalézt na čele někdy dobře pozorovatelného plochého „jazykovitého“ proudu. Zploštění lechatelieritové jehlice je kolmé na rovinu této „vlásenky“. Šířka těchto vlásenek bývá od několika set mikrometrů do několika milimetrů. Široké vlásenky vznikaly v místech, kde křemenné zrna se nacházelo v centrální části plochého jazykovitého proudu sklovité hmoty pronikajícího do tvořené sklovité hmoty a je rozevřeno do dvou souběžných plochých ramen tvaru „U“ (obr. 7). Obrázek naznačuje, že ploché „vrstvy“ se skládaly z jednotlivých „pramének“. Lze tedy předpokládat, že tyto praménky sklovité hmoty se pohybovaly různou rychlostí a jejich viskozita byla pravděpodobně rozdílná.

**Obr. 7)** Široká lechatelieritová vlásenka >>>

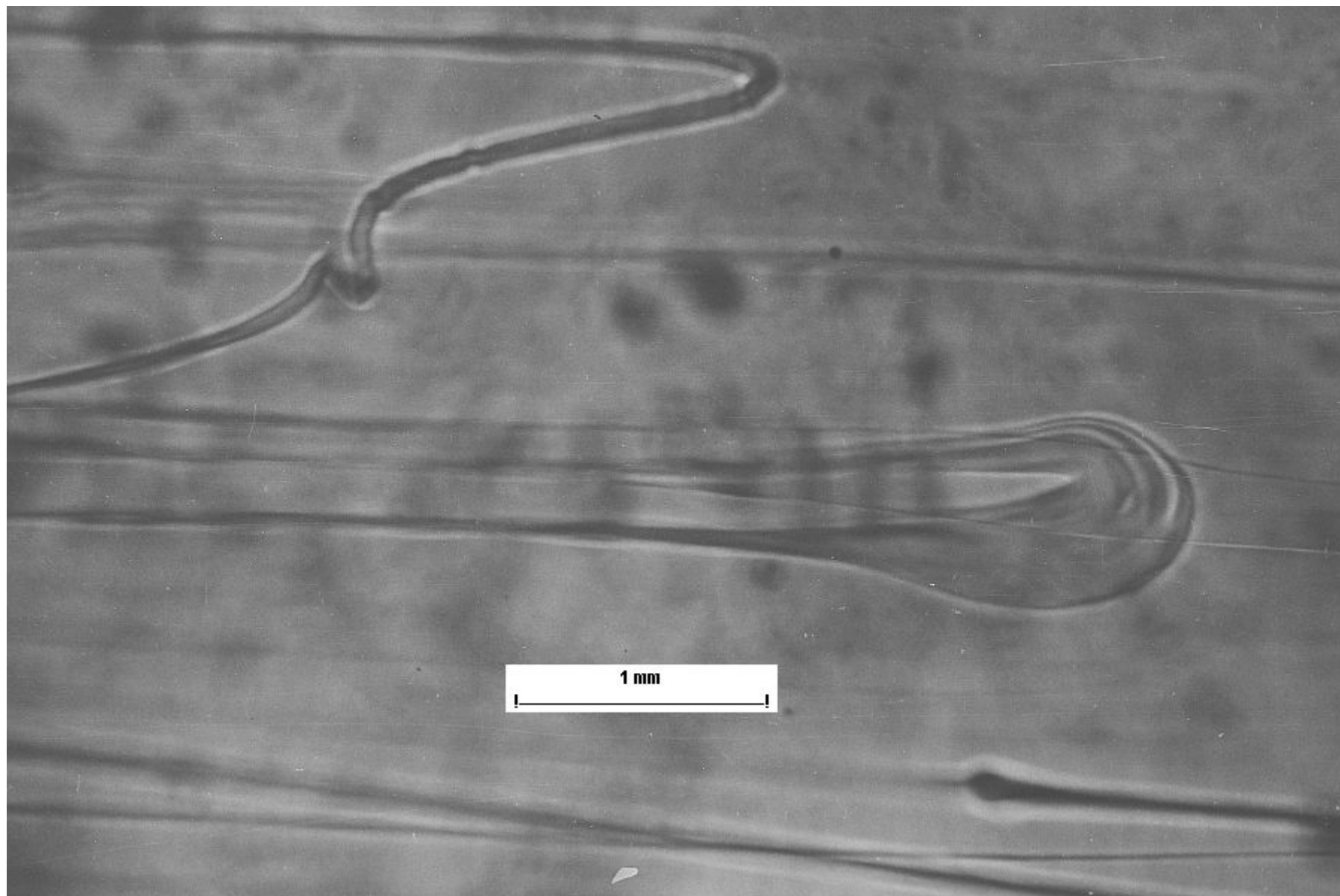


f) „Úzké vlásenky“

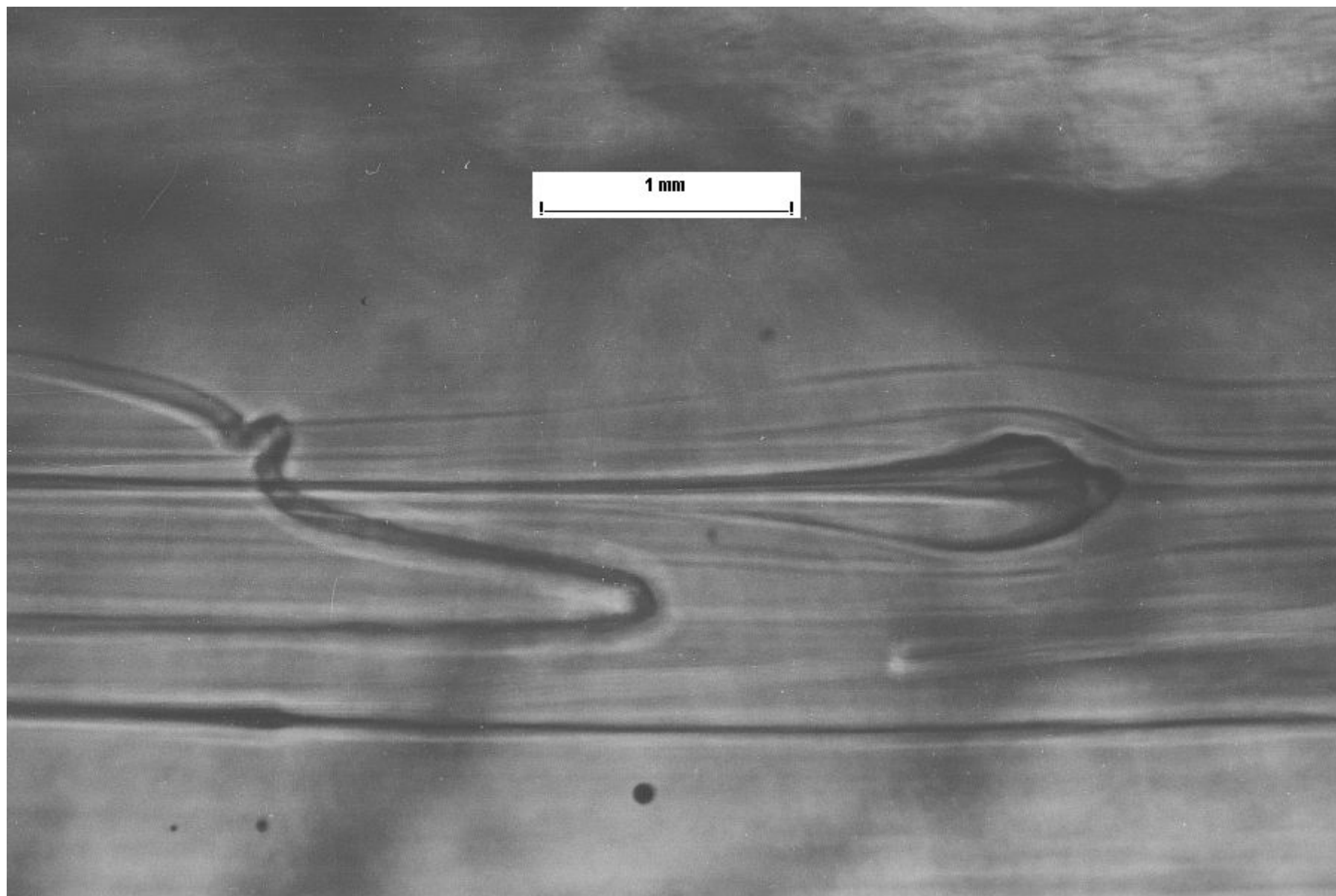
Lechatelieritové zrno je vytaženo v jednom směru do dvou (výjimečně také do více) rovnoběžných plochých jehlic. Šířka těchto vlásenek byla určena tloušťkou matečných zrn křemene. V tomto případě je rovina zploštění jehlic stejná jako rovina vlásenky. Při pohledu z boku se tyto inkluze jeví jako kyjovité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



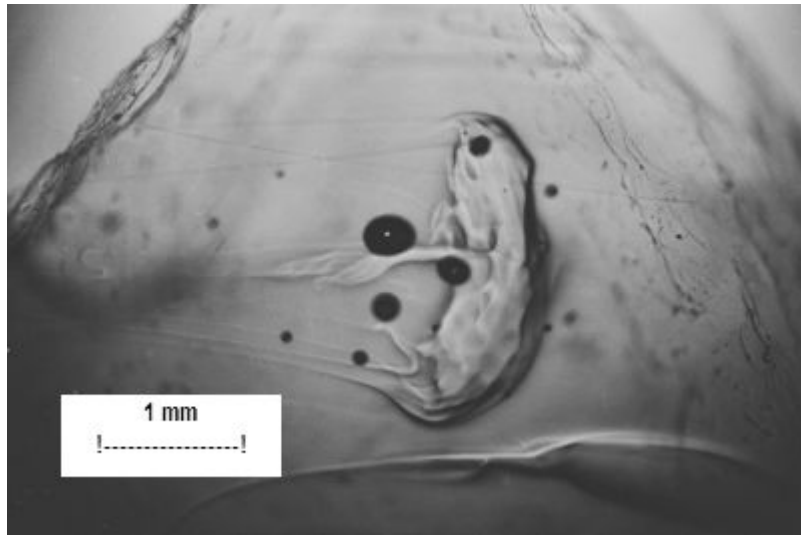
**Obr. 8a** Úzká vlásenka vlásenky (půdorys)



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



**Obr. 8c)** Úzká vlásenka; z výčnělků lechatelieritového zrna bylo vytaženo více jehlic.



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

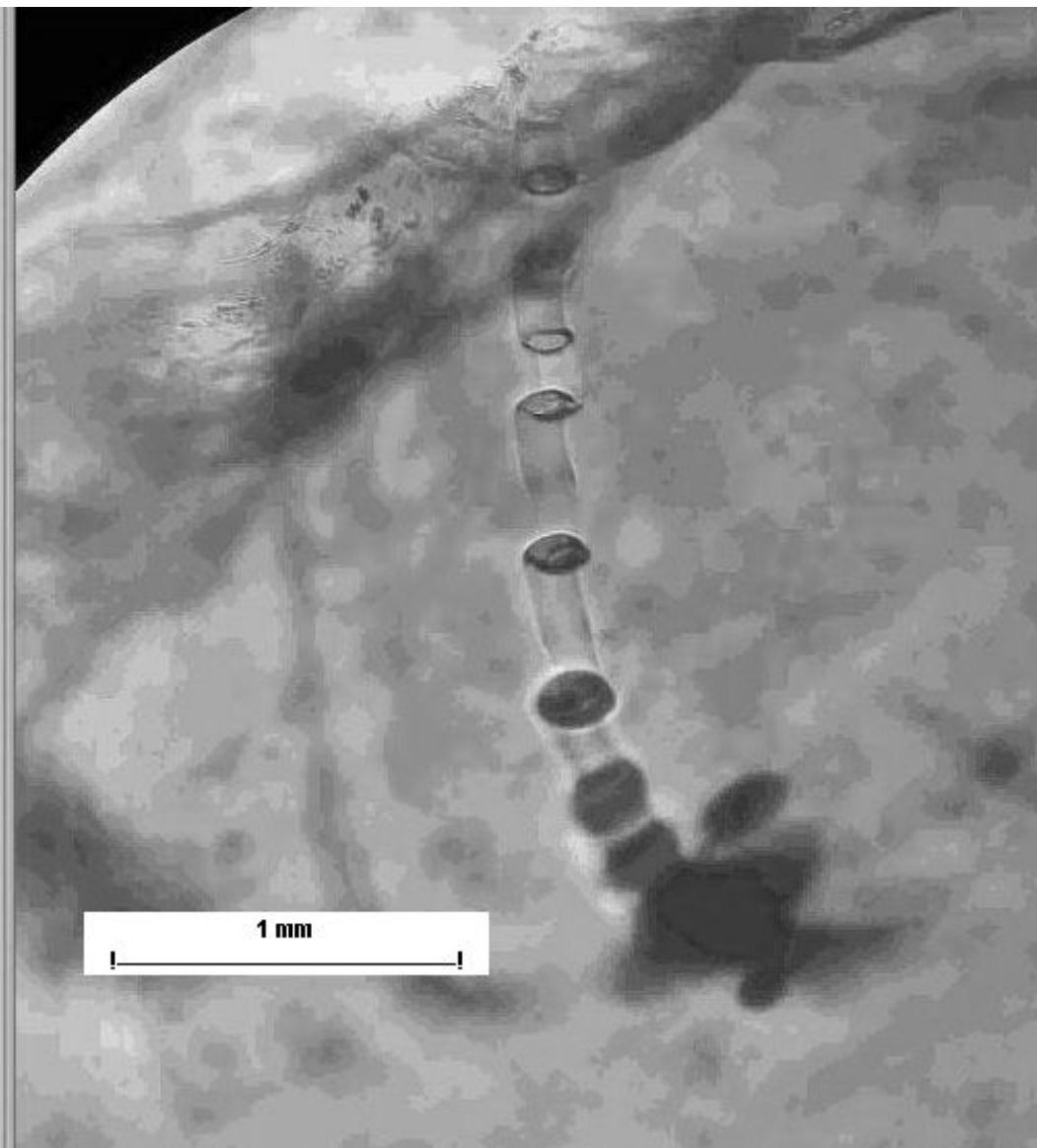
V některých případech lze v moldavitových objektech nalézt sinusovitě (hádkovitě – Bouška 1987) zvlněné lechatelieritové inkluze.

Amplituda zvlnění i rozkmit takových lechatelieritových „meandrů“ bývají přibližně stejné a bývají téměř přímo úměrné tloušťce inkluze. Krátké úseky zvlněných okluzí se vyskytují nejčastěji v oblasti špičky široké vlásenky. Zploštění lechatelieritové jehlice bývá v tomto případě kolmé na rovinu vlásenky. Při pohledu po otočení o 90 stupňů se jeví tyto inkluze jako „žebříček“ (obr. 9a,b). Tyto útvary vznikaly pravděpodobně v místech, kde méně viskózní sklovitá hmota byla vtlačována mezi již „rigidnější“ vrstvy. Během tohoto procesu byly zploštělé lechatelieritové inkluze „shrnovány“ (někdy přibližně až o 60%), ale ploché lechatelieritové inkluze si do značné míry zachovaly prostorovou orientaci.

**Obr. 9a)** Lechatelieritový meandr (půdorys)



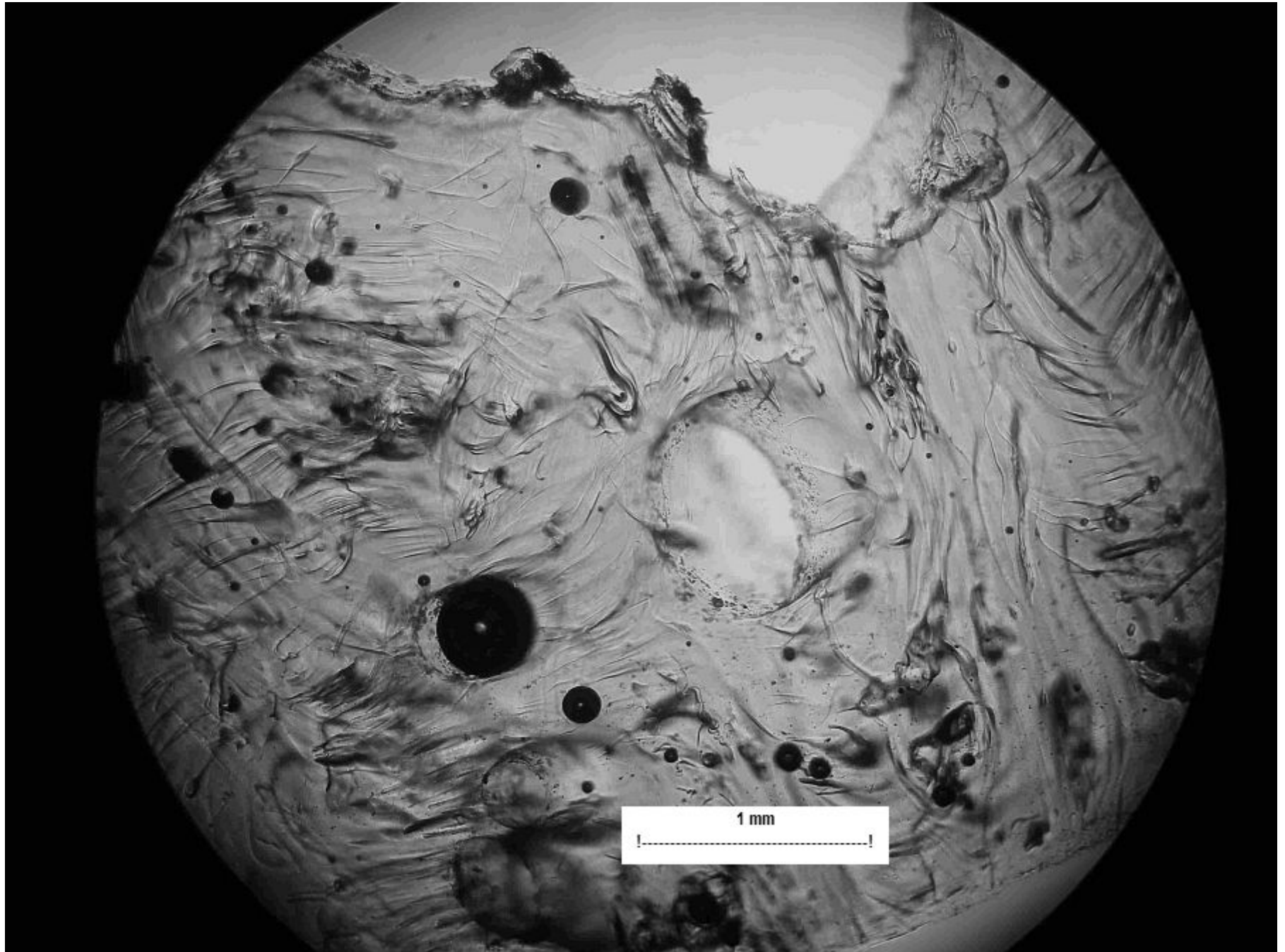
**b)** Lechatelieritový meandr, z boku



*h) Nepravidelně zprohýbané lechatelieritové inkluze*

Příklad zprohýbaných lechatelieritových jehlic nalézáme v moldavitových objektech s „plstnatou“ strukturou (Knobloch et al. 1983). Tyto objekty tvoří u jihočeských exemplářů asi patnáct procent nalezených exemplářů. Mezi moldavity z Chebské oblasti je tento typ struktury zastoupen přibližně třiceti až čtyřiceti procenty. Protože se tenké ploché proudy sklovité hmoty v tomto případě pohybovaly navzájem nezávisle v různých rovinách, lechatelieritové inkluze se zdánlivě proplétají (obr. 10).

**Obr. 10)** Moldavit s „plstnatou“ strukturou (na další straně) >>>



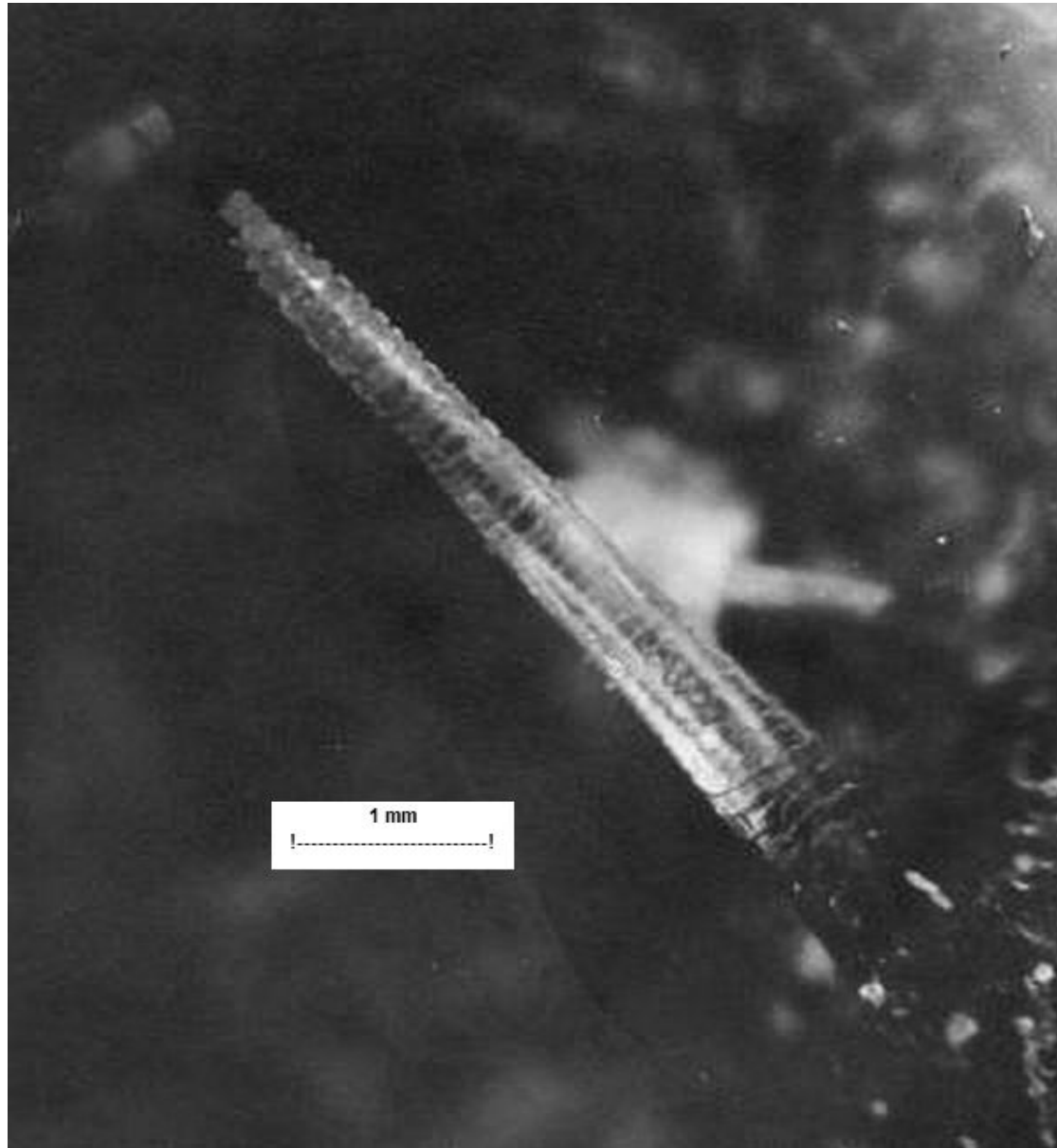
## Bubliny v lechatelieritové hmotě

Bubliny v lechatelieritových inkluzích mají na rozdíl od bublin v moldavitové hmotě převážně kulovitý tvar. Příčinou jsou pravděpodobně jednak relativně malé rozměry těchto bublin, jednak malý rychlostní gradient proudění v těchto objektech. Rozměrnější bubliny v hmotě lechatelieritových inkluzí lze nalézt prakticky pouze ve „vzpěněných“ lechatelieritových objektech (obr. 3).

## Skulptace lechatelieritů

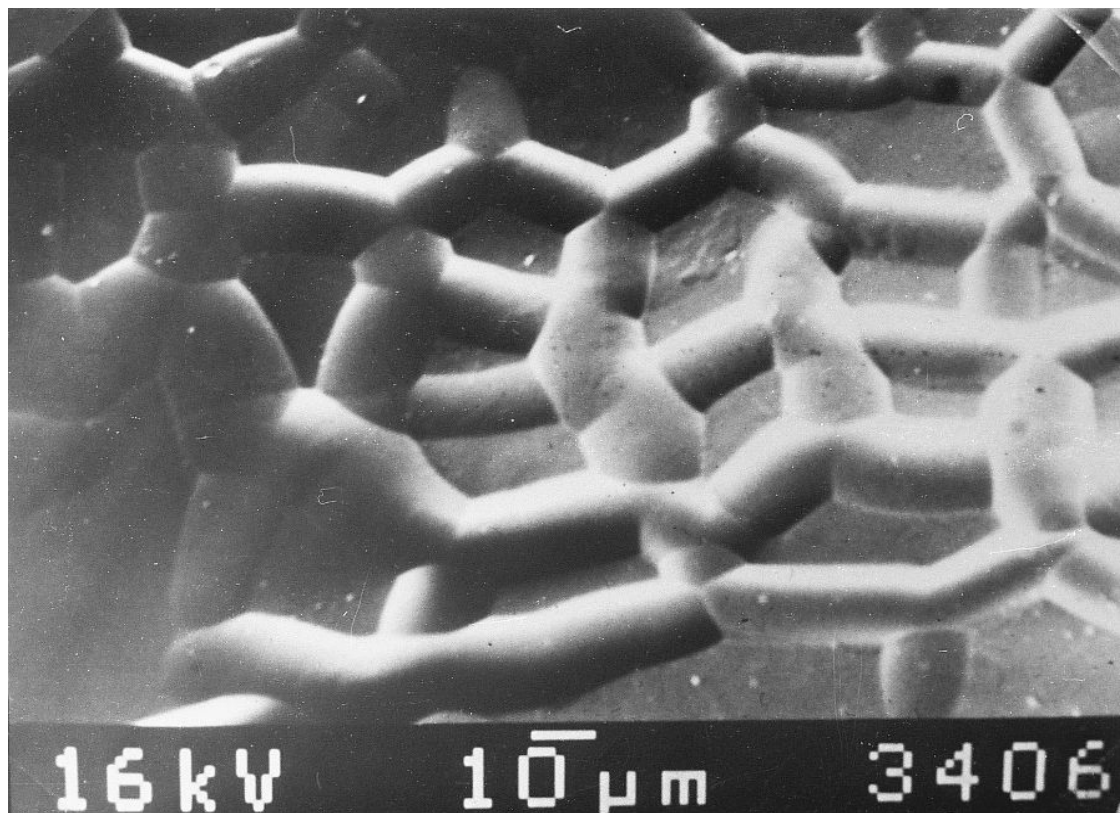
Lechatelieritové výčnělky podléhají korozi podobně jako základní moldavitová hmota, jak je patrné z následujících obrázků. Skulptace se projevuje na lechatelieritových výčnělcích buď ve směru příčném k dlouhé ose výčnělků (obr. 11) nebo ve směru podélném s dlouhou osou úlomků. Vedle toho, na povrchu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

**Obr. 11)** Skulptace lechatelieritového výčnělku

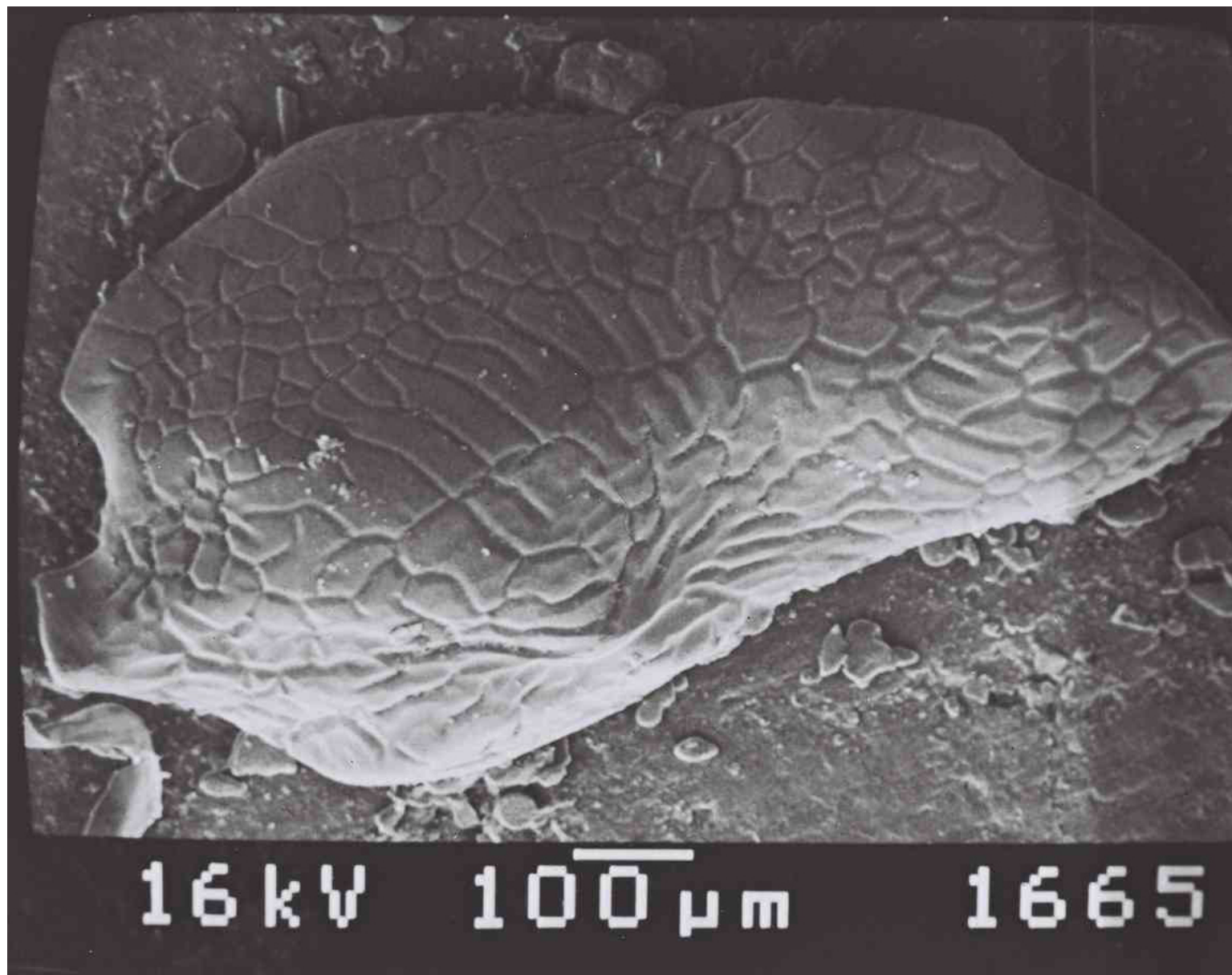




Obr. 12a) Skulptace povrchu lechatelieritu. Foto J. Tláškal



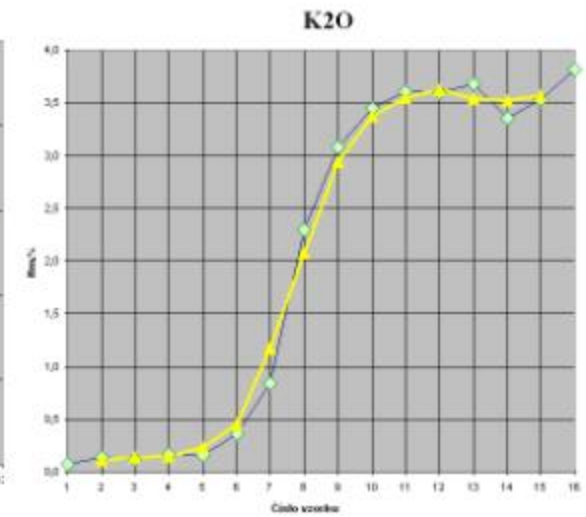
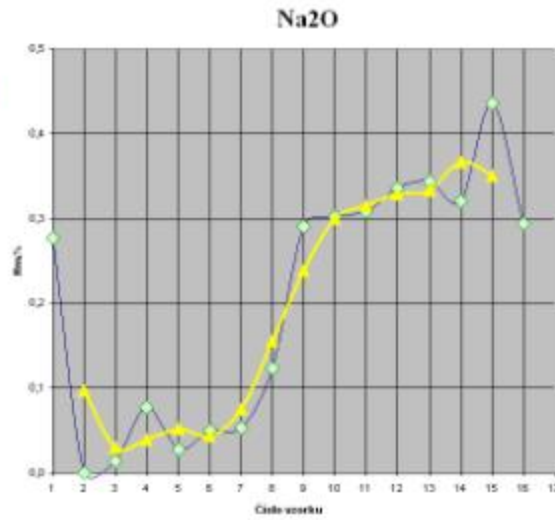
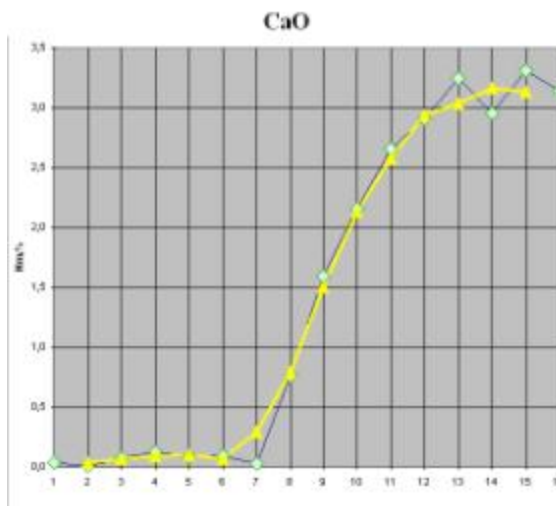
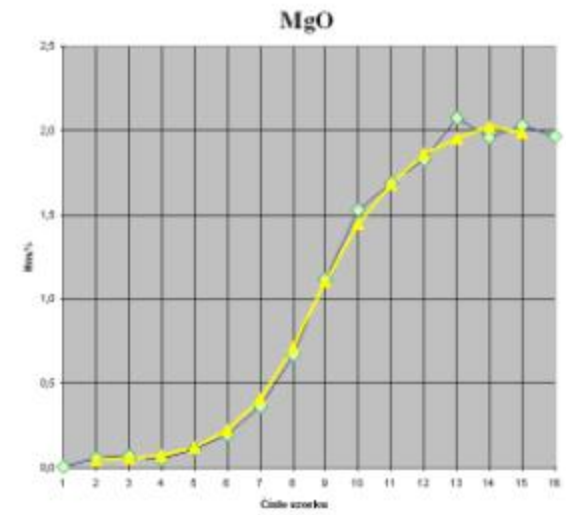
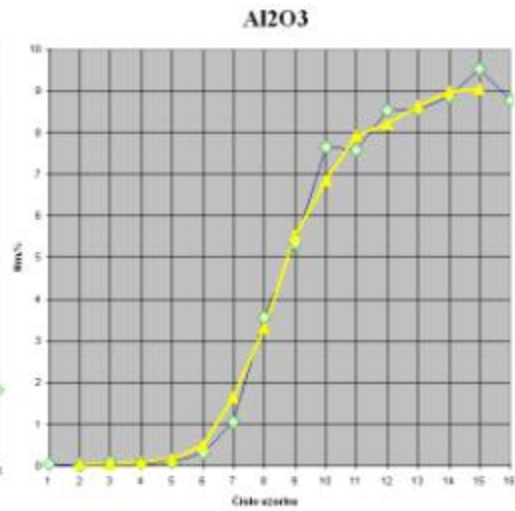
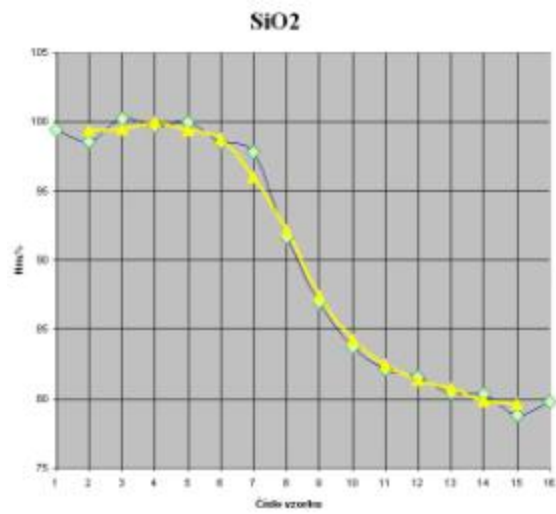
12b) Skulptace povrchu lechatelieritu. Foto J. Tláškal



## **Analýza difúzní vrstvy na rozhraní lechatelieritu a základní moldavitové hmoty na mikrosondě**

Elektronová mikroanalýza byla provedena ve vlnově disperzním módu na přístroji CAMECA SX-100 v Geologickém ústavu AV ČR. Z Grafu I jsou patrné změny koncentrace křemíku a některých minoritních prvků v difúzní vrstvě mezi lechatelieritovou inkluzí a základní moldavitovou hmotou v průběhu formování moldavitových objektů. Pro stanovení difúzní vrstvy byla vybrána lechatelieritová inkluze, u které se dalo předpokládat, že nebyla výrazně deformována rychlostním gradientovým tokem. Na základě tloušťky difúzní vrstvy lze odhadnout, že doba, po kterou byly tyto dvě komponenty ve styku ve „žhavém stavu“ (tím je míněna doba od roztavení přes stav plastický až po stav pevný), nepřesáhla několik desítek sekund. Pro hrubý odhad doby byly použity jako referenční hodnoty teplota 1800°C a difúzní rychlost  $3 \cdot 10^{-8}$  cm/s (O'Keefe 1976).

**Graf I** Koncentrace hlavních složek v difúzní zóně mezi moldavitovou hmotou a lechatelieritovou inkluzí. >>>



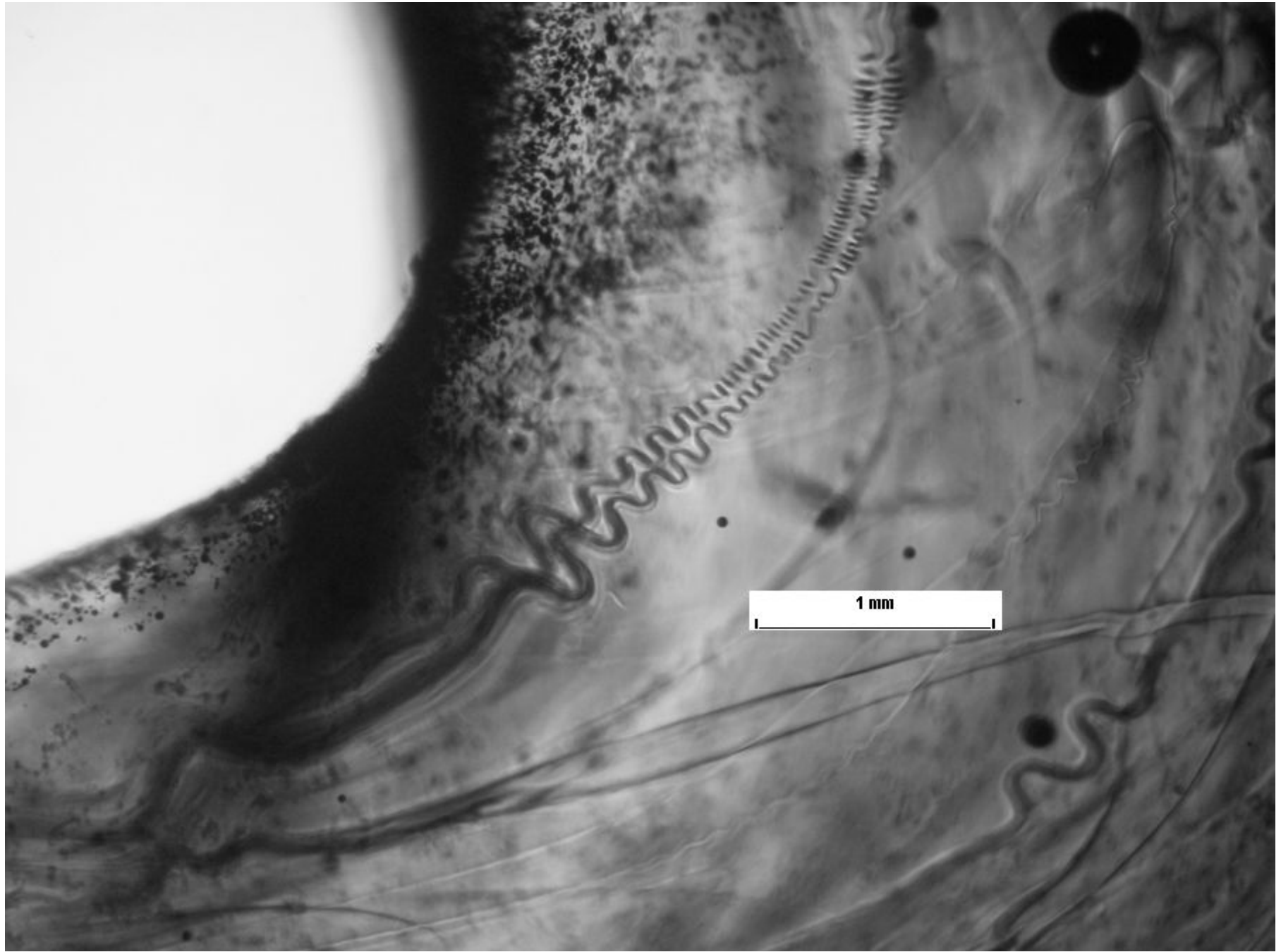
[SiO<sub>2</sub>](#)
[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>](#)
[MgO](#)
[CaO](#)
[Na<sub>2</sub>O](#)
[K<sub>2</sub>O](#)
 alternativní odkazy:
 [SiO<sub>2</sub>](#)
[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>](#)
[MgO](#)
[CaO](#)
[Na<sub>2</sub>O](#)
[K<sub>2</sub>O](#)

### **Zahřívání lechatelieritových inkluzí**

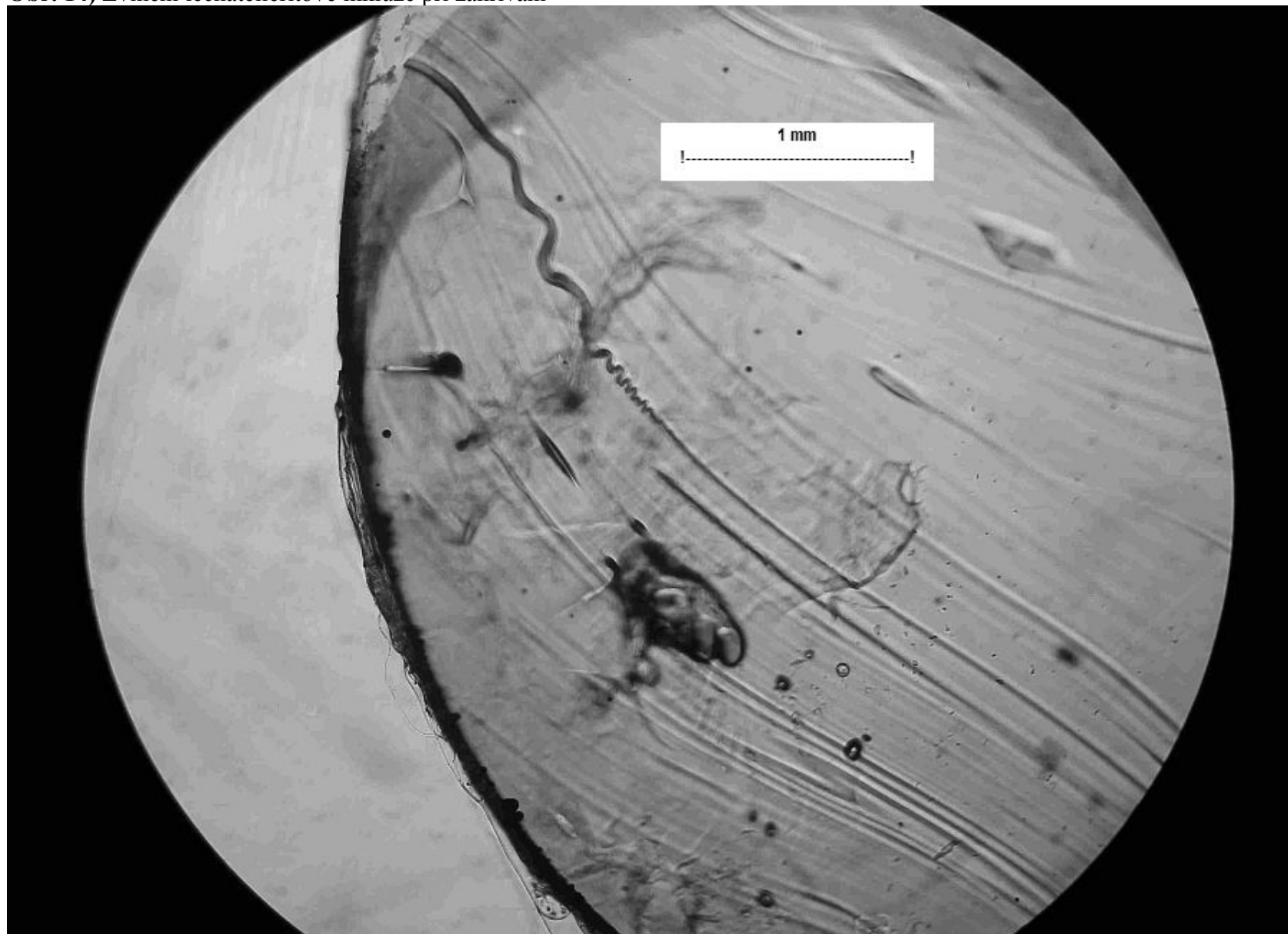
Významným zdrojem informací o vlastnostech lechatelieritových inkluzí je jejich chování v průběhu zahřívání moldavitů do 1200 °C (Heide 1989). Experimentálně bylo zjištěno, že při teplotě přibližně nad 1175 °C dochází současně se změnou tvarů moldavitových objektů také ke změně tvarů lechatelieritových inkluzí.

Na obr. 13 je zobrazena struktura moldavitového hranolku ohnutého nad sklářským kahanem o 90 stupňů. Rovnoběžné lechatelieritové jehlice se zvlíní. Podobného efektu lze dosáhnout zahříváním moldavitových řezů na teplotu vyšší než přibližně 1175 °C (obr. 14). Na základě těchto výsledků lze usuzovat, že při těchto teplotách se lechatelieritová hmota stává již tvárná. Příčina tohoto jevu není jasná.

**Obr. 13)** Zvlnění lechatelieritové inkluze při ohýbání moldavitové hmoty >>>



Obr. 14) Zvlnění lechatelieritové inkluze při zahřívání



## Diskuze a závěr

Inkluze v moldavitových objektech a struktura těchto objektů umožňují udělat si hrubou představu o základních podmínkách a procesech, které vedly k jejich vzniku.

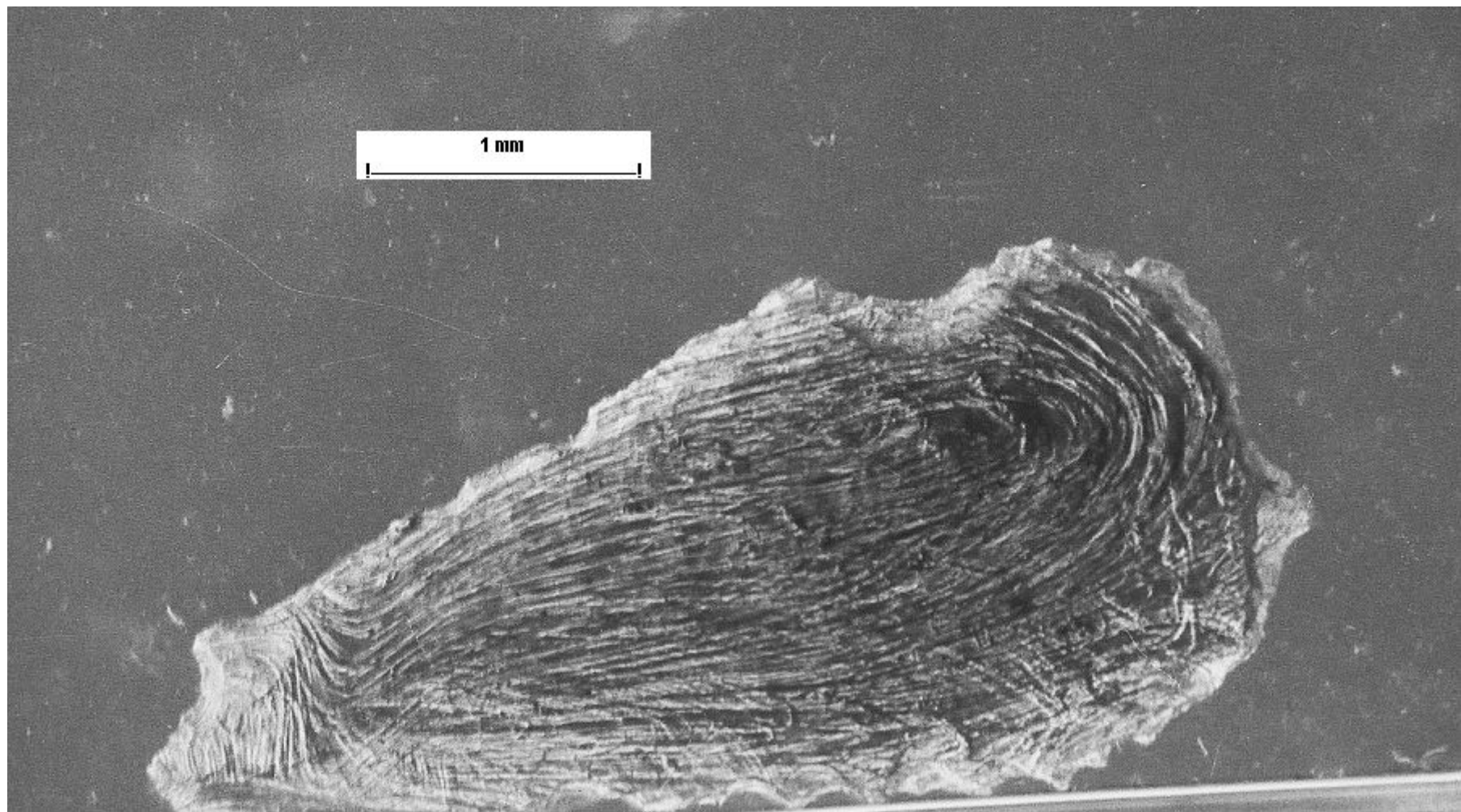
Přítomnost lechatelieritových inkluzí, které se pohybovaly společně s moldavitovou hmotou, umožňuje také vytvořit si představu o chování základní moldavitové hmoty. Výsledky ukazují, že i "základní" hmota jihočeských moldavitů je převážně složena z pramének sklovité hmoty, které „zamrzly“ v průběhu lineárního proudění. Jednotlivé proudy se pohybovaly navzájem různými rychlostmi a inkluze byly deformovány v rychlostním gradientovém toku. Obsahují přibližně 99% SiO<sub>2</sub> (Kučera et Knobloch 1982, Řanda et al. 2007).

Nalézané lechatelieritové úlomky mají index lomu okolo 1,462. Tyto objekty vznikly pravděpodobně tavením křemenných zrn (do velikosti asi 0,5 mm), ale mají pozoruhodně nízký bod měknutí při teplotách již nad teplotou asi 1175 °C. Deformace těchto inkluzí probíhala v rychlostním gradientovém poli proudící sklovité hmoty. Proudění mělo charakter potenciálového toku, který způsobil protažení těchto inkluzí z délky od 1:1 až zhruba po 1:100. Tento proces deformací zřejmě významně přispěl k relativně dobré homogenitě moldavitové hmoty.

Stanovená tloušťka difúzní vrstvy mezi lechatelieritem a základní moldavitovou hmotou nasvědčuje tomu, že malá zrna křemene menší než asi 100 μm většinou zanikla a zanechala stopy ve formě šlír. Struktura moldavitové hmoty nasvědčuje tomu, že proudění mělo charakter převážně lineárně paralelní, ale lze nalézt oblasti, kde průměty ojedinelých inkluzí se kříží v pravém úhlu se směrem dominantních inkluzí. To lze považovat za důkaz, že jednotlivé tenké sklovité „vrstvy“ se pohybovaly v některých případech překvapivě navzájem nezávisle. Příčinou relativně nízké viskozity lechatelieritových inkluzí v průběhu zahřívání inkluzí mohla být přítomnost vody, kterou nelze použitými analytickými metodami prokázat. Na základě teorie deformací v rychlostním gradientovém poli proudících suspenzí (Taylor 1934) lze předpokládat, že viskozita lechatelieritu byla v době formování přibližně stejná nebo dokonce i menší než viskozita moldavitové hmoty. Z absence spirálních deformací lechatelieritových inkluzí a šlír je pravděpodobné, že Reynoldsovo číslo proudění v sklovité hmotě nepřesáhlo významně hodnotu jedné. To nasvědčuje tomu, že viskozita sklovité hmoty byla po celou dobu tvorby sklovité hmoty relativně vysoká a teplota nízká, nad oblastí měknutí moldavitové hmoty. Tento předpoklad podporuje také struktura kapkovitých tvarů některých moldavitů (obr. 15), které vznikly vlivem povrchových sil v okamžiku odtrhávání jednotlivých objektů viskózní hmoty z matrice. Tyto kapky ale ztuhly dříve, než mohly přejít do tvaru stabilní koule.



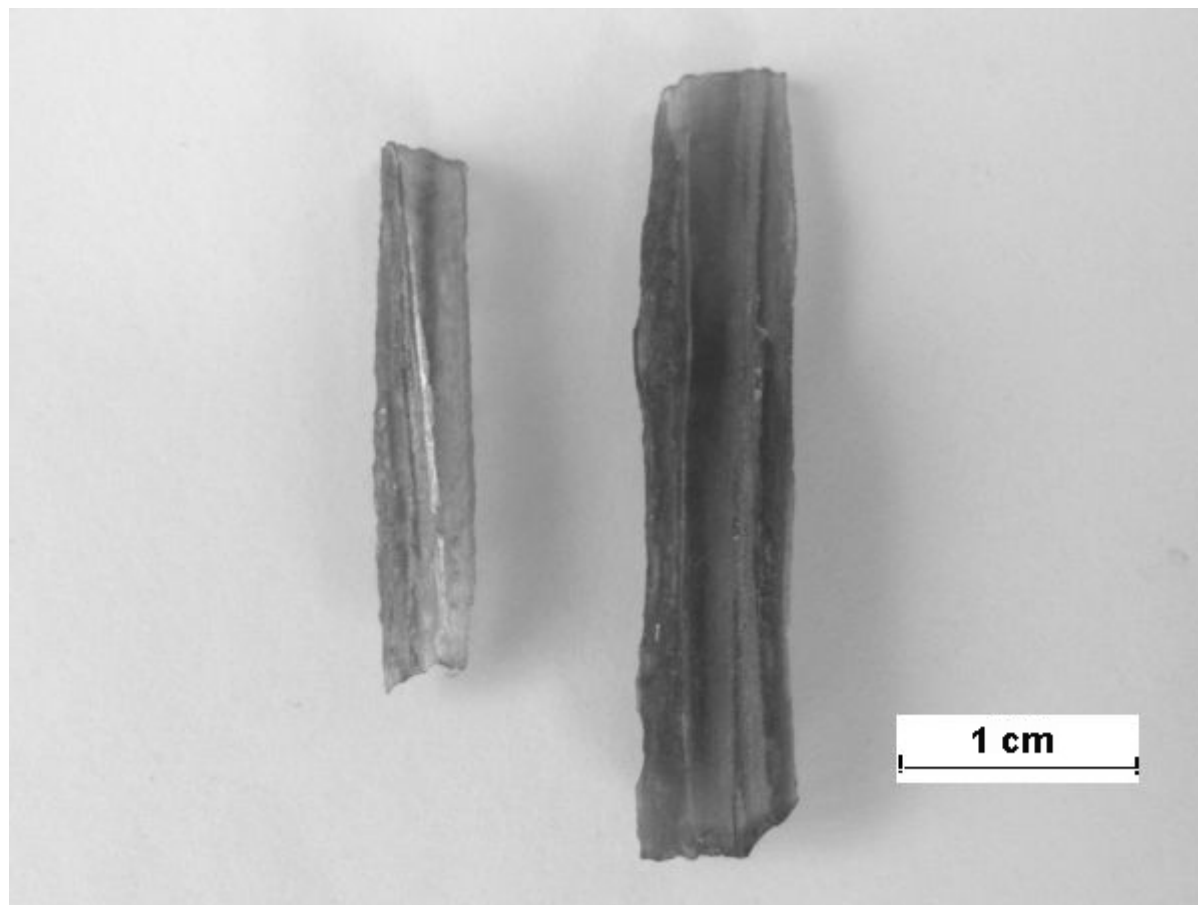
Obr. 15) Struktura kapky



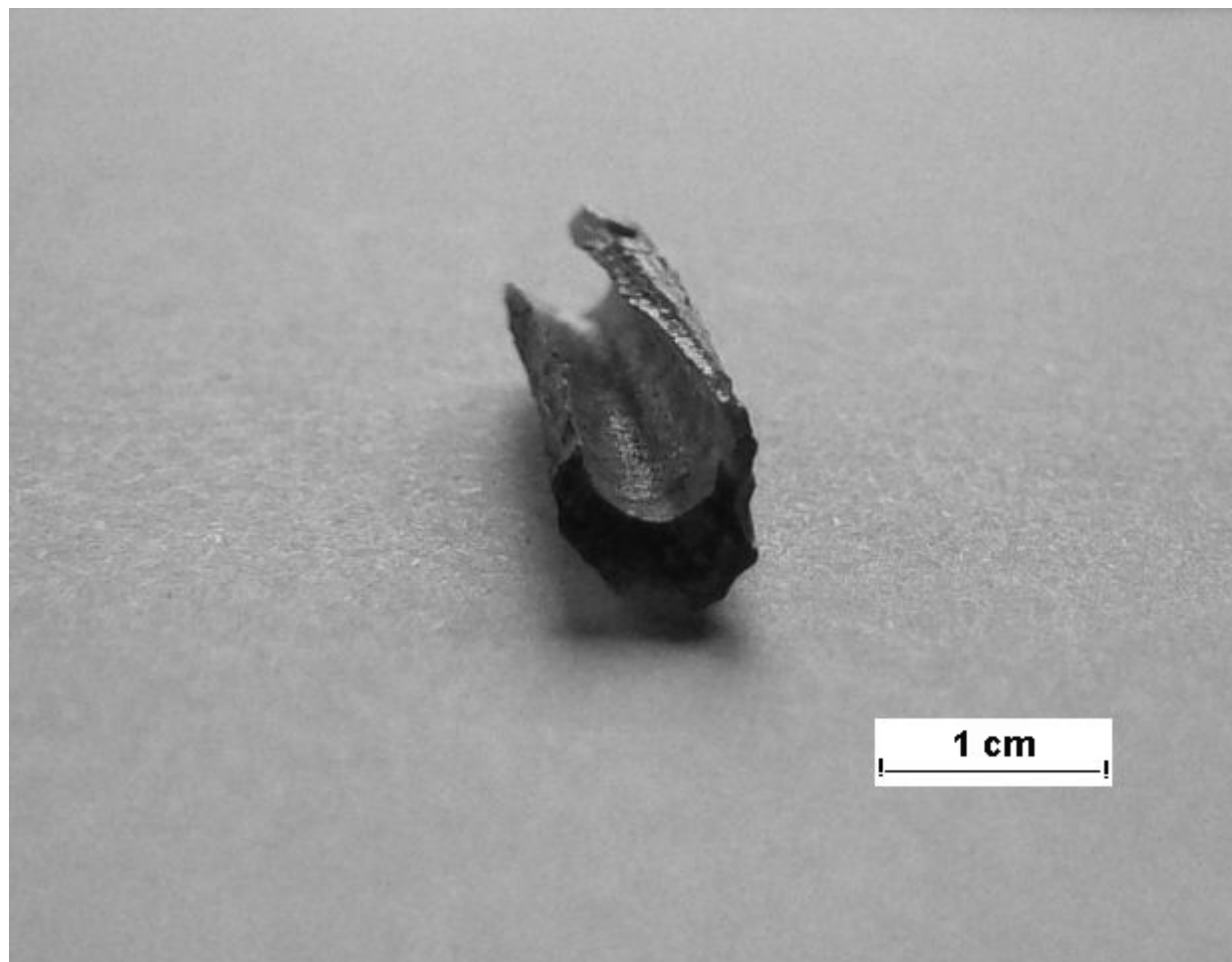
[větší obrázek >>>](#)   [alternativní odkaz](#)

Na druhé straně mezi tvary moldavitových objektů existují exempláře, o kterých se lze domnívat, že byly tenkými dutými trubičkami (obr. 16). Z toho lze odvodit, že viskozita jednotlivých frakcí vymrštěné moldavitové hmoty byla značně rozdílná. Lze také předpokládat, že méně viskosní frakce sklovité hmoty (které měly viskozitu menší než přibližně  $10^7$  Pa.s), byly tlakem plynů rozprášeny. To by mohlo vysvětlit nepochopitelný poměr celkové hmoty mikrotektitů k hmotě „makrotektitů“ (Glass et al. 1968, Glass et al. 1973, Koeberl 1997).

**Obr. 16a)** Makaronovité moldavity



**Obr. 16b)** Makaronovité moldavity z boku



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

**Poděkování.** Autoři děkují Prof. A. Helebrantovi z Ústavu skla a keramiky VŠCHT za cenné informace k hodnocení difúze a firmě "Svoboda pece" ve Strančicích za zapůjčení laboratorního zařízení.

## Literatura

Barnes V. E. (1940): North American Tectites. Univ. Texas Publ. No. 3945, pp.477 – 582.

Bouška V. a kolektiv (1987): Přírodní skla, Akademia, Praha.

Bouška V., Konta J. (1990): Moldavites – Vltavíny, 1 - 125, U. K. Praha.

Heide K. (1989): Gefüge natürlicher Glaser und deren Beziehung zu ihrer Genese, Chem. Erde, 49, 287 - 295, Jena.

Kinnunen K.A. (1990): Lechatelierite Inclusions in Indochinites and the Origin of Tektites. Meteoritics 25, 181 – 184.

Knobloch V., Knoblochová Z., Urbanec Z., Bruckner H.- P. (1983): Structure and Texture of Lechatelierite Inclusions and Their Relation to the Morfology of Moldavites. Chem. Erde. 42. 145 - 154.

Knobloch V., Knoblochová Z., Kučera J., Tláškal J., Urbanec Z. (1987): Lechatelierite Inclusion in Moldavites and Lechatelierite Fragments in Host Sediments. 2nd Int. Conf. on Natural Glasses., p. 385 - 389, Prague.

Knobloch V., Kučera J. (1996): Trace Elements in Quartz Grains from the Ries Impact Crater and Lechatelierites in Southern Bohemian Moldavites, Chem. Erde 56, 487 - 492, Jena.

Konta J., Mráz L. (1968): Chemical Composition and Bulk Density of Moldavites, Geochim. Cosmochim. Acta 33, 1103 – 1111, Oxford.

Konta J. (1972): Quantitative Petrografical and Chemical Data of Moldavites and their Mutual Relations. Acta Univ. Carol., Geologica, 1, 31 - 45, Praha.

Kučera, J., Knobloch V. (1982): Instrumental Neutron Activation Analysis of Lechatelierite Inclusion from Moldavites, Radiochem. Radioanal. Letters 54, 197 - 208, Lausanne, Budapest.

O'Keefe J. A. (1976): Tektites and their Origin. - Developpt. Petrology, 4, 1 - 254. Elsevier, Amsterdam.

Rost R. (1972): Vltavíny a tektity (Moldavites and Tektites), Academia, 1 - 241, Praha.

Řanda Z., Frána J., Mizera J., Kučera J., Novák J. K., Ulrych J., Belov A. G., Maslov O. D. (2007): Instrumental Neutron and Photon Activation Analysis in the Geochemical Study of Phonolitic and Trachytic Rocks. Geostandards and Geoanalytical Research 31, 275-283.

Suess F. E. (1900): Die Herkunft der Moldavite und verwandter Glaser, Jahrb. d. k. k. Geol. R. A. 50, 193 - 382, Wien.

Taylor G. I. (1934): The Formation of Emulsion in Definable Fields of Flow, Proc. of Royal Soc. of London. Series, A, 501 - 523, London.

Trnka M., Houzar S. (1991): Moravské vltavíny. Muzejní a vlastivědná společnost v Brně, Západosmoravské muzeum v Třebíči, Brno.

---

*Geochemie a mineralogie 3*

[<<< hlavní stránka](#)