

TLAKOVÉ ROZPOUŠTĚNÍ (PS) HORNIN

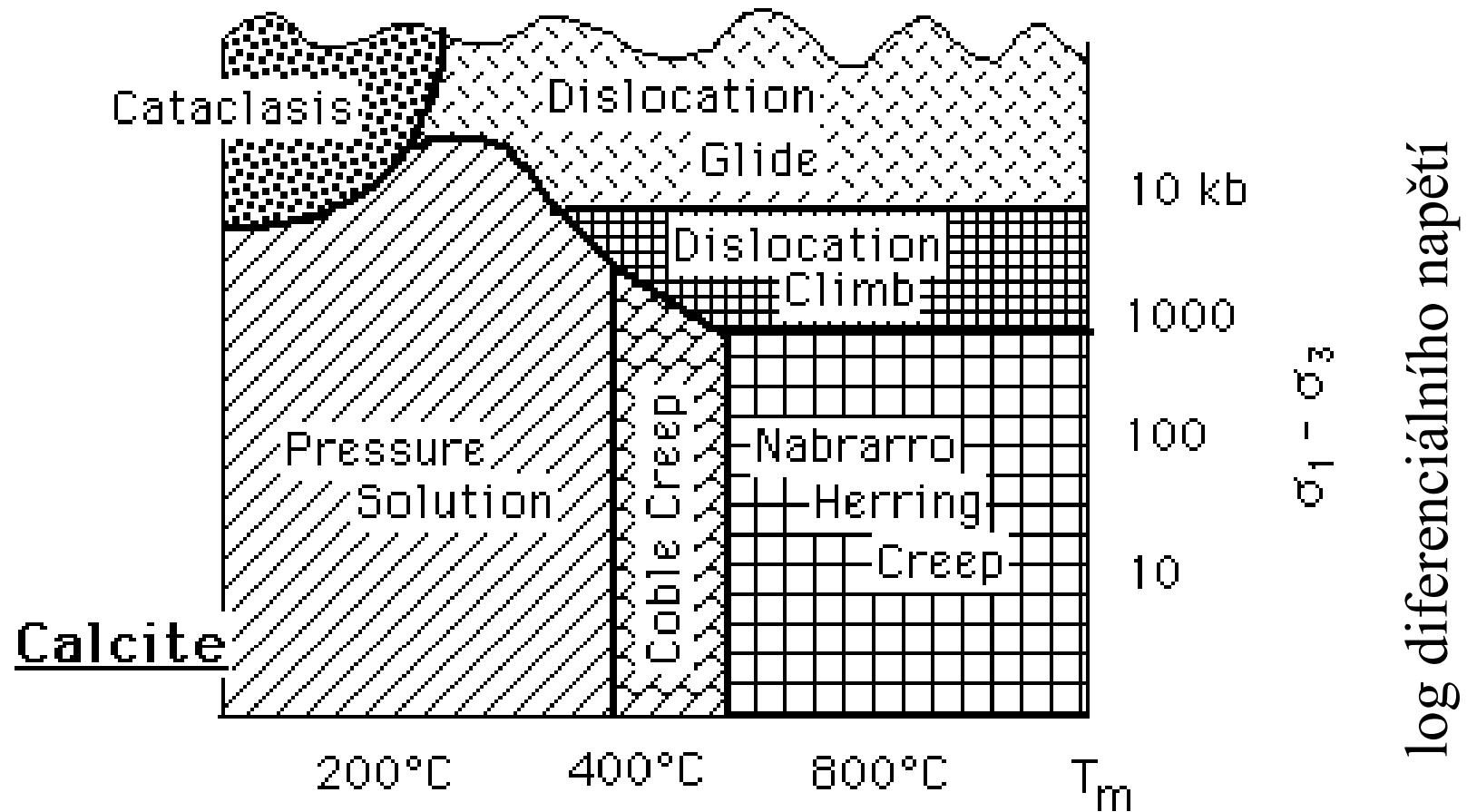
- a) MECHANIZMUS
- b) STYLOLITY
- c) KLIVÁŽ
- d) EXTENZNÍ STRUKTURY

ZÁKLADNÍ DEFORMAČNÍ MECHANIZMY

1. Cataclastic Flow
2. Diffuzion Creep
 1. Pressure Solution (Dissolution-Precipitation Creep)
 2. Nabarro-herring Creep (difuze bodových defektů skrze krystal. mřížku)
 3. Coble Creep (difuze atomů podél hranic zrn)
3. Intracrystalinne Deformation
 1. Dislocation Glide, Dislocation Climb
 2. Dislocation Creep (migrace vakancí na dislokační linii)
4. Twinning
5. Recovery
6. Dynamic Recrystallization
 1. GBM (Grain Boundary Migration Recrystallization)
 2. SGR (Subgrain Rotation Recrystallization)
7. Solid-State Diffuzion Creep
8. GBS (Grain Boundary Sliding) and Superplasticity
9. GBAR (Grain Boundary Area Reduction)
10. Static recrystalization

„DISSOLUTION PRECIPITATION CREEP (DPC)“

- dominantní def. mechanismus za nízkých teplot v „mokrě“ hornině (facie zelených břidlic) – jiné mechanismy jsou zde pomalé
- jsou-li přítomna vhodná fluida, může být důležitý i za vysokých teplot



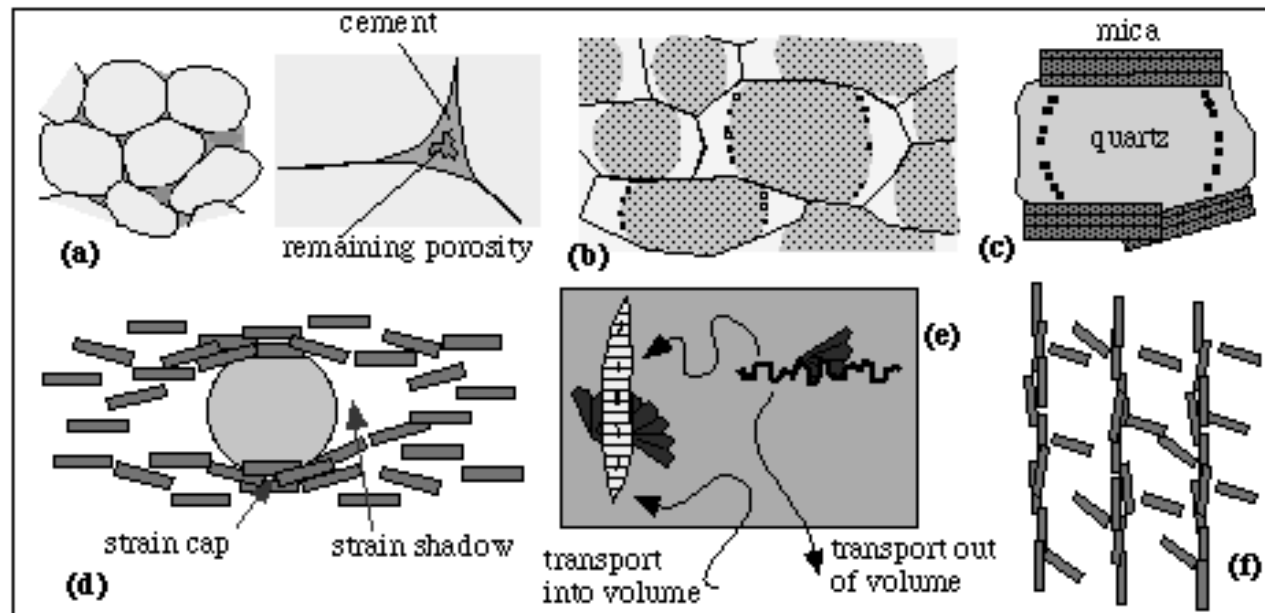
Deformační mechanismy kalcitu při různých P-T podmínkách

ZÁKLADNÍ PRINCIP PS

- rozpouštění zrn na hranicích zrno – fluidní fáze – zrno kolmo na směr komprese
- solution transfer
- srážení materiálu kolmo na směr extenze –
 - congruent PS (souhlasné)
 - incongruent PS

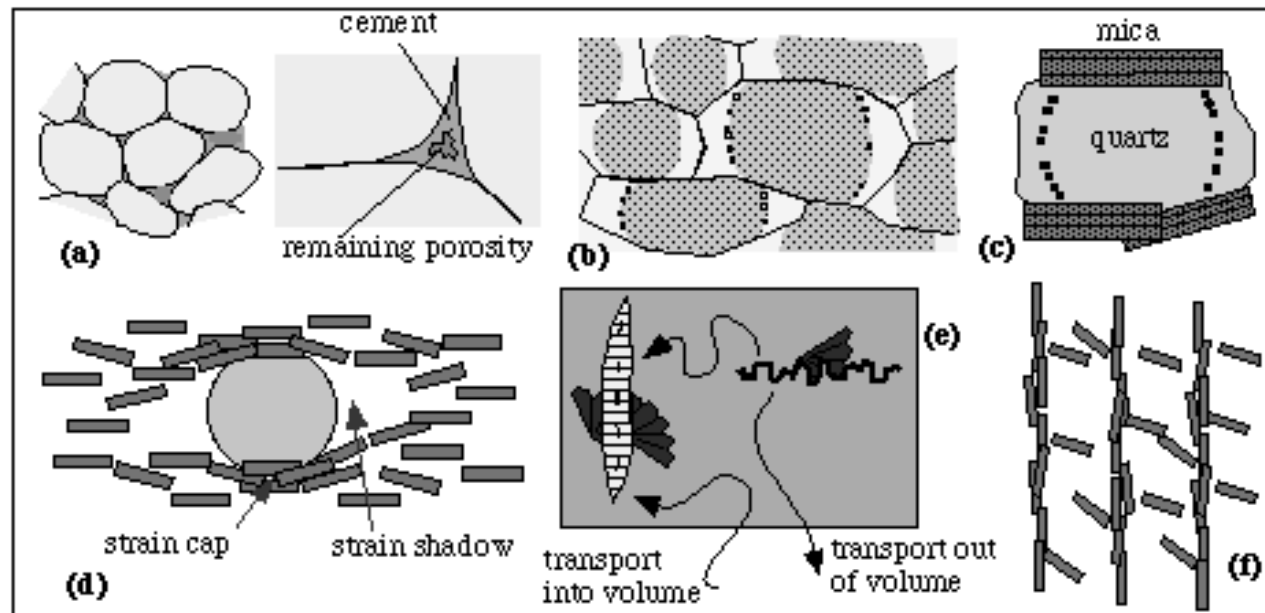
PŘÍKLADY (MIKRO)STRUKTUR, VZNIKAJÍCÍCH DÍKY PS

- a) kompakce porézní horniny (materiál se rozpouští na kontaktech zrn a sráží se jako pórový cement)
- b) přednostní rozpouštění na kontaktech zrn, které jsou kolmé ke směru komprese a srážení na kontaktech kolmých ke směru extenze (původní tvar zrna může být rozpoznán díky rozdílu v obsahu inkluzí v původních zrnech a novotvořených částech nebo díky „prachovitým lemům“ (*dust rims*))
- c) přednostní rozpouštění křemene na kontaktech křemen/slída
- d) lokalizace rozpouštění (materiálový pokles) v deformačním „vrcholu“ (*cap*) a srážení (mat. nárůst) v deformačním (tlakovém) stínu (*strain or pressure shadow*) okolo relativně rigidního objektu nebo zrna



PŘÍKLADY (MIKRO)STRUKTUR, VZNIKAJÍCÍCH DÍKY PS

- e) rozpouštění na stylolitech a srážení na žilách (transport materiálu může být ze stylolitu do žil lokálně nebo také dovnitř či ven ze systému)
- f) segregace např. křemene a slíd vytváří klivážové domény (typicky při vzniku krenulační kliváže)



FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

0. STRUKTURNÍ MŘÍŽKY MINERÁLŮ

1. OTEVŘENÉ PUKLINY

- > 1 mm
- existence i v hlubších úrovních kůry navzdory značnému (např. litostatickému) tlaku – tlak fluid musí být natolik vysoký, aby dovolil fluidům téci
- existence dynamické rovnováhy mezi otevíráním puklin (nárůst permeability a tím pokles fluidního tlaku) a uzavíráním puklin (pokles propustnosti, který dovoluje vytvoření fluidního tlaku)

FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

2. OTEVŘENÝ PÓROVÝ PROSTOR MEZI ZRNY

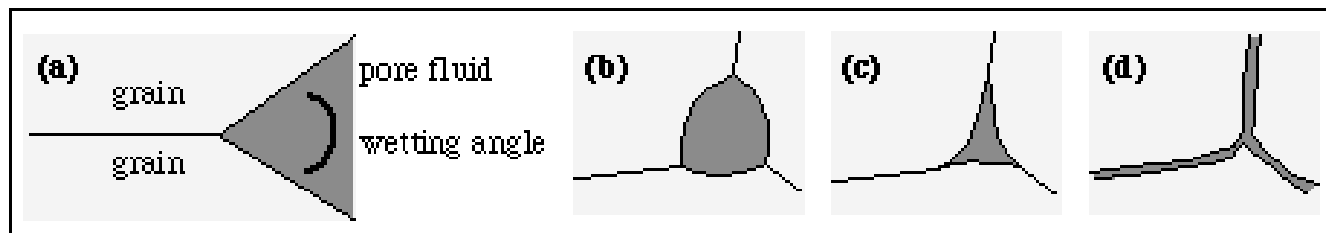
- sedimenty v mělkých hloubkách mají vysokou porozitu, která se zmenšuje s pohřbíváním
- v hlubších úrovních závisí geometrie pórového prostoru na rovnováze mezi povrchovou energií na hranici zrno/zrno a povrchovou energií na hranici zrno/fluidum (úhel smáčení - *wetting angle*) – determinuje povrch pórového prostoru

(b) vysoký úhel (kapsa - *pocked*)

(c) střední úhel (tunel - *tube*)

(d) nízký úhel (0°) – jsou smáčeny všechny hranice zrn

Nejčastěji se fluida shromažďují v kapsách nebo tunelech.

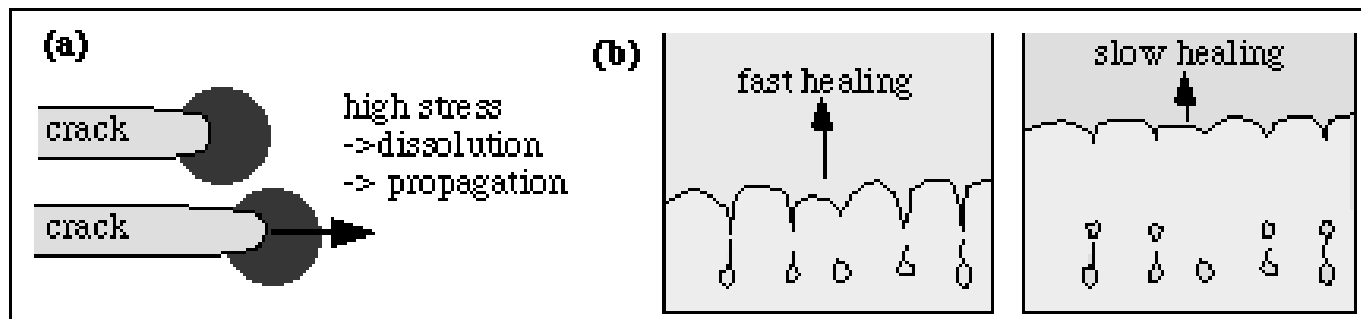


FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

3. MIKRO-PRASKLINY (*MICRO-CRACKS*)

- většinou je délka < 0.1 mm a šířka / délka < 0.01 mm
- krátce trvající a dynamické struktury, vytvořené mechanismem „stress corrosion cracking“; je způsoben –
- koncentrací napětí na cípech puklin
- rychlým vyhojováním díky efektům povrchové energie
- následkem tohoto se mohou vytvářet fluidní inkluze

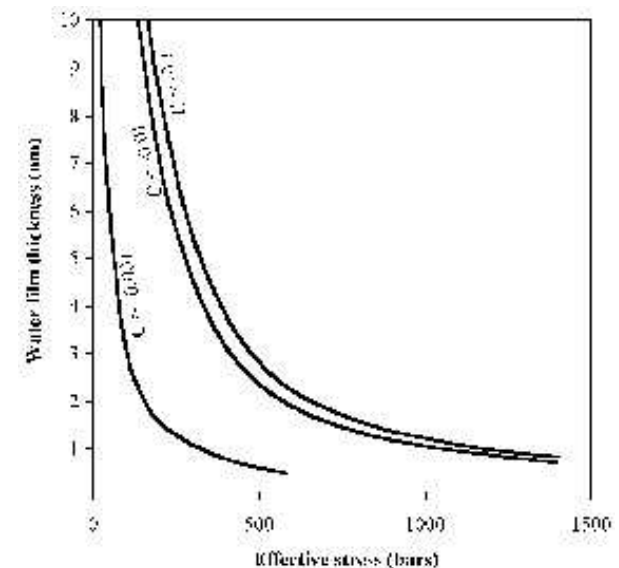


FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

4. HRANICE ZRN

- povaha hranic zrn je velmi důležitá, protože zde fluida přichází do kontaktu přímo se zrny
- fluidní film může být „polapen“ mezi plochami některých minerálů (jíl. min.) a jeho tloušťka kolísá mezi desítky až několika nm
- tloušťka fluidního filmu je závislá na velikosti napětí a povrchové energie minerálu (zrna)
- s hloubkou a narůstajícím napětím se tloušťka exponenciálně zmenšuje až na 0,5 nm (dvě vrstvy molekul vody)

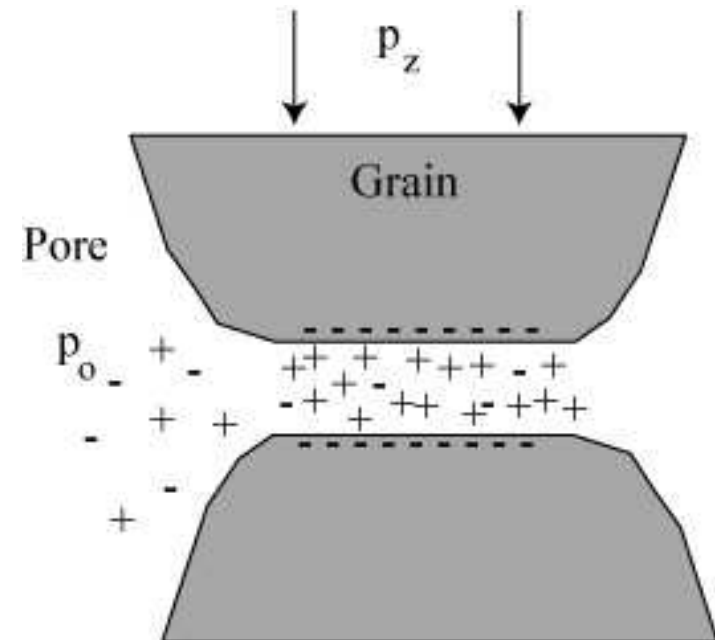


FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

4. HRANICE ZRN

- většina minerálů (zrn) má el. náboj na povrchu silně závislý na Ph
- hlavní příčinou „polapení“ filmu mezi zrna je el. náboj (negativní povrchový náboj zrna je kompenzován mračenem pozitivních nábojů fluidního filmu)
- rozdíl koncentrace částic s různým nábojem vytváří osmotický tlak, který stabilizuje film ve vztahu k napětí na kontaktu



FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

4. HRANICE ZRN

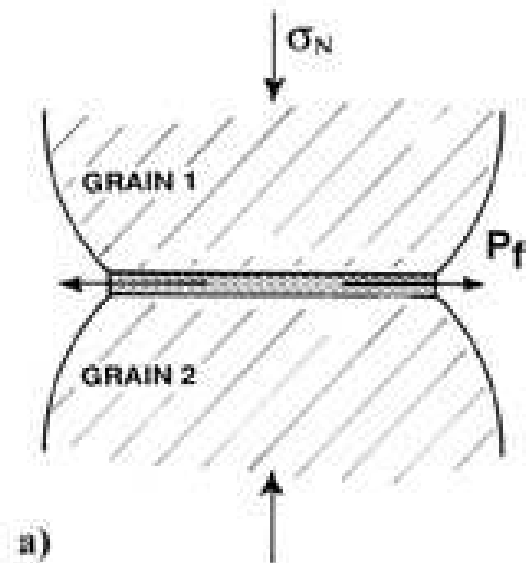
- fluidní film funguje jako semi propustná membrána – koncentrace iontů ve fluidním filmu je $>$ než v pórovém fluidu
- náboje jsou přitahovány opačně nabitými jonty pórového fluida

FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

4. HRANICE ZRN

- proces PS na hranicích zrn popisují dva hlavní modely –
 1. „THIN FILM MODEL“ or „WATER FILM DIFFUSION“
 - kontakty zrn jsou kompletně smáčeny tenkým fluidním filmem ($< 2 \text{ nm}$)
 - rozpouštění se děje na kontaktu zrn a rozp. materiál je absorbován fluidem
 - srážení je lokalizováno na povrch pórů
 - řídicí síla – rozdíl normálových napětí mezi zrnovým kontaktem a pórem
 - rozpouštění na kontaktu je zvyšováno napětím



FLUIDNÍ REZERVOÁRY

- k transportu rozpuštěného materiálu je potřeba fluid
- difuzní transport bez fluid je významný pouze při velmi vysoké teplotě
- fluida jsou v hornině přítomna v různých místech -

4. HRANICE ZRN

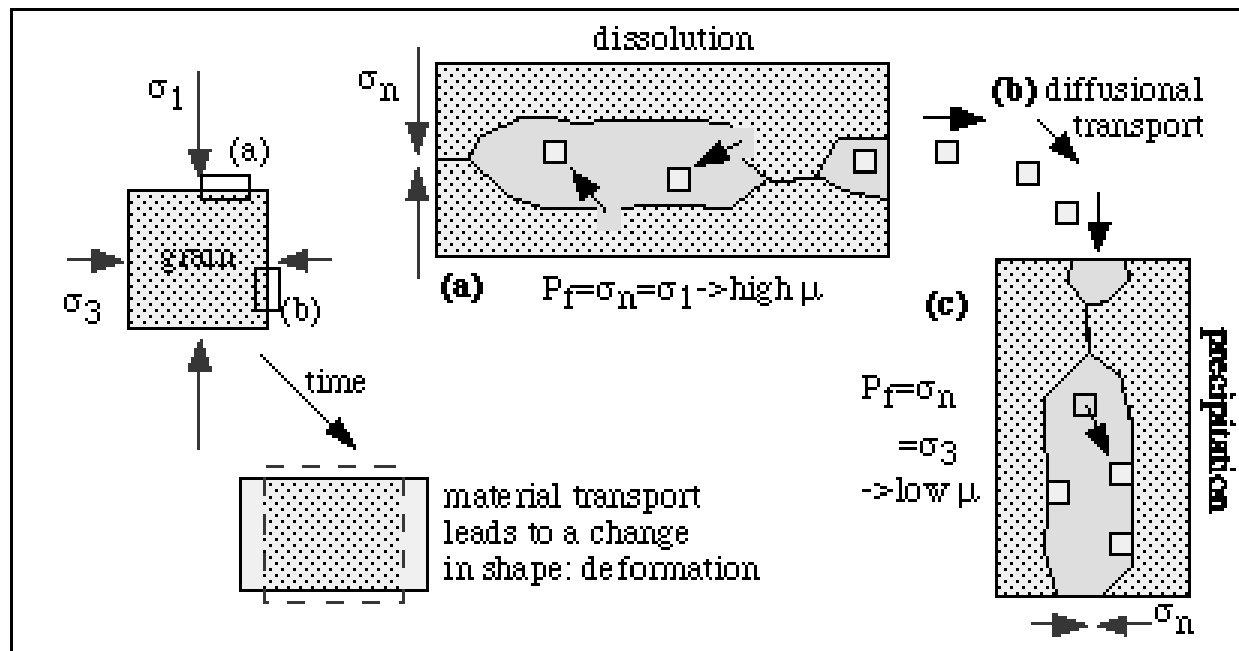
2. „MODEL ISLAND-AND-CHANNEL“

- ostrov – kontakt zrno / zrno
- kanál – propojení volných fluidních dutin
- rozměry – nm nebo μm
- mezi kanály může být křehká nebo plastická deformace
- ostrovy a kanály konstantně migrují – fluidum obstoupí v čase celý povrch zrna



„DISSOLUTION PRECIPITATION CREEP (DPC)“

Deformační mechanismus, zahrnující tři postupné kroky -



ZÁKLADNÍ ŘÍDÍCÍ SÍLY

- difuzní transport a reakce na hranicích zrn a mezi styčnými plochami zrn jsou řízeny napětím
- napětí indukují rozdíly v μ na hranicích zrn (difuze) a na styčných plochách (rozp. nebo srážení)
- rovnovážný μ solidu rozpuštěného ve fluidu, které sousedí s povrchem solidu

$$\mu = f + P \cdot V + c\gamma / R$$

f = Helmholtzova volná energie solidu

V = mol. objem solidu

$c\gamma$ = povrch. energie styčné plochy solidu

R = lokální zakřivení styčné plochy

P = napětí v solidu

- hranice zrn mají přenést napětí ze zrna na zrno ($P_{ef} = \sigma_n$)
- μ je tedy $>$ na stlačovaných hranicích zrn ($\sigma_n = \sigma_1$) než na exetnzních ($\sigma_n = \sigma_3$)
- transport materiálu je tedy řízen poklesem v μ

$$\Delta\mu = f + \sigma_1 V - f - \sigma_3 V = \Delta\sigma V \quad (\Delta\sigma \text{ je diferenciální napětí})$$

ZÁKLADNÍ ŘÍDÍCÍ SÍLY

- Je-li srážení a rozpouštění relativně rychlé oproti difuznímu transportu -
- $\Delta\mu$ řídí difuzi
- Difuzní transport fluidy na hranicích zrn je úměrný stupni koncentrace solidu ve fluidu podél hranic zrn
- Rychlost deformace úměrná $\Delta\sigma$ a nepřímo úměrná g^3 (g je velikost zrna)
- Je-li srážení a rozpouštění relativně pomalé oproti difuznímu transportu -
- $\Delta\mu$ řídí styčné reakce
- Rychlost srážení a rozpouštění je (většinou) úměrná $\Delta\mu$ na kontaktu
- Rychlost deformace úměrná $\Delta\sigma$ a nepřímo úměrná g

Rychlost def. je nepřímo úměrná vel. zrna -

PSC je zvýhodněn pro malá zrna!!

PARAMETRY

kontrolující mechanismus PS -

- velikost zrna
- geometrie kontaktu zrn
- chemie pórové vody, mineralogie horniny, tloušťka fluidního filmu mezi zrny
- teplota, napětí

Variabilita je daná měřítkem studia –

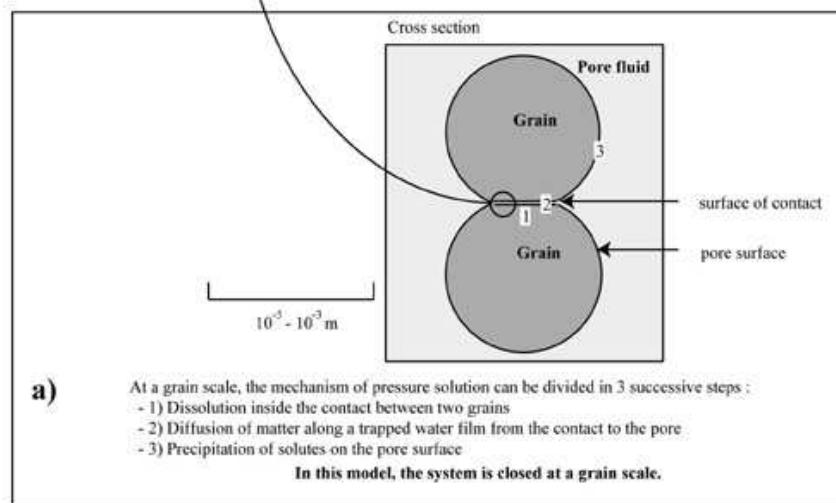
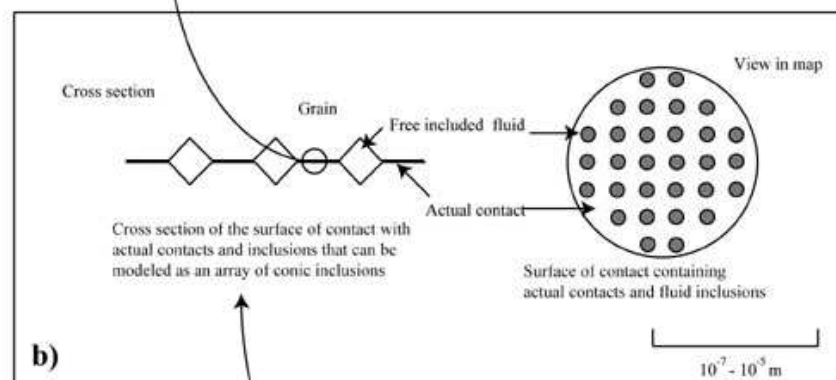
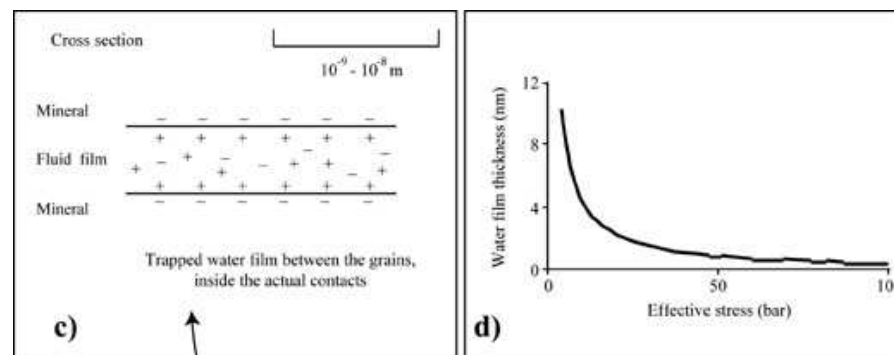
- tloušťka filmu = nm
- geometrie povrchu kontaktu = μm
- velikost zrn a struktura horniny = mm až cm

MĚŘÍTKO STUDIA

nm MĚŘÍTKO – aktuální fluidní film a procesy popsané výše

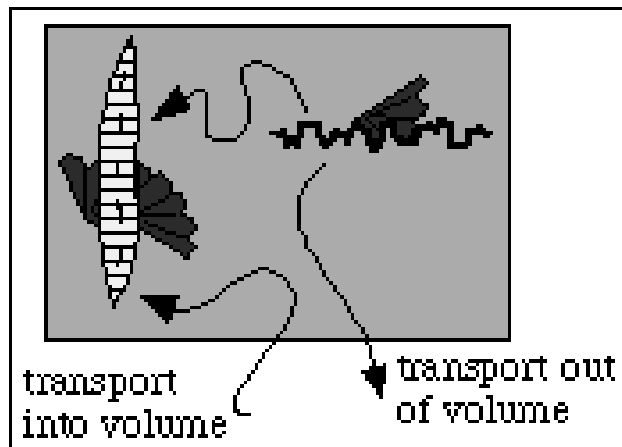
μm MĚŘÍTKO – tvar kontaktu má charakter kanálů a ostrovů

ZRNOVÉ MĚŘÍTKO – 1) rozpouštění na kontaktu
2) difuze filmem
3) vysrážení na povrchu póru



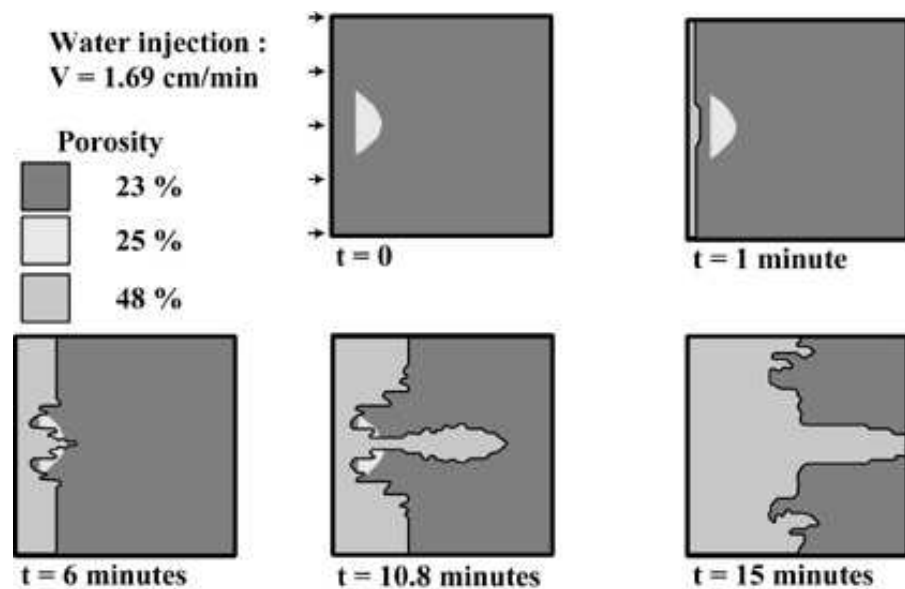
TRANSFER MATERIÁLU NA VELKÉ VZDÁLENOSTI

- oproti DPC bude rychlost přenosu materiálu nižší
- významný proces, produkující řadu struktur (žíly, stylolity, kliváž)
- vyskytuje se, pokud nějaká plocha uvnitř objemu prodělává objemovou ztrátu a jiná plocha objemový nárůst – heterogenní distribuce srážení nebo rozpouštění



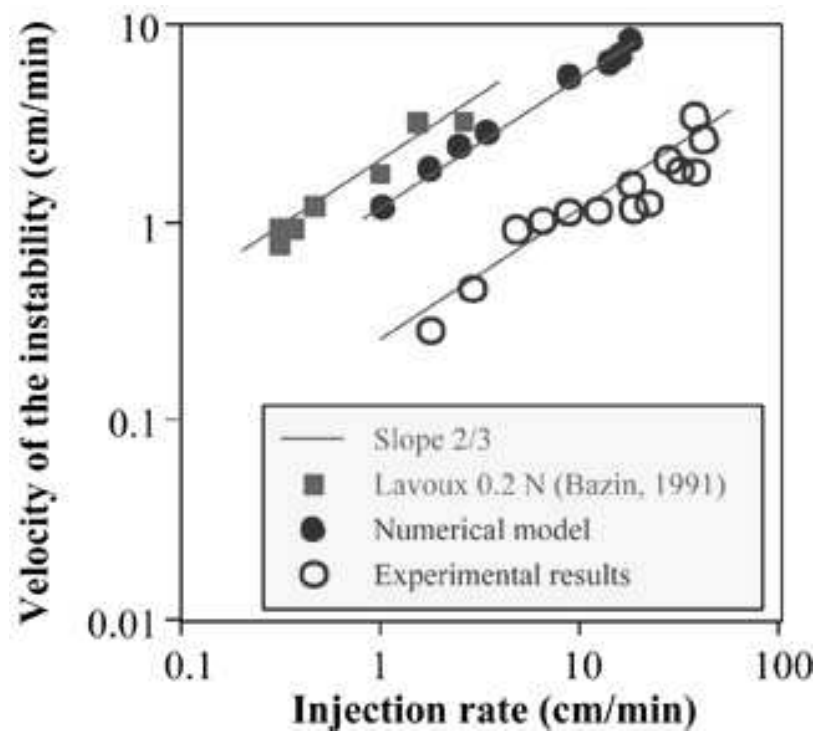
TRANSFER MATERIÁLU NA VELKÉ VZDÁLENOSTI

reakčně-infiltrační zpětná vazba



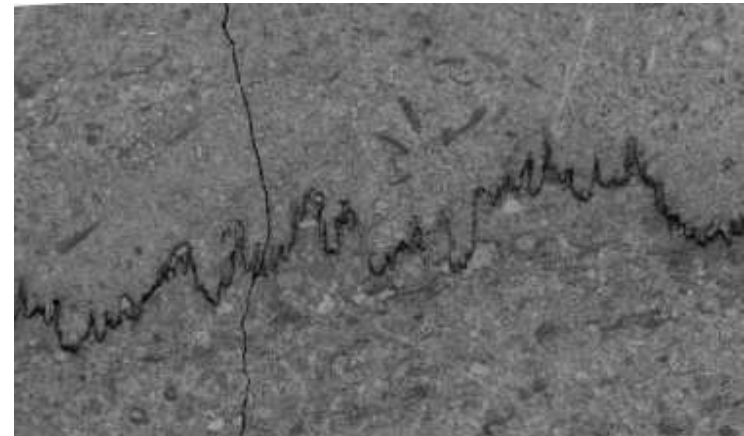
Numerické modelování reakční fronty v halitu.

Rychlost nestability jako f-ce dotace materiálu vodou.



STYLOLITY – ZÁKLADNÍ POJMY

- STYLOLITOVÝ SLOUPEC (*COLUMN*) – zubovitý prvek protáhlého tvaru (zub, stylolitová pyramida...)
- STYLOLITOVÝ ŠEV (*SEAM*) – místo seskupení stylolitových sloupců; často bývá šev tvořen pouze stylolitovým povlakem
- STYLOLITOVÝ POVLAK (*COAT*) – povlak z těžko rozpustných (většinou reziduálních) komponent, pokrývající šev
- STYLOLITOVÁ PLOCHA – plocha stylolitu, k ní jsou příčně (kolmo nebo kose) seskupeny sloupce
- SLICKOLITY –
 - *slickenside* + *stylolite*
 - sloupce rovnoběžně s plochou
 - rezidua pouze vzácně
 - často pravoúhlá orientace vůči stylolitu
(kontinuální gradace od stylolitu ke slickolitu)



STYLOLITY – ZÁKLADNÍ POJMY

- délka slouců (zubů) kolísá od mikroskopických velikostí po cm až dm
- délka stylolitů může dosahovat i několik metrů
- mohou se protínat, ležet jeden na druhém, rozdvojovat...
- povlak – jílové minerály, Fe-oxidy, křemenný písek...
- 99% stylolitů vzniká v karbonátových horninách (vápence, dolomity, mramory...), časté i v siliciklastických sedimentech
- nalezeny i v ryolitech, pegmatitech, rohvcích a granitech

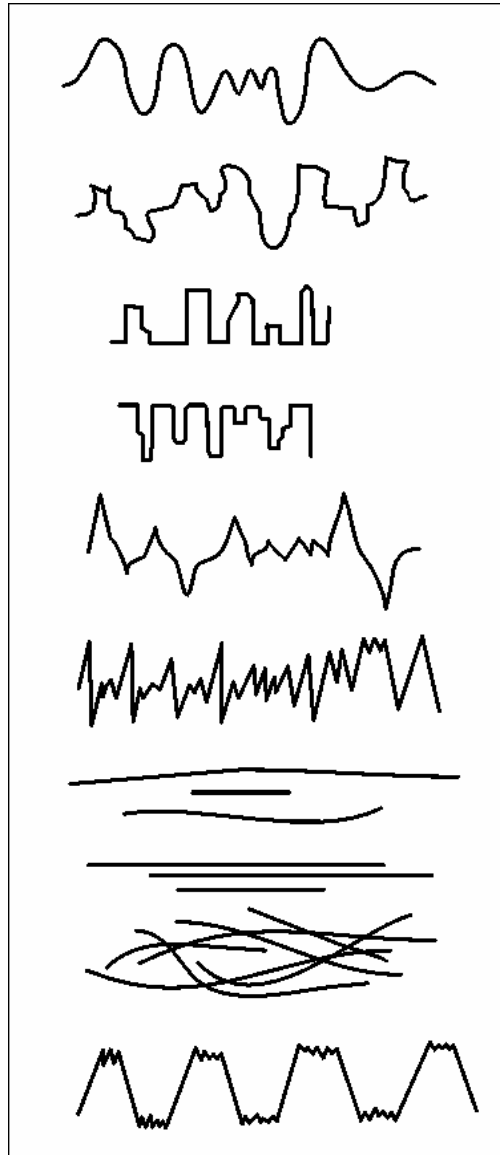
STYLOLITY – rezidua na švech

- stejné nebo podobné chem. a mineralogické složení jako nerozpustné reziduální komponenty v „mateřské“ hornině
- vznikl-li stylolit podél plochy vrstevnatosti, může reziduum obsahovat materiál, který byl přítomen na ploše ještě před jeho vytvořením
- některé materiály se mohly na šev transportovat fluidy – novotvořené minerály (např. illit, kaolinit, křemen, anatas)
- produkty metamorfních reakcí
- relativní tlaková rozpustnost komponent –
 - halit a K-soli – kalcit – dolomit – anhydrit – sádrovec – amfibolit a pyroxen – rohovec – kvarcit – křemen+glaukonit+rutil+hematit – živec a kasiterit – slída a jílní minerály – arzenopyrit – turmalín a titanit – pyrit – zirkon – chromit
- lokální chemismus pórových fluid mění relativní tlakovou rozpustnost

STYLOLITY – geometrie

TVAR STYLOLITOVÉHO ŠVU

Geometrie styl. švů není náhodná, odráží celou řadu faktorů.



WAVE-LIKE, WAVY

SUTURED

UP-PEAK

RECTANGULAR

DOWN-PEAK

SHARP-PEAK, PEAKED

SEISMOGRAM, PEAKED

NON-SUTURED, SMOOTH

PLANAR

ANASTOMOSING

COMPOSITE

STYLOLITY – geometrie

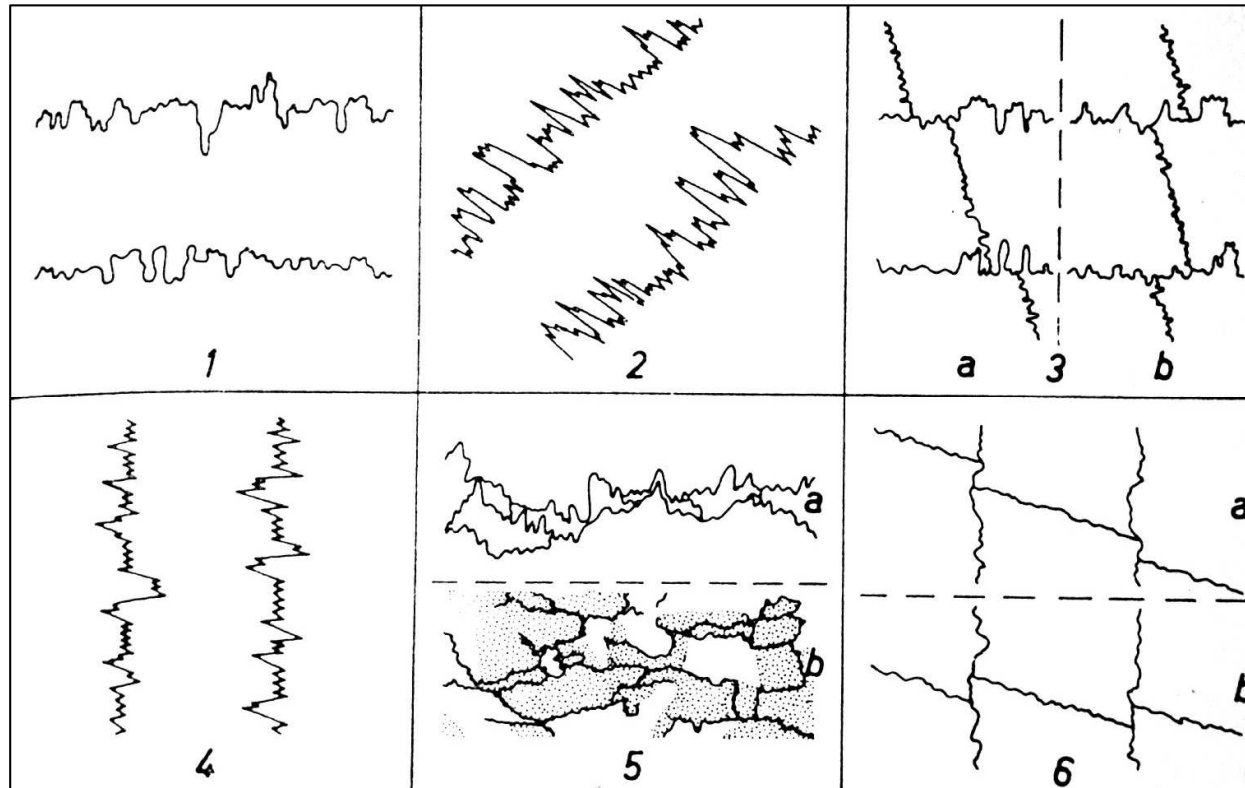
Geometrie není náhodná, odráží celou řadu faktorů.

- mnoho modelů a tezí (není vyřešeno)
- tvar je ovlivněn (a) relativní rozpustností na opačných stranách, (b) množstvím nerozp. reziduí
(„sutured“ – stejná rozp., „smooth“ – různá)
- Guzzetta (1984) – geometrie závisí na změnách strany, ze které je mat. přemístován
 - rozp. se děje vždy jen na jedné straně
 - kdykoliv může na jedné straně přestat a začít na opačné straně
 - „smooth“ – rozp. je jen na jedné straně
 - „peaked“ – střídání stran rozp. X „rectangular“ – hranice neměnné
- Amplituda stylolitu roste –
 - Guzzetta – větší rychlostí migrace hranic
 - Stockdal – větší podíl nečistot v hornině
- Převrácený vztah mezi tloušťkou švu a frekvencí sloupců (rozbití na offsety)

STYLOLITY – geometrie

PODLE VZTAHU K VRSTEVNATOSTI

1. Podle odchylky stylolitů od vrstevnatosti (Park and Schot, 1968)



1) Horizontální

2) Ukloněné

3) Ukloněné, posunuté horizontálními stylolity
/horizontall-inclined (vertical)-crosscutting
stylolites/

4) Vertikální

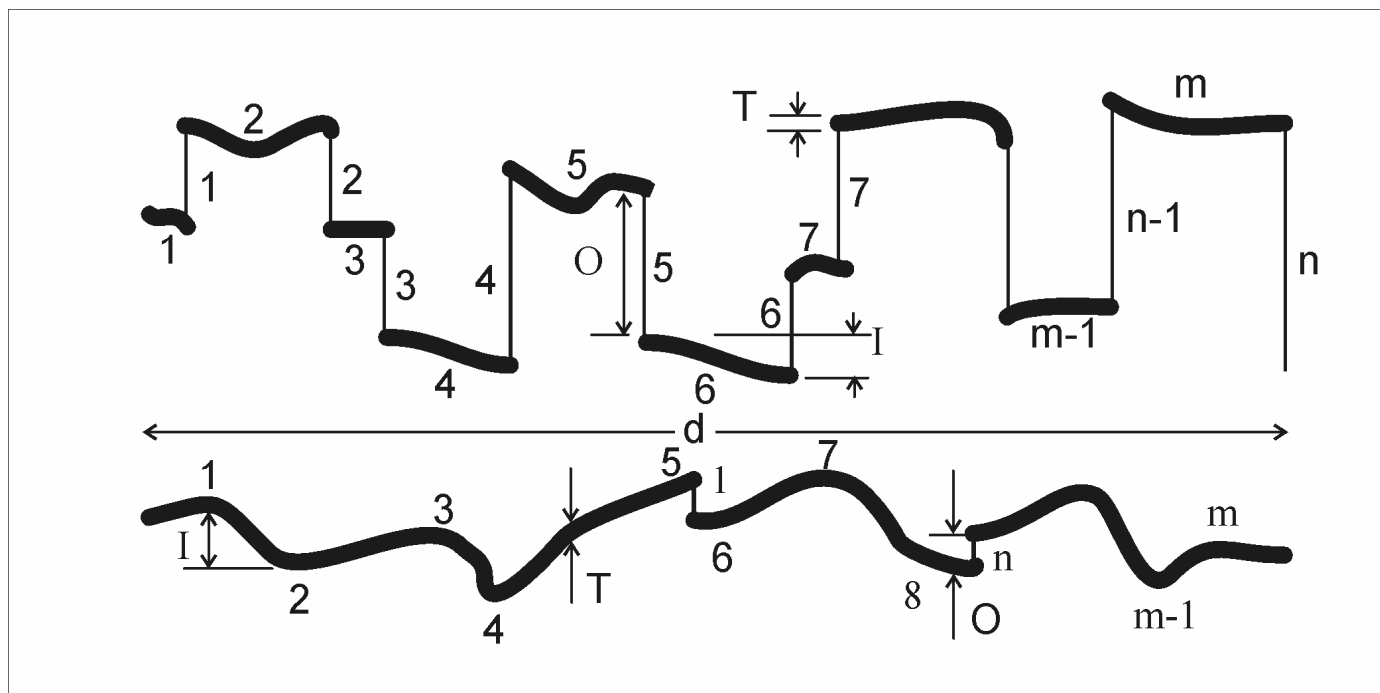
5) Síť vzájemně propojených stylolitů

6) Ukloněné, posunuté vertikálními stylolity
/vertical-inclined (horizontal)-crosscutting
stylolites/

STYLOLITY – geometrie

PODLE VZTAHU K VRSTEVNATOSTI

2. Podle odchylky morfologických parametrů (Railsback and Andrews, 1997)



T = tloušťka stylolitu

I = amplituda segmentů mezi jednotl. offsety

O = amplituda offsetů, definujících styl.sloupce

F = n/d

S = m/d

STYLOLITY – geometrie

PODLE VZTAHU K VRSTEVNATOSTI

Obecně –

1. Bedding parallel stylolites
2. Transversal stylolites

Stylolity nemají vzhledem k V specifickou geometrii.

Vyjímkou může být tloušťka švu

GRAIN-TO-GRAIN AND TRANSGRANULAR STYLOLITES

Stylolity „GRAIN-TO-GRAIN“

- amplituda stylolitu < velikost zrn
- např. „pitted pebbles“
- většinou v hornině s podpůrnou strukturou zrn
- PS má charakter penetrativní (rozp. materiál je vysrážen v pórech horniny jako cement nebo jako vlákna mezi zrny)
- řídicí aspekty – CO zrn, úhel CO mezi zrny, velikost kontaktu zrn, kapilární vztahy, geometrie kontaktu, velikost a směr napětí...

„TRANSGRANULAR“ stylolity

- tzv. agregátové stylolity – jeden stylolit proráží mnoho zrn
- amplituda stylolitu > průměr zrn nebo výška amplitudy > šířka indiv. sloupce
- většinou nutná přítomnost matrix nebo cementu v hornině
- jejich vývoj nezávisí na CO zrn a kontaktech zrn
- řídicí aspekty – stavba horniny, napětí, rychlost a délka stylolitizace
- morfologie závisí na rozdílech v litologii - např. značný reologický kontrast = „peaked“ st.

STYLOLITY – VÝVOJ NÁZORŮ NA GENEZI

Historické termíny -

Mylius (1751) – „schwielien“ (mozoly) – srovnával je s petrifikovaným dřevem

Eaton (1824) - první zmínka v Americe – „lignility“ – struktury oorganického původu

Vanuxem (1838) - „epsomity“ – krystalizací $MgSO_4$

Hunt (1863) – „krystality“

Kloden (1828) – zavedl termín stylolit – organizmus *Stylolites sulcatus*

Stockdale (1943) – „pseudostylolity“ – struktury podobné stylolitům, ale nesplňují deskriptivní popis

Historické názory na genezi zahrnují –

1. Organická teorie (Eaton 1824)
2. Krystalizační teorie (Bonnycastle 1831)
3. Erozní teorie (Plieninger 1852)
4. Plynová teorie (Zelger 1870)
5. Bitumenová teorie (Alberti 1858)
6. Tlaková teorie (Quenstedt 1837)
7. Rozpouštěcí teorie (Fuchs 1894)
8. Kontrakčně-tlaková teorie (Shaub 1939)
9. Teorie podmořského rozpouštění (Prokopovich 1952)
10. Teorie tlakového rozpouštění (Sorby 1922)

STYLOLITY – nejvýznamnější hypotézy o genezi

1) Hypotéza tlakového rozpouštění

- dnes obecně přijímaná
- sekundární fenomén, vznikající po konsolidaci a zpevnění horniny
- narotování autigenních minerálů subparalelně s rameny zubů
- striace na smykových plochách po stranách zubů
- povlaky – nerozpustná rezidua
- přednostní lokalizace vzniku stylolitu na plochách odlučnosti nebo rozdílného chem. sl. horniny

2) Hypotéza kontrakčně-tlaková

- primární struktury (vznik v nekonsolidovaném stavu)
- teorie emphasizes (stresování) = diferenciální napětí – přemístění pórové vody ze sedimentu směrem nahoru za kontrakce objemu sedimentu – plastičtější materiál nahoře a méně pl. dole – tok plastičtějšího materiálu do míst s menší kompresí
- gravitační kontrola – pohyb materiálu do boku
- ovlivnění dynamickými silami – pohyb jakýmkoliv směrem

STYLOLITY – nejvýznamnější hypotézy o genezi

3) Hypotéza podmořského rozpouštění

- předdepoziční struktury
- původ díky změnám pH, teploty, cirkulace vody...
- vznik v jemnozrnných podmořských sedimentech
- významnou roli hrají turbulentní proudy

STYLOLITY – GENEZE

- místa koncentrace napětí (heterogenity)
- místa cirkulace fluid (schopnost efektivního přenosu materiálu)

Modely vývoje stylolitů:

1. „anticrack“ model (Durnay, 1974, Fletcher and Pollard, 1981)

mechanický model – stylolit je mechanicky identický s prasklinou, která se zkracuje kolmo k povrchu (rozložení napětí a deformace okolo stylolitu je shodné s otevírající se puklinou, ovšem s opačným znaménkem)

Stylolit se šíří růstem vrcholů (tedy do stran)

2. model Raynauda and Schaffhausera (1992)

stylolit roste nelaterálním propojováním inerciálních stylolitů v tzv. procesní zóně (grain-to-grain stylolity → transgranulární stylolity)

3. model Fuetena (2002)

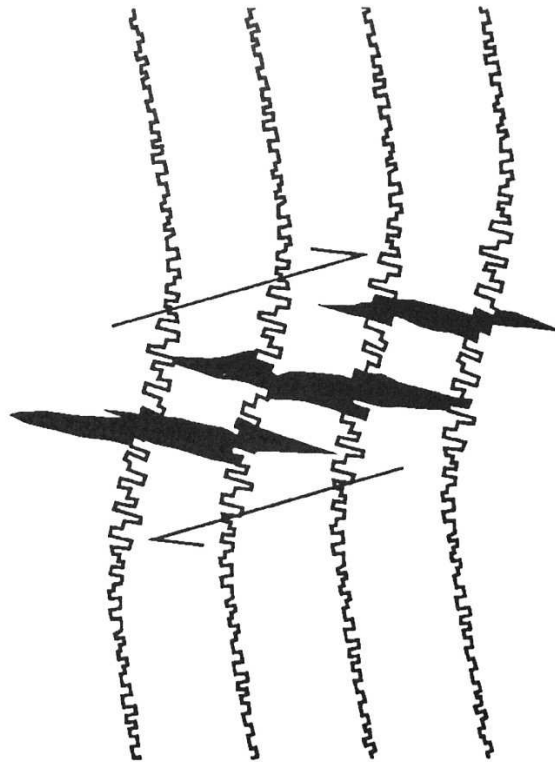
(model pomocí metody konečných prvků)

stylolity se množí laterálním propojováním

STYLOLITY – GENEZE

Modely:

1. „anticrack“ model (Durnay, 1974, Fletcher and Pollard, 1981)

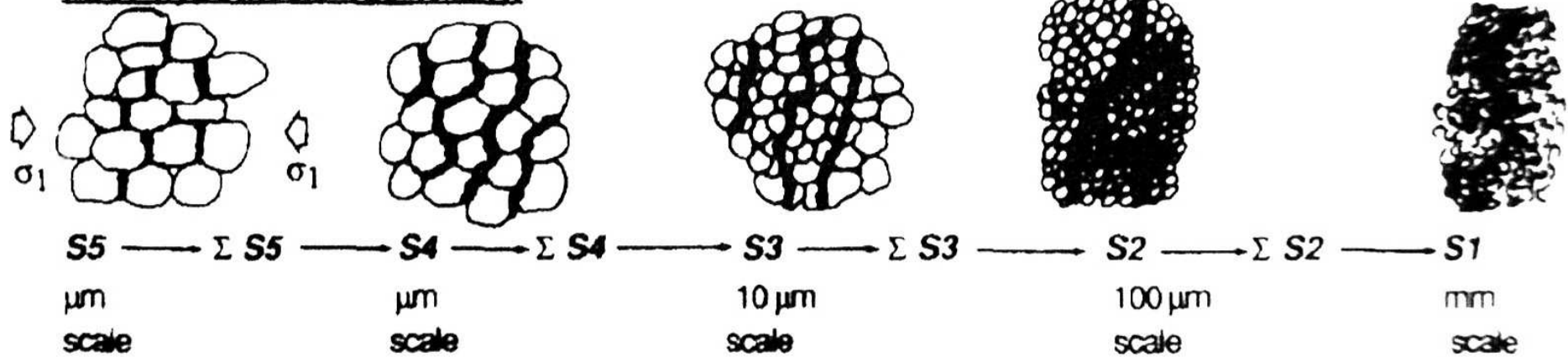


STYLOLITY – GENEZE

Modely:

2. model Raynauda and Schaffhausera (1992)

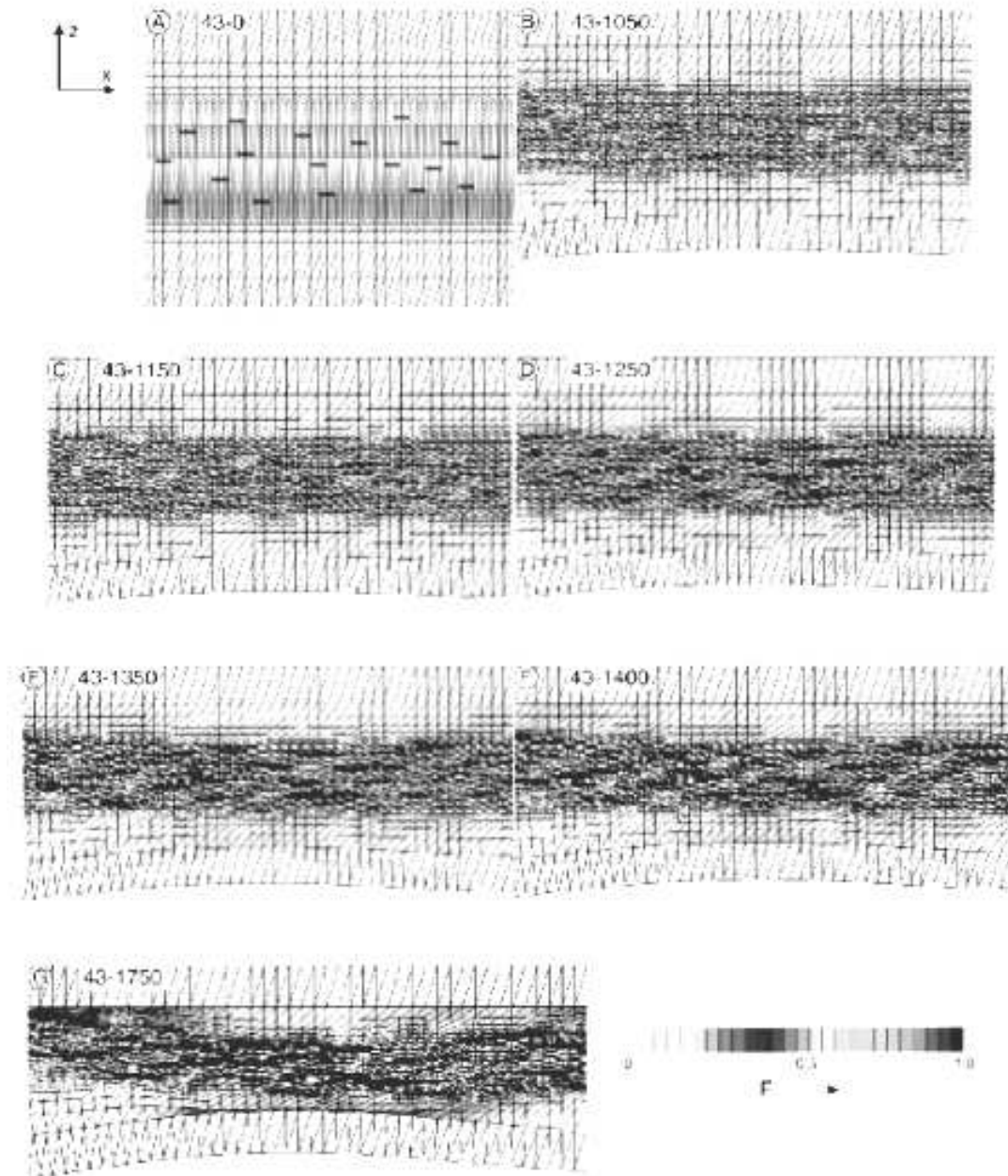
First hypothesis (S5 to S1).



STYLOLITY – GENEZE

Modely:

3. model Fuetena (2002)



STYLOLITY a napětí

OBEČNÁ PRAVIDLA:

1. Stylolitová lineace je // se směrem max. zkrácení (σ_1)
2. Směr natažení většinou udávají extenzní struktury (žilky, tlak. stíny a lemy...)
3. Plochy stylolitů mohou být k σ_1 kolmé nebo šikmé.
4. Plocha stylolitu může být vůči σ_1 i zakřivená (nekoaxiální deformace)
5. Pro odhad komprese a extenze je nutné znát vztahy stylolity-žily-zlomy.

Vývoj těchto struktur závisí na iniciální porozitě – je-li malá – jejich vztah lze připodobnit systému subdukční zóna-rift-transformní zlom

- je-li velká – nejprve se vyplňují póry (směrem ke stylolitu) a potom vznikají tažné pukliny a posléze žíly

Při uvolnění napětí se stylolity mohou opět otevřít a zvyšovat tak permeabilitu.

STYLOLITY a napětí - vápence

OBEČNĚ

1. Homogenni, dosti rychle tmelene prostredi, napr. 98-99% cisty oolitovy nebo jiny vapenec jako hornina tvori automaticky stylolity prukazne uz pri pohrbeni 30 m, stylolity pry zakusuji i vapencove bloky naskladane v egyptskych pyramidach? (M.Elias, ustne).
2. Nehomogenni, pomalu tmelene prostredi, napr. jen s nekolika % necistot, s organikou, pripad tzv. udalostni sedimentace, muze byt typicke tim, ze po prekryti další vrstvou sedimentu se v zonaci jen nekolik dm pod povrchem vytvori "kyselá, zráva,, zona, kde se mikrostylolitizace rozjede naplno a vede nekdy az ke vzniku "falesnych bridlicnych proplastek" v sedimentu.
3. Svahove, a turbidity: Uz v teto male hloubce nekolika prvnich m se obecne veri, ze vznikaji napr. zname "(pseudo)bridlice" a "slinovce" s dochovanymi cockami puvodne zvrstvenych stmelenyh ("zmrzlych") vapencu - napr. wenlock v lomu Kosov u Berouna, nebo lochkov v Cerne rokli u Kosore, nejake priklady by se nasly i v tournai Lesniho lomu.

STYLOLITY a deformace

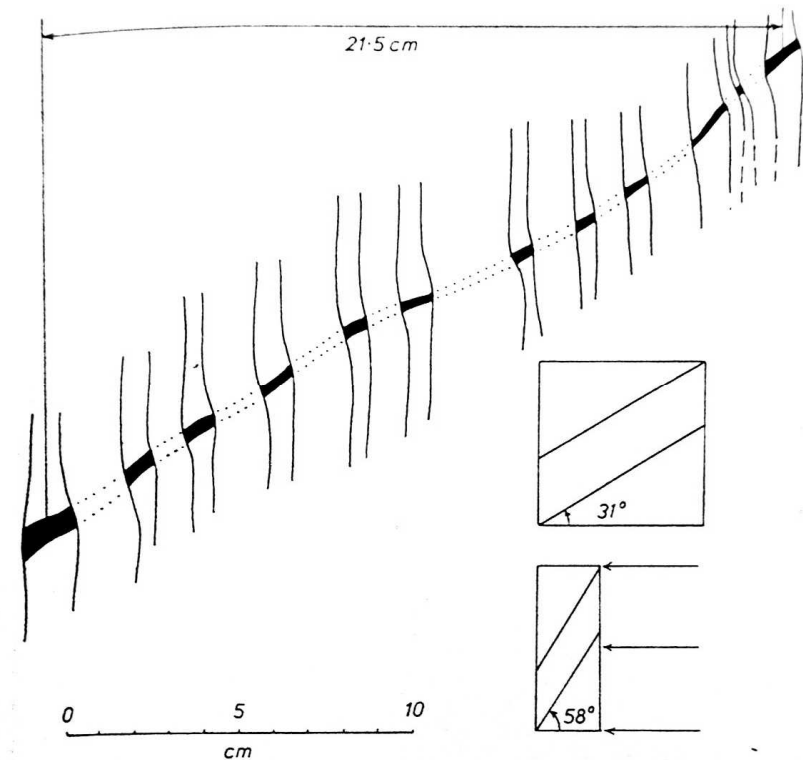
ODHAD VELIKOSTI ZKRÁCENÍ (MNOŽSTVÍ ROZP. MATERIÁLU)

A. GEOMETRICKÉ METODY:

1. Stylolit seřezává prevek o známém původním tvaru a leží uvnitř prvku.
2. Je-li stylolitem porušena kontinuální poloha a známe-li směr zkrácení.
3. Metoda Ramsay and Huber (2001)

A = úhel mezi pův. orientací vrstvy
a orientací P-pásu, B = úhel mezi
finální or. vrstvy a...

$$\Delta V = -(\cotg A - \cotg B) / \cotg A$$



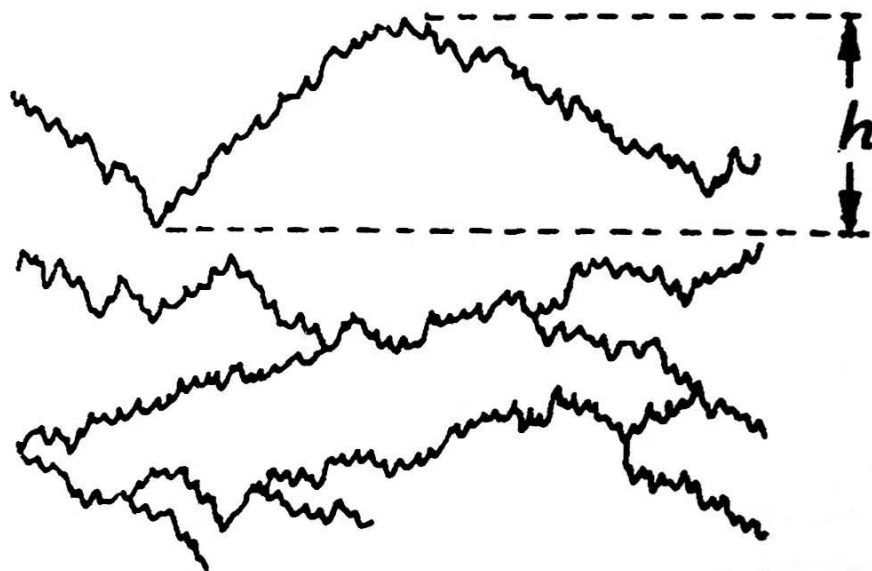
STYLOLITY a deformace

ODHAD VELIKOSTI ZKRÁCENÍ (MNOŽSTVÍ ROZP. MATERIÁLU)

A. GEOMETRICKÉ METODY:

4. Vlnová délka stylolitu – minimální odhad

Tlošťka rezidua na švu – maximální odhad



STYLOLITY a deformace

ODHAD VELIKOSTI ZKRÁCENÍ (MNOŽSTVÍ ROZP. MATERIÁLU)

B. PETROGRAFICKÉ METODY:

Založeny na relativním poměru stejných částic v hornině a na švu (v zóně deformované PS) –

- křemen a živce ve vápenci (sít' čtverců ve výbruse)
- rohovcové nodule (strana čtverce 2m)
- jílové minerály (SEM) – musí být ověřena homogenita složení
- zirkony.....

STYLOLITY a deformace

ODHAD VELIKOSTI ZKRÁCENÍ (MNOŽSTVÍ ROZP. MATERIÁLU)

C. GEOCHEMICKÉ METODY:

Založeny na relativním poměru stejných vybraných prvků v hornině a na švu (v zóně deformované PS) –

- přepočet hmotnostních % CaCO_3 na objemová %
- poměry koncentrací imobilních prvků (např. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O)

$$\Delta V/V = (I_p - I_e) / (I_p + I_e) \dots I_p = \text{konc. imob. prvků v nedef. hor.}$$

$$I_e = \text{v def. hor.}$$

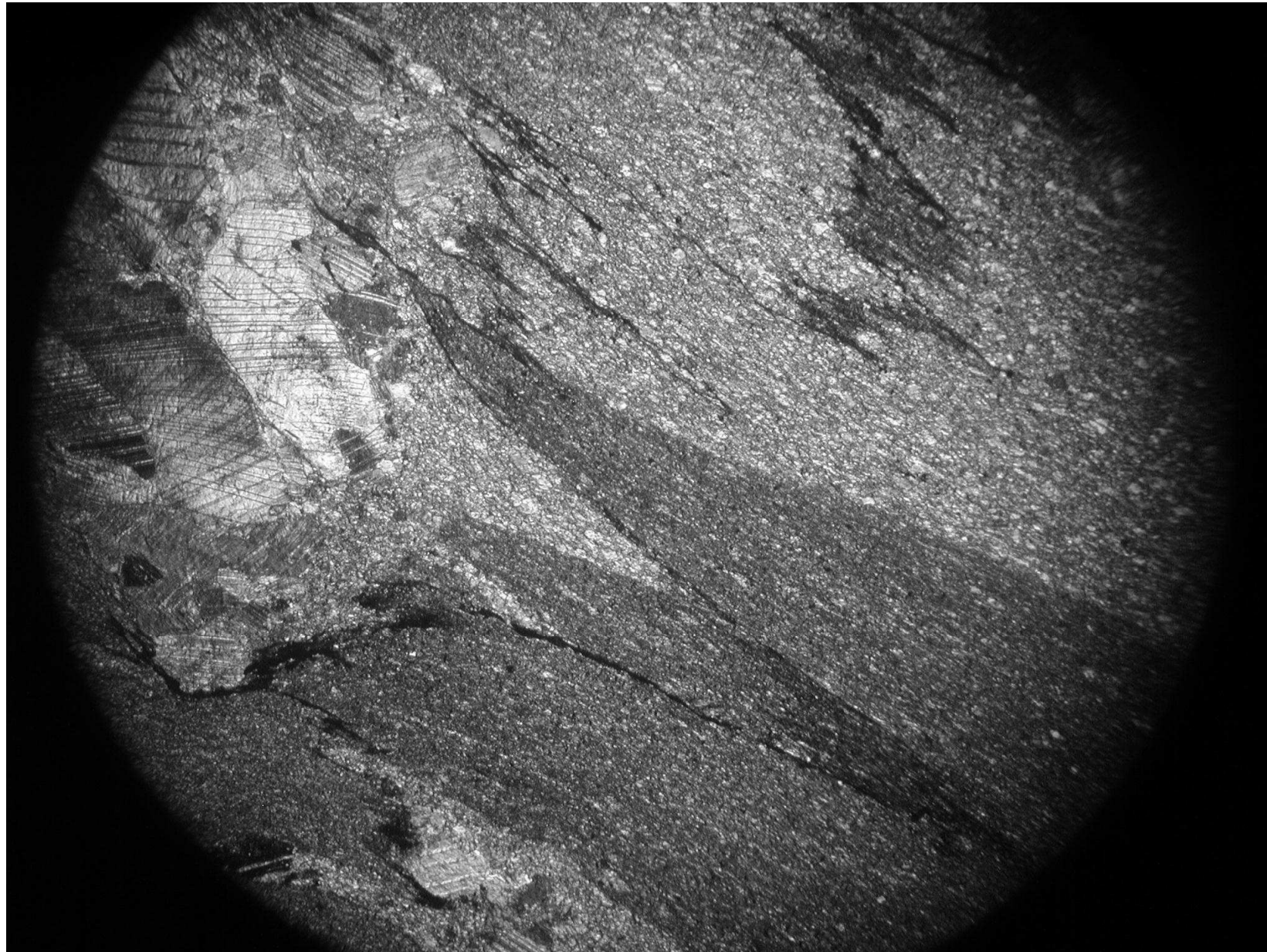
POZN:

Značné neshody ve výsledcích při srovnávání geometrických a geochemických metod.

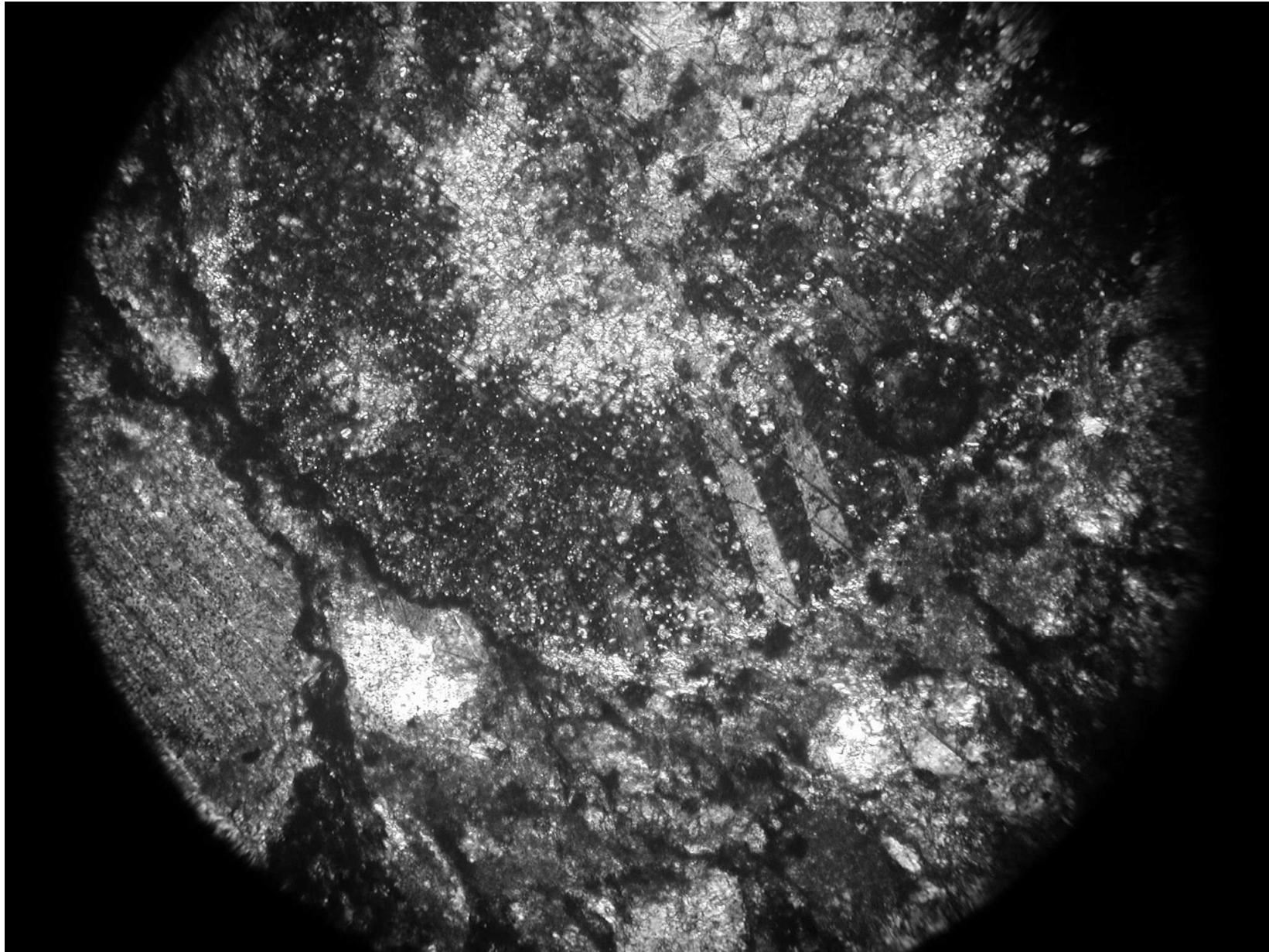
GALERIE STYLOLITŮ



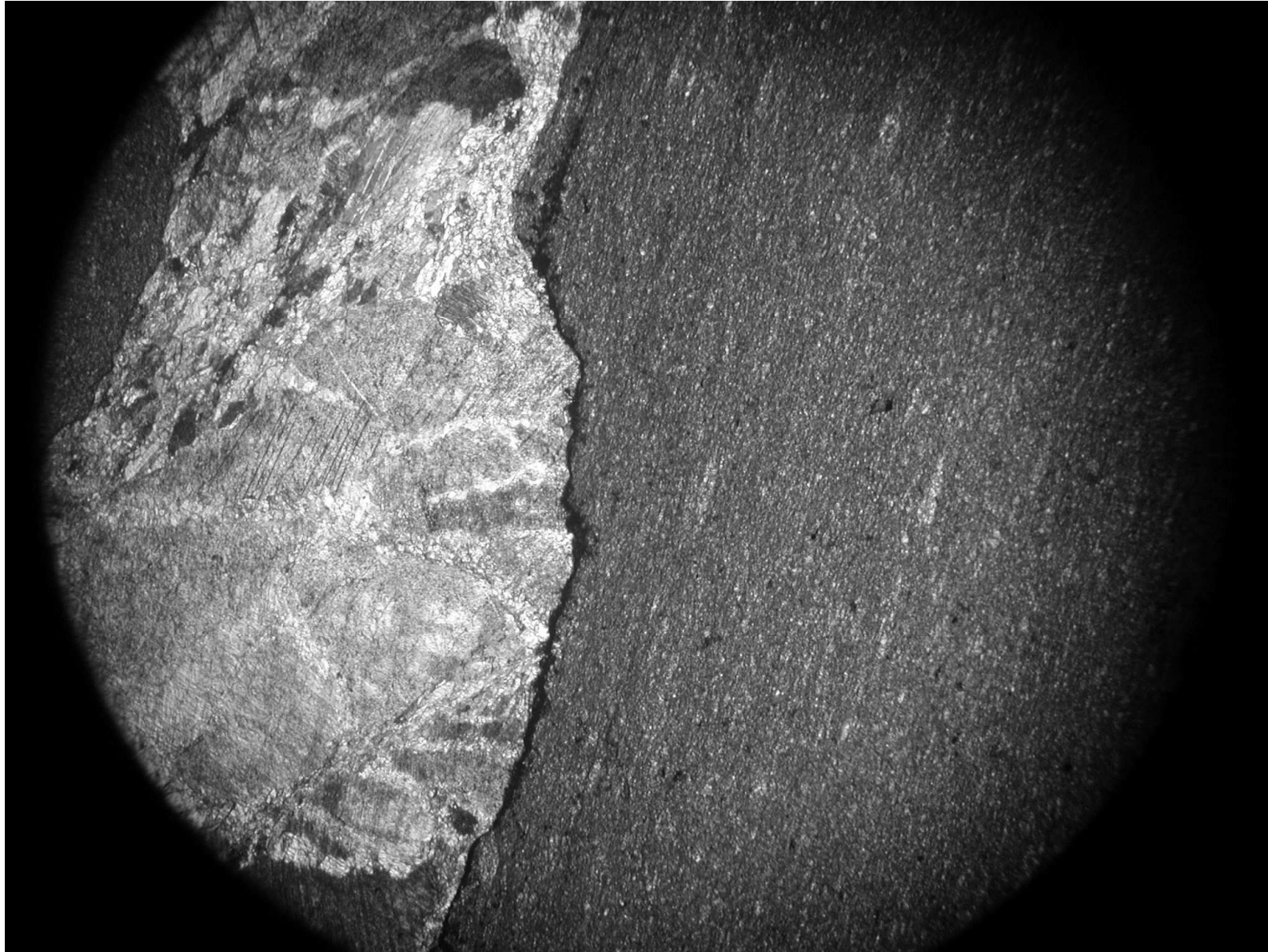
GALERIE STYLOLITŮ



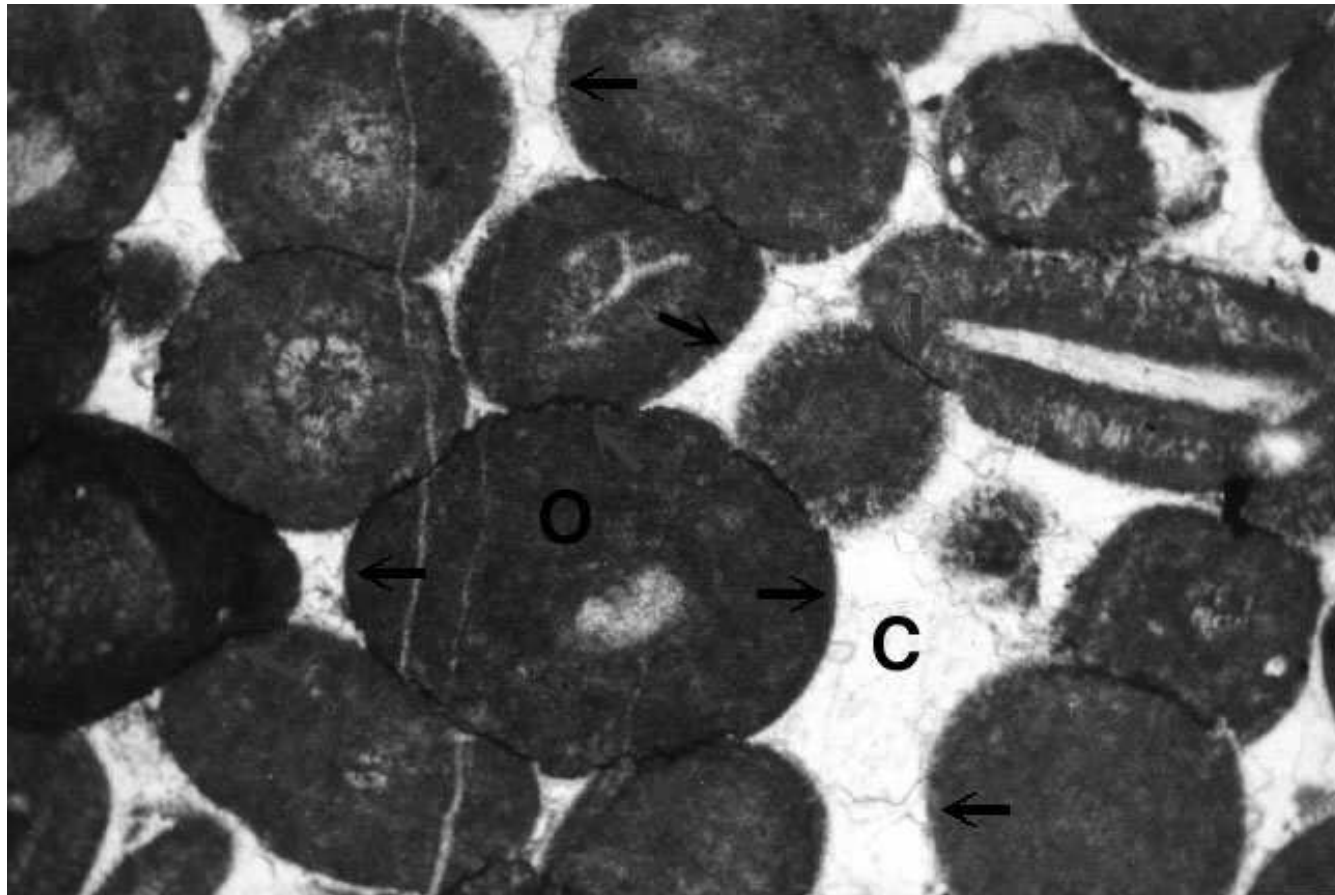
GALERIE STYLOLITŮ



GALERIE STYLOLITŮ



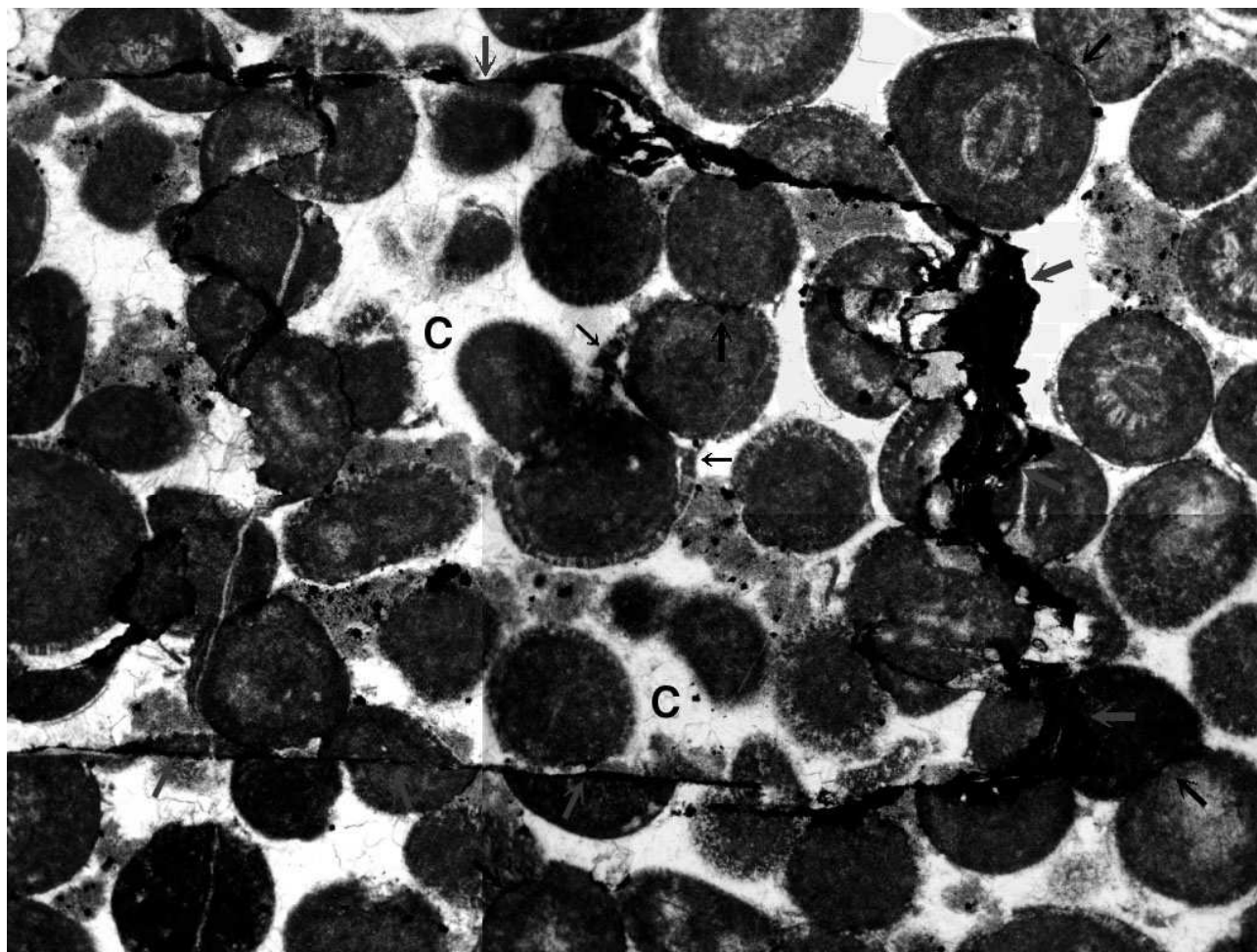
STYLOLITY – galerie



Ooidový grainstone s kalcitovým cementem.

Stylolity mezi ooidy mají spíše horizontální orientaci – vznik vlivem zatížení nadložím

STYLOLITY – galerie

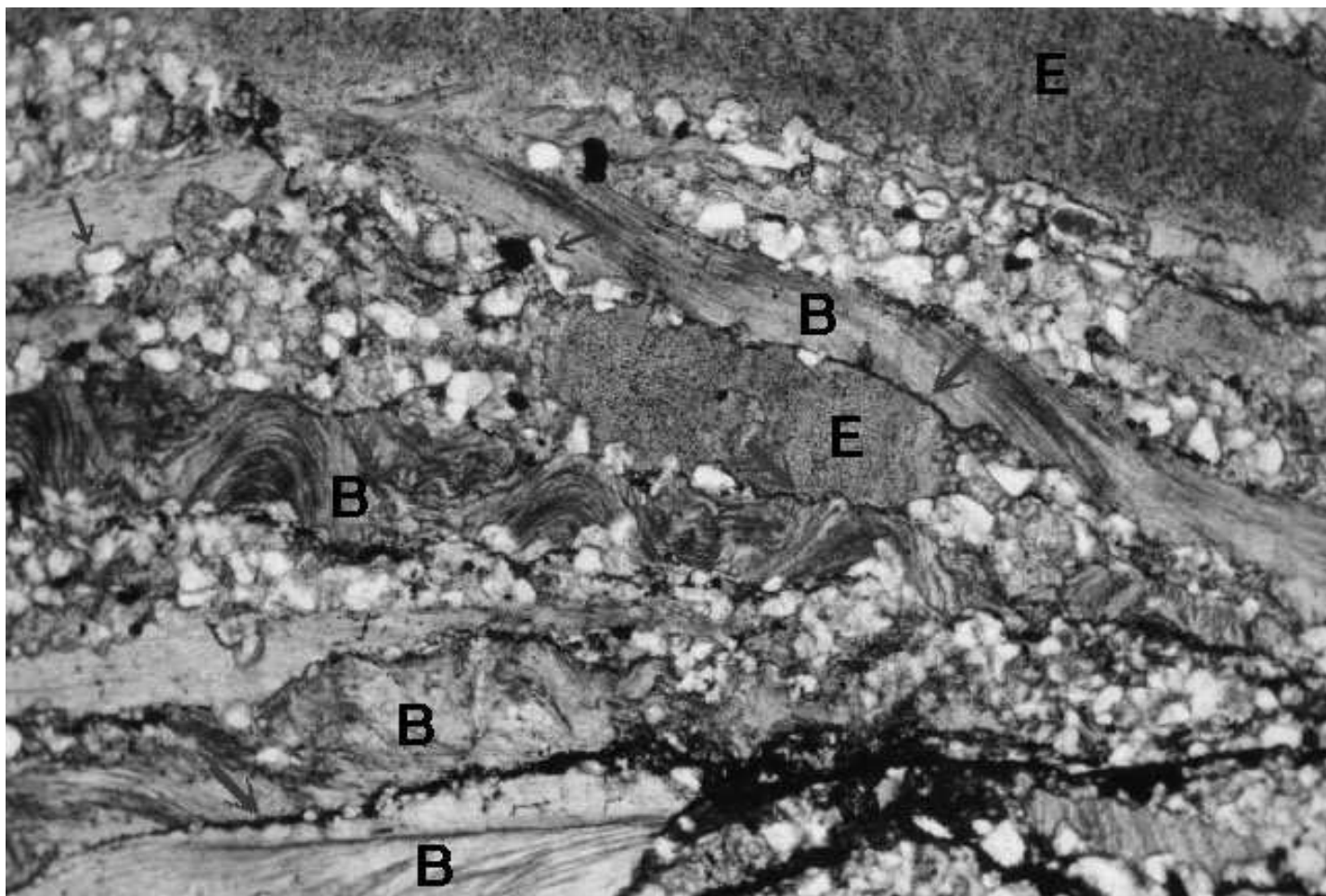


Ooidový grainstone s kalcitovým cementem.

Sloupec vertikálního stylolitu (široké červené šipky // s osou sloupce).

Vápenec byl litifikován jak cementací tak intergranulární kompakcí (černá šipka), spojenou s vyklenutím fibrálních lemů ooidů.

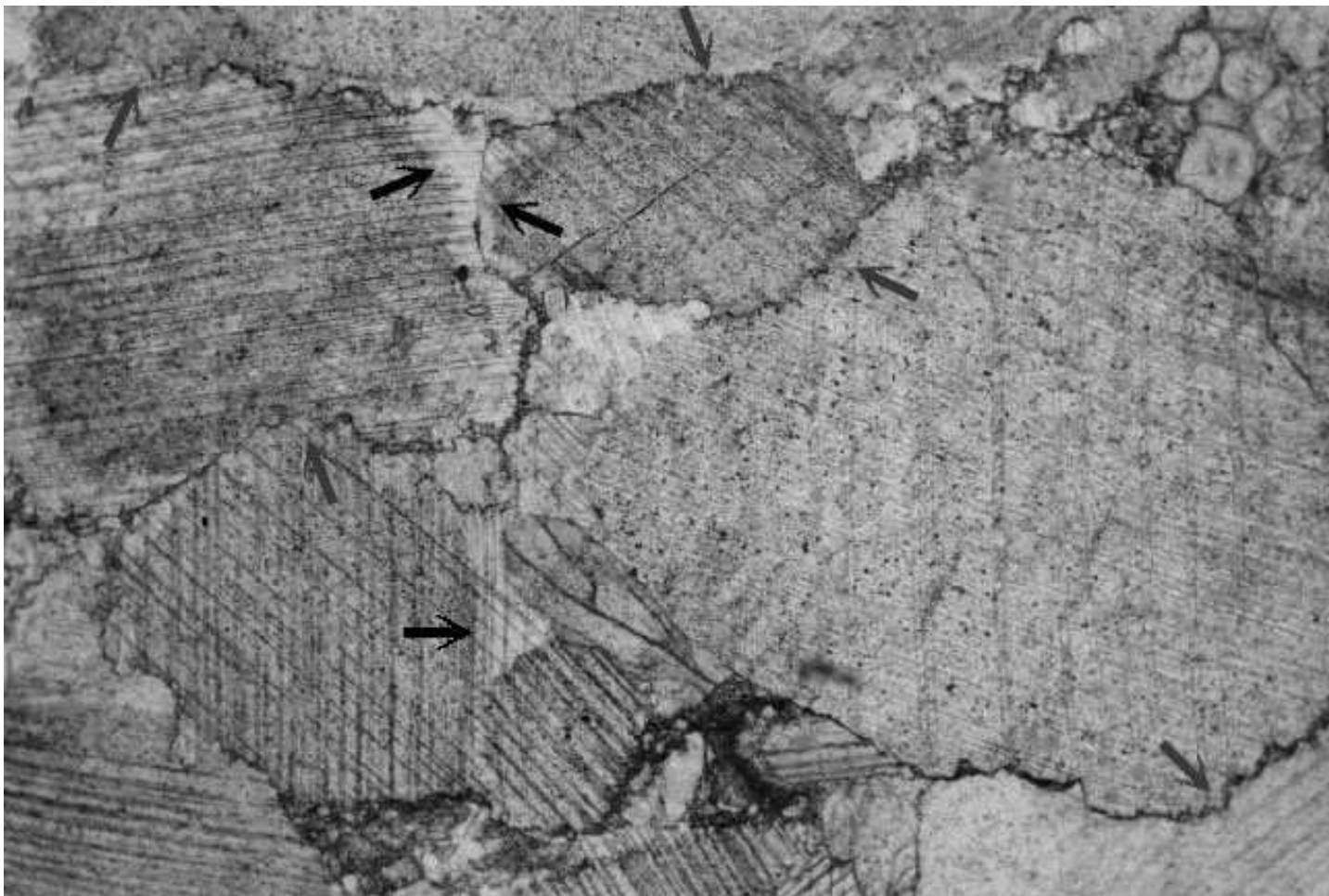
STYLOLITY – galerie



Brachiopod/echinoderm packstone.

Intergranulární stylolity na kontaktu krinoidových a brachiopodových fragmentů a na kontaktech mezi fragmenty a křemennými zrny.

STYLOLITY – galerie

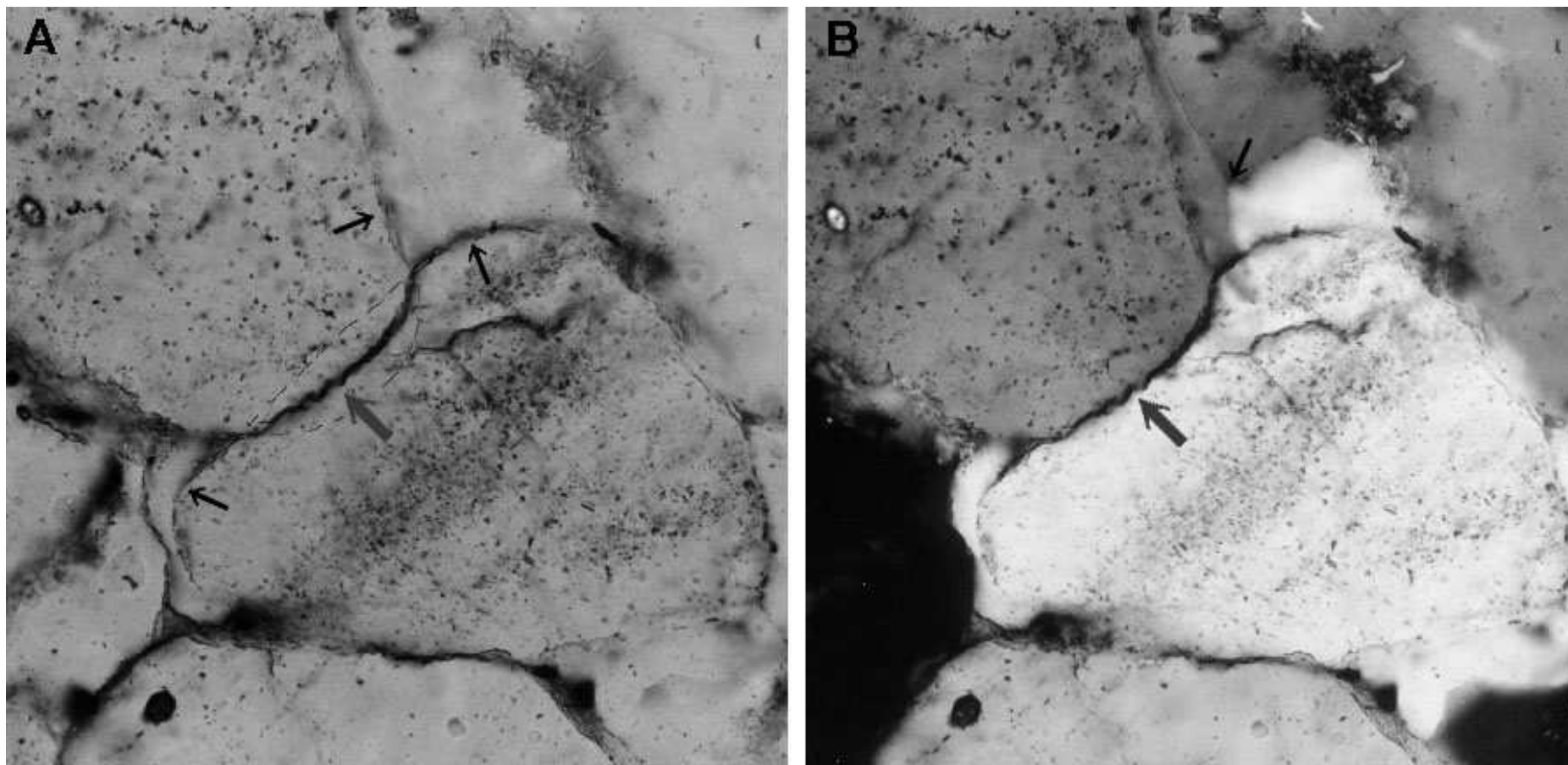


Bioklastový grainstone.

Vzorek má téměř „fitted fabric“ (velmi hojné stylolity na kontaktech krinoidů).

Stylolity jsou spíše horizontální a syntaxiální cement je bo stranách klastů.

STYLOLITY – galerie

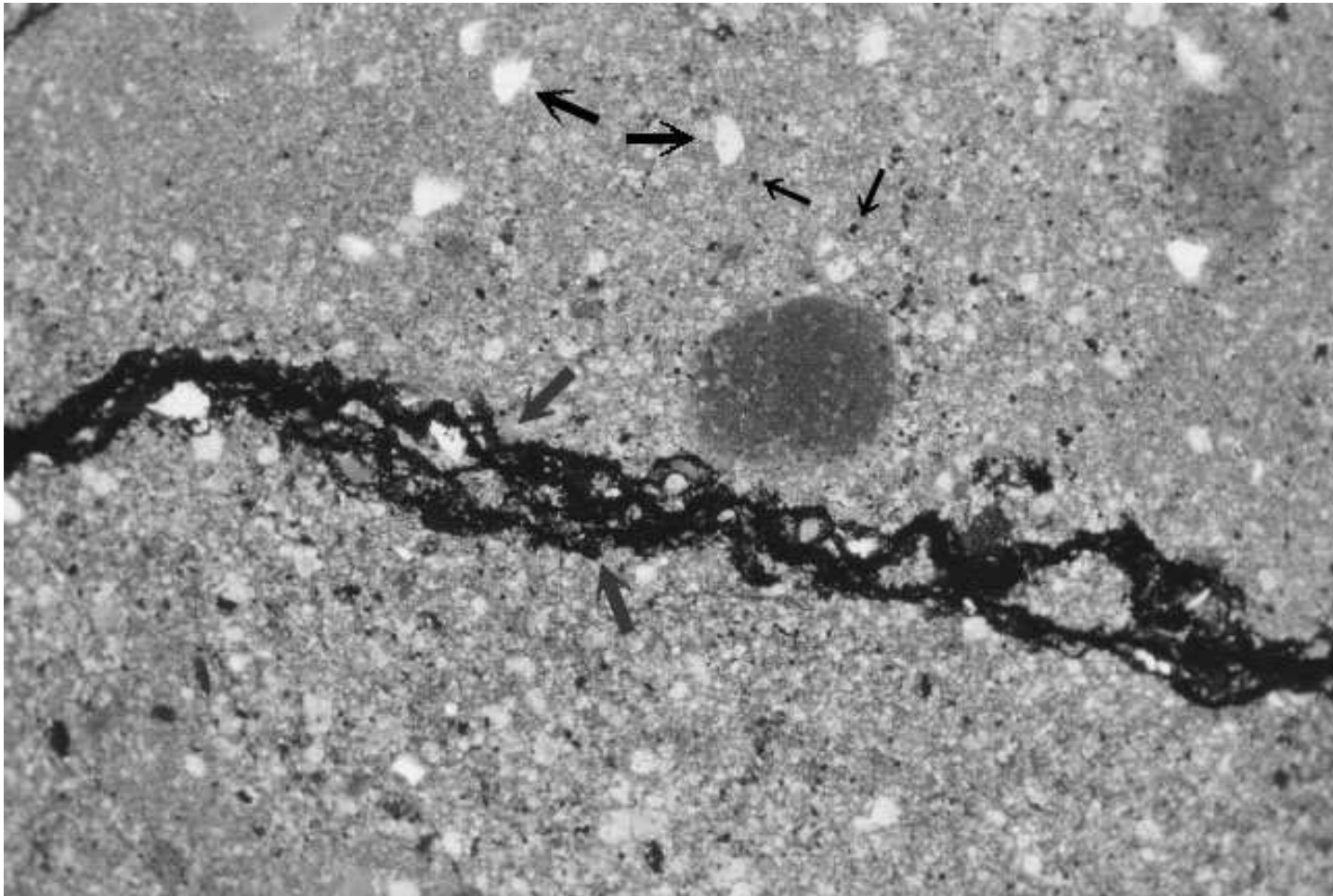


Křemenný pískovec cementovaný křemenem.

A: Rozpouštěcí šev na kontaktu dvou zrn cementu a nemodifikované hranice zrn.

B: Bod, ve kterém se setkávají dva různě orientované syntaxiální PS-cementy a další zrno cementu.

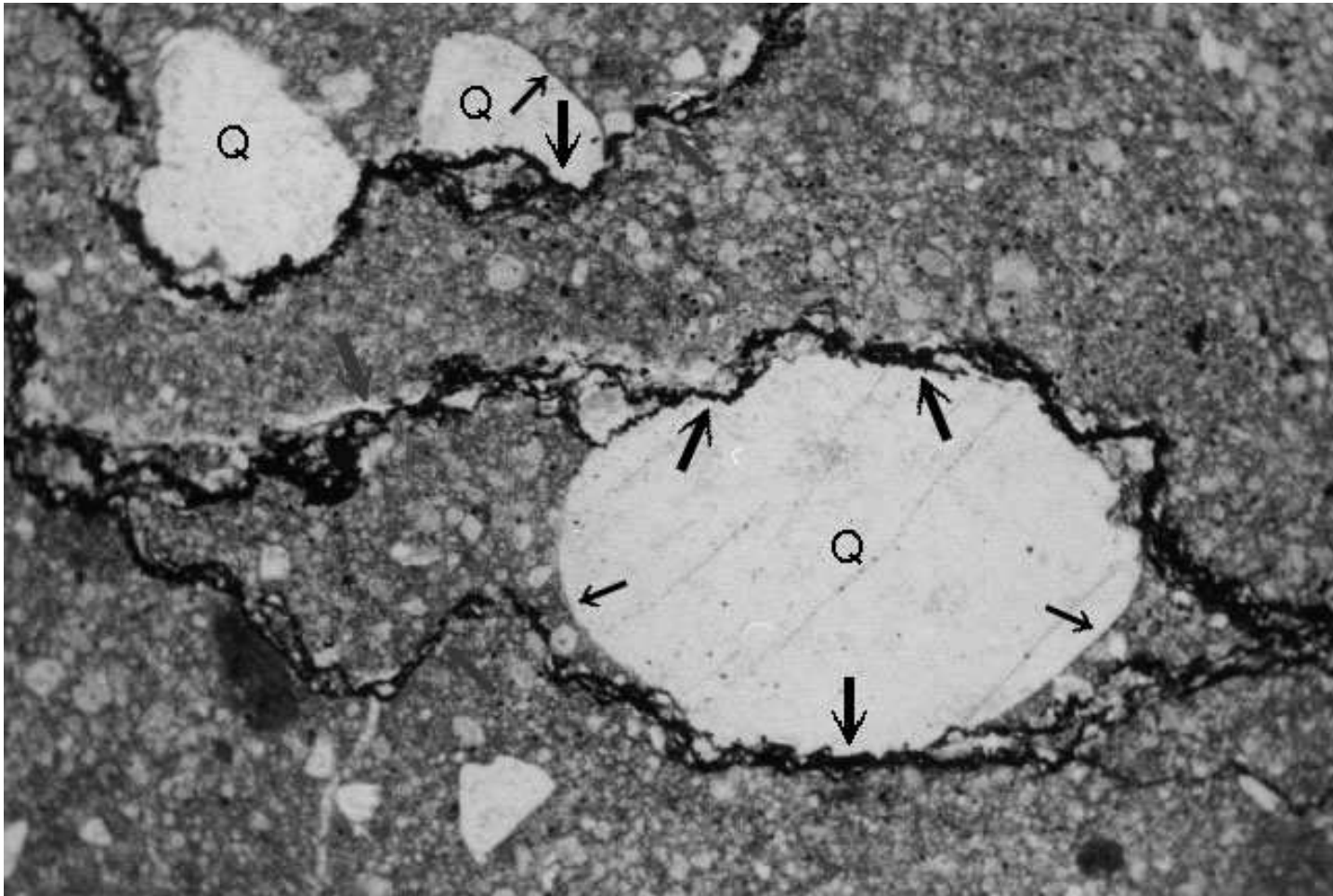
STYLOLITY – galerie



Dolomitic intraclastic packstone.

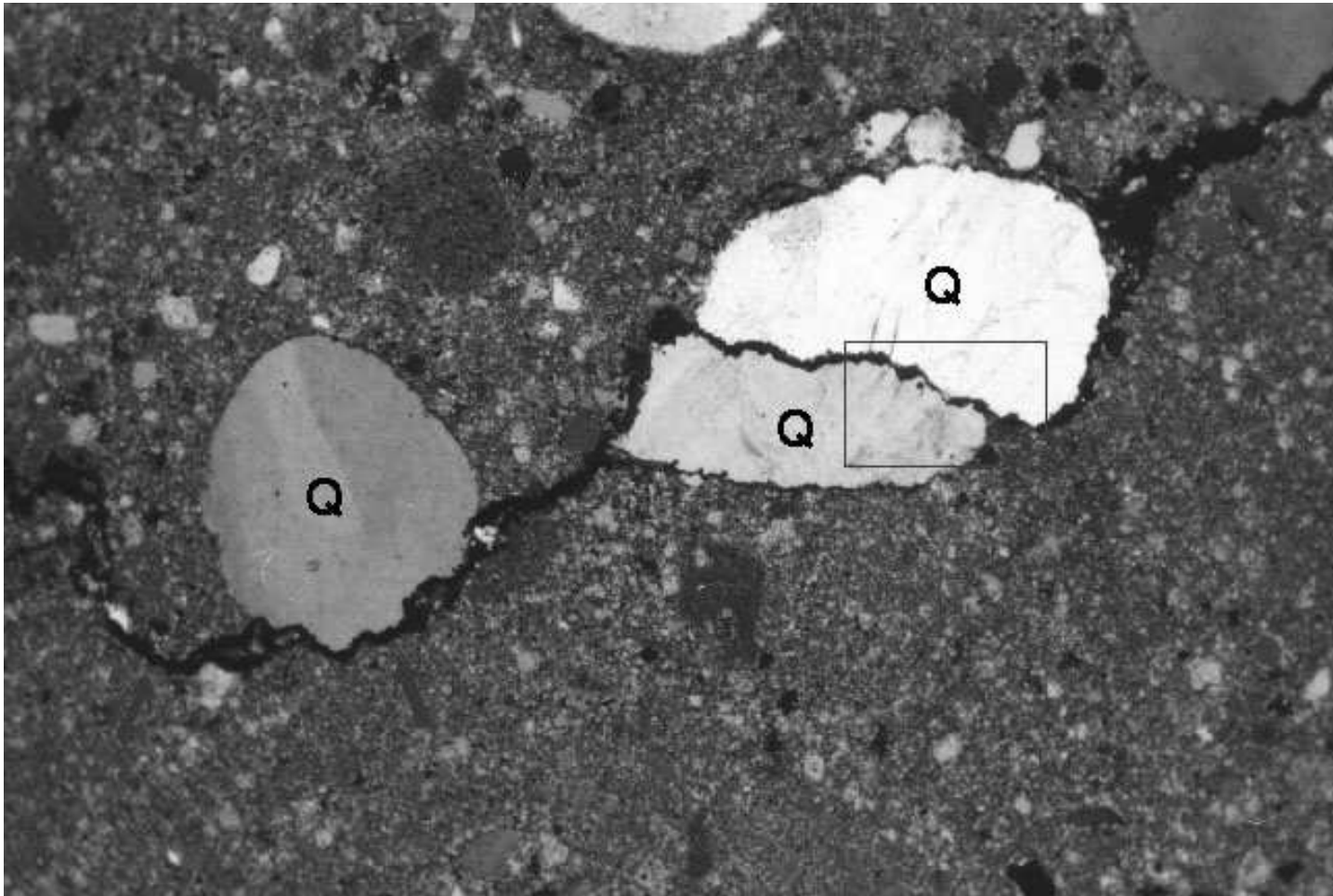
Stylolit s křemennými zrny siltové frakce a opakními zrny jako nerozpustnými rezidui na švu (tato zrna jsou přítomna i „matečné“ hornině stylolitu).

STYLOLITY – galerie



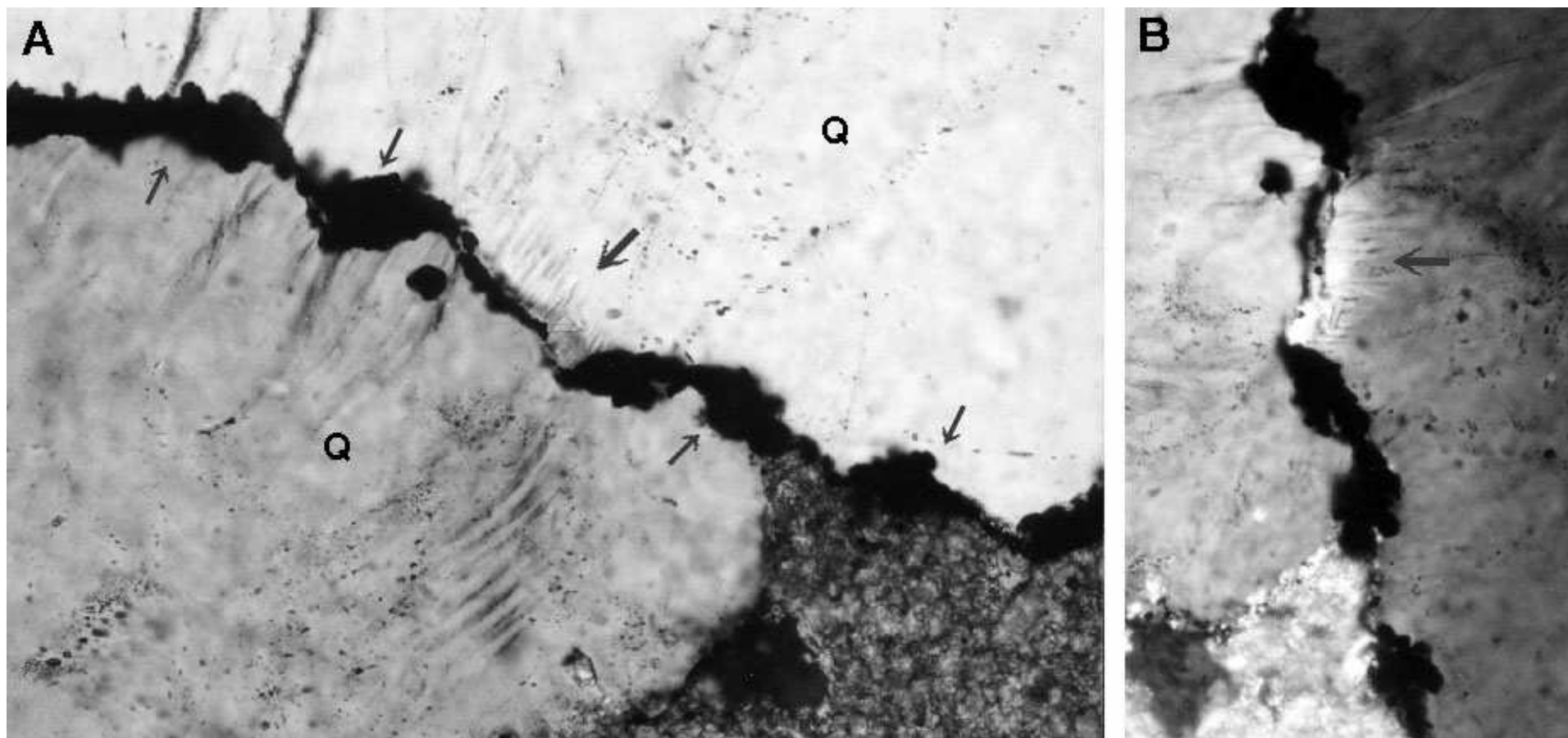
Dolomitic intraclastic packstone.

STYLOLITY – galerie



Dolomitic intraclastic packstone.

STYLOLITY – galerie

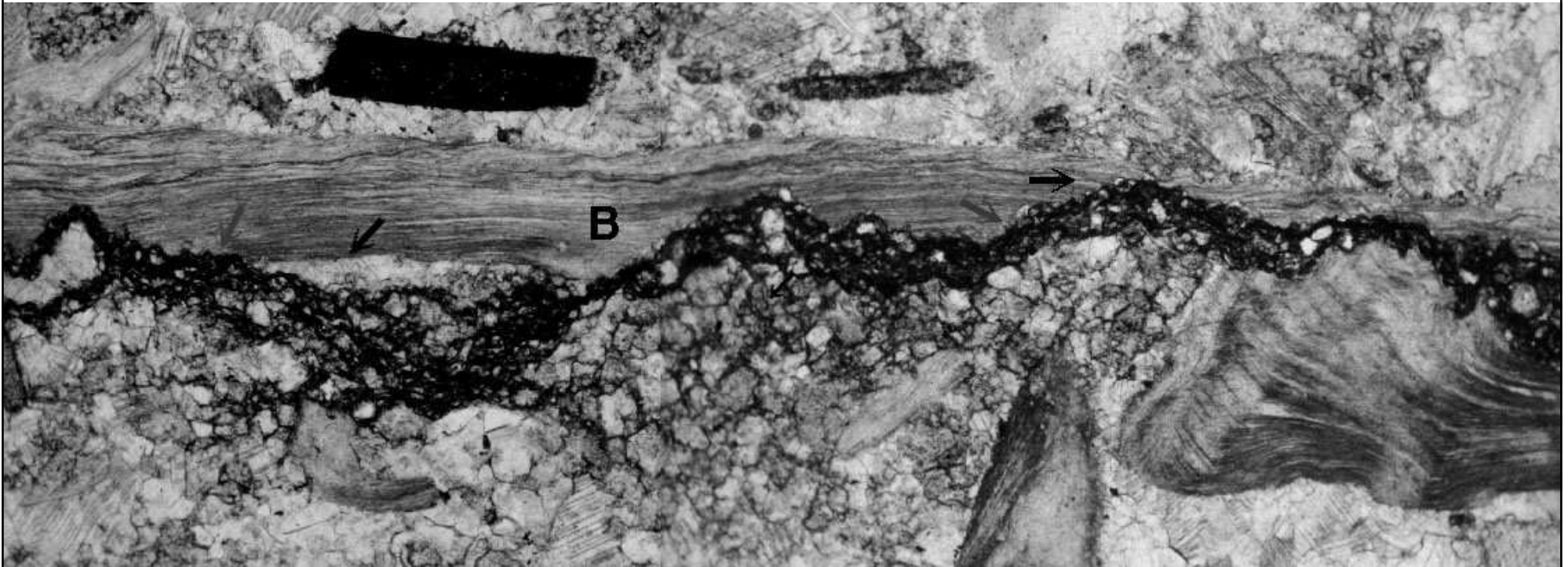


Dolomitic intraclastic packstone.

Na stylolitu mezi křemennými zrny jsou opakní zrna jakožto nerozpustné reziduum.

Zrna vykazují v blízkosti kontaktu lamelární struktury. B: Oblast lamel má jinou optickou orientaci než zbytek zrna – orientace mřížky byla změněna vlivem napětí okolo stylolitu.

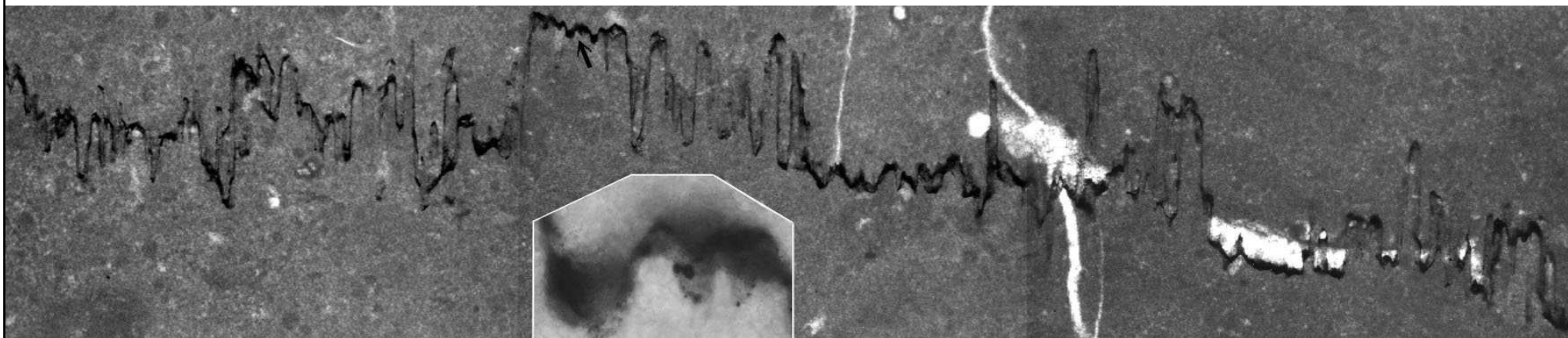
STYLOLITY – galerie



Dolomitic grainstone.

Patrné zkrácení vlivem „volume loss“ na stylolitu.

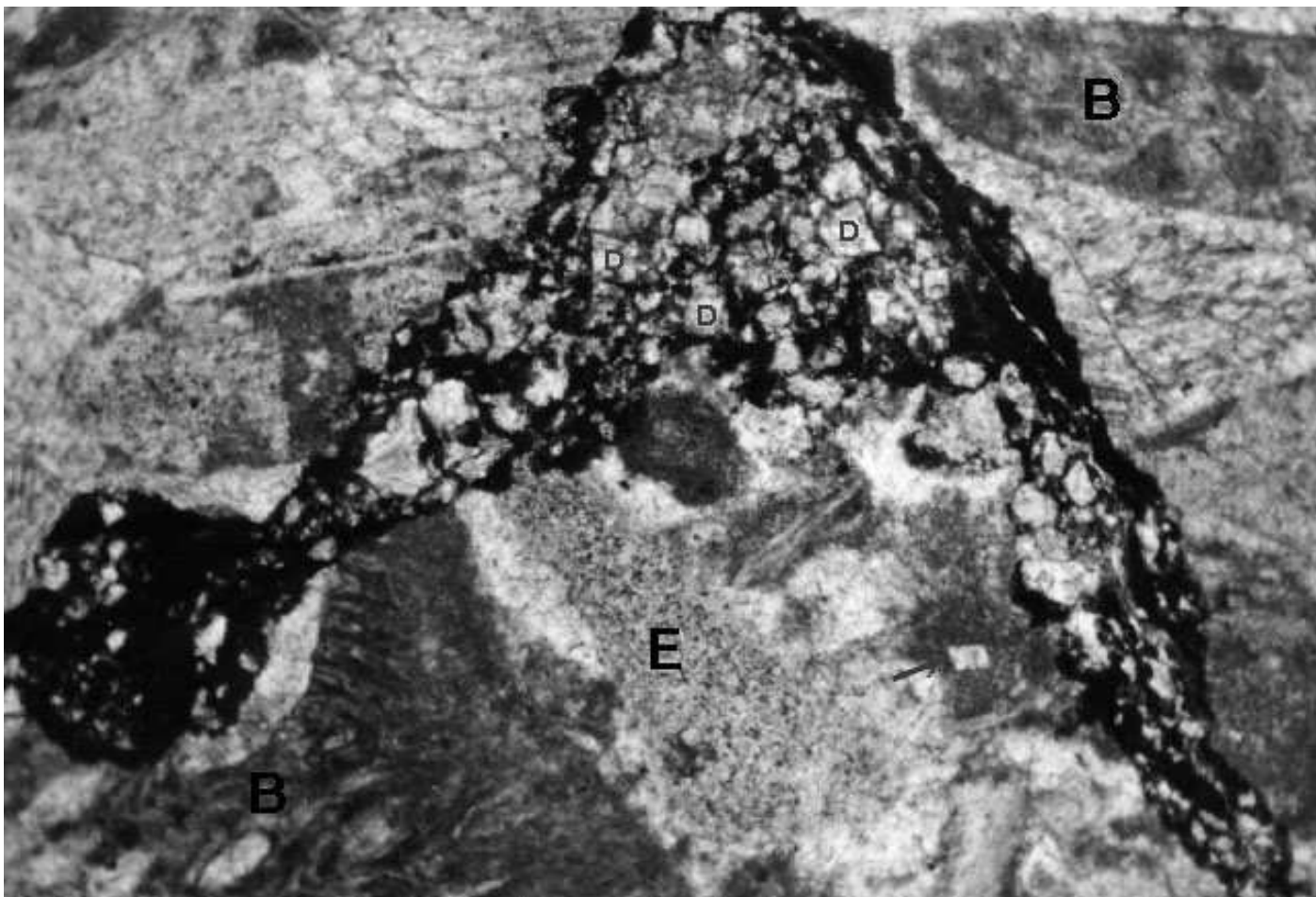
STYLOLITY – galerie



Intraclastic packstone

Vysoká amplituda stylolitu – značné zkrátení.

STYLOLITY – galerie

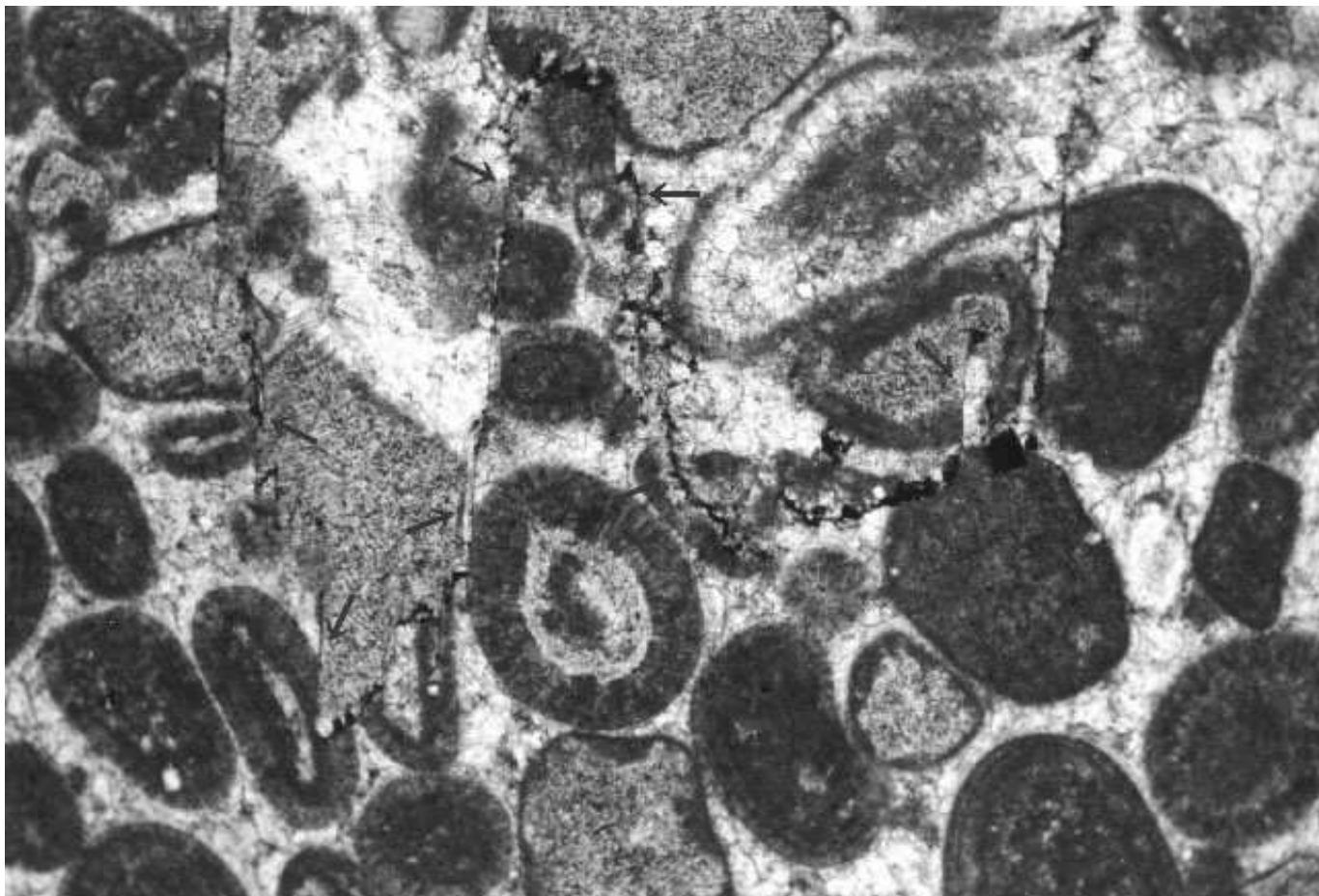


Bioclastic grainstone .

Rhombické dolomity jako nerozpustné reziduum.

Malé množství dolomitu v „matečné“ hornině – buď bylo zkonsumováno hodně horniny nebo vznikl stylolit v zóně bohaté dolomitem.

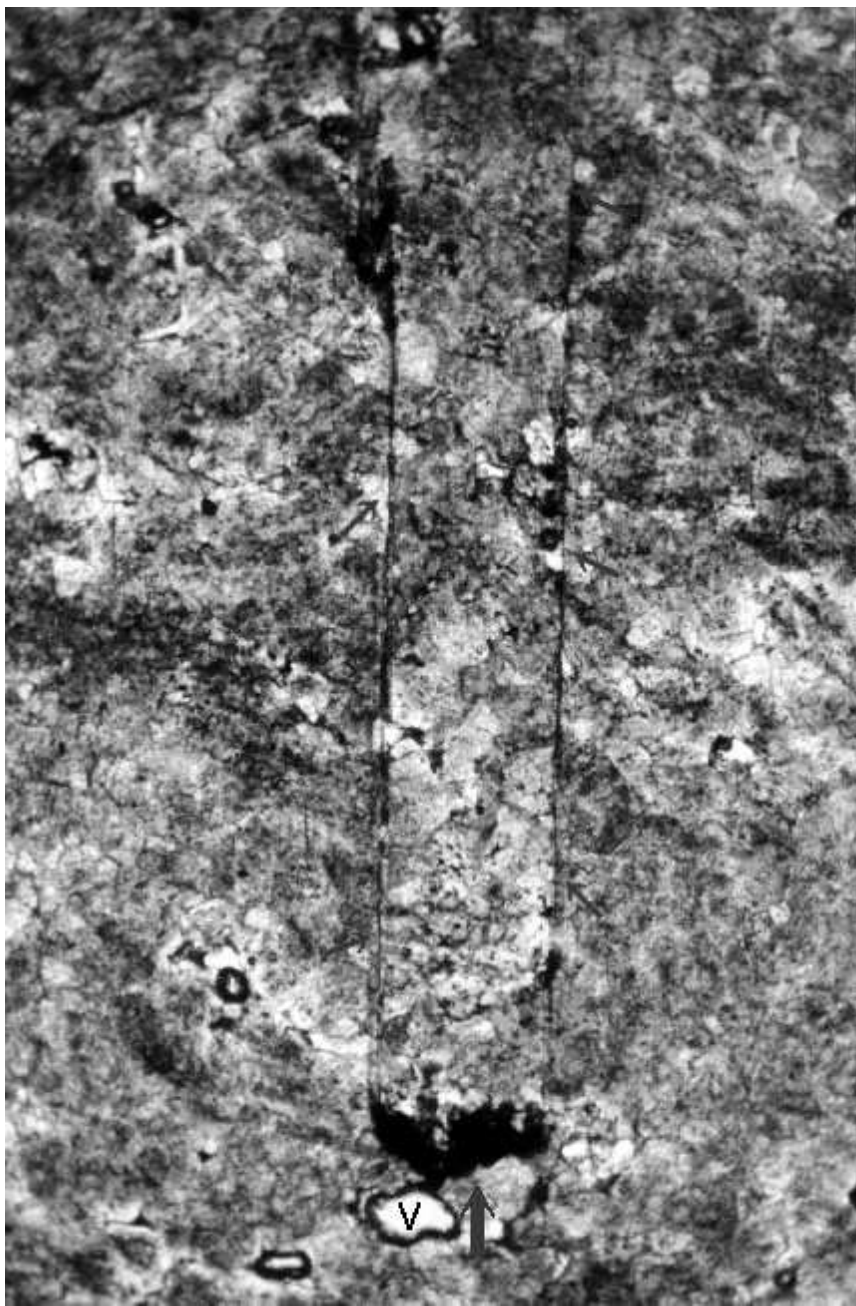
STYLOLITY – galerie



Echinoderm-oolitic grainstone.

Horizontální stylolit, „truncated“ mnoho zrn. Důležité – nad stylolitem je méně syntaxiálně lemovaných ooidů než pod ním – značné zkrácení.

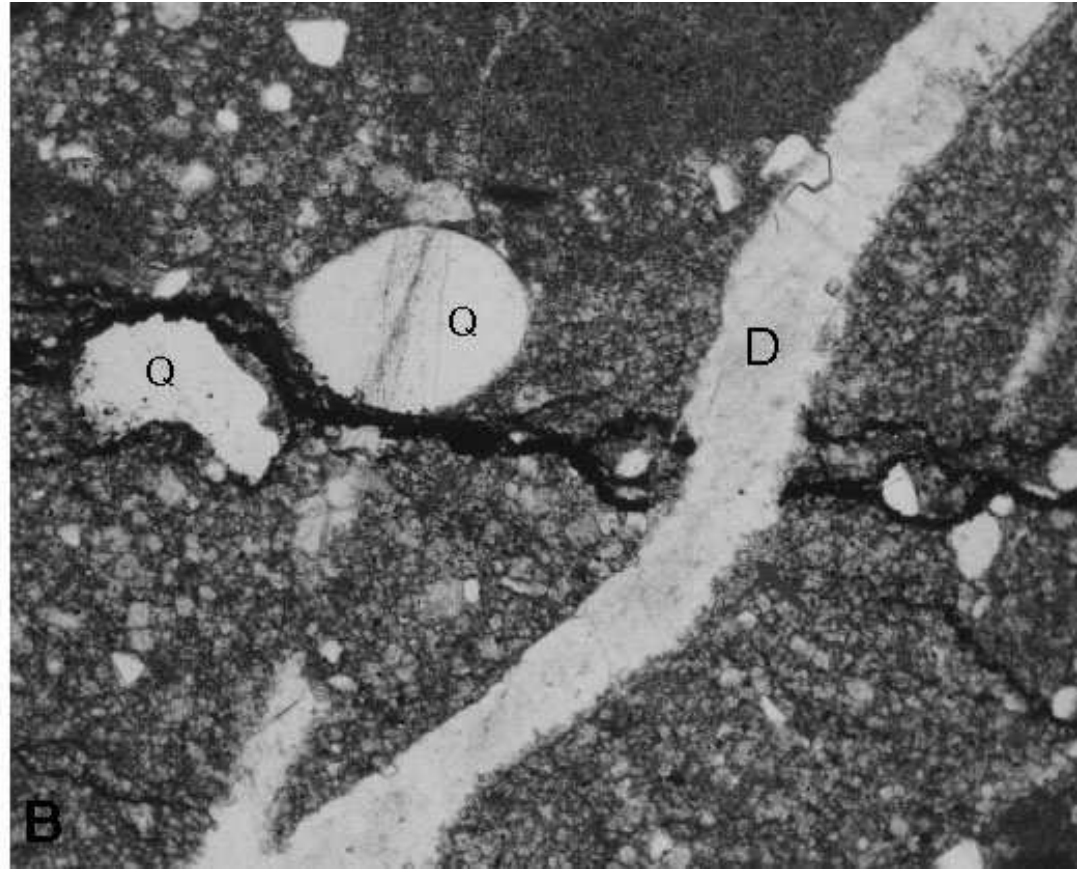
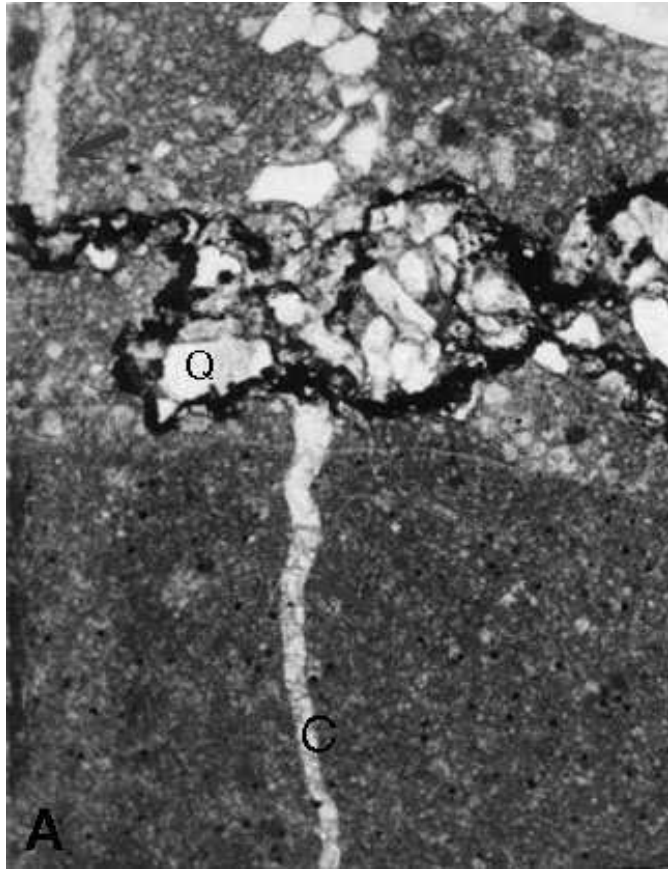
STYLOLITY – galerie



Dolostone.

Jeden sloupec horizontálního stylolitu – poměrně neobvyklé – stabilní tektonické prostředí, kde není stylolit rozlámán aby mohlo vzniknout více menších sloupců.

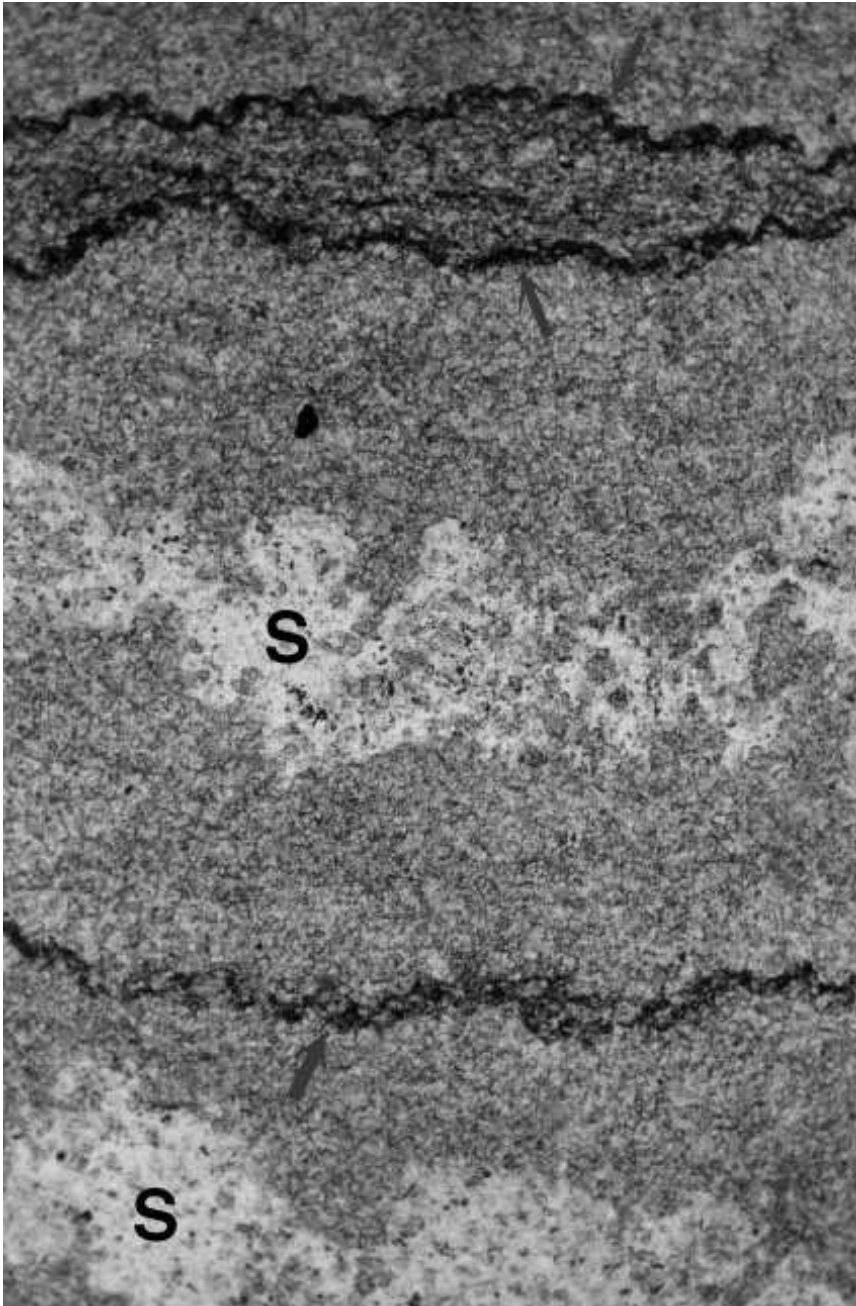
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



A: Kalcitová žíla, přetáta stylolitem, na kterém jsou koncentrována drobná zrnka křemene.

B: Dolomitová žilka, protínající stylolit.

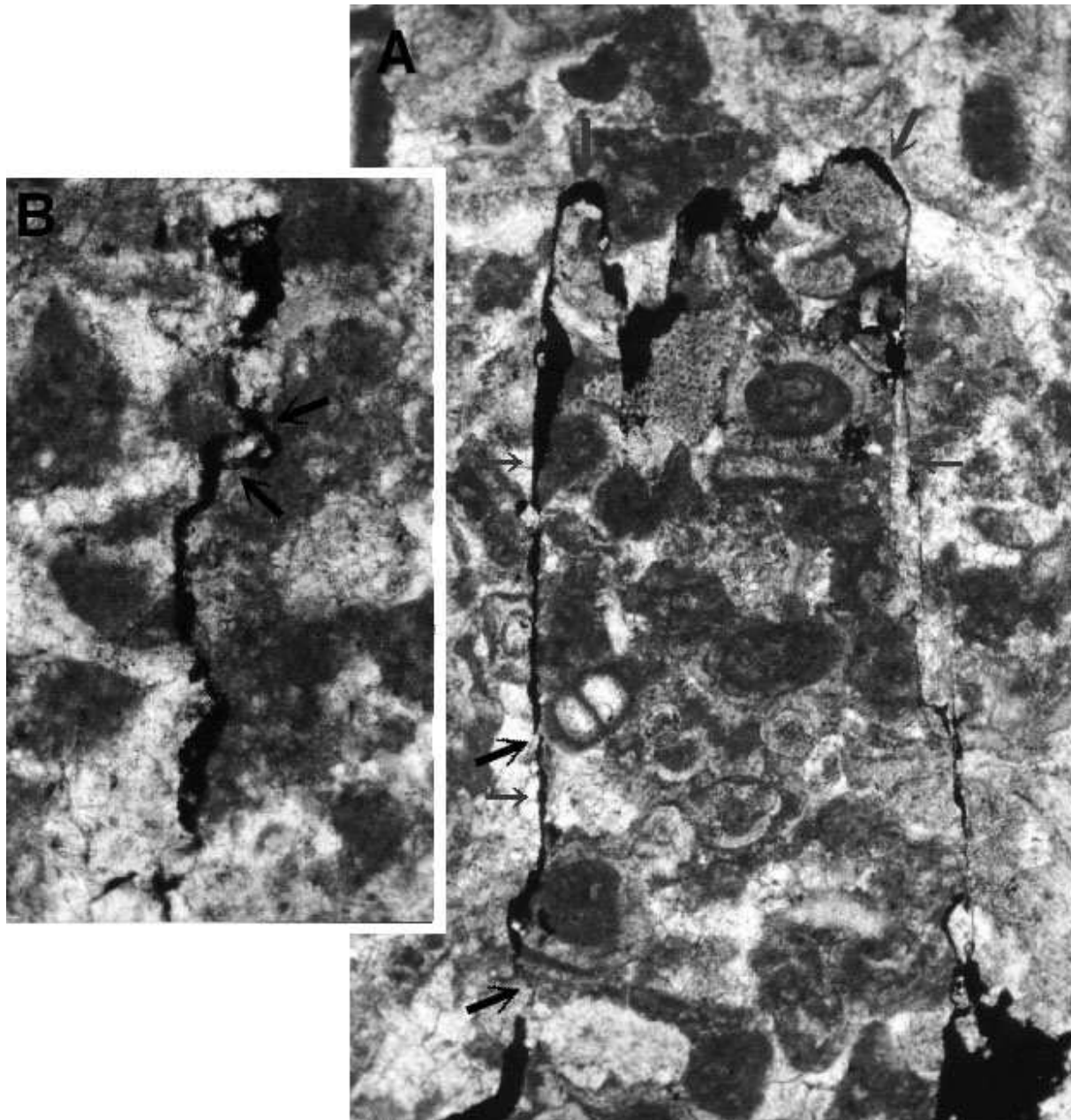
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Mikrosparitický vápenec se třemi stylolity a dvěma zónami silicifikace.

1. Výsledek větší cementace v blízkosti stylolitů, které dodávají nerozpustný materiál pro cementaci a subsekventní litifikace vnitřních zón mezi stylolity, kde byla větší permeabilita.
2. Silicifikace byla dříve než stylolity a mechanicky predisponovala jejich lokalizaci.

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie

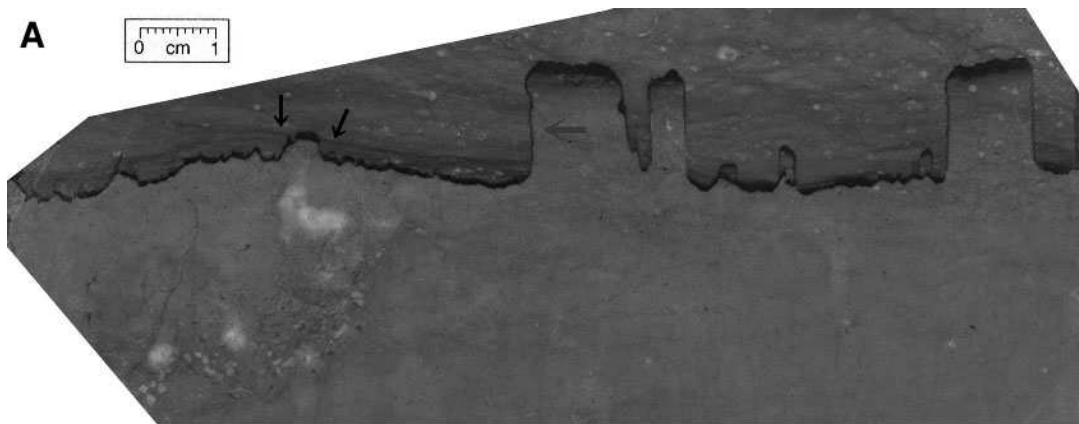


Grainstone.

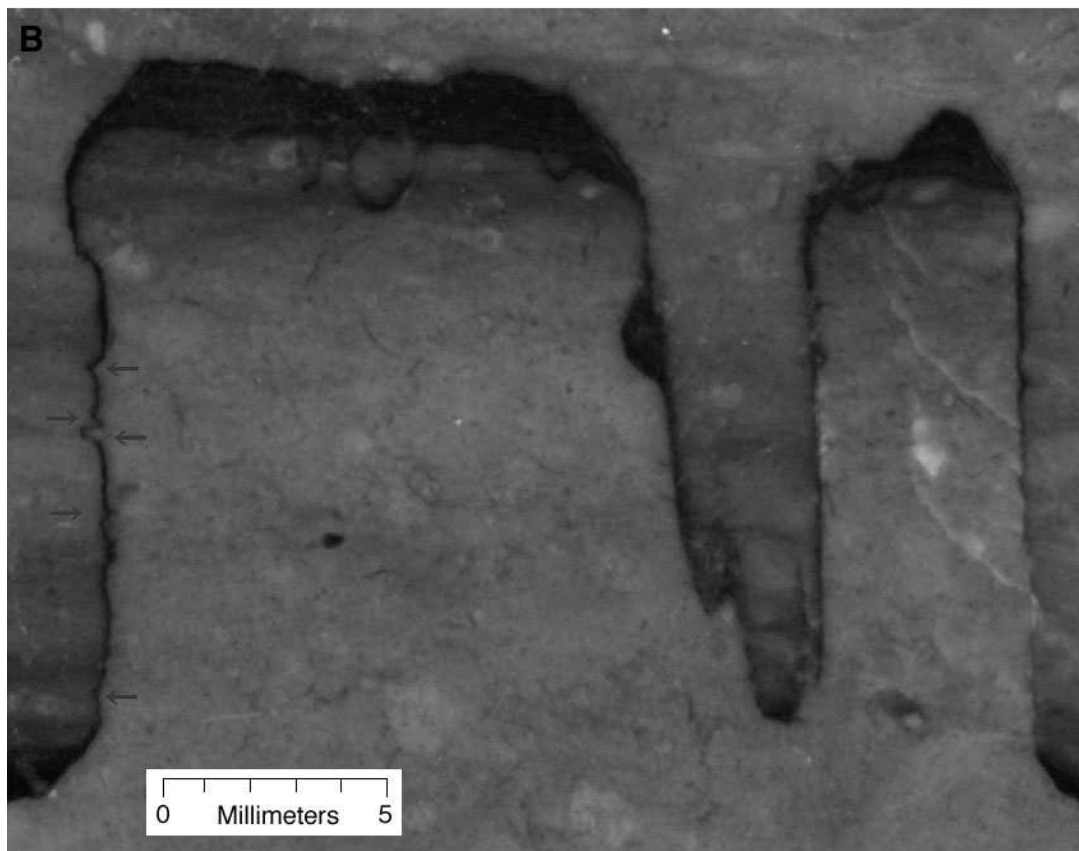
Dvě fáze deformace –

- Vertikální komprese
- Horizontální komprese (horní blok byl posunut doprava a spodní doleva)

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Bioklastový wackestone.



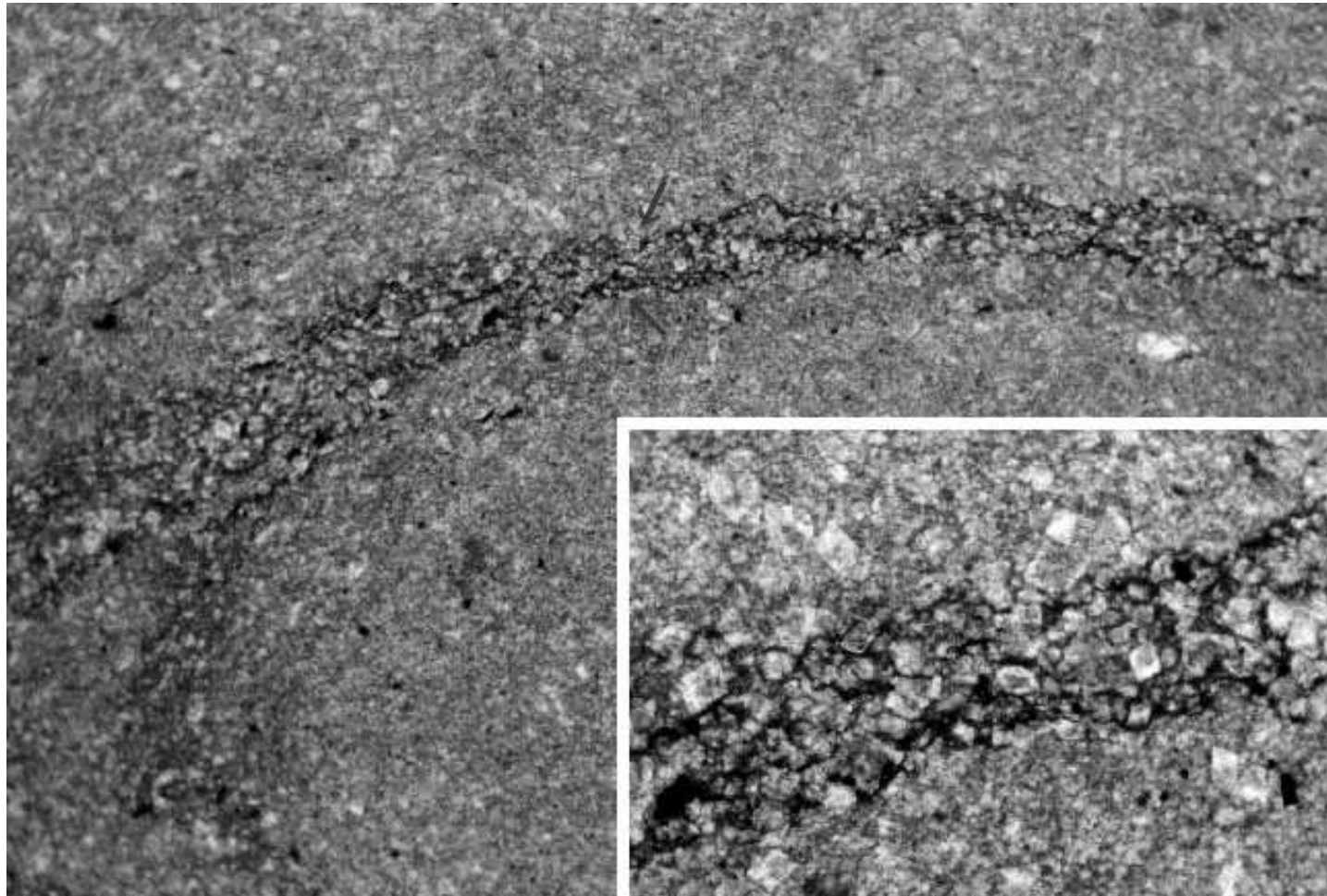
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Tři po sobě následující stylolity:

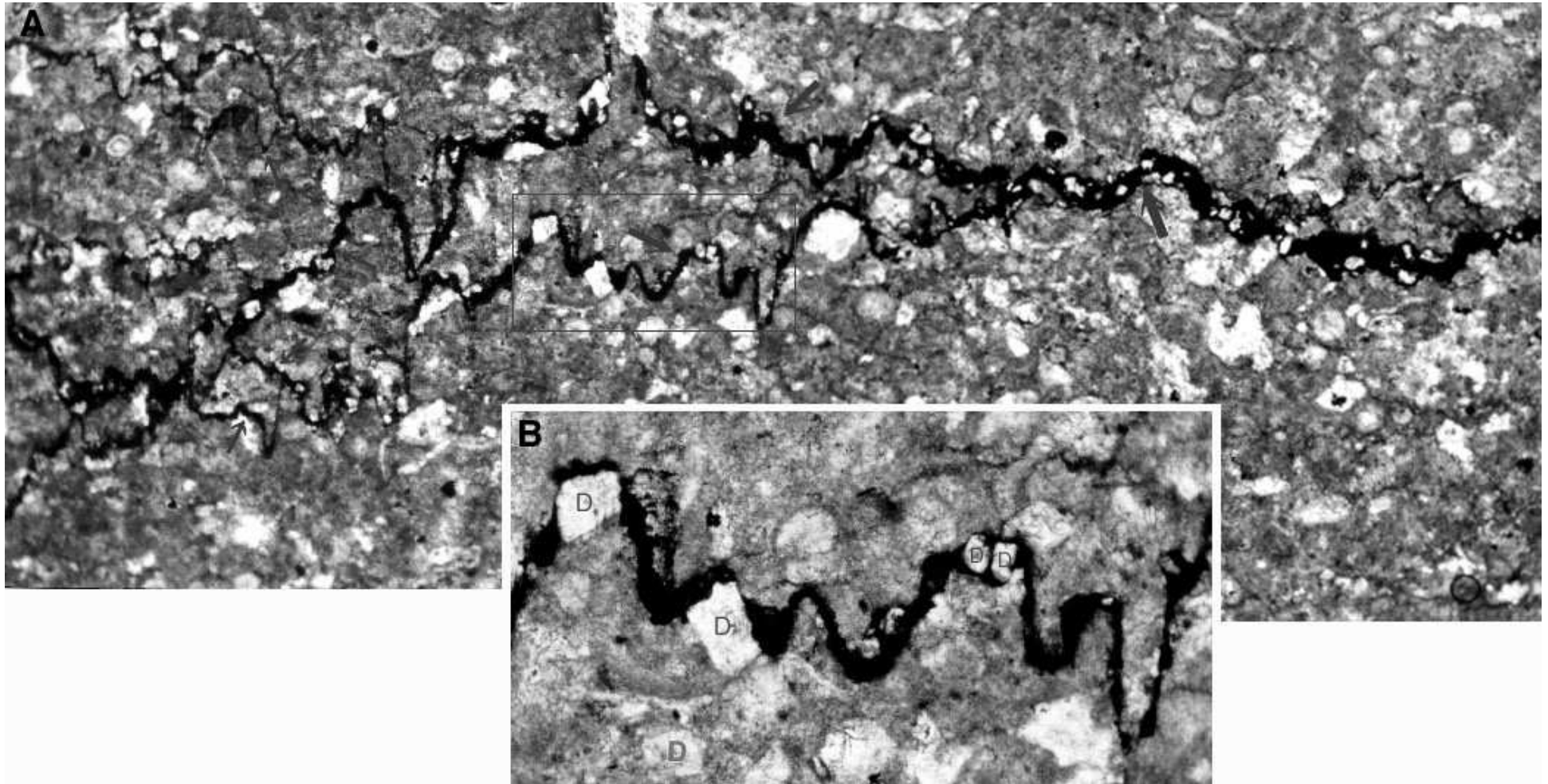
1. Tenký stylolit
2. Sloupce stylolitu o vysoké amplitudě
3. Stylolit s mohutným švem.

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Slabě vyvinutý stylolit okolo eliptické vrtby v dolomitickém vápenci (na švu jsou koncentrována dolomitová zrna)

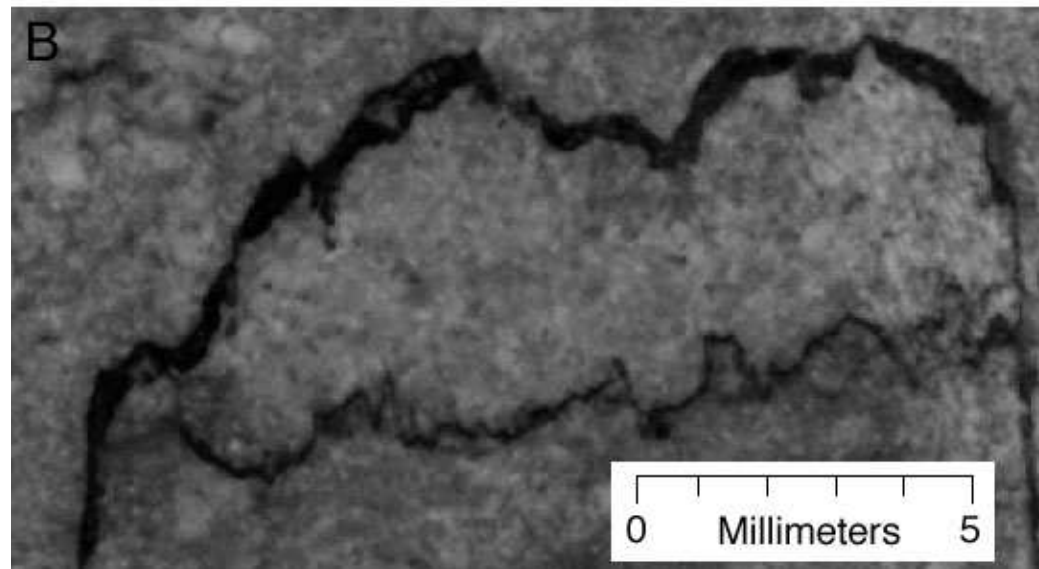
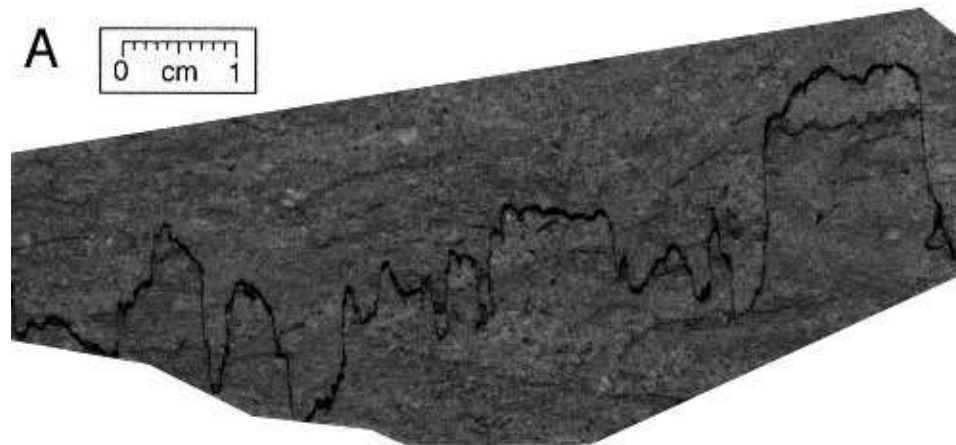
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Několik drobných stylolitů se spojuje ve dva větší a ty se spojují v jeden mohutný.

Na švu jsou koncentrovány dolomity (low pressure solubility)

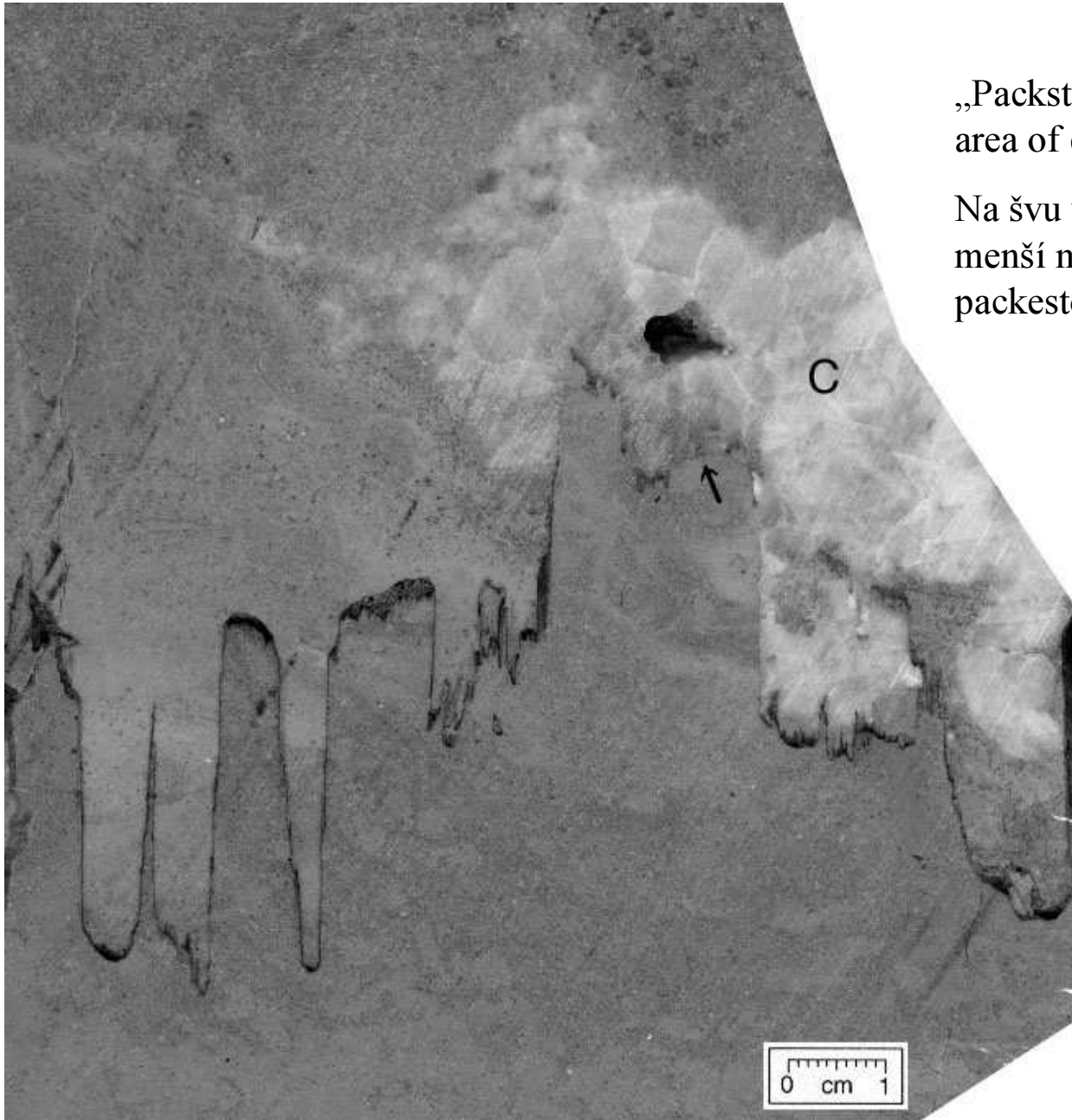
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Horizontální stylolit ve vysoce kompaktném bioklastovém grainston.

Drobný stylolit uvnitř sloupce představuje buď částečně zkonsumovaný starší stylolit nebo dílčí stylolit uvnitř většího.

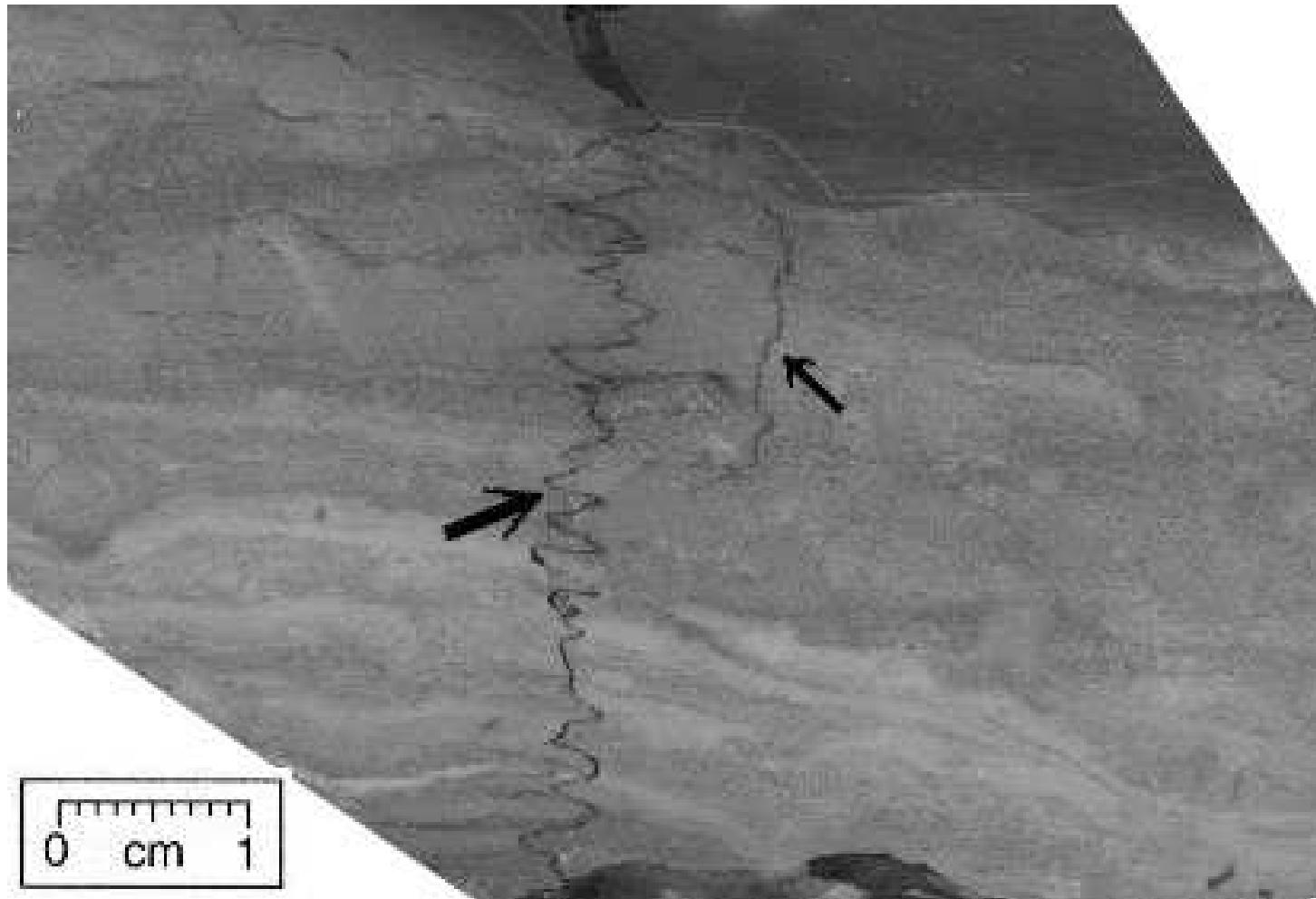
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



„Packstone to grainstone with a large area of coarse clear calcite (C).“

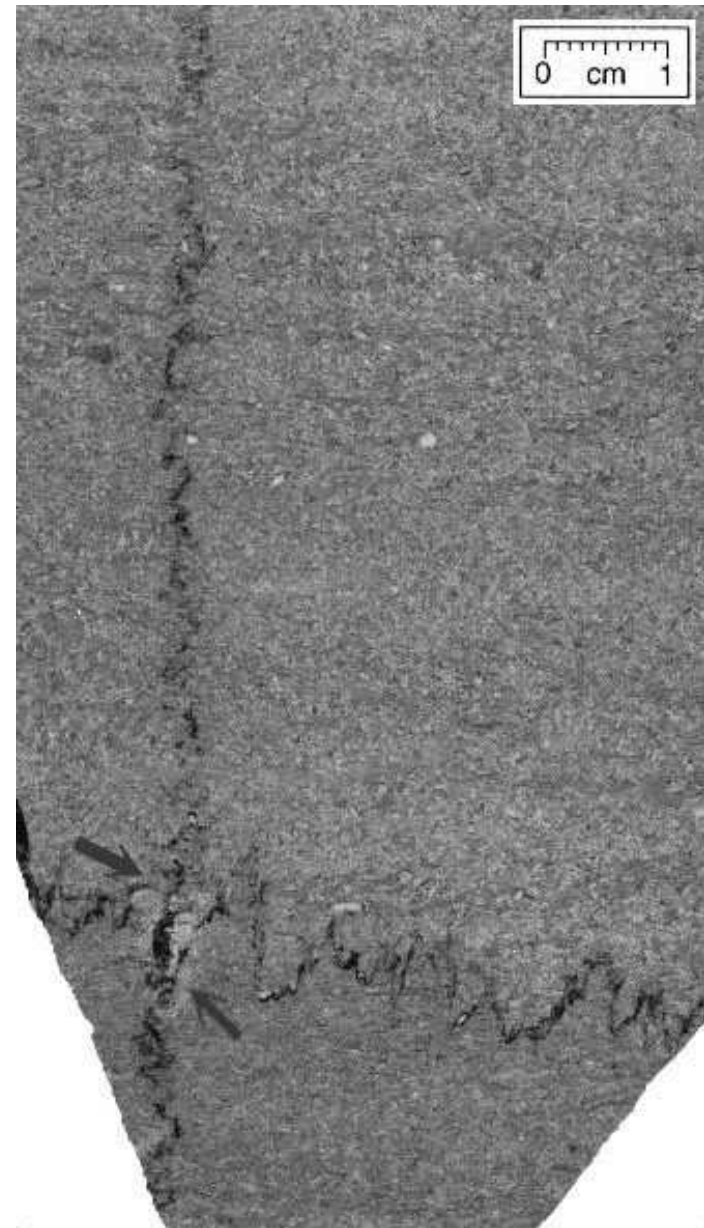
Na švu v kalcitu je akumulováno menší množství reziduí než na švu v packestone.

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Packstone s vertikálním stylolitem. Vertikální stylolity jsou obvykle spjaty s tektonickou kompresí, ale mohou vznikat i daleko od hlavních kompresních zón „of large-scale deformation“.

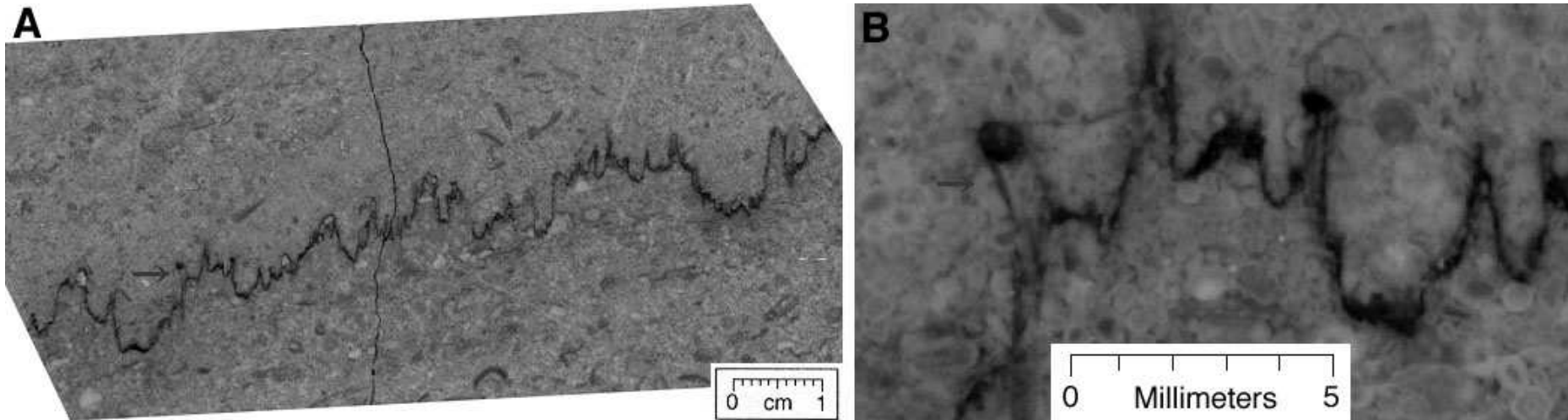
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Skeletální grainstone.

Horizontální stylolit je protínán vertikálním.

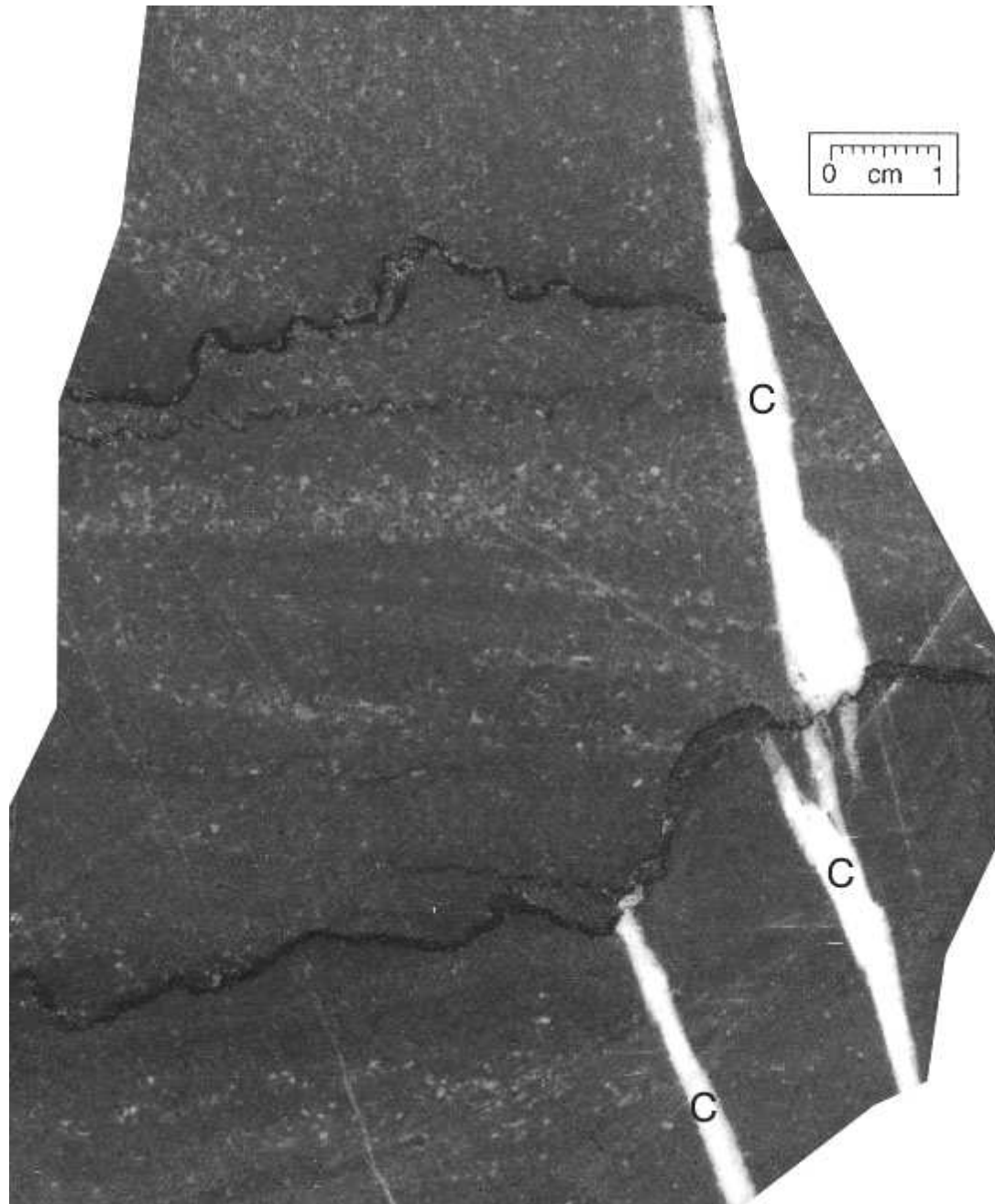
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Horizontální stylolit v bioklast-oolitovém grainstone.

Jeden sloupec je šikmo ke stylolitu. Byl patrně delší, ulomil se a potom byl konzumován stylolitem.

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie

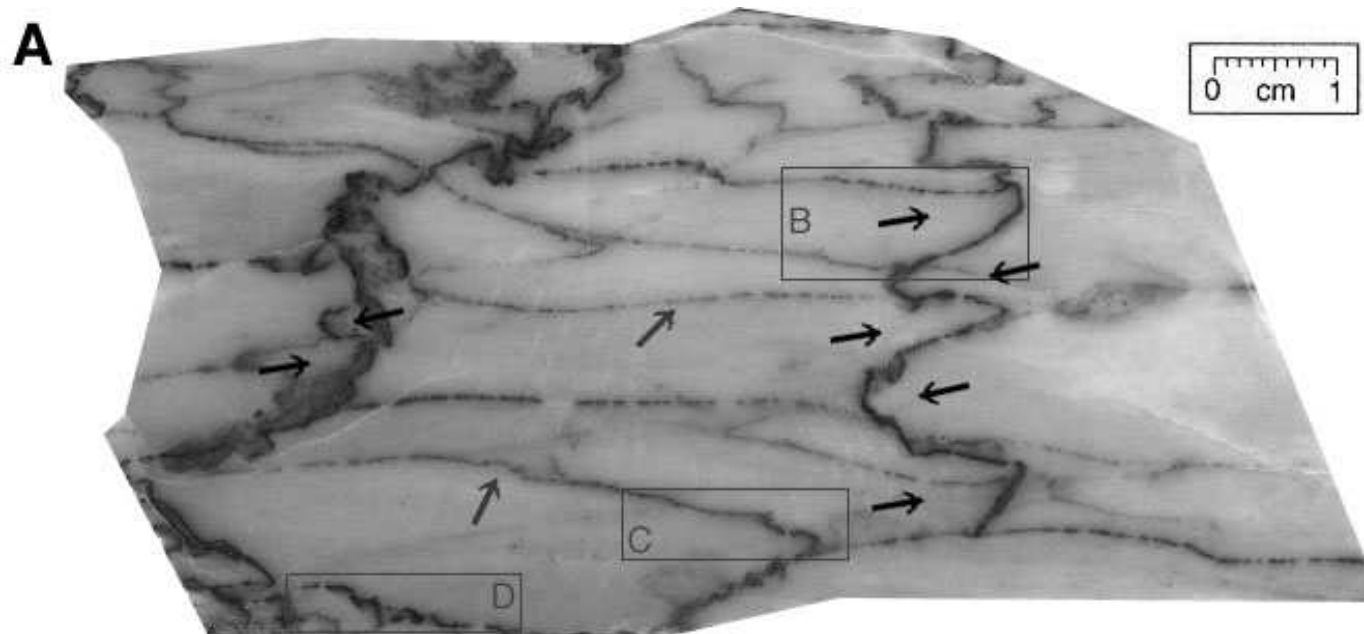


Oolitový grainstone.

Horní stylolit je starší než žilka a
spodní mladší než žilka.

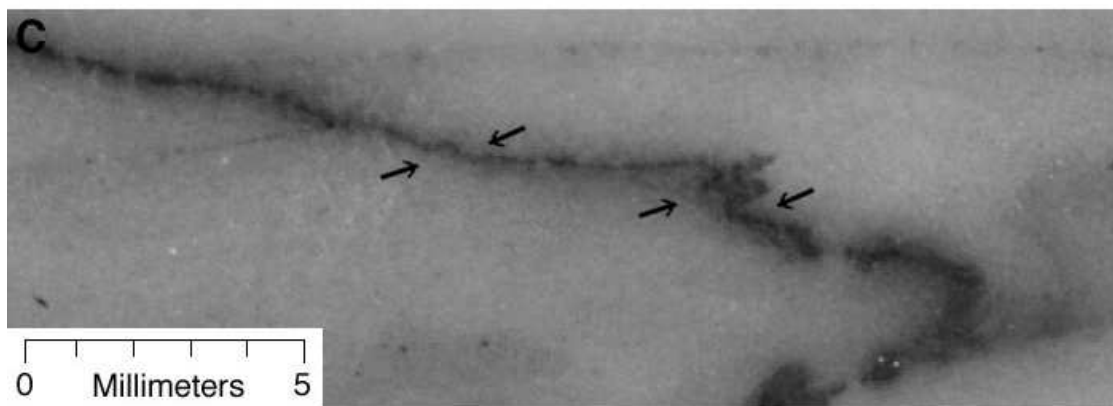
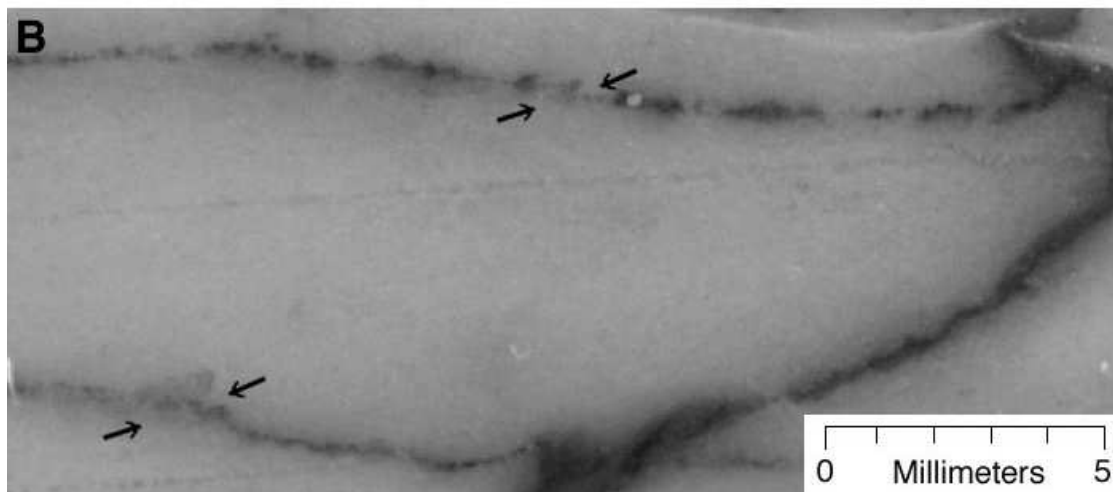
Horní stylolit je více zubatý, což je
běžné pro stylolity, formované brzy po
sedimentaci.

VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



Mramor s výraznějšími stylolity směru S-J, které protínají a seřezávají méně výrazné stylolity směru V-Z.

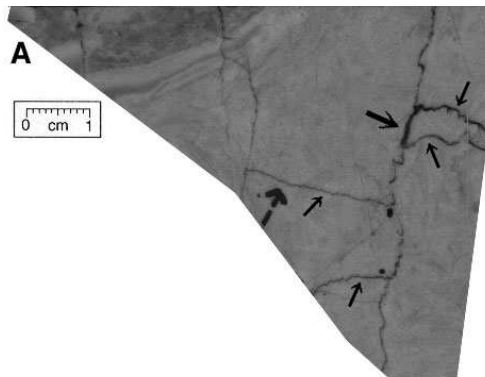
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



„Zubatost“ menších stylolitů není kolmá k nim, ale je ve stejném směru jako „zubatost“ větších stylolitů.

1. Menší stylolity byly formovány kompresí ve směru S-J a potom deformovány kompresí směru SV-JZ při vzniku větších stylolitů.
2. Všechny stylolity byly formovány zároveň kompresí směru SV-JZ, ale trend menších stylolitů byl predisponován staršími strukturami (např. puklinami směru V-Z).

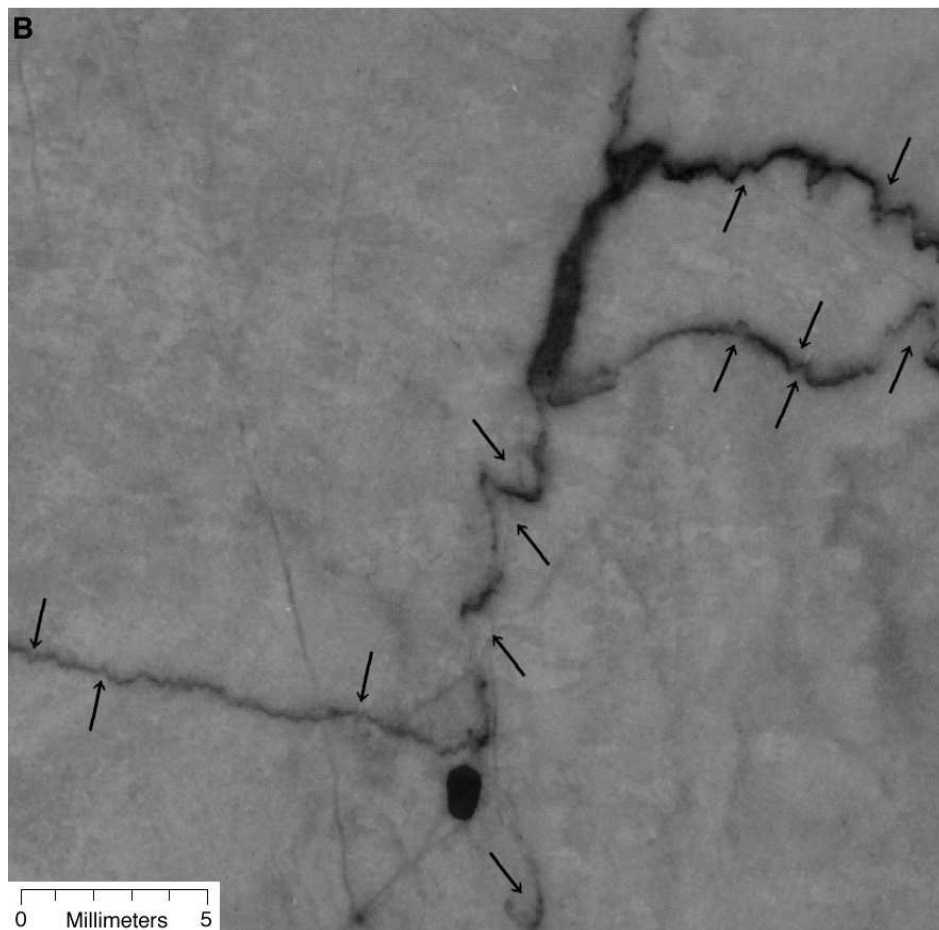
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



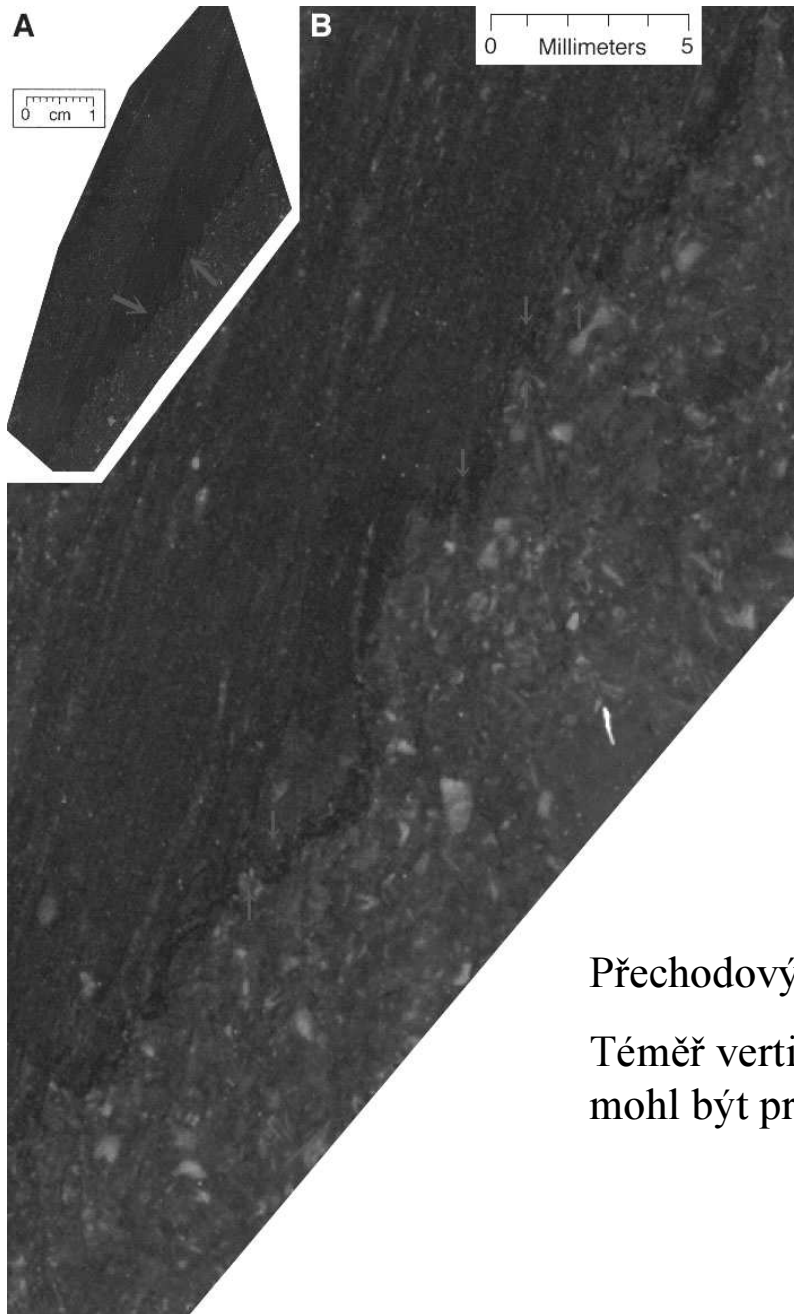
Průběžný stylolit seřezává menší stylolity.

Větší tloušťka švu je způsobena akumulací reziduí, pocházejících ze švů menších zkonsumovaných stylolitů.

Různé směry kompresí na dvou generacích stylolitů ukazují, který je mladší a kolik materiálu bylo přibližně zkonsumováno (volume loss).



VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



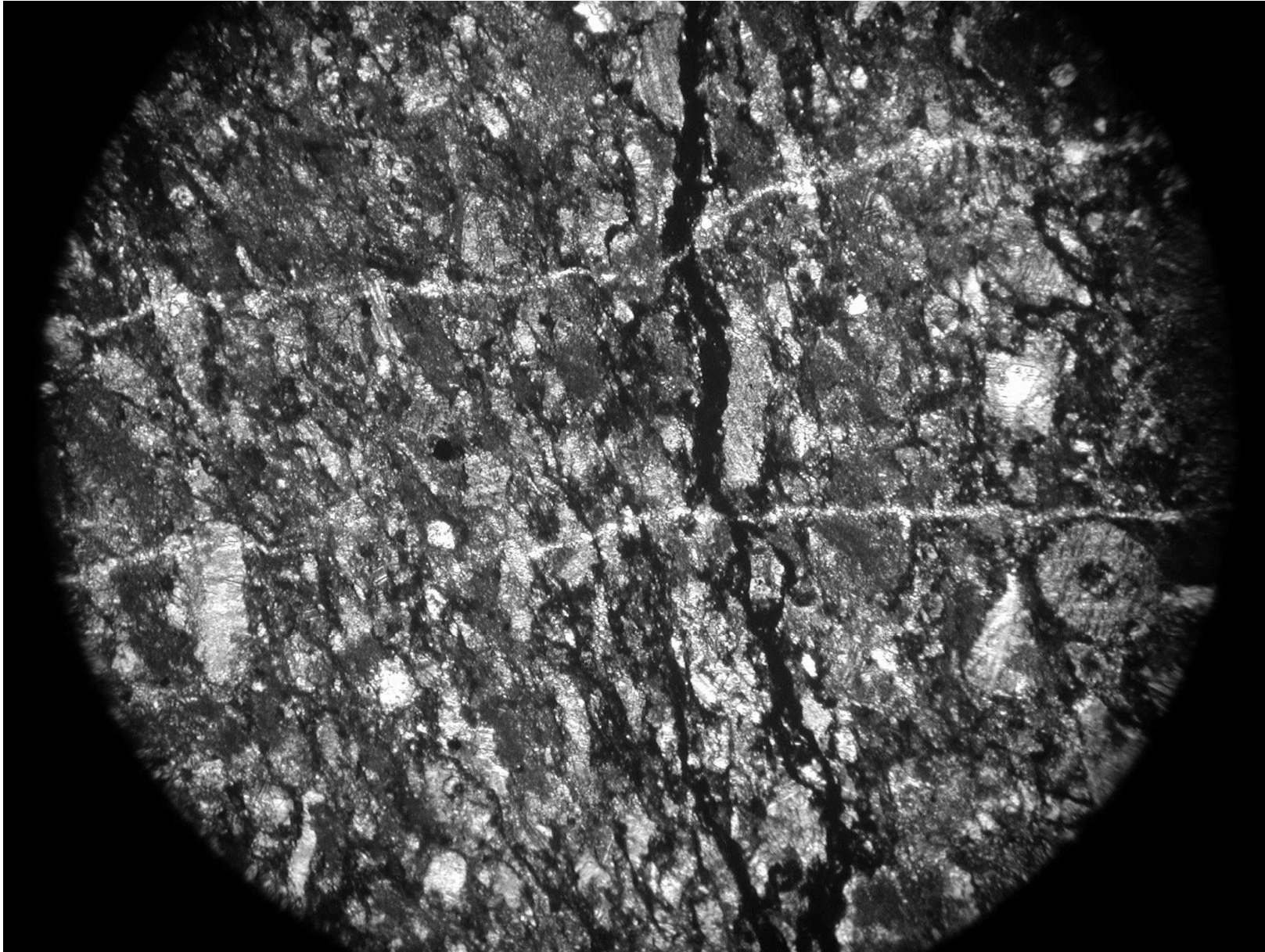
Přechodový člen mezo stylolitem a slickolitem.

Téměř vertikální stylolit vznikl při vertikální kompresi. Jeho trend mohl být predisponován starší strukturou.

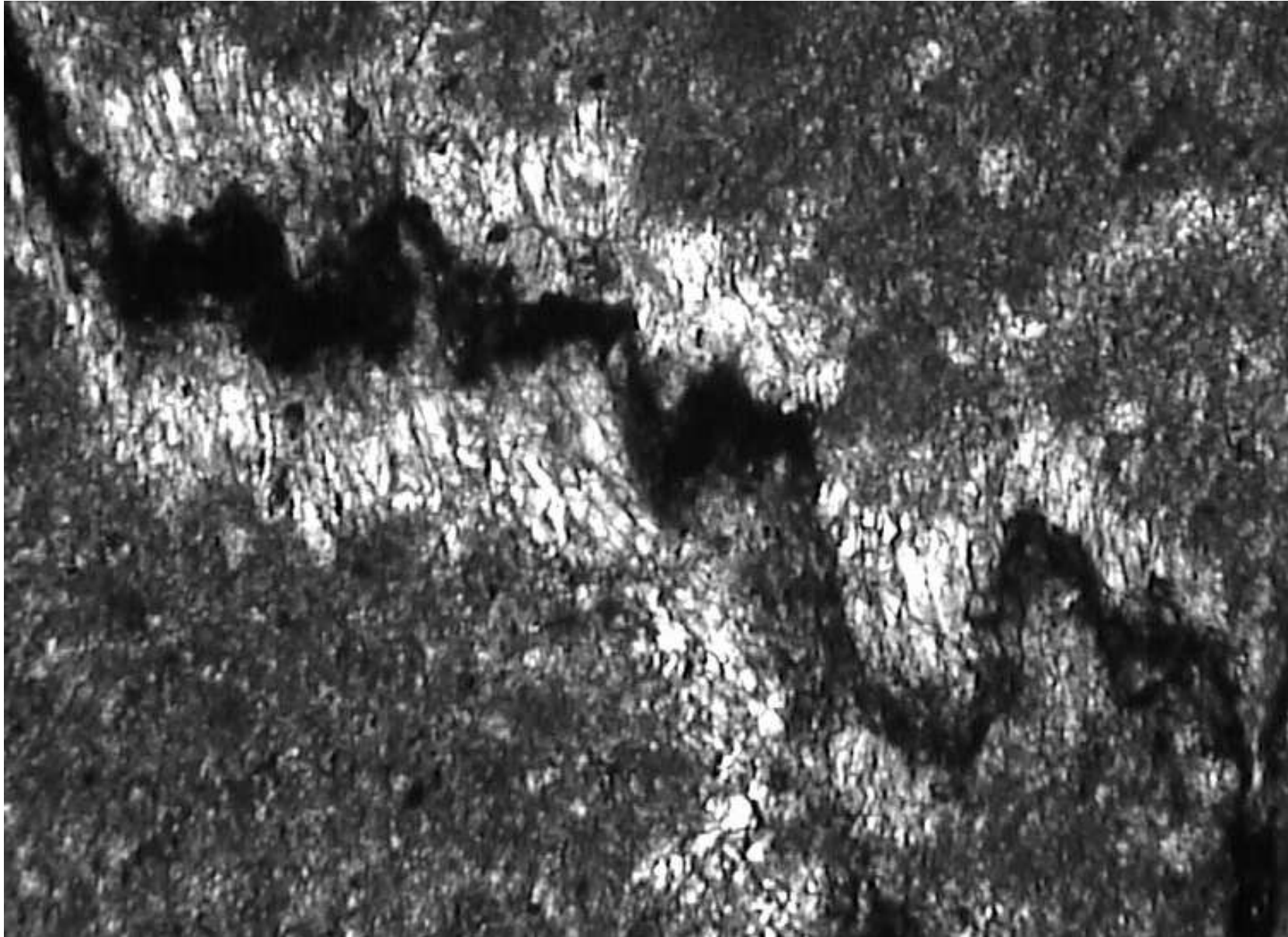
VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



VZTAHY MEZI STYLOLITY A ŽÍLAMI – galerie



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – ZÁKLADNÍ POJMY

- Soubor stylolitů, tvořících klivážové domény
- Většina charakteristik je shodná se stylolity
- PS se podílí i na vzniku jiných typů „disjunctive“ kliváží
- „Disjunctive“ kliváže manifestují deformaci sedim. hornin ve svrch. kůře (do 6 km)
- většinou dominantní za $T = 150-350^{\circ}\text{C}$, $P = 2-8 \text{ kb}$ (ostatní def. mechanismy pod 15%)

Klasifikace kliváže – pojmy:

„soubor uzavřených prostorových sekundárních plošných stavebních prvků, poskytujících hornině mechanickou anizotropii bez patrné ztráty koheze (soudržnosti)“

Klivážové domény (bands, films, folia, selvages, stripes) X (mikro)litony.

Nespojité domény protínají pův. vrstevnatost bez její reorientace.

Charakteristiky pro klasifikaci –

1. Vzdálenost domén
2. Morfologie domén

„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ

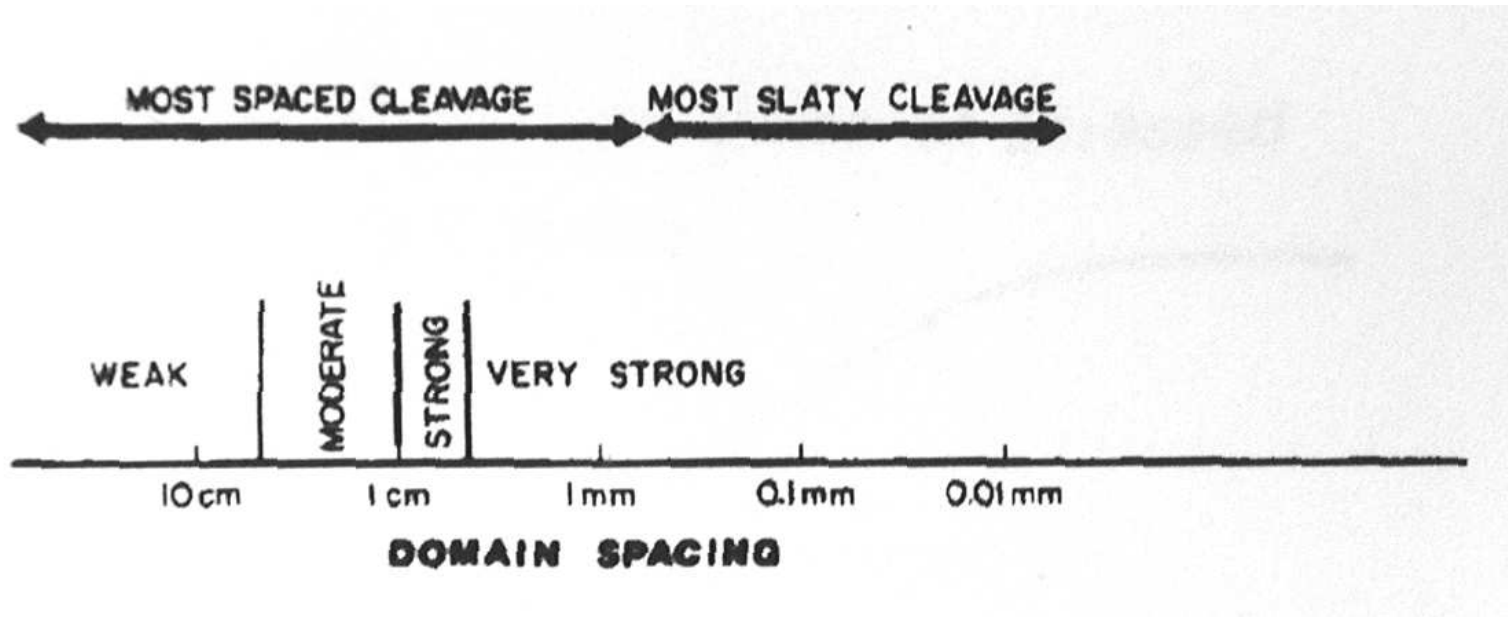


„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – ZÁKLADNÍ POJMY

Charakteristiky pro klasifikaci –

1. Vzdálenost domén –

- Prostorová („spaced“) kliváž – možno rozeznat makro
- Břidličnatost („slaty cleavage“) – mikroskopicky (většinou vzdál. domén menší než 1mm)

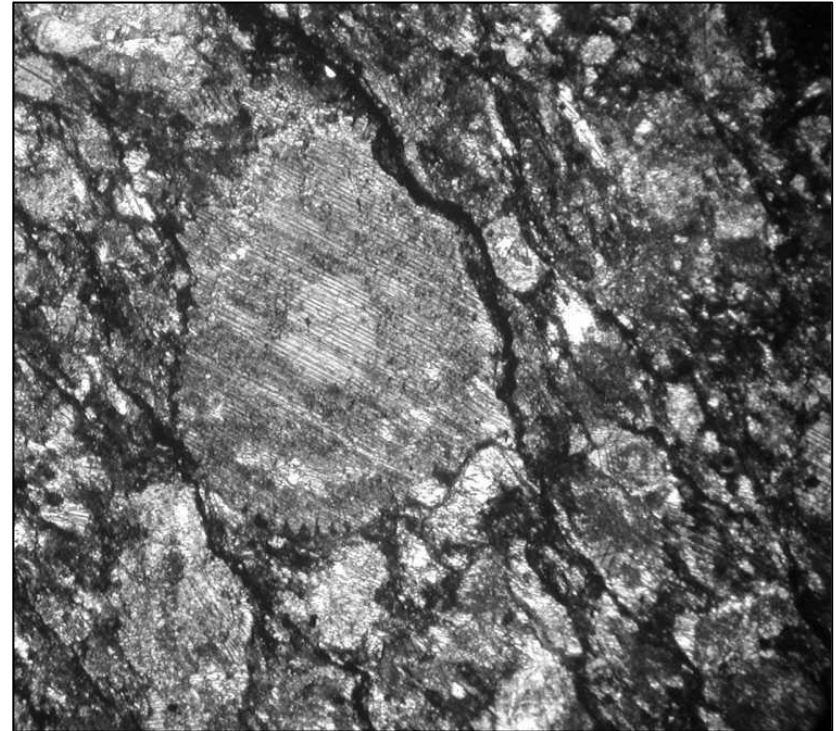


2. Morfologie domén –

- drobná topografie domén (dtto u stylolitů)
- délka domén

„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – vývoj přednostní orientace

- Obvykle jsou zrna seřazena paralelně s doménami a mají přednostní orientaci
- Orientace zrn – tvarová X krystalografická
- Seřezávání, rotace, vlákna
- Rekrytalizace, růst autigenních minerálů, rotace
- Většinou kombinace více mechanismů



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – kontrola distribuce a morfologie

1. litologická

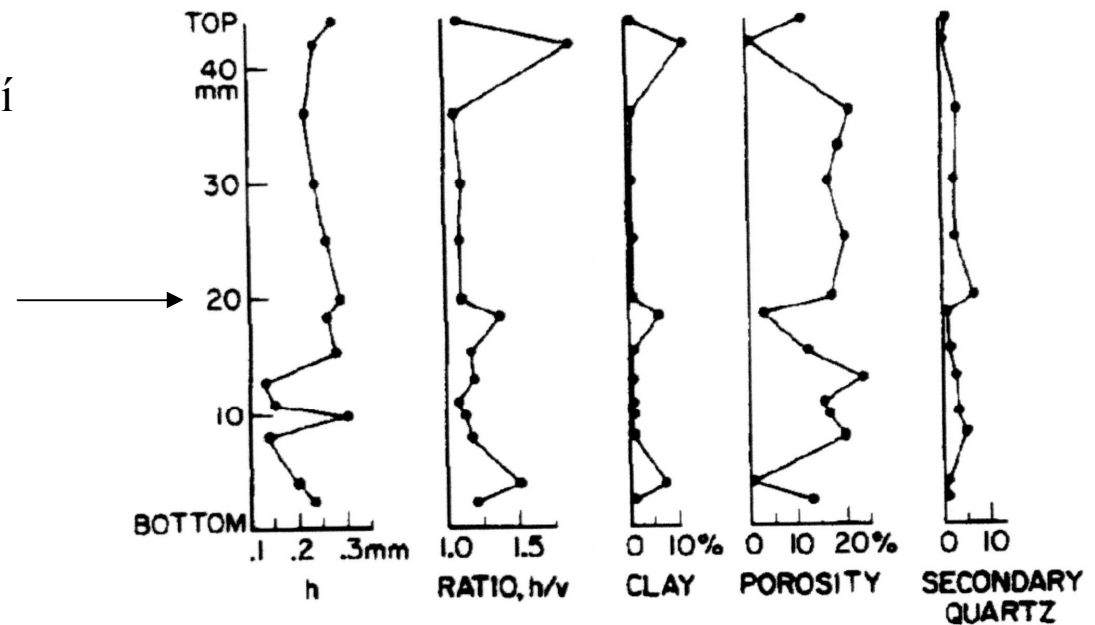
Důležité jsou obsahy nečistot, především jílových komponent –

- klesá vzdálenost domén

- non-sutured domény

2. strukturní

Silnější deformace – menší vzdálenosti domén



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – litologické a chemické změny při vývoji kliváže

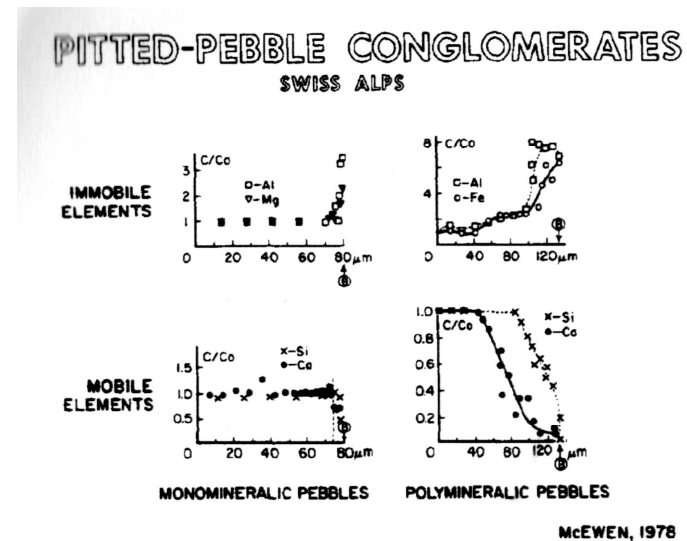
1. litologické

- změny jsou prostorově spjaty s doménami
- většinou se jedná o alterační efekty, např.
 - vápence - alterace kalcitu nebo dolomitu
 - fylosilikáty
 - změny v krystalinitě illitu
 - změny v poměrech různých jílních minerálů
 - odvodnění smektitu
 - růst autigenních minerálů
 - např. transformace Fe-chloritu na chlorit
 - modifikace slíd...

„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – litologické a chemické změny při vývoji kliváže

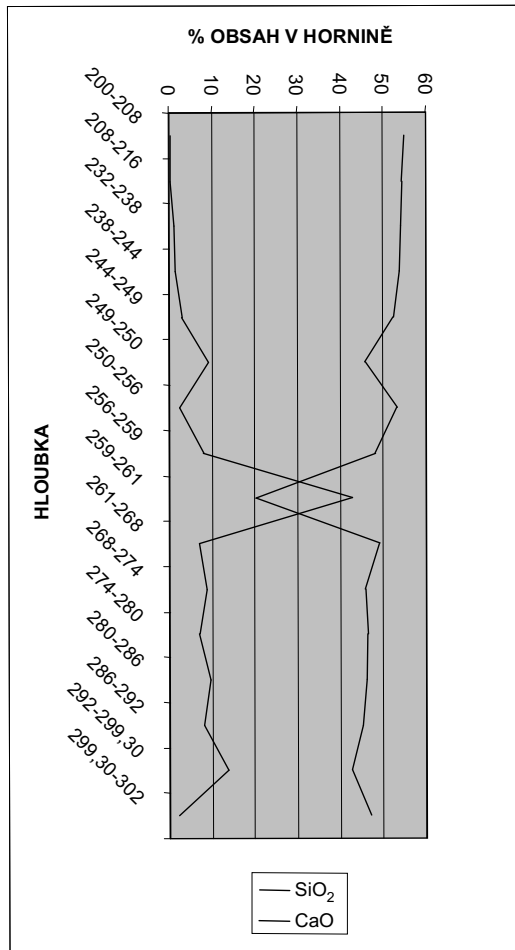
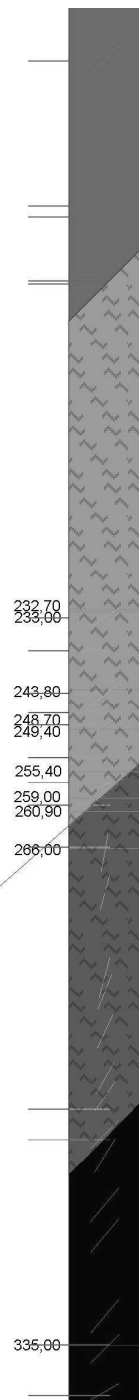
2. geochemické

- odlišné chem složení domén a mikrolitonů
- redistribuce prvků
- měřítko pozorování –
 - celá hornina – CaO mobilní X SiO₂ nemobilní
 - srovnání domén a mikrolitonů – CaO i SiO₂ mobilní
- složení celé „horniny“ – pitted pebbles – malá difuze mobilních komponent z monominerálních valounů, ale vysoká z plyminerálních



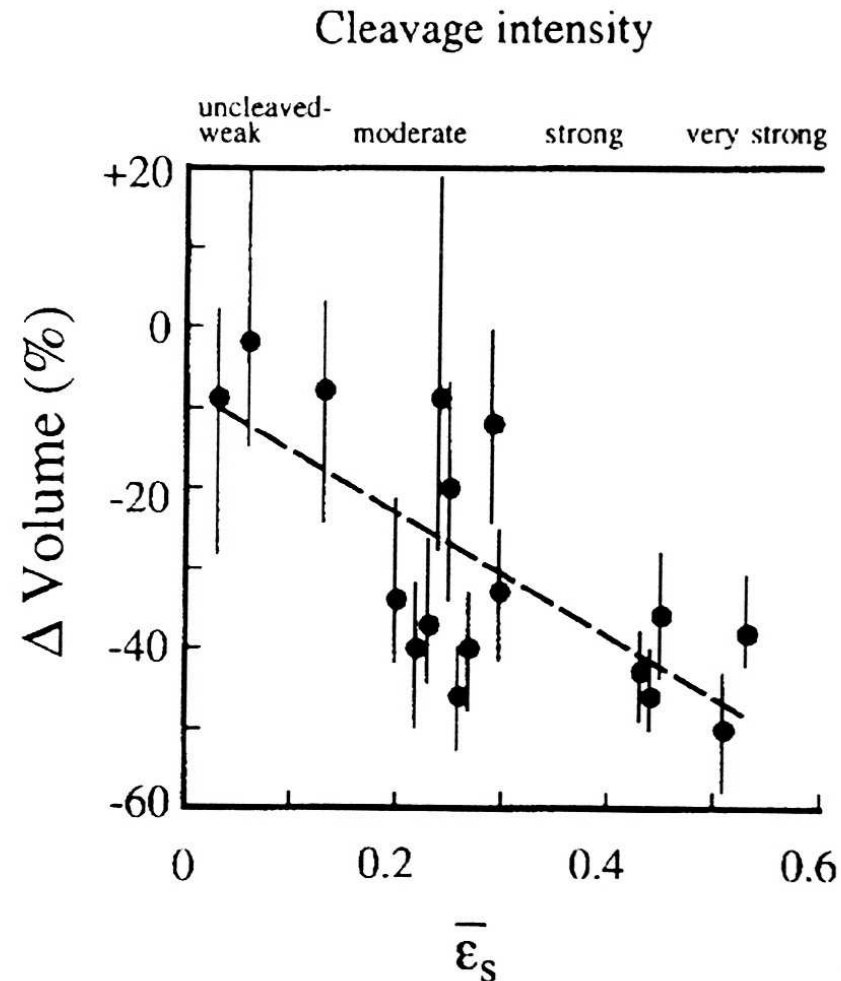
(ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – litologické a chemické změny při vývoji kliváže

Kolísání obsahu CaO a SiO₂ v profilu vrtu V501



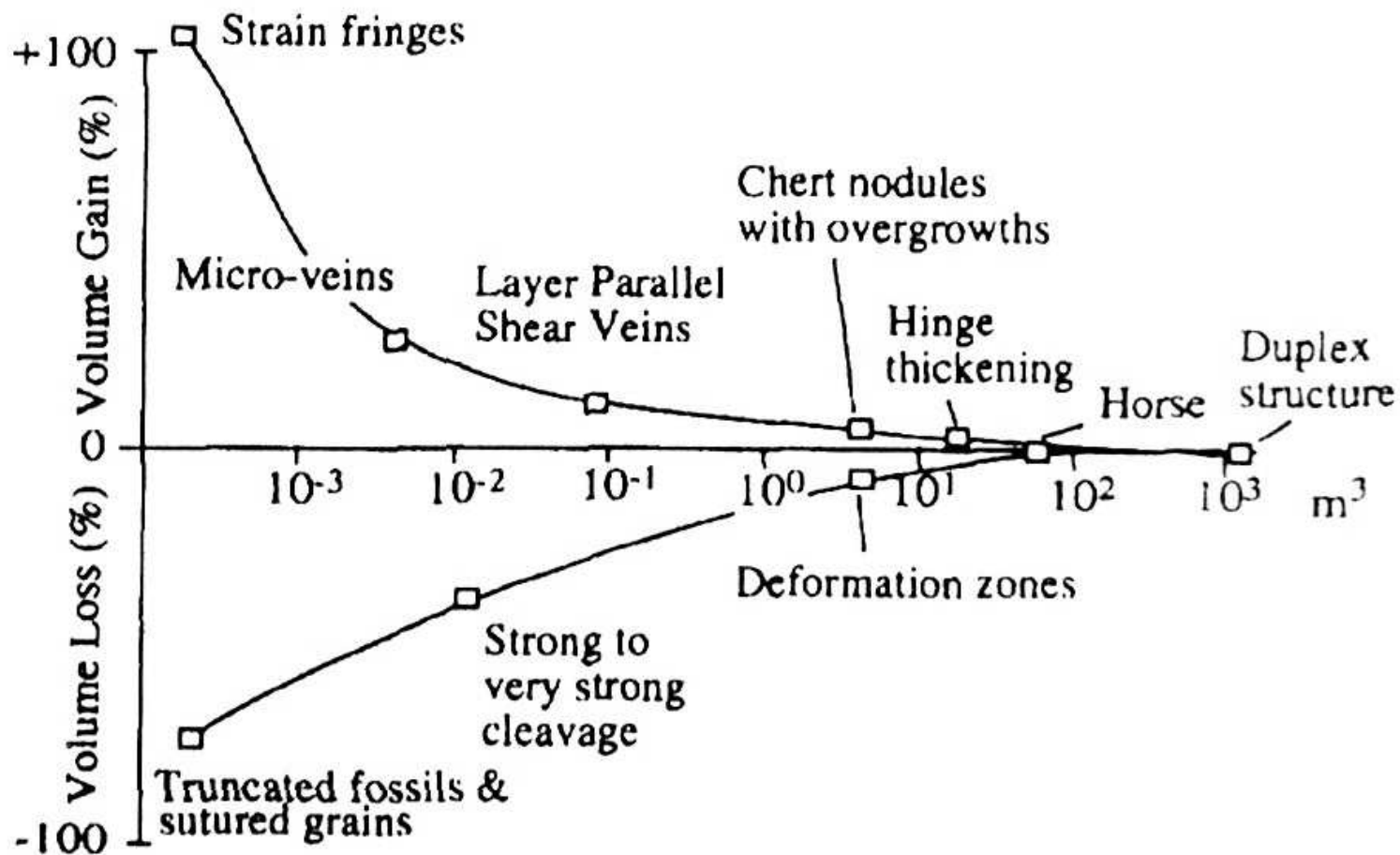
„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – objemová ztráta s pojená s vývojem

- obecně byla V-ztráta spojována s kompakcí a nárůstem ρ (max. 10% ztráta)
- známa i ztráta více než 50% - transport materiálu pryč (otevřený systém)



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – objemová ztráta s pojená s vývojem

- místa nárůstu objemu (závislost na měřítku pozorování)



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – vztah k deformaci

Velikost deformace –

- Dtto techniky jako u stylolitů (zkrácení) + extenzní parametry z žil...
- Metody Rf/ϕ , Fryova metoda (center-to-center) – vyvinuty pro homogenně deformované objekty, ale lze použít i pro PS def.

a) Metoda Rf/ϕ

- měří především tvar částic

- Onash (1984) – 3 modely –

- otevřený systém a rozp. z obou stran objektu

- otevřený systém a rozp. jen z jedné strany

- uzavřený systém

Mezi objekty a matrix nesmí být větší viskózní kontrast.

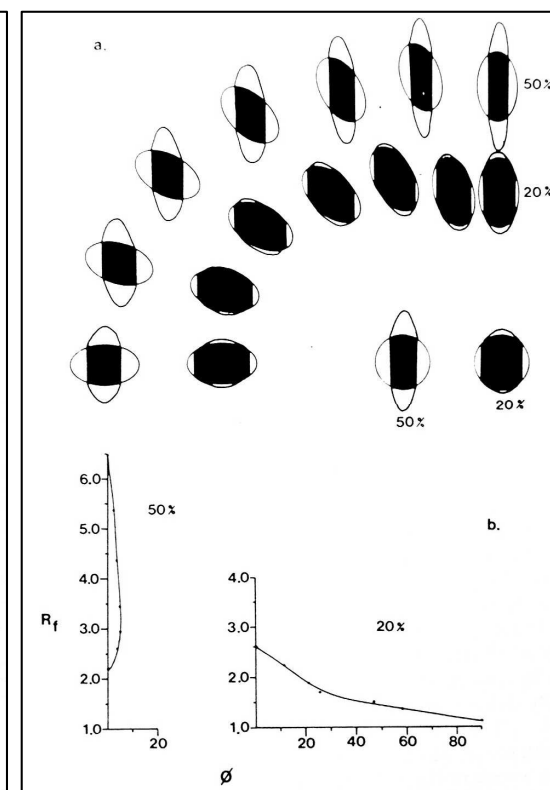
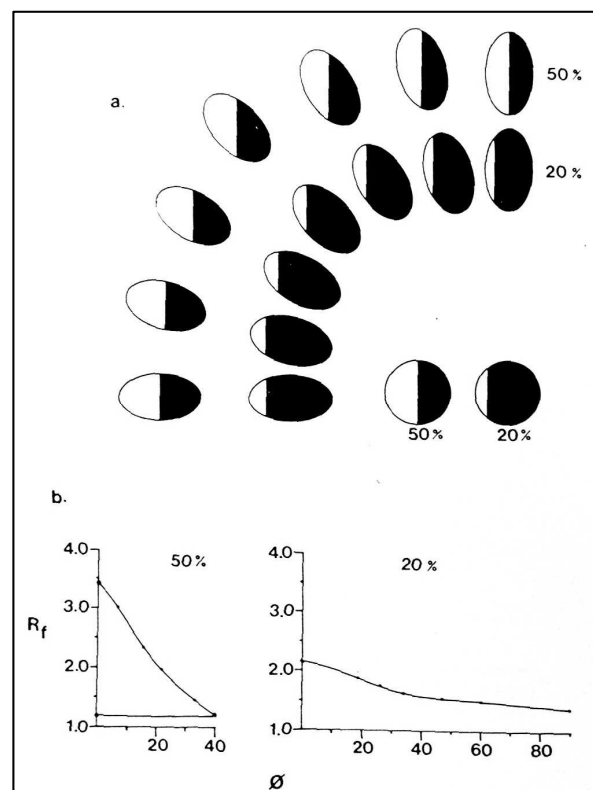
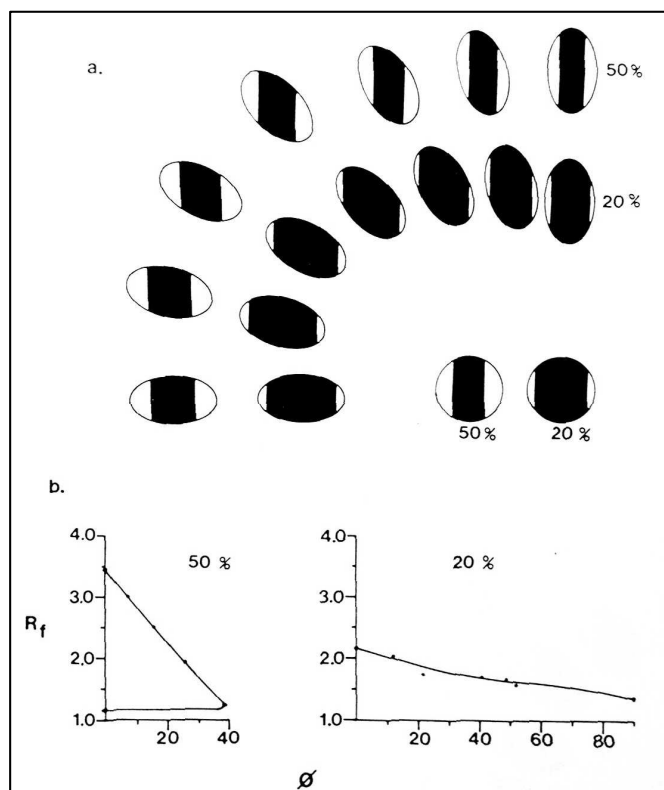
Hlavní osy objektů byly původně orientované nehomogenně.

Chyba nastane, pokud byly některé objekty zcela zkonsumovány.

„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – vztah k deformaci

Velikost deformace –

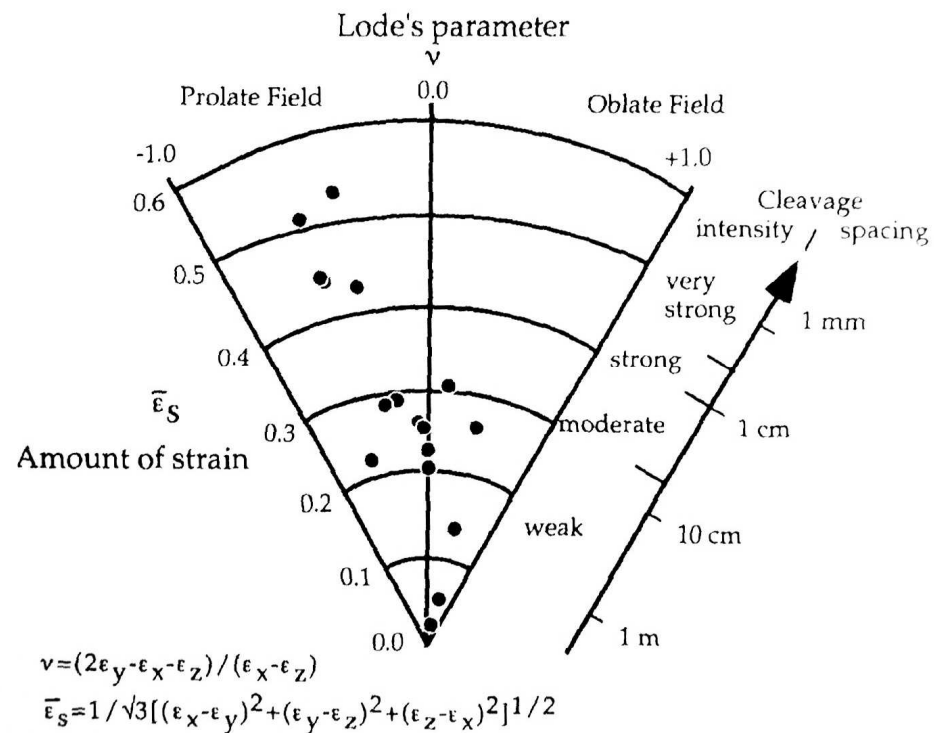
a) Metoda R_f/ϕ



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – vztah k deformaci

b) Metoda Fry

- přináší údaje o celohorninové deformaci
- je nutný značný počet měření (např. 50-200 ooidů ve 30 výbrusech)



„SOLUTION“ (ROZPOUŠTĚCÍ) KLIVÁŽ – vztah k napětí

- PS je přímou f-cí stupně diferenciálního napětí
- vyskytuje se i v horninách bez dvojčatění – vznik i za < 10 MPa
- napěťová relaxace – vytvoření kliváže za podmínek nižších než průměrná korová napětí (před překročením frikční pevnosti svrchní kůry)
- obvykle se kliváž tvoří kolmo k σ_1

„STRAIN PARTITIONING“ – ROZDĚLENÍ DEFORMACE

- separace celkové deformace do komponent, způsobených různými def. mechanizmy
- 1. determinovat, jaké mechanizmy byly aktivní a zda současně nebo v eventech
- 2. zvolit měřítko pozorování
- mikrostrukturní mechanizmy:

STRAIN PARTITIONING IN LIMESTONE



TRANSGRANULAR STRAIN

STYLOLITES
GRAIN-TO-GRAIN PRESSURE SOLUTION
SMALL FAULTS
FRACTURES AND VEINS



TWINNING STRAIN

TWIN LAMELLAE



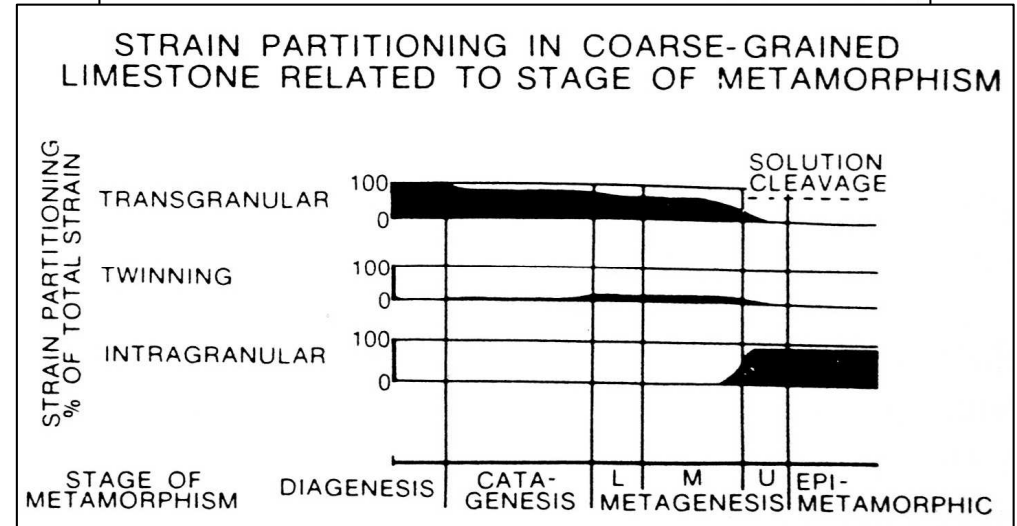
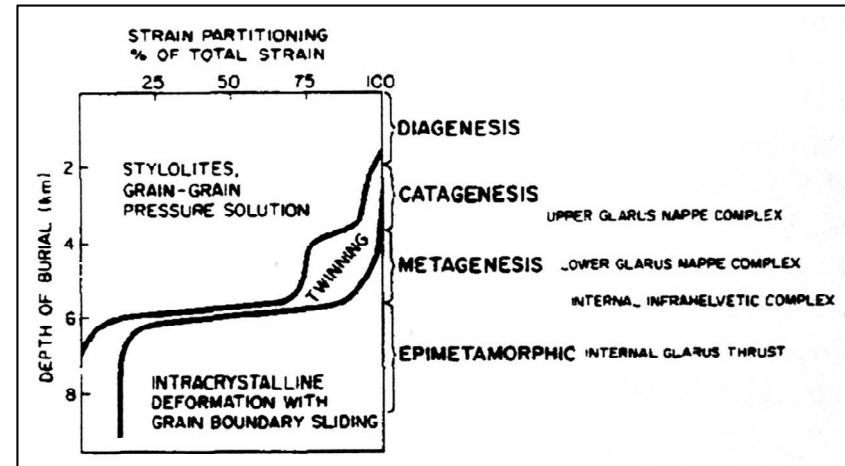
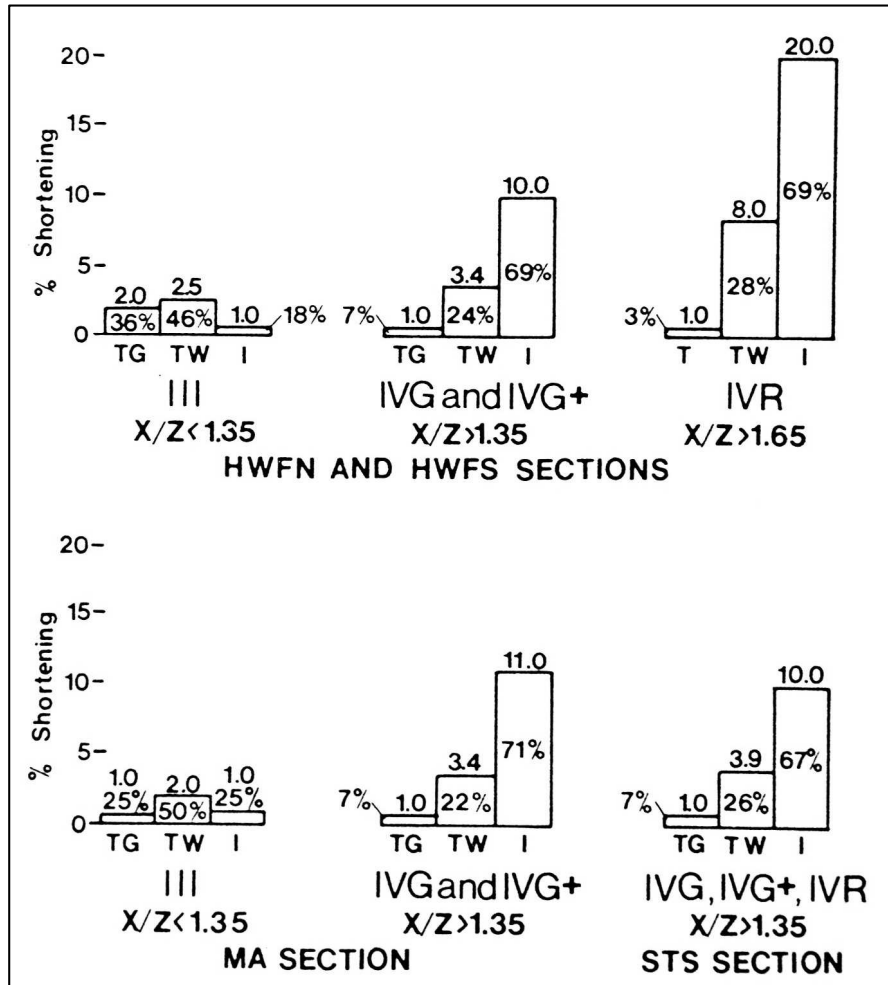
INTRAGRANULAR STRAIN

(TWINNING NOT INCLUDED)
INTRACRYSTALLINE DEFORMATION
GRAIN-BOUNDARY SLIDING
ACCOMPANIED BY
RECRYSTALLIZATION

„STRAIN PARTITIONING“ – ROZDĚLENÍ DEFORMACE

$$\epsilon_I + \epsilon_T = \epsilon_{Tot}$$

- hlavní směry deformace pro oba mechanismy musí být co nejvíce identické

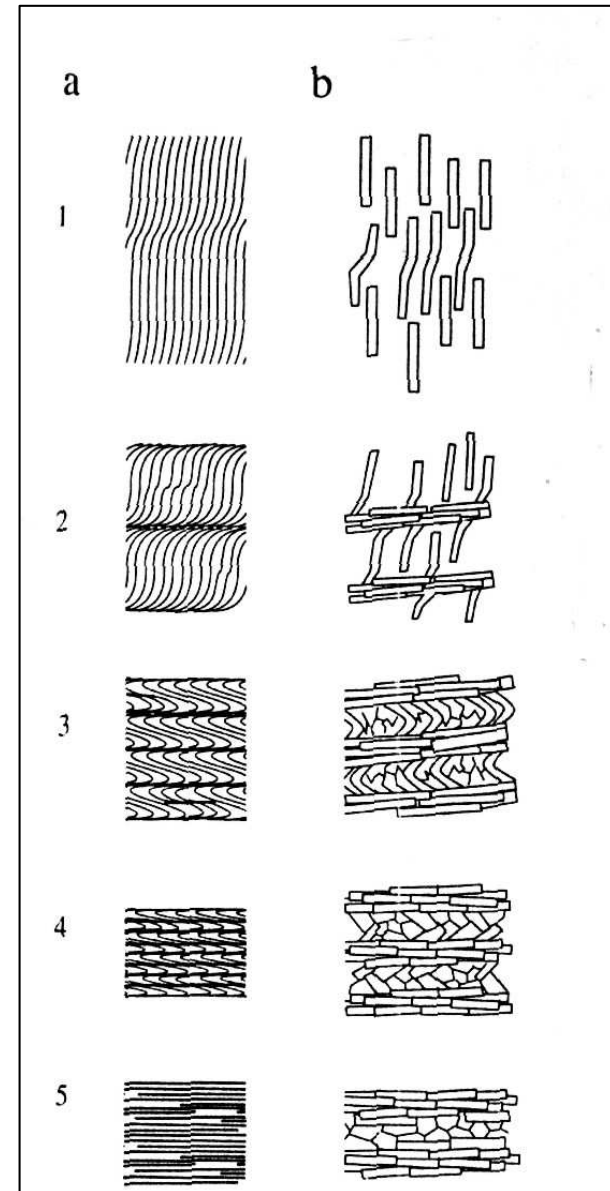
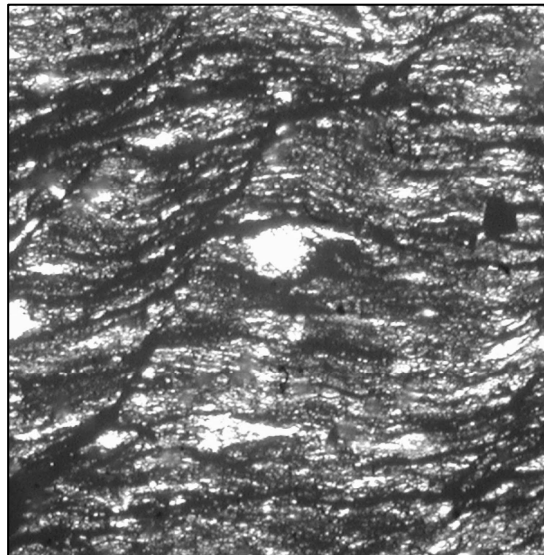


KRENULAČNÍ KLIVÁŽ

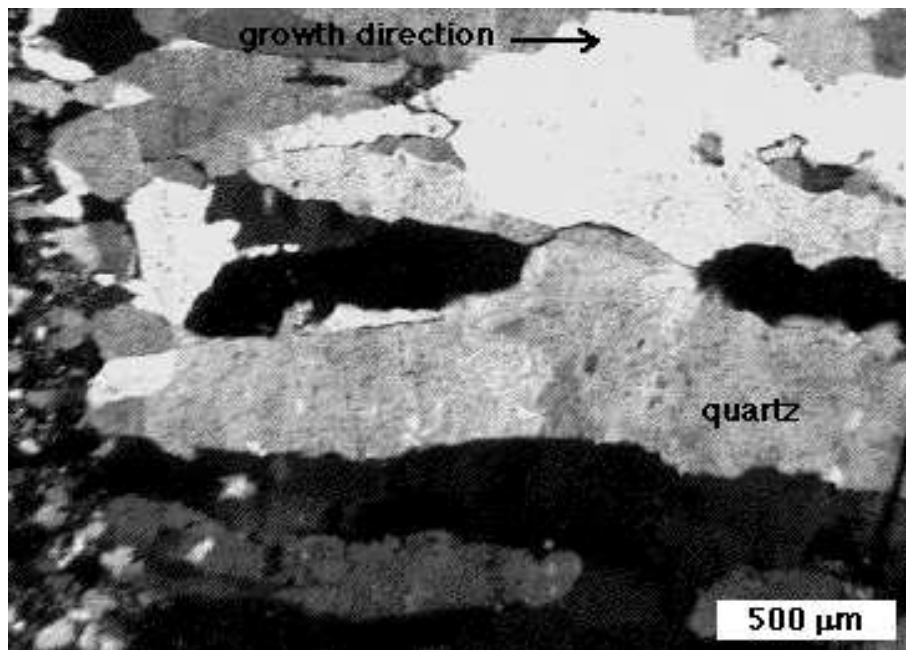
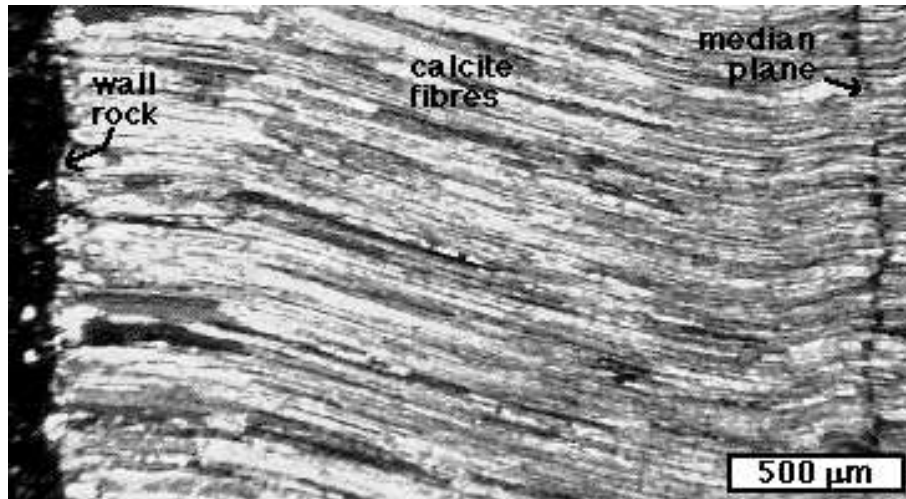
Rozpouštění materiálu v okolí vrásových ramen a vývoji foliace podél ramen.

Některé minerály se koncentrují v ramenech a jiné ve vrcholech – PS diferenciacce,
např. fylit – ramena – biotit, muskovit, opakní min;
vrcholy – křemen, živec, chlorit.

Patrně plynulý přechod
mezi KK a K bez
krenulace.

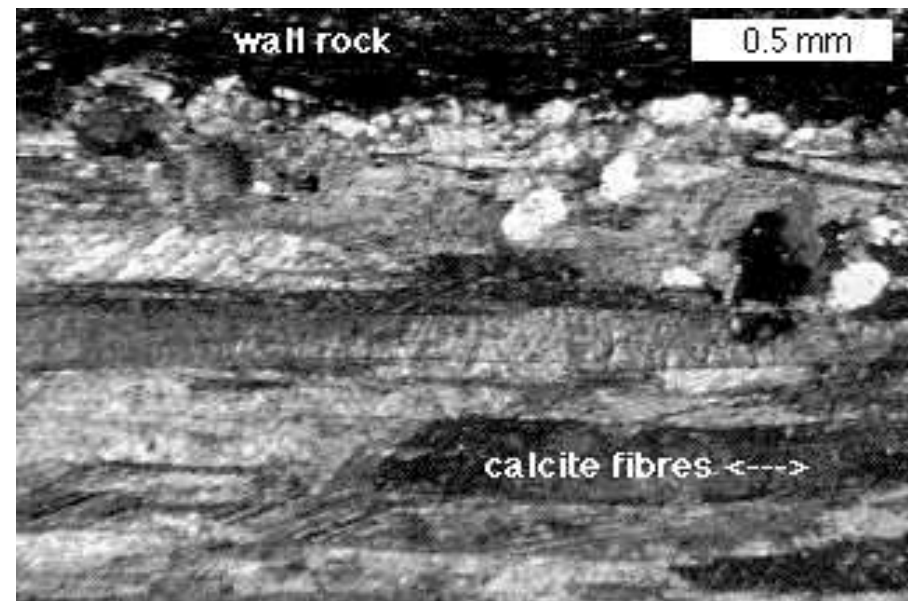


EXTENZNÍ STRUKTURY

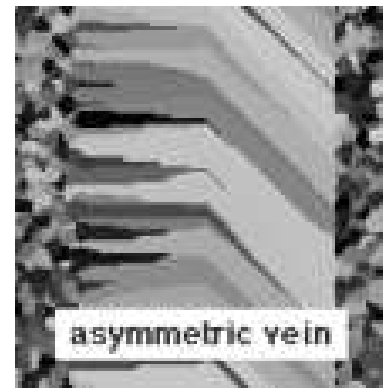


VÝPLNĚ –

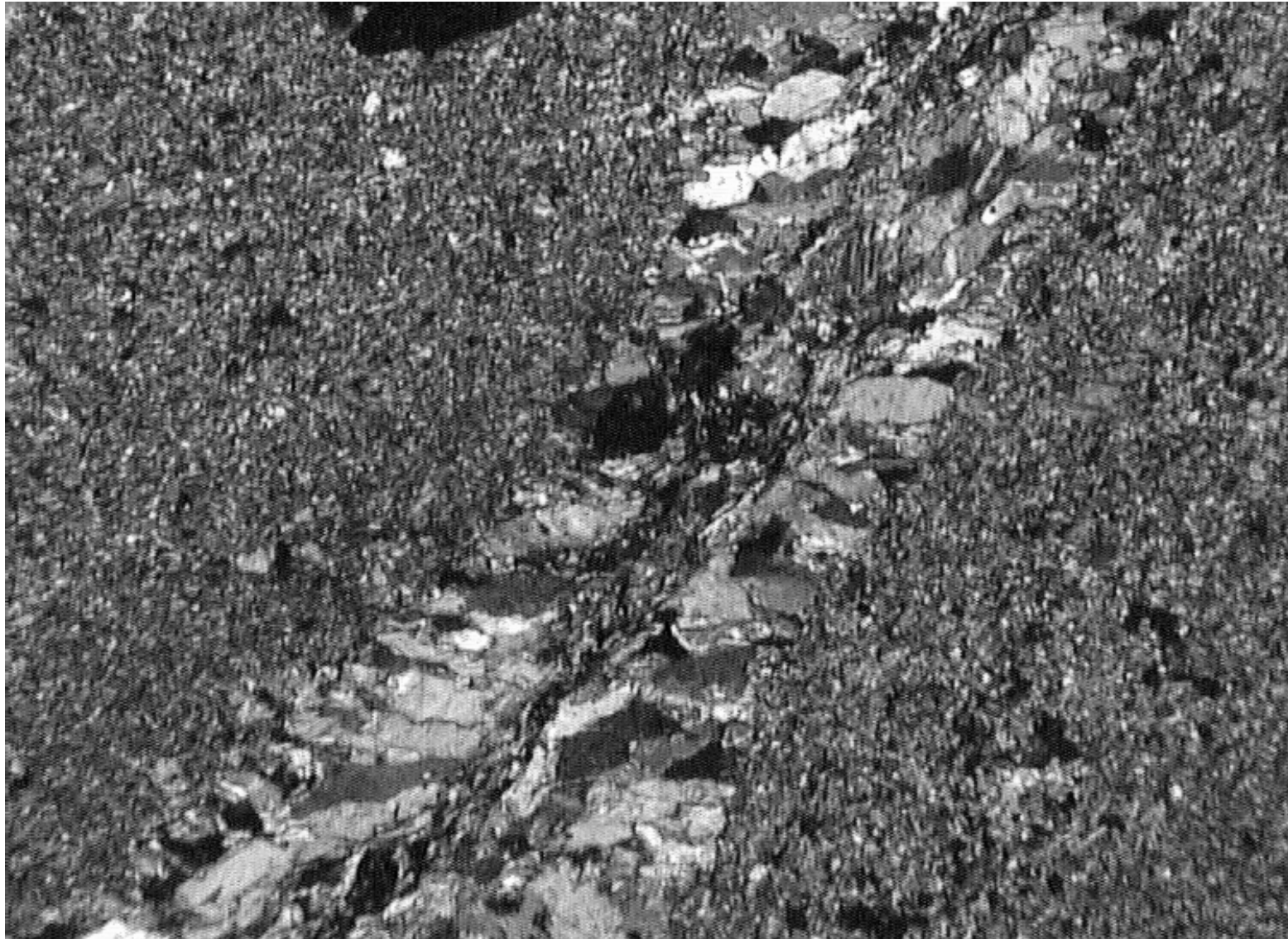
1. FIBRES
2. ELONGATE BLOCKS
3. SLICKEN FIBRES



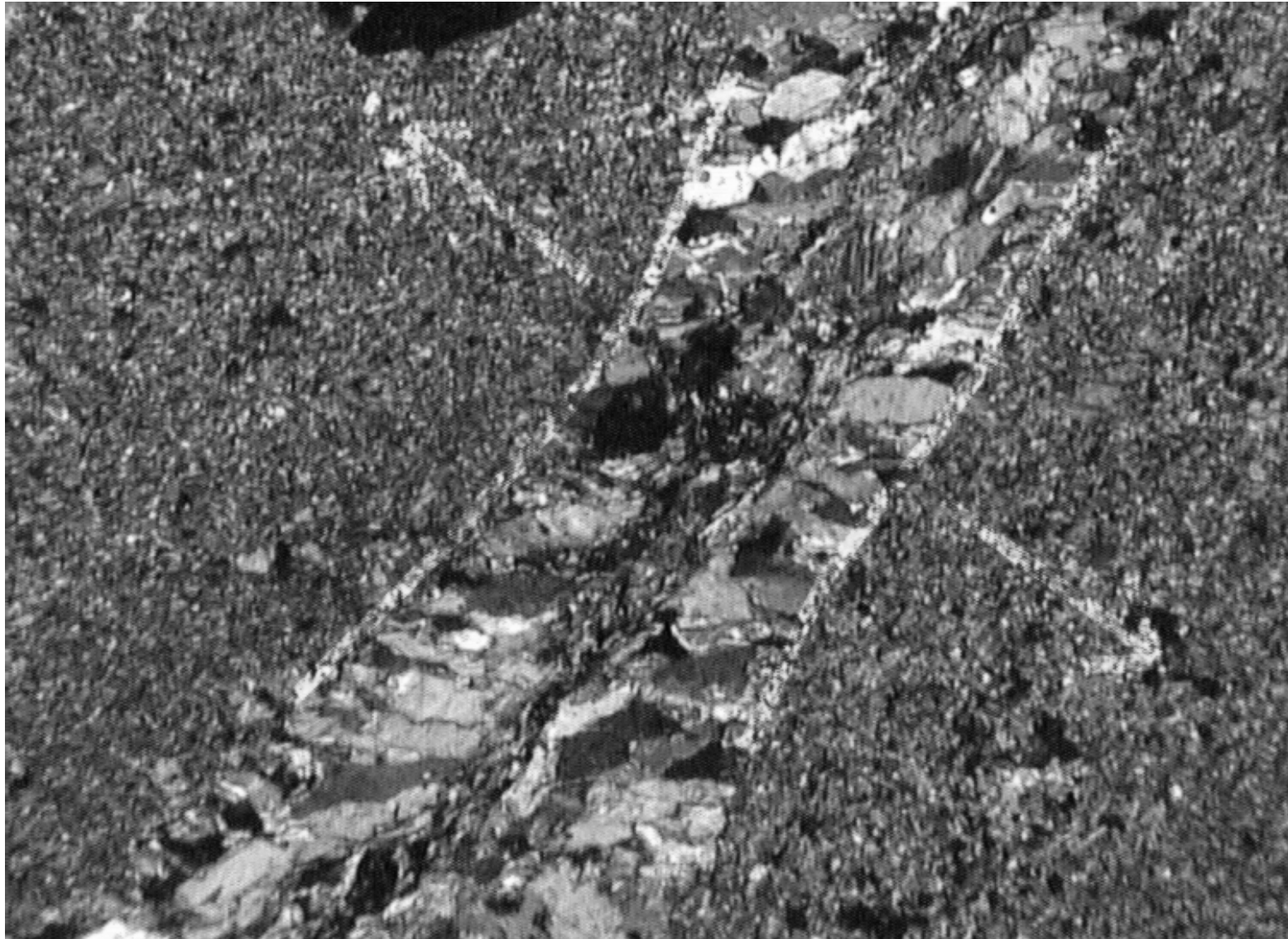
EXTENZNÍ STRUKTURY - ŽÍLY



EXTENZNÍ STRUKTURY – LEMY A STÍNY



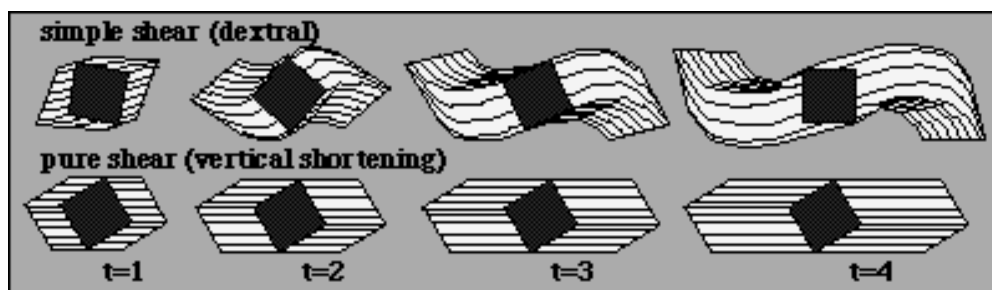
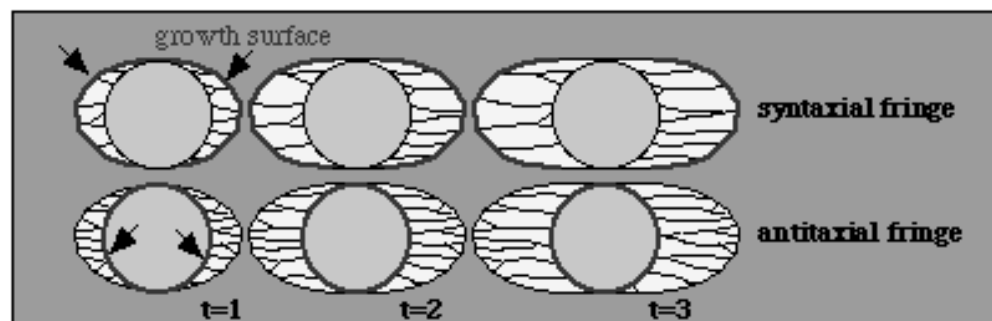
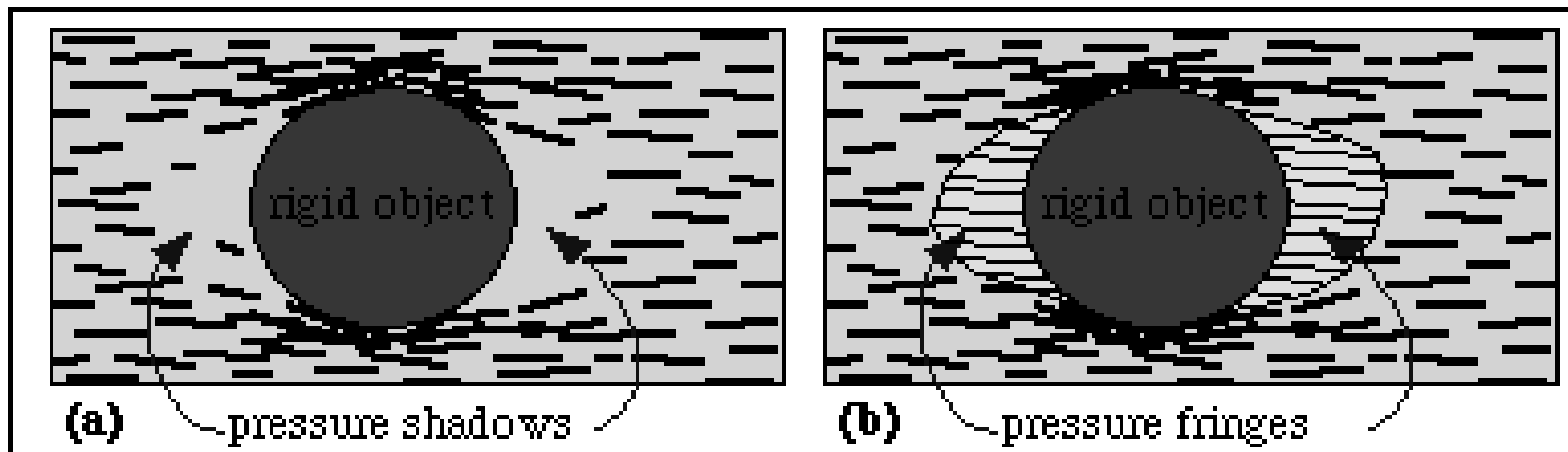
EXTENZNÍ STRUKTURY – LEMY A STÍNY



EXTENZNÍ STRUKTURY – LEMY A STÍNY



EXTENZNÍ STRUKTURY – LEMY A STÍNY



EXTENZNÍ STRUKTURY – LEMY A STÍNY

