

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

**Permokarbonská silicifikovaná dřeva
z vnitrosudetské a podkrkonošské pánve:
Systematika a instrumentální analýza**

Diplomová práce

Bc. Petra Matysová



Vedoucí diplomové práce:
doc. RNDr. Jan Jehlička, Dr.
RNDr. Jakub Sakala, PhD

Praha 2006

Abstrakt

V podkrkonošské pánvi (PKP) a české části vnitrosudetské pánve (VSP) se hojně vyskytují zkřemenělá dřeva stáří westphal a stephan (cca 300 mil. let), jejichž nálezy jsou poprvé popisovány v pracích z druhé poloviny 19. století. Jedná se o silicifikované stonky permokarbonských rostlin stromovitěho habitu, které patří do pěti paleobotanických oddělení vývojových stupňů pteridofytních a gymnospermických rostlin. Dodnes zůstává mnoho otázek spojených se způsobem vzniku zkřemenělých dřev nezodpovězena. Jedním z cílů práce bylo popsat způsob silicifikace, který by nejlépe odpovídal podmínkám ve studovaných pánvích. Dosud například nebyly objasněny vzájemné vztahy mezi konkrétní anatomii dřev a specifickým způsobem jejich permineralizace z petrografického hlediska. Výbrusy silicifikovaných stonků proto byly nejprve studovány optickou a polarizační mikroskopií, poté katodovou luminiscencí a elektronovou mikroskopií s analýzou EDX. Byly zjištěny patrné rozdíly v krystalinitě křemene v různých původních tkáních rostlin, např. výskyt zrn makrokrystalického a mikrokrystalického křemene většinou respektujících strukturu rostlinných pletiv, sférolitického chalcedonu někdy krystalizujícího bez ohledu na strukturu pletiv a achátovitých struktur v místech beze stop původních pletiv. Byla využita i analýza detritických minerálních zrn uvězněných v dnes kompaktním silicifikovaném tělese. Poznání mechanismu silicifikace by mělo přispět k objasnění paleoekologie pánví. Fosilní permokarbonská dřeva dadoxylonového typu, tzv. araukarity, se zachovala především v náplavech v sedimentárním prostředí aluviálních plošin, nejspíš na březích divočících řek a/nebo v jejich agradačních valech, dnes tvořících arkózy až arkózové pískovce či slepence. Zdá se, že silicifikace byla umožněna rychlým přínosem chemicky málo zvětralého materiálu, především biotitu a živců, které se pak staly zdrojem SiO_2 pro silicifikaci dřev. Toto je případ vrstev žaltmanských a štikovských arkóz a patrně i staropackých pískovců. Petrifikované stonky zástupců hygrofilnějších rostlin, především přesliček, kapradin, ale i kaprad'osemenných, byly většinou uloženy v jemnějších sedimentech, patrně jezerních. Tam se zdrojem SiO_2 zřejmě stal svrchně karbonský vulkanický materiál, což je případ nálezů z lokality Balka u Nové Paky ze semilského souvrství.

Summary

Silicified woods of the Permocarboniferous abundantly occur in a Czech part of the Intra Sudetic Basin and Krkonoše Piedmont Basin. They grew in Westphalian and Stephanian, about 300 million years ago. They were firstly mentioned in the second half of the 19th century. Exactly speaking, they represent silicified stems of the Permocarboniferous arborescent plants that belong to five palaeobotanical divisions of evolution grades Pteridophyta and Gymnosperms. There are still a lot of unanswered questions related to the origin of this silicified wood. One aim of this work is to describe the way of silicification which would be best suited to environmental conditions in these two basins. Up to now, the relationship between the actual anatomy of the wood and a specific way of their permineralization has not been clarified from the petrographic point of view. Thin sections of silicified stems were first studied by light and polarized-light microscopy and then cathodoluminescence spectroscopy and electron microscopy with EDX analysis. Differences in quartz crystallinity in individual original plant tissues have been obvious, e.g., macro- and microquartz crystals were present, mostly respecting structures of plant tissues, spherulitic chalcedony sometimes crystallizing irrespectively of these tissues, and agate-like structures in places lacking the former tissues. We also used analysis of detritic mineral grains enclosed in a compact silicified body. Understanding to mechanism of silicification should contribute to our comprehension of basinal palaeoecology. Fossil Permocarboniferous woods of *dadoxylon* type, so called "araukarity", have been preserved mostly in sedimentary environment of alluvial plains, probably in riparian forests on banks of anastomosing rivers and/or in their aggradating barriers (levees), today belonging to arkoses and arkosic sandstones to conglomerates. We believe that the silicification has been caused by input of chemically poorly weathered material, first of all biotite and feldspars, which then became a source of silica necessary for the wood silicification. This is the case of Žaltman and Štikov arkoses and perhaps sandstones of Stará Paka. Petrified stems of hygrophilous plants, such as horsetails, ferns, and pteridosperms, were mostly embedded in finer sediments, probably of a lacustrine type. In these environments, the Upper Carboniferous volcanic material was probably the source of silica, such as in the case of "Balka" locality near Nová Paka of Semily formation.

Obsah

1.	Cíl práce	1
2.	Úvod	2
2.1	Systematika permokarbonských stonků podkrkonošské a vnitrosudetské pánve	4
2.1.1.	Stručné shrnutí paleobotanického aspektu studovaných taxonů	4
2.1.2.	Základní typy permokarbonských dřev z VSP a PKP	6
2.1.3.	Použitá terminologie	7
2.1.4	Typ B	9
2.1.5	Typ C	14
2.1.6	Typ D	18
2.1.7	Typ E	22
2.2	Mechanismy silicifikace rostlinného materiálu	27
2.2.1	Petrifikace	27
2.2.2	Mechanismy silicifikace	28
2.2.3	Geochemie SiO ₂ a zvětrávací procesy	29
2.2.4	Krystalizace SiO ₂	31
2.2.5	Příklady silicifikace dřev	32
2.3	Mineralogie modifikací SiO₂	36
2.3.1	Skupina křemene (SiO ₂)	36
2.3.2	Vlastnosti křemene (SiO ₂) v optické mineralogii	37
2.3.3	V literatuře popsané typy sedimentárního křemene (SiO ₂)	38
2.3.4	Dělení křemene podle morfologie a velikosti krystalů	40
2.4	Studium křemenných hmot katodovou luminiscencí (CL)	43
2.4.1	Princip katodoluminiscence (CL)	43
2.4.2	Katodoluminiscence v praxi a problémy při měření i interpretaci	44
2.4.3	Výzkum petrifikovaných dřev pomocí CL	45
2.5	Geologie studovaného území,	49
2.5.1	Podkrkonošská pánev (PKP)	49
2.5.2	Česká část vnitrosudetské pánve (VSP)	50
2.5.3.	Vulkanismus podkrkonošské a vnitrosudetské pánve	51
2.5.4.	Naleziště zkřemenělých stonků a kmenů v PKP a VSP	54
2.5.5.	Shrnutí	56
3.	Metodika vlastní práce	57
3.1	Úvod	57
3.2	Půjčení vzorků	57
3.3	Postup identifikace vzorků z výbrusů	58

3.4	Použité instrumentální techniky	60
4.	Experimentální část	61
4.1	Fotodokumentace vzorků	61
4.2	Příprava výbrusů	61
4.3	Optická mikroskopie	61
4.4	Katodová luminiscence (CL)	62
4.5	Analýza EDX a zobrazení skenovací elektronovou mikroskopií (SEM)	62
4.6	Rentgenová prášková difrakce (XRD)	63
5.	Výsledky	64
5.1	Vzorek 1	65
5.2	Vzorek 2	69
5.3	Vzorek 3	74
5.4	Vzorek 4	80
5.5	Vzorek 5	87
5.6	Vzorek 6	95
5.7	Vzorek 7	100
5.8	Vzorek 8	107
5.9	Vzorek 9	114
5.10	Vzorek 10	120
5.11	Vzorek 11	125
5.12	Vzorek 12	129
5.13	Vzorek 13	133
5.14	Vzorek 14	137
5.15	Vzorek 15	141
5.16	Vzorek 16	144
5.17	Vzorek 17	150
5.18	Vzorek 18	154
5.19	Vzorek 19	163
6.	Diskuse	168
7.	Závěr	188
8.	Seznam použité literatury	190

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikala za velice zvláštních podmínek. Díky tomu jsem se však dověděla mnoho nových a zajímavých věcí nejen o samotných permokarbonských dřevěch, nýbrž i o lidech v mém blízkém okolí, o lidech, kteří byli v mém blízkém okolí i přes jejich geografickou a institucionální odlehlost, a v neposlední řadě také sama o sobě. Avšak už jen s ohledem na samotná permokarbonská dřeva, která jsou stále v mnoha směrech zahalena mlhavou rouškou tajemství, bych všem, kteří se mnou trávili čas fyzicky i v myšlenkách, chtěla mnohokrát poděkovat. Děkuji zejména Jakubovi Sakalovi (PřF UK, Praha), neboť to byl právě on, co mě k tomuto tématu dovedl, motivoval a po celou dobu mě v práci povzbuzoval. Velice mu také děkuji za odborné konzultace a korektury textů paleobotanické části této práce. Janu Jehličkovi (PřF UK, Praha) děkuji nejen za celé formální zaštitění diplomové práce a za financování některých instrumentálních měření a cestovních výjezdů, ale obzvláště za to, že mě naprosto nekonvenčním způsobem vedl již od začátku k samostatné činnosti. *Per asperam ad astra*. Další, avšak největší díky, bude vyčteno hned dvakrát. To první zcela jistě patří Tomáši Grygarovi (ÚACH AV, Řež). Sice mě tenkrát při mém prvním dotazu ohledně analýzy pevných látek, a to konkrétně „Jak vlastně nejlíp na ta permokarbonská dřeva?“ odpověděl nevěřicně a skepticky (ve smyslu hlubší dimenze této práce), ale nakonec se tématem tak nadchnul, že dnes o některých věcech ví více než já. Věnoval mi spoustu pracovního úsilí a jeho odbornou pomoc při psaní i konceptu celé práce považuji za jedinečnou. Taktéž mu děkuji za vyhotovení několika analýz. Druhé největší díky patří Jaromíru Leichmannovi (PřF MU, Brno), který mi svou osobitou vstřícností a profesionalitou otevřel cestu do nového, tak doposud málo známého světa katodoluminiscence, a pomohl mi mou práci téměř z jedné čtvrtiny doplnit naprosto unikátními fotografiemi. Při mé první návštěvě jsem ho sice chtěla pro jistotu uplatit pravou krkonošskou medovinou, ale když uviděl první fotografii (viz obr. S.5.5), tak na tu lahvinku s nadšením zapomněl. Také mu děkuji za připomínky k podstatným částem textů. Velmi také děkuji Ronnymu Rößlerovi (Museum für Naturkunde Chemnitz), který mi zcela nezištně věnoval tři dny svého ředitelského času a provedl mě nejen muzejními sbírkami, ale také mě naučil mnoho z paleobotaniky permokarbonských dřev, což sledávám pro svou práci jako opravdu klíčový moment. Dále bych ráda poděkovala Václavu Menclovi (PřF UK, Praha) za jeho elán a zápal fotografovat „naše“ dřeva, kde se dá, a dále pak Vladimíru Prouzovi (emeritní pracovník ČGS, Praha), který nás velice ochotně, s nakažlivým nadšením a záviděníhodnou vitalitou provedl známými i neznámými lokalitami ve VSP i PKP, a my jsme se měli co otáčet, abychom mu stačili jak fyzicky, což snad ještě šlo, tak i svými znalostmi, což bylo těžší. Zúčastnit se výjezdů s terénním geologem takového kalibru pro mě byla obrovská pocta. Velké díky patří také Vojtěchu Ettlerovi (PřF UK, Praha), který mě přesně v ten správný čas psychicky podpořil a znovu motivoval k práci. Jiřímu Zachariáši (PřF UK, Praha) děkuji za podporu a půjčení některých publikací. Stejně tak děkuji i Richardu Lojkovi a Kamilu Markovi. Za veškeré vzorky vděčím Paleontologickému oddělení Národního Muzea v Praze, především Milanu Libertínovi, který se mi věnoval a ve sbírkách se mnou sestavil základnu vzorků. Mnohokrát děkuji nejen jemu, ale i jeho blízkým kolegům. Většina výbrusů vhodných k experimentálnímu studiu by potom nevznikla bez vstřícného přístupu a kvalitní práce Jany Škorpíkové (PřF UK, Praha). Za fotografie SEM a měření EDX jsem zavázána Radkovi Procházkovi (PřF UK, Praha) a Veronice Grünwaldové (ÚACH AV ČR Řež), kteří mi věnovali spoustu času a vždy mi ochotně vyšli vstříc. Viktorovi Goliáši (PřF UK, Praha) děkuji za provedení rentgenové difrakční analýzy u některých vzorků. Také bych ráda poděkovala Ivaně Sýkorové (ÚSMH AV ČR, Praha) za její vstřícný přístup a také za poskytnutí možnosti využít kvalitního mikroskopu. Dále bych chtěla poděkovat Tillu Lindemannovi (Ramstein, Německo), který mi pomáhal při dlouhých hodinách sepisování této práce. A hlavně na závěr, milí rodiče, děkuji zejména Vám za dlouholetou podporu mého někdy krkolomného studia plného zvrátů. Snad bude i pro Vás tato práce jistým zadostičením.

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně a veškerou použitou literaturu jsem řádně citovala.

Petra Matysová

Petra Matysová

1. Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo podrobné petrografické, geochemické a nezbytné základní paleobotanické studium permokarbonských dřev pocházejících z vnitrosudetské a podkrkonošské pánve. Téma bylo zadáno na Ústavu geologie a paleontologie PřF UK a v podstatě tedy ukládalo prakticky navázat na pilotní rešeršní práci Březinové (1970) a také na nedávnou bakalářskou práci (Matysová 2004), a rozšířit jejich obsah o studium možných způsobů silicifikace, krystalinity a geochemie SiO_2 hmot v petrifikovaných dřevěch. K tomu bylo nutné provést systematickou identifikaci permokarbonských taxonů. Pro tyto a další účely bylo zamýšleno vypůjčit několik reprezentativních vzorků dřev z Národního muzea v Praze a provést na nich paleobotanický rozbor založený na studiu výbrusů. Dále v rámci možností, v souladu s nejnovějším podobným výzkumem v Německu, byl proveden experimentální průzkum silicifikovaných dřev s použitím moderních instrumentálních analytických metod, a zjištěna jejich aplikovatelnost na tento český materiál. Výsledky studia v sobě integrují paleobotanický, paleoekologický, geochemický a geologicko stratigrafický přístup, a to na základě podrobné rešerše a stěžejní experimentální práce.

2. Úvod

Zkřemenělá dřeva, se kterými se dnes můžeme velmi často setkat v zahradách podkrkonošských chaloupek a rodinných domků, zejména procházíme-li širým okolím Nové Paky nebo malebných Jestřebích hor jihovýchodně od Trutnova, byla odjakživa mezi lidmi známá pod pojmem „araukarity“, popř. v novopackém kraji jejich „jemnější“ a pestrobarevnější druhy pod označením „stračí kameny“. Lidé je sbírali v lesích, v říčních náplavech či na polích, někdy je snad i vykutávali z odkrytých výchozů hrubozrnných sedimentárních hornin či vykopávali v lesích z matečných hornin, aby si tak jedinečným kusem masivního a zajímavě probarveného křemene ozvláštnili zahrádky, snad posedlí myšlenkou mít doma něco krásného a záviděníhodného.

Již sám Goethe si všimnul této jedinečné přírodní zvláštnosti podkrkonošského kraje. Stejně tak tato zkřemenělá dřeva zaujmula hraběte Sternberga, zakladatele dnešní paleobotaniky, který byl dále následován Cordou a dalšími přírodovědci. Populární označení „araukarit“, které se záhy rychle rozšířilo i mezi obyčejné obyvatelstvo, však pochází již z 2. poloviny 19. stol od jiného badatele. Byl jím profesor vratislavské univerzity Heinrich Robert Goeppert, který putoval roku 1857 krajinou Jestřebích hor (internetový zdroj č. 1). Ve svých poznámkách uvádí: „Když jdeme z Radvanic do Pasek, při výstupu si všimneme mnoha úlomků zkamenělých, tu a tam, ve skalách ještě pevně sedících kmenů“, a pokračuje „...tisíce jsou jich při výstupu z lesa v takové hojnosti, že je ani na minutu neztrácíme z očí. Některé dosahují délky i šesti metrů a šířky půldruhého metru.“ Goeppert se totiž původně mylně domníval, že zkamenělé kmeny náleží dávným příbuzným dnešních jihoamerických araukarií, a proto jim dal takové jméno. Lokalitu nazval „Zkamenělým lesem od Radvanic“, přičemž celkovou hmotnost fosilií v místě největšího nakupení (na ploše o rozloze zhruba dva hektary) odhadoval na 1 600 tun. Považoval toto naleziště za naprosto jedinečné na celém světě (internetový zdroj č. 1). I Karel Renger (1863) a C. Purkyně (1927) píší nadšeně o tomto přírodním bohatství.

Na Novopacku byla nacházena mnohem rozmanitější a barevně pestřejší dřeva, což pravděpodobně souviselo s jinou geografickou polohou oblasti a srvcnokarbonským či permským vulkanismem. Zejména to byly silicifikované stonky stromovitých přesliček, plavuní a kapradin, tzv. psarónií, jejichž kořenové obaly svým vzhledem lidem připomínaly pestrá stračí vejce, což jim dalo tento poněkud neobvyklý lidový název.

Nejzajímavější kusy se postupně začaly přesouvat do muzejních sbírek, většina dalších však rychle mizela pod rukama obchodníků s přírodninami a soukromých sběratelů. Za nejhorší případ se považuje odvezení plných jedenácti vagónů zkamenělého dřeva z okolí Radvanic. Nebylo údajně výjimkou, že díky nedostatku kvalitního kamene araukarity dokonce skončily jako štěrk nebo městská dlažba. Místní lidé je také používali k úpravě polních komunikací či ke zkrášlení náhrobků na hřbitovech. Z velkých špalků byla postavena řada pomníčků válečných obětí v Odolově, Markoušovicích nebo Slavětíně, či interiér Božího hrobu v Mariánském sadu na okraji Malých Svatoňovic a výzdoba kapličky přímo na náměstí. Až teprve v roce 1930 vydal trutnovský hejtman vyhlášku, podle které hrozilo každému, kdo by zkameněliny odnášel nebo poškozoval, trest vězení až na 14 dní, nebo pokuta až 5 000 Kč. V roce 1933 se zkamenělý

les dočkal poněkud opožděné ochrany, a to vyhlášením chráněného území "Radvanické araukarity" a na obvodu obcí Radvanic, Markoušovic, Slavětína, Lhoty, Starého Sedloňova a Bezděkova vstoupil v platnost zákaz poškozování a sběru zkamenělin (internetový zdroj č. 1). V současné době nacházíme na místech původních lokalit, jako jsou např. velmi známé Kryštofovy kameny, spadající ještě s částí lokality pod CHKO Broumovsko, pouze reliktů silicifikovaných kmenů. Pokud se tedy nenajde způsob, jak tyto vzácné zbytky uchránit před neukázněnými návštěvníky, zmizí dřeva navždy z podkrkonošské přírody.

Dnes už těžko pochopíme, odkud se vzal pojem Radvanický zkřemenělý les, když v současnosti na jeho místě najdeme sotva jednotlivé kusy kmínků, a to ještě jen s notnou dávkou štěstí nebo se znalým průvodcem. A co teprve Žaltman, dříve tak zatížený hmotou majestátných kordaitů ze svrchního paleozoika?

Listujeme-li potom podrobnými geologickými záznamy z 20. století, pocházejícími zejména z našich předních terénních geologů (Petrascheck 1922, Valín 1960, Tásler et al. 1979) či podrobnou publikací Pešek et al. (2001), dočteme se bohatě o podrobnostech týkajících se stratigrafických jednotek, petrologických rozborech sedimentárních a jiných hornin atd., přičemž málokdy narazíme jen na krátkou zmínku o „araukaritech“, odbytou maximálně jednou, dvěma větami.

Paleobotanika moderní doby obnovuje zájem o tyto zapomenuté trojrozměrné fosílie a přisuzuje jim neobvyklou a nenahraditelnou úlohu při taxonomickém studiu, jak je také zmíněno dále v této práci. Ze zkřemenělého kmene, ať už jakkoli zachovaného, se dá vyčíst často mnohem více, než se dozvídáme pouze z dvojrozměrných otisků, na které byl zejména dřívější systematický výzkum zaměřen. Limnické pánve českého permokarbonu jsou neustále v mnoha ohledech neprobádanou oblastí a jejich pradávna květena taktéž. Vždyť většina dosavadních floristických znalostí vychází, kromě studia otisků, ze studia uhelných slojí, jílových vrstev se zachovanou organickou hmotou a ze studia spór a pylů. Takové výzkumy ale zachycují jen určitý zlomek permokarbonské flóry, a to konkrétně její část, která rostla v blízkém okolí pánví, v mokřadech a bažinách. To co rostlo jinde, ve vyšších polohách, se jako uhlí nebo otisky v jílu nedochovalo, ačkoli mohlo jít o velice impozantní biotopy. Jen díky prozíravosti přírody a souhře mnoha paleoenvironmentálních podmínek dnes držíme v ruce ojedinělé zkřemenělé kmeny paleozoických rostlin, které rostly na úbočí hor, možná v docela drsném horském terénu, a pak byly přineseny mohutným tokem dolů do údolí pánve. Byli to první předchůdci dnešních nahosemenných stromů, kordaity a primitivní konifery, kteří jakožto zástupci gymnospermických rostlin pionýrsky osidlovali vyšší a méně hostinné oblasti souše. Jejich morfologie a anatomie je mnohem složitější, než aby se mohla omezit na lidové slovo „araukarit“, které nás navíc nesprávně zavádí k dodnes rostoucím a známým araukariím. A to nebyla řeč o unikátní mineralogii stonků, která byla petrografy dodnes opomíjena. Toto přírodní bohatství, které se díky lidské chamtivosti již téměř úplně ztratilo z podkrkonošské části Českého masívu, si přeci z hlediska moderní vědy zasluhuje mnohem větší a detailnější pozornost, než mu bylo doposud věnováno.

2.1. Systematika permokarbonských stonků vyšších cévnatých rostlin z vnírosudetské a podkrkonošské pánve

2.1.1 Stručné shrnutí paleobotanického aspektu studovaných taxonů

Silicifikované stonky a kmeny, nalézané ve vnírosudetské a podkrkonošské pánvi, patřily v tzv. mladším paleofytiku euramerické oblasti rostlinám stromovitého vzrůstu, které tvořily bohatá floristická společenstva rozmanitých ekosystémů tropického a subtropického pásma. Paleobotanika tyto rostliny řadí do vývojových stupňů kaprad'orostů a nahosemenných rostlin (Kvaček et al. 2000).

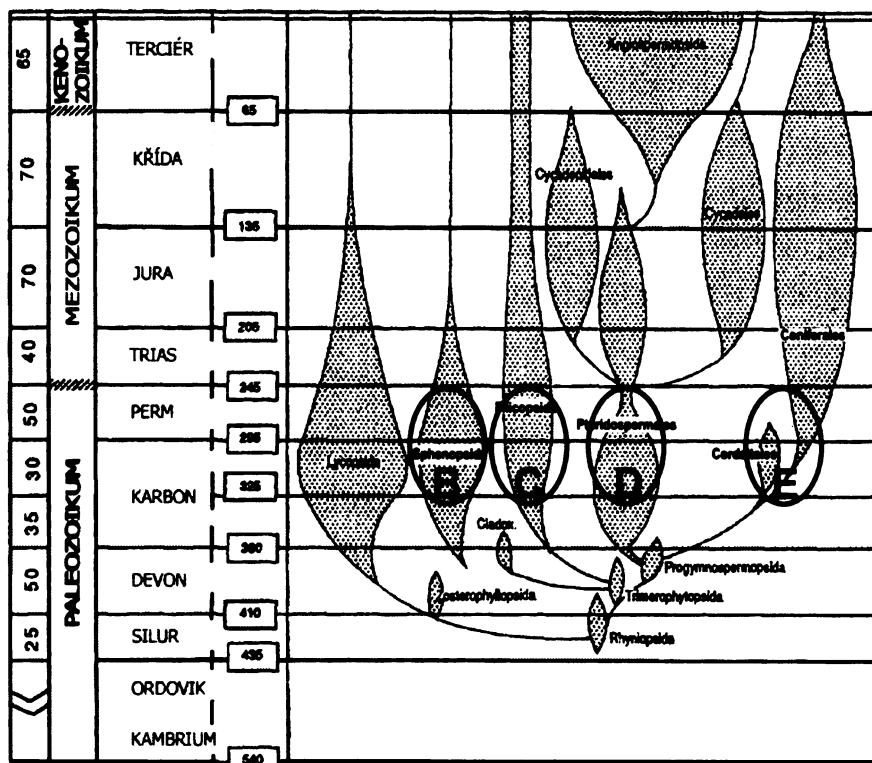
Z kaprad'orostů se zaměřuji na zástupce dvou oddělení :

- ♦ Equisetophyta (Sphenophyta) - přesličkovitě, a
- ♦ Polypodiophyta (Pterophyta) - kapradinovitě,

a z nahosemenných také na zástupce dvou oddělení:

- ♦ Lyginodendrophyta - kaprad'osemenné, a
- ♦ Pinophyta - jehličnaté, a to na zástupce dvou tříd:

- Cordaitopsida - kordaity
- Pinopsida - konifery (viz obr. 1).



Obr. 1. Chronostratigrafické znázornění evoluce vyšších rostlin. Červeně jsou zvýrazněny čtyři vývojové větve, od jejichž zástupců (studované typy B – E) pocházejí silicifikovaná dřeva VSP a PKP; upraveno podle studijních materiálů prof. J. Galtiera z r. 1997.

Po většinu karbonu v pánvích převládalo perhumidní klima a na tvorbě uhlotvorných močálů se podílely zejména stromovité plavuně (*Sigillaria*, *Lepidodendron*, aj.) a přesličky (*Calamites*), dále také stromovité kapradiny (*Psaronius*) a kaprad'osemenné rostliny (*Medullosa*, *Lyginopteris*), ve svrchním karbonu se přidali i předci jehličnanů, kordaity. Bylinné přesličky (*Sphenophyllum*), liánovité kapradiny (Coenopteridales), některé plavuňovité a kaprad'osemenné rostliny vytvářely hustý podrost. Jakmile se v permu začalo klima tropických oblastí vysušovat, vznikaly nové typy suchomilné vegetace s jehličnany (*Walchia*) a peltaspermickými kaprad'osemennými (*Callipteris*). Objevovaly se první cykasovité (*Taeniopteris*). Takzvaným postpaleofytikem vrcholí aridizace Evropy ve svrchním permu, kdy už začínaly převládat konifery (*Pseudovoltzia* aj.), objevily se první jinanovité (*Sphaenobaiera*), stromovité plavuně vymíraly a přesličky silně zmenšovaly svůj vzrůst. Ačkoli se v permu poloha Českého masívu dostávala už do oblasti mírného pásma, klima a geologické prostředí bylo stále příhodné

pro tvorbu uhlí. Vedle masivních stromovitých plavuní se ale hlavními uhlotvornými prvky stávaly kordaitové rostliny (Kvaček et al. 2000). Je však otázka, kdy a kde se kordaity staly podstatné pro permokarbonskou flóru i v oblastech, kde uhlí nevznikalo.

Pro následné podrobnější studium silicifikovaných dřev je nezbytné dovědět se co nejvíce o permokarbonských ekosystémech euramerické oblasti, ať už jde o paleoklimatické nebo paleogeografické podmínky. Asi jen interdisciplinární přístup k tomuto problému, založený na kombinaci paleobotanického, geochemického a petrografického přístupu, může posunout poznání ve srovnání s minulým stavem, kdy se pozornost badatelů soustřeďovala skoro výhradně na anatomii a paleobotaniku. Jen mezioborovým přístupem je možné vytěžit informaci zapsanou v průběhu silicifikace a přeložit ji do termínů tafonomie a tedy i paleoprostředí. Stále ještě přesně nevíme, jaké měly jednotlivé taxony nároky na prostředí, jak byly vzájemně rozmístěny a uspořádány v prostoru pánve, jak se od sebe lišila druhová společenstva a jejich uspořádání do pater v určitých nadmořských výškách, a zda v těch vyšších převládaly více odolné druhy než v těch nižších, podobně jako je tomu dnes. Důvodem je, že se jen velmi výjimečně dochovaly celé fosilizované biocenózy, např. lokalita Ovčín na Plzeňsku (Opluštil 2005) nebo karbonátové konkrce, tzv. *coal balls*, známé ze spodního pennsylvanu Anglie, Holandska, Německa, Ruska (oblast Uralu) či USA (Dernbach et al. 2002). Velmi málo se bohužel ví o stresových faktorech, které na rostliny působily a zda byly srovnatelné s podobnými podmínkami v současné přírodě či zda byly naprosto odlišné. Které druhy a v jakém zastoupení se hromadily v okolí klidných jezer či občasných toků, a které rostly např. v blízkosti fluviálních systémů divočících řek? Které druhy nejvíce odolávaly síle toku a které mohly být snadno strženy do proudu? A jak daleko mohly být kmeny nesený? Proč se v určité oblasti dochovala prokřemenělá dřeva prakticky jen jednoho typu? Je to snad proto, že tam žádný jiný taxon rostlin nerostl, anebo je to způsobeno polohou ve které se původně nacházel a jeho velkou odolností či naopak náchylností? Domnívám se, že odpovědi na tyto otázky lze najít i v anatomii jednotlivých typů zachovaných rostlin a v síle či uspořádání jejich mechanických pletiv. Úspěšně proběhlá silicifikace rostlinných těl byla zcela jistě dílem souhry mnoha paleoenvironmentálních podmínek.

Ukázkou komplexního přístupu ke studiu fosilního záznamu jednoho z mnoha fluviálních permokarbonských systémů ve VSP je nedávná práce odborné skupiny paleontologů při zpracování materiálů z dobývky na dole Jana Švermy na Žacléřsku (Libertín & Dašková 2000, Šimůnek & Libertín 2001). Výstupem jejich práce je jedinečné statistické zpracování identifikovaných fosilií, zejména rostlinných otisků a prouhelnělých zbytků, podrobná geologická mapa vrstevního sledu a jednotlivých biostratigrafických poloh spolu s prostorovým zakreslením *in situ* nalezených lycopodiových kmenů. Ze získaných výsledků byla vytvořena nová rekonstrukce horského fluviálního ekosystému (stáří Duckmant), s charakterizací pravděpodobného **společenstva tzv. galeriového lesa** (Libertín & Dašková 2000, Dašková & Libertín 2005). Byly popsány další typy společenstev, jako např. lemový porost břehů, lesní porost rašeliniště a lužního lesa, porost nestabilních svahů, porost okrajů údolí atd. Společenstvo v prostředí bažinného lesa a bylinné společenstvo zarůstající vysychající jezero byly rekonstruovány z fosilních nálezů na lokalitách Ovčín (Plzeňsko, z. Čechy) a Štílec (Českobudějovicko, j. Čechy).

Dochovaly se díky jednorázové konzervaci sopečným výbuchem, a to i s hmyzem a jeho larvami. Podobné průzkumy a následné floristické rekonstrukce byly prováděny např. na lokalitách Stradonice (Kladensko, stř. Čechy) či Nýřany (Plzeňsko, z. Čechy). Takovýchto studií by tedy bylo třeba v oblasti VSP a PKP provést více, aby se konkrétní výsledky daly mezi sebou porovnat a dále interpretovat. Podobnými rekonstrukcemi z období svrchního pennsylvanu se v jižní části Massif Central ve Francii zabývali Martín-Closas & Galtier (2005). Paleoeologii, paleogeografii a paleoklimatologii svrchního karbonu v Novém Skotsku v Kanadě a v Anglii studovali Falcon-Lang & Scott (2000), Falcon-Lang (2003), Falcon-Lang et al. (2006), a v jižním New Brunswicku v Kanadě opět Falcon-Lang (2006). Nevyřešená je stále také otázka, jak velkou úlohu v takovýchto prostředích hrálo permokarbonské paleoklima, a zda markantně ovlivňovalo složení společenstev či naopak ono samo bylo ovlivňováno rozvojem rostlin.

V poslední době se v pracích o paleozoickém prostředí začíná řešit problém, zda zjevně cyklický pánevní a šelfový vývoj ukazuje na klimatické (Cecil 1990) nebo tektonické cykly (Stollhofen et al. 1999) nebo zda je jen domněnkou vzniklou špatnou interpretací dat (Valero Garcés et al. 1997). Paleobotanika může k odpovědi na tuto otázku rovněž přispět, ovšem jen podrobnou analýzou respektující stratigrafii pánví a sledující tafonomii rostlinných zbytků (Karowe & Jefferson 1987), nikoli pouze analýzou muzejních exemplářů, u nichž většinou není jistá ani přesná lokalita ani stratigrafická poloha nálezů. Weibel (1996) vysloveně uvádí: „Budoucí výzkumy petrifikace by měly zahrnovat také okolní sediment, ve kterém jsou petrifikovaná dřeva nalézána“. V tomto smyslu nemusí být práce se zkřemenělými dřevy jen pokračováním paleobotanické popisné práce, zahájené už v 19. století.

2.1.2. Základní typy permokarbonských dřev z VSP a PKP

Na začátku si musíme uvědomit, že jakákoliv silicifikovaná část rostliny, která nebyla zničená nebo pozměněná metamorfózou či vysokým stupněm diagenese, je unikátní trojrozměrná fosílie, která může být dále podrobně studována nejen makroskopicky, ale především mikroskopicky. Dokazuje to velké množství popsaných studií, z nichž lze jmenovat např. Sigleo (1978), Karowe & Jefferson (1987), Gand et al. (1993), Březinová et al. (1994), Weibel (1996), Ash & Creber (2000), Fairon-Demaret et al. (2003), Cúneo et al. (2003), Witke et al. (2004), Falcon-Lang & Bashforth (2004) či Martín-Closas & Galtier (2005) (podrobněji v kap. 2.2). Silicifikované stonky permokarbonských rostlin většinou silně připomínají kmeny dnešních stromů. Často totiž skutečně vypadají jako prokřemenělé **kmeny**, a to zejména s ohledem na jejich velikost a tvar (Březinová 1970, Matysová 2004). Z paleobotanického hlediska se ale opravdu obecně jedná pouze o **stonky**, z nichž některé druhotně tloustly a vytvářely druhotné dřevo a kůru (viz níže).

Tato paleobotanická část navazuje na stručný přehled klasifikace taxonomických skupin a jejich fylogenetického vývoje včetně stelární teorie, uvedený v bakalářské práci Matysové (2004) a založený především na starších pracích našich předních paleontologů z 2. poloviny 19. a z 20. století. V této práci používám opět již dříve zmíněných pět základních typů dřev (Matysová 2004), které jsme uměle vytvořili

pro potřeby dalšího podrobnějšího studia fosilizace. Cílem zavedení těchto typů bylo výstižně charakterizovat, sjednotit a názorně demonstrovat podstatné anatomické rysy příbuzných taxonů do skupin (typů), které se tak stanou odrazovým můstkem pro praktickou práci s fyzickými (petrografickými) vzorky, zpřehlední jejich klasifikaci a v případě potřeby usnadní statistické zpracování. Každý typ dřeva je charakterizován konkrétní anatomickou stavbou stonku (viz jednotlivé kapitoly níže), jehož struktura zůstává při silicifikaci zachována. V optimálních případech, kdy nedošlo k sekundárnímu poškození vzorku či k silné rekrystalizaci, lze daný vzorek přesně identifikovat.

Z pěti již výše zmíněných typů (kap. 2.1.1.) se v této práci zaměřuji zejména na čtyři z nich, a to na typ B, C, D a E (ve smyslu Matysové 2004), neboť právě od zástupců těchto skupin byly získány vzorky pro experimentální studium. Typ A - *Lepidodendron* (oddělení Lycopodiophyta) není předmětem této práce, neboť nebyl získán ani jeden kus silicifikované plavuňovité rostliny.

Každá následující kapitola se podrobně zabývá anatomií daného typu stonku. Uvádí jména typických morfotaxonů (podrobněji Matysová 2004, kapitola 2.3.) a jejich systematickou příslušnost v rámci paleobotanického systému (Němejc 1963, 1968; Kvaček et al. 2000). Detailní anatomie stonků, kořenů popř. listových větven, byla sestavena zejména podle prací Němejce (1963, 1968), Stewarta & Rothwella (1993), Taylora & Taylora (1993) a Dernbacha et al. (2002) a také byla využita konzultace s R. Rößlerem (Museum für Naturkunde Chemnitz). K usnadnění představy jak stonek vypadal, je text doplněn schematickými nákresy, obrázky či mikroskopickými fotografiemi.

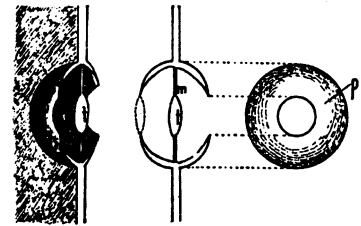
2.1.3. Použitá terminologie

Termíny z botanické anatomie byly převzaty hlavně z Nováka (1961, 1972), Balabána (1955), Němejce (1963, 1968), Kvačka et al. (2000) a internetového zdroje č. 2 a 3. Odkazují také na jakékoliv kapitoly z obecné botaniky v současných učebnicích biologie gymnazijního rozsahu. Pro přehlednost uvádím v tabulce 1 některé odborné termíny nejčastěji používané v následujícím textu a jejich význam.

Permokarbonské plavuně, přesličky a kapradiny měly sice často stromovitý vzrůst, avšak jejich kmenům podobné stonky tvořily jen relativně málo druhotného dřeva (Taylor & Taylor 1993). Termínem „dřevo“ zde rozumíme **druhotné dřevo** (tzv. **sekundární xylém**), dnes charakteristické pro druhotně tloustnoucí semenné stromy a keře. Jeho studiem se zabývá paleoxylotomie, čehož se v této práci týká zejména kapitola E o prvních zástupcích jehličnatých (Pinophyta), a to kordaitů a primitivních konifer, které už mají tzv. homogenní (homoxylický) typ dřeva podobný dnešnímu.

Chemická charakteristika nejdůležitějších organických látek tvořících rostlinné tkáň, tj. celulózu, pentosanů, ligninu, sporopoleninů, kutinu, není v této práci vzhledem k jejímu limitovanému rozsahu rozebírána. Jak dokazuje řada výzkumů, např. Leo & Barghoorn (1976), Weibel (1996), Kuczumow et al. (1999), Holzhueter et al. (2003), Witke et al. (2004), tak některé z těchto látek, jako např. lignin, se významně uplatňují při procesu silicifikace (viz kap. 2.2). Proto byly tyto organické sloučeniny stručně zmíněny již v práci Matysové (2004), a pro jejich bližší studium odkazují na odbornou literaturu zabývající se organickou chemií.

afleboidní diarchní	palistový útvar na stonku, podobající se zahnutému listu protoxylém cévního svazku se nachází ve dvou protilehlých bodech proti sobě
dvůrkatá tečka (dvojtečka, dvůrek) (viz nákras vpravo)	kruhovitá přerušení na radiálních stěnách tracheid sloužící ke komunikaci základních stavebních elementů dřevní hmoty. Dvojtečky jsou pokročilejším typem teček, bývají různého tvaru a oboustranné, jejich středem prochází tenká střední stěna, která se vyklenuje ve ztluštěninu (<i>torus; t</i>), její zbytek je tzv. uzavírací blanka (<i>margo; m</i>), otvor na temeni klenby se nazývá <i>pórus</i> . Podrobnější vysvětlení viz např. Balabán (1955)
centrifugální centripetální	oddělující se z dělivého meristému od protoxylému směrem ven (odstředivě)
endarchní	oddělující se z dělivého meristému od protoxylému směrem dovnitř (dostředivě)
exarchní	dává vznik buňkám metaxylému, které rostou vzhledem k uspořádání struktur v rostlině směrem ven a protoxylém se tak ocitá uvnitř rostlinné struktury
floém	dává vznik buňkám metaxylému, které rostou vzhledem k uspořádání struktur v rostlině směrem dovnitř a protoxylém se tak ocitá na vnější straně rostlinné struktury
lyko (obecně)	lýko (obecně)
lyko primární a sekundární	lýko prvotní a druhotné
kambium	dělivý meristém, který odděluje lýko a dřevo (i sekundární)
komisurální linie	ostře klikatá čára na nodech, která odděluje sousední články
krasula	ztlustliny nad tečkovým dvůrkem, vysvětlení viz např. Balabán (1955)
manoxylický	typ druhotného dřeva prostoupeného hojně dřeví
mesarchní	rostlinné pletivo mající metaxylém vyvinutý po obou stranách protoxylému
metaxylém	odděluje se z protoxylému, mívá odlišně ztlustlé tracheidy
nodus	uzliny v místech, ze kterých vyrůstají listové řapíky
periderm	druhotná kůra
pericykl	většinou jednovrstevné pletivo na obvodu středního válce (stélé), ve kterém vznikají základy postranních kořenů
pyknoxylický	typ druhotného kompaktního dřeva s malým podílem dřevě
protoxylém	prvotní dřevo
stélé	střední vodivý válec, resp. soubor vodivých pletiv
tečka	kruhovitá ztenčenina ve stěně tracheidy, ulehčující pronikání roztoků v rostlině
torus	anatomická součást dvojtečky: společná tenká střední stěna na radiální stěně tracheid, která má ztluštěninu ve středu dvojtečky (viz dvěrkatá tečka)
tracheidy	cévice – neperforované vodivé elementy dřev, mohou být kruhovitě, šroubovitě, síťovitě a schodovitě ztlustlé, nebo tzv. dvěrkaté (s dvěrkáčkami na radiálních stěnách) ¹
xylém	dřevo (obecně)
xylém primární a sekundární	dřevo prvotní a druhotné (dřevo <i>sensu stricto</i>)



Tab. 1. Často používané termíny v textu, jejich synonyma a význam (ze zdrojů uvedených v textu výše).

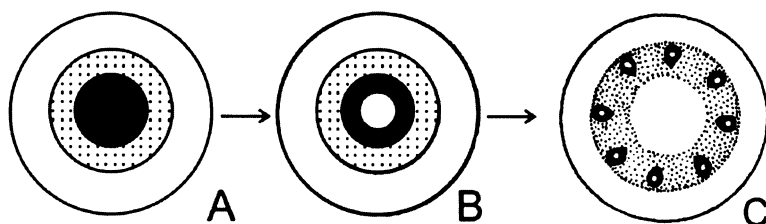
¹ více informací v internetovém zdroji č. 2 či 3

2.1.4 Typ **B** - stonky přesličkovitých rostlin (Equisetophyta)

♣ Typ *ARTHROPITYS*

Typ stonku: **arthrostélé** s dřevnou dutinou

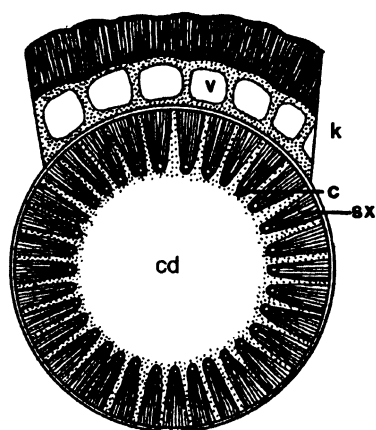
Stonk zástupců stromovitého vzrůstu je popisován jako zvláštní typ sifonostélé, tzv. **arthrostélé** (obr. B.1), uvnitř s centrální dutinou, obklopenou rozdělenými provazci cévních svazků (Novák 1972). V permineralizovaném stavu je nejčastěji popisován jako *Arthropitys* GOEPP. Jednálo se o tzv. **trubkové kmeny** s mohutnou dřevnou dutinou a vrstvou druhotného dřeva. Velmi často jsou nalezeny vnitřní výlitky centrálních dutin (Kvaček et al. 2000).



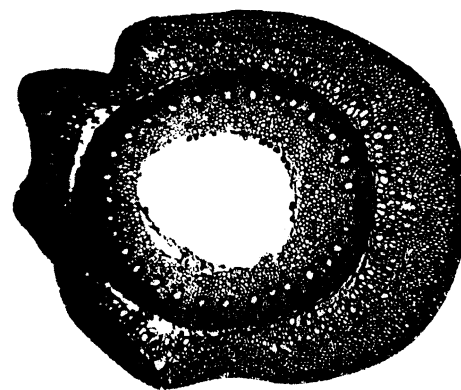
Obr. B.1. Část vývojové větve ze stelární teorie, která vede od protostélé (A), přes sifonostélé (B) až k arthrostélé přesličkovitých rostlin (C), které vzniká omezením metaxylému do oblasti protoxylému (rod *Equisetum* L.); floém (tečkovaně), xylém (černě). Upraveno podle Nováka (1961) a Stewart & Rothwella (1993).

Kmeny byly článkované, s listy uspořádanými na nodech (uzlinách) do přeslerů. Jejich povrch byl hladký, článkovaný, s jizvami po větvích. Vyrůstaly převážně z vodorovných mohutných oddenků. Z nodů na podzemních oddencích vyrůstaly adventivní kořeny. Tlustší zkrmenělé „kořeny“ se nazývají *Astromylon* WILLIAMSON (obr. B.6, B.7a) a vykazují podobnou stavbu jako *Arthropitys* GOEPP.

Zástupci jednoho z neznámějších rodů, *Calamites* SUCKOW (taktéž jméno typických vnitřních výlitků dutin), byly obvykle pravidelně větvené stromovité přesličky, které dosahovaly výšky až 20 m. Patří do třídy *Equisetopsida*, řádu *Equisetales*. Osidlovaly převážně vlhká až mokradní stanoviště. Objevily se až ve svrchním devonu a největšího rozvoje dosáhly v karbonu, kde se podílely na vzniku uhelných slojí (Kvaček et al. 2000).



Obr. B.2. *Arthropitys* GOEPP.; vlevo: příčný průřez stonkem přesličkovitých rostlin v místě mezi dvěma node (uzlinami); centrální dřevná dutina (cd), karinální kanál (c), vaskulární kanál (v), sekundární xylém (sx), kůra (k); vpravo reálný vzorek; obojí převzato a upraveno ze Stewart & Rothwella (1993).

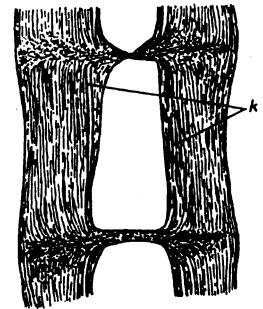


Podrobnější anatomická stavba stonku typu *Arthropitys*:

Stavba kalamitových „kmenů“ je velmi podobná stavbě přesličkovitých lodyh, ale výrazně se od nich liší přítomností **mohutného válce druhotného dřeva a vytvářením druhotné kůry** (Němejc 1963).

Popis jednotlivých anatomických součástí od středu směrem ven (viz obr. B.2):

- **Dřeňová dutina** (typu *Calamites*) není v celém kmeni a ve větvích zcela souvislá, ale je vždy na nodech přerušena, a to zejména v mladších větvích, ploténkou pevnějšího dřeňového pletiva (obr. B.3) s větším nebo menším otvorem uprostřed, který se zvětšuje s postupným rozrušováním pletiva růstem a stárnutím.

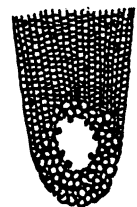


Obr. B.3. Podélný řez kalamitovou lodyžkou ukazující dřeňovou dutinu, karinální kanálky (k) a příčná septa v nodech; převzato z Němejce (1963).

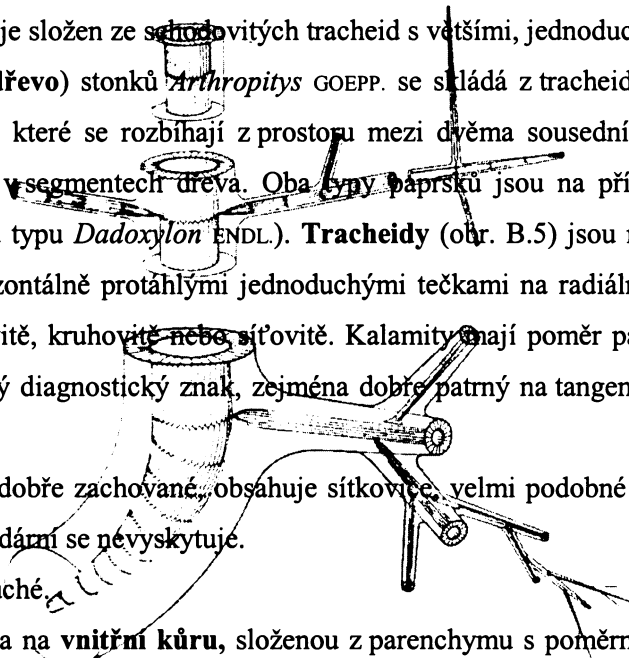
Při řezání dřev a přípravě výbrusů musíme brát v úvahu, kde se nacházíme vzhledem k poloze nodu. Dřeňová dutina se blízko něj může zdát poměrně úzká. Zbytky dřeňových buněk mohou být zachovány na okraji dřeňové dutiny, kde jsou těsně připojeny k prstenci endarchního protoxylému (Stewart & Rothwell 1993).

- **Endarchní protoxylémové pruhy**, jejichž pletivo se z velké části růstem roztrhávalo, takže tu vznikaly celkem objemné **karinální kanálky** (obr. B.4), je složeno ze šroubovitě nebo kruhovitě ztlustlých tracheid. K nim přiléhá centrifugální metaxylém.

Obr. B.4. Příčný průřez karinálním kanálem: uvnitř zbytky protoxylému, obklopen buňkami metaxylému; zvětšeno; převzato ze Stewarta & Rothwella (1993).



- **Centrifugální metaxylém** je složen ze schodovitých tracheid s většími, jednoduchými tečkami.
- **Sekundární xylém** (tzv. **dřevo**) stonků *Arthropitys* GOEPP. se skládá z tracheid a paprsků. Paprsky jsou dvojího typu: **široké**, které se rozbíhají z prostoru mezi dvěma sousedními body primárního xylému, a **úzké paprsky** v segmentech dřeva. Oba typy paprsků jsou na příčném řezu poměrně dlouhé (na rozdíl od dřeva typu *Dadoxylon* ENDL.). **Tracheidy** (obr. B.5) jsou nejčastěji schodovitě ztlustlé s víceřadými, horizontálně protaženými jednoduchými tečkami na radiálních stěnách, mohou však být ztlustlé i šroubovitě, kruhovitě nebo síťovitě. Kalamity mají poměr parenchymu ku dřevu cca 1:1, což je velmi dobrý diagnostický znak, zejména dobře patrný na tangenciálním či radiálním řezu (Röbner & Noll 2006).
- **Lýko (floém)** je málokdy dobře zachované, obsahuje sítkovce, velmi podobné sítkovicím dnešních přesliček a kapradin, sekundárně se nevyskytuje.
- **Listové stopy** jsou jednoduché.
- **Primární kůra** je rozlišena na **vnitřní kůru**, složenou z parenchymu s poměrně velkými buňkami, a **vnější kůru** z menších buněk; v její vnější partii jsou uloženy pruhy prosenchymatického, mechanického pletiva.
- **Periderm (druhotná kůra)** se vytvářel v pokročilém věku. Byl mohutný, někdy až přes 5 cm tlustý (Němejc 1963, Stewart & Rothwell 1993). Tloušťka celého korového válce bývá asi stejná jako tloušťka válce vodivého. Kůra tak hrála na rozdíl od dnešních gymnospermických nebo



angiospermických stromů velkou úlohu ve výstavbě a mechanické opoře kmenů, jako např. u paleozoických stromovitých plavuňovitých.



Obr. B.5. Příklady sekundárního xylému u kalamitů. První dva zleva: schodovitě a síťovitě ztlustlé tracheidy (radiální řez). Vpravo: typické střídání parenchymu paprsků (kulaté buňky) a tracheid (dlouhé, vřetenovité buňky) (tangenciální řez); značně zvětšené; upraveno z mikrofotografií rodu *Arthropytis* GOEPP., ze zdrojů R. Rößlera.

Ve všech těchto výše uvedených znacích se obecně shodují veškeré druhy kalamitů. Podle Němejce (1963) spočívají jejich **hlavní anatomické rozdíly ve složení dřevných paprsků**. Nejnovější výzkumy (Rößler 2006) však dokazují, že i uspořádání sekundárního xylému a specifické vyztužení tracheid může být charakteristické pro určité typy a je potřeba této oblasti ještě věnovat značnou pozornost, neboť některé údaje dosud uváděné v literatuře nemusí být správné. Němejc (1963) ve své práci rozlišuje 4 základní typy (anatomické „rody“). Pro naši oblast VSP a PKP přicházejí v úvahu 2 typy, které zároveň patří mezi nejběžnější v celém permokarbonu (svrchní stephan a spodní perm). Jejich zkřemenělé kusy jsou známé z různých oblastí stř. Francie (Autun), Saska (Chemnitz) a sv. Čech (Novopacko). Jsou to typy *Arthropytis* GOEPP. a v současnosti používaný název *Calamitea* COTTA (R. Rößler ústní sdělení, Rößler *in print*), odpovídající tradičnímu formálnímu rodu *Calamodendron* BRONGN. (Němejc 1963):

1. *Arthropytis* GOEPP. je nejčastější typ a má parenchymatické dřevné paprsky pouze jednoho druhu. Dřevné paprsky jsou tvořeny pouze nepřilíš dlouhými parenchymatickými buňkami cihlovitého tvaru. Polohy tracheid se mohou v pokročilejším věku tvořit také uvnitř primárních dřevných paprsků, nejvíce však ve vnější zóně druhotného dřeva (tzv. interfascikulární dřevo). Tracheidy dřeva nejsou u všech druhů stejné povahy (viz tab. B.1).

DRUH

Arthropytis bistrata GOEPP., *A. lineata* REN.,
A. ezonata GOEPP., *A. communis* BINNEY.,
A. approximata SCHLOTH., *A. gallica* REN.,
A. medullata REN.
A. gigas BRONGN., *A. rochei* REN.,
A. porosa REN., *A. punctata* REN.

SEKUNDÁRNÍ XYLÉM

schodovitě ztlustlé tracheidy s jen jednou nebo nejvýše dvěma řadami horizontálně protažených jednoduchých teček na radiálních stěnách

síťovitě ztlustlé tracheidy (tečky ve více řadách)

Tab. B.1. Znaky tracheid sekundárního dřeva u rodu *Arthropytis* GOEPP.; podle Němejce (1963).

2. *Calamitea* COTTA - má dva typy sekundárního xylému, lišící se zejména velikostí buněk tracheid a jejich zbarvením (R. Rößler ústní sdělení, Rößler *in print*). Hlavní dřeňové paprsky jsou dvojí možné stavby (Němejc 1963). Jednak mohou mít uvnitř polohu parenchymu (buňky jako u typu 1), která je z obou stran obklopena prosenchymem přiléhajícím ke klínům druhotného dřeva, anebo se střídají polohy parenchymu a prosenchymu. Tracheidy dřeva opět nejsou u všech druhů stejné povahy (viz tab. B.2).

DRUH

SEKUNDÁRNÍ XYLÉM

Calamodendron striatum BRONGN.

schodovitě ztlustlé tracheidy s jednou nebo dvěma řadami horizontálně protažených jednoduchých teček na radiálních stěnách

C. congenium GR. EURY.

síťovitě ztlustlé tracheidy (tečky ve více řadách)

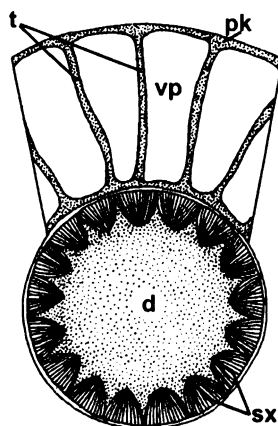
C. intermedium REN.

oba tyto (výše zmíněné) typy tracheid pohromadě

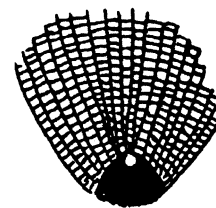
Tab. B.2. Znaky tracheid sekundárního dřeva u rodu *Calamodendron* BRONGN.; podle Němejce (1963).

Je však nutné poznamenat, že výše uvedené rozdělení nemusí být správné, jak bude nově popsáno v práci Rößlera (*in print*, zmíněno výše). Je nutné provést další výzkum a pokusit se opravit a znovu definovat některé nejasnosti, které se vyskytují jak v české tak i v cizojazyčné literatuře.

Za zmínku také stojí tlustší části zkrmenělých kořenů kalamitů, typu *Astromyelon* WILLIAMSON (obr. B.6, B.8a). Svou anatomickou stavbou se velice podobají stonkům *Arthropitys* GOEPP. (srov. s obr. B.2), tudíž mohou být snadno zaměněny. V centru, na rozdíl od rodu *Calamites*, obsahují mohutný válec dřeně, která se v pokročilém věku uprostřed roztrhávala a vytvářela jako v lodyhách objemnou dutinu (ovšem nečláňovanou). Kolem dřeně je kruh primárního dřeva, jehož centripetální metaxylém (klínovitěho tvaru) je tvořen síťovitě ztlustlými i dvůrkatými tracheidami. Typická je absence karinálních kanálů (obr. B.7). Dále následuje kruh pruhů lýka. Mezi oběma kruhy bývá vlivem kambiálního pletiva vytvořena tlustá vrstva druhotného dřeva, která je prostoupena mnoha jemnými dřeňovými paprsky, a také vrstva druhotného lýka (obr. B.8a). Pericykl stejně jako u dnešních přesliček chybí. Primární kůra je rozčleněna ve vnitřní a vnější parenchymatickou vrstvu a mezi nimi je tlustá střední vrstva parenchymu s velkými vzdušnými prostory připomínajícími valekulární kanály dnešních přesliček, která má vzhled soustavy trámečků spojující obě parenchymatické vrstvy.



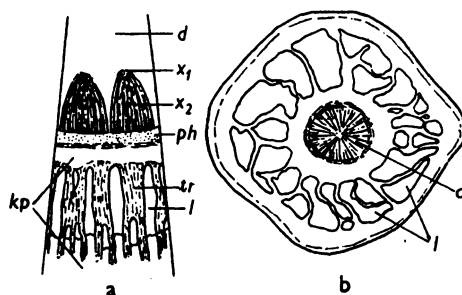
Obr. B.6. Vlevo: příčný průřez oddenkem *Astromyelon* WILLIAMSON: dřeň (d), sekundární xylém (sx), primární kůra (pk), trámce korového parenchymu (t); vzdušné prostory v kůře (vp), karinální kanály nejsou přítomny; upraveno podle Stewart & Rothwella (1993).



Obr. B.7. Vpravo: příčný průřez primárním xylémem u *Astromyelon* WILLIAMSON v exarchním uspořádání; typická je absence karinálního kanálu: protoxylém (bílý kroužek), metaxylém (černě), kolem klín sekundárního xylému; podle Stewart & Rothwella (1993).

Tenké kořínky s velmi podobnou stavbou, ale poněkud zjednodušenou, známe pod názvem *Myriophylloides* HICK. et CASH. (obr. B.8b). Mají velmi málo vyvinutou či úplně chybějící dřeň a počet cévních svazků je také malý, omezený nejvýše na čtyři skupiny (Němejc 1963).

Obr. B.8. Anatomická stavba kalamitových kořínků na příčných řezech (schematizováno): a – *Astromyelon* WILLIAMSON: dřeňový parenchym (d); protoxylém (x_1), sekundární xylém (x_2), floém (ph), korový parenchym (kp), vzdušné prostory (l), tramečky spojující vnitřní a vnější zónu korového parenchymu (tr); b – *Myriophylloides* HICK. et CASH.: centrální vodivý válec (c), vzdušné prostory v korovém parenchymu (l). Obojí značně zvětšené; převzato z Němejce (1963).



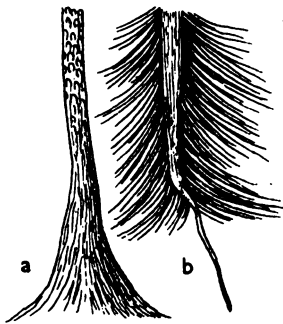
Kolem silicifikovaných kmenů kalamitů lze někdy nalézt silicifikované stonky epifytických liánovitých rostlin z čeledi Ankyropteridaceae, např. rod *Ankyropteris* (STENZEL) P. BERTR. (Dernbach et al. 2002). Podrobnější popis viz kapitola 2.1.5.

2.1.5 Typ **C** - stonky kapradinovitých rostlin (Polypodiophyta)

♣ Typ *PSARONIUS*

Typ stonku: **polycyklické diktyostéle obalené silným pláštěm vzdušných kořenů**

Jako *Psaronius* se označují mineralizované kmeny se zachovaným kořenovým pláštěm, na průřezu s lamelami diktyostéle a listovými řapíky. Jedná se o fosilní stromovité kapradiny s přímým, jednoduchým, až 10 m vysokým kmenem (Kvaček et al. 2000). Lze na něm demonstrovat základní charakteristiky dřev tohoto typu. Vodiivé pletivo stonků je sestaveno do složitého diktyostéle ve formě samostatných, v délce „kmene“ vzájemně propojovaných provazců bez druhotného dřeva. Část zaujímaví stéle je menšího průřezu a je obklopena pláštěm vzdušných kořenů, jednalo se o tzv. plášťové kmeny. Stabilita kmene byla zajištěna i bez druhotného tloušťnutí (Procházka 1912), a to sklerenchymatickými pláty uvnitř diktyostéle (viz níže) a zároveň mohutným kořenovým obalem. Bazální konec kmene měl vzhled velmi krátkého a zakrslého hlavního kořene s hojnými adventivními nebo i vzdušnými kořínky (obr. C.1).



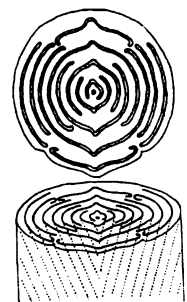
Obr. C.1. Vzhled báze kmenů (a) a jejich způsob zakořenění v zemi (b) v souborném rodu *Psaronius* COTTA (značně zmenšeno); rekonstrukce. Převzato z Němejce (1963).

Březinová (1970) uvádí, že pod jediný souborný rod *Psaronius* COTTA bývají zahrnovány zkřemenělé nebo dolomitizované části kmenů, s poměrně jednotným plánem vnitřní stavby, který má na průřezu stužkovitý až červovitý tvar. Vzdušné kořínky tvoří v příčném řezu kroužky nestejně velikosti a různého uspořádání. Nejsou-li prosyceny křemennou hmotou, mají ve svém středu zachované

cévní svazky ve tvaru hvězdy. Jsou-li cévní svazky vyplněny křemennou hmotou, jeví se pouze jako očka. V české literatuře se lidově popisují jako „stračí kameny“. V plášti vzdušných kořenů jsou často přítomny mineralizované tenké stonky epyfitických rostlin podobných dnešním liánám (zejména z řádu Zygoteridales, třídy Polypodiopsida), které obrůstaly stromovitou kapradinu (např. Němejc 1963, Dernbach et al. 2002), podrobněji vysvětleno dále v textu.

Stromovité rostliny byly nevětvené, s korunou velkých a mnohonásobně peřenědělených listových vějířů na vrcholu. Rozvoj těchto eusporangiálních kapradin patřících do třídy **Polypodiopsida**, řádu **Marattiales** spadá do karbonu (westphal D, stephan), kde byly součástí karbonských lesů. Hojně byly zastoupeny i ve spodním permu a v druhohorách. Tyto kapradiny byly většinou suchozemské a snášely zastínění v podrostu. Dařilo se jim zejména na vlhkých až bažinných podkladech, v teplém a vlhkém klimatu. Jejich dnešní potomci se však přizpůsobili i vysloveně suchým biotopům a zasahují i do chladných pásem (Kvaček et al. 2000).

Obr. C.2. Schéma uspořádání cévních svazků v kmeni distichického typu psaronií, převzato z Němejce (1963).



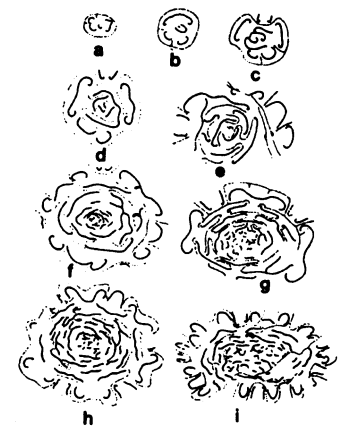
Podrobnější anatomická stavba stonku typu *Psaronius*:

Popis jednotlivých anatomických součástí **polycyklického diktyostélé** (obr. C.3, C.9):

- **Vodivá soustava** je složena z velkého počtu **deskovitě zploštělých** a v **průřezu** více méně **konkávně až podkovovitě prohnutých cévních svazků**. Svou otevřenou stranou jsou obráceny k ose kmene. Navzájem se do sebe nálevkovitě a šikmo dolů sbíhají směrem ke středu kmene (obr. C.2). V základním parenchymu jsou rozloženy spirálně a koncentricky (obr. C.3). Endarchní protoxylém tvoří kruhovitě či šroubovitě ztlustlé tracheidy. (Stewart & Rothwell 1993). Dřevní část (metaxylém) je složena ze schodovitých tracheid, místy se k nim přidružuje i dřevní parenchym. Sekundární dřevo se nevytváří. Dřevo je obaleno slabou vrstvou lýka. Některé druhy mají před vnějším kruhem svazků vyvinutou řadu sklerenchymatických plátů zpevňujících rostlinu, jiné mohou mít podobné pláty i uvnitř kmene mezi ostatními svazky. Jednotlivé dílčí svazky jsou k sobě navzájem poutány složitým způsobem, v podstatě se jedná o polycyklickou diktyostélii pravděpodobně vzniklou rozpadem souvislého jednoduchého stélé jednodušších solenostélických předků. Důkazem takového vývoje jsou nálezy ve westphalských dolomitických konkréciích (*coal balls*) Anglie.
- **Listové stopy** téměř vždy vznikají ve střední části svazků (obr. C.4, C.9), které se postupně při růstu stonku dostaly k okraji. Jejich postranní části ještě krátce v růstu pokračují, anastomózami se spojují s okrajovými částmi nejbližších sousedních stélé, kde se vytrácejí. Obvykle se navzájem střídají slepě končící svazky s těmi, které vysílají stopy do listů. Do vzdušných kořínků naopak vedou mnoho



Obr. C.5. Příčný řez vnitřní zónou pláště vzdušných kořínků rodu *Psaronius* COTTA: sklerenchymatická (tlustostěnná) pochva kořínku (c), sekundární intersticiální tkáň (i); převzato ze Stewart & Rothwella (1993).



Obr. C.3. Sled příčných průřezů (a - i) stonku rodu *Psaronius* COTTA ukazuje spletitost cévního systému od báze k vrcholu, narůstá počet cyklů i listových stop; převzato ze Stewart & Rothwella (1993).



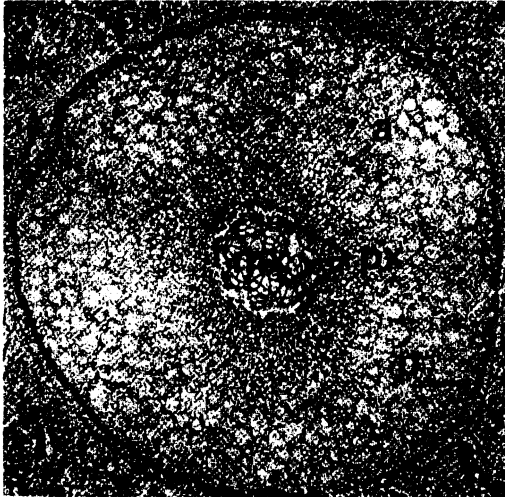
Obr. C.4. Schéma oddělování listových stop od lodyžních cévních svazků u *Psaronius infarctus* UNG. ze saského spodního permu; převzato z Němejce (1963).

vodivých pruhů všechny svazky.

Plášť vzdušných kořínků obklopuje vlastní stoněk a je rozlišen na:

- **vnitřní zónu** – kořínky jsou k sobě a ke kůře kmenů poutány spleteí rhi-zoidových vláken („plektenchymem“), který vychází z buněk korového parenchymu kmene, ale i z jednotlivých vzdušných kořínků (obr. C.5). Vytváří se tak jediná sekundární (intersticiální) tkáň, která může být ve stonku psaroniového typu přítomna. Může být přítomen i sediment, který však většinou pochází z doby růstu a existence živé rostliny.
- **vnější zónu** – jednotlivé kořínky jsou zcela volné, často obklopeny sedimentem či jiným materiálem, ve kterém byl silicifikovaný kmen nalezen (obr. C.6).

Vzdušný kořínek (obr. C.6) tvoří Δ **cévní svazek vzdušného kořínku**, který je polyarchního typu, ideálně ve tvaru mnohacípé hvězdy. Někdy je však přítomen pouze čtyř-, pěti- až šestiúhelník, anebo amorfni shluk tracheid (Procházka 1912). Cévní svazek je nejčastěji složený z 5 - 9 exarchních paprsků metaxylému a stejného počtu paprsků floému. Tracheidy metaxylému jsou hranaté, kruhovitě či šroubovitě ztlustlé (Němejc 1963, Dernbach et al. 2002). Cévní svazek je obemknut korovým pletivem.



Obr. C.6. Příčný průřez tzv. volného psaroniového kořínku z vnějšího pláště vzdušných kořínků: exarchní protoxylém (px), metaxylém (mx), lýko (f), aerenchym (a) či parenchym (p) vnitřního korového pletiva, sklerenchymatická pochva střední zóny korového pletiva (sc), vnější parenchymatická zóna korového pletiva (pc), okolní sediment (s), značně zvětšeno; upraveno podle Stewart & Rothwella (1993).

Δ **korové pletivo** je rozlišeno ve 3 zóny:

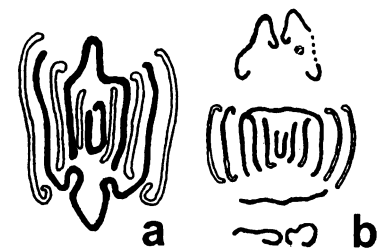
1. **vnitřní** – tvořená parenchymem s hojnými vzdušnými prostory, tzv. aerenchymem, zejména u kořínků rostoucích ve vodním prostředí, a obvykle i s četnými slizovými kanálky; někdy jsou přítomny i stopy po činnosti organismů, např. koprolity, chodbičky po členovcích; většinou se toto pletivo při silicifikaci nezachovává a pokud po něm nezůstane rovnou prázdná mezera, bývá nahrazeno chalcedonovými (spirálně rostoucími) či křemennými krystalky, popř. i achátovými strukturami.
2. **střední** – pochva kořínku tvořená sklerenchymem
3. **vnější** – parenchymatická vrstva, ta bývá velmi slabě vyvinutá u kořínků ve vnitřní zóně obalu, neboť její buňky záhy prorůstají ve zmíněné rhizoidy.

Taxonomické třídění zkamenělých psaroniových kmenů je doposud značně umělé, což vyplývá z jejich celkem jednotné struktury. Základem je zejména třídění podle

morfologického znaku, což je konkrétně způsob rozestavení listů na kmenech, resp. rozložení cévních svazků. Němejc (1963) uvádí dvě hlavní skupiny:

1. ***Psaronii dischi*** – mají listy rozestavené střídavě ve dvou protistojných řadách, např. *P. ungeri* CORDA či *P. simplex* UNGER, což je schematicky vidět na obr. C.3 a C.7.

Obr. C.7. Poloschematické znázornění rozložení cévních svazků v kmenech distichických psaronií ze saského sp. permu: a – *P. ungeri* CORDA, b – *P. simplex* UNGER, převzato z Němejce (1963).

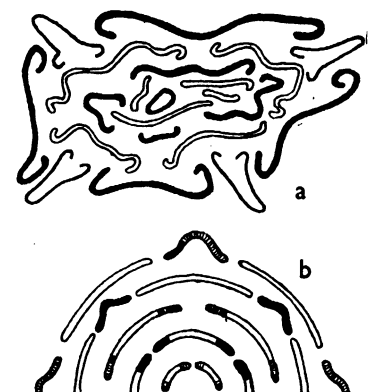


2. ***Psaronii polystichi*** – s listy rozestavenými do více řad:

i) listy sblížené do střídavých přeslenů:

- (1) *P. polystichi verticillati* s vícečetnými přesleny (obr. C.4)
- (2) *P. tetrastichi* s čtyřčetnými přesleny (obr. C.8)

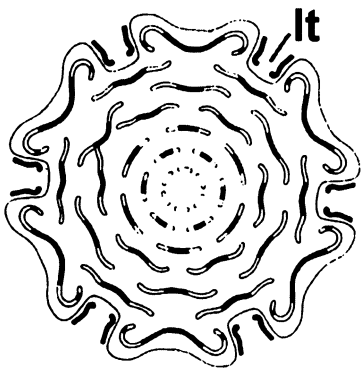
ii) *Psaronius polystichi spirales* s listy rozestavenými do značně husté šroubovice (obr. C.9).



Obr. C.8. Uspořádání cévních svazků na příčném řezu kmene *Psaronius quadrangulus* STENZEL: a – poloschematicky, b – schéma ukazující způsob oddělování listových stop. Ze saského sp. permu, převzato z Němejce (1963).

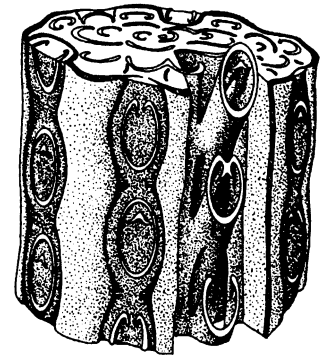
Další podrobnější třídění a identifikace jednotlivých druhů (nejspíš umělé povahy) vychází z přítomnosti a povahy sklerenchymatických pletiv (plátů) mezi lodyžními cévními svazky, dále z přítomnosti slizových kanálků, sklerenchymatické pochvy či složení cévních svazků v samotných kořincích. Zajímavý příspěvek zaměřený pouze na rod *Psaronius* COTTA napsal na počátku 20. stol. Procházka (1912), který diskutoval tehdy známé poznatky paleontologů 19. století, např. Cotty, Göpperta, Cordy, Feismantela, Stenzela, Sterzela. Zabýval se otázkou anatomie, fylogeneze a výskytu psaronií a uvedl přehled jejich klasifikace.

Zkamenělá listová vřetena (řapíky) jsou známa pod názvem *Stipitopteris* (obr. C.10). Vniká do nich jeden cévní svazek podkovovitého průřezu, který je svojí konkávní stranou obrácen k ose kmene a může mít různou měrou podvinuté okraje (Němejc 1963). Vznikající listové jizvy mají na stonku charakteristický tvar a uspořádání, např. rod *Caulopteris* LINDLEY et HUTTON (obr. C.10).



Obr. C.9. Rekonstrukce cévního systému psaroniového stonku (vlevo): listové stopy (lt); transverzální průřez. Převzato ze Stewarta & Rothwella (1993).

Obr. C.10. Prostorový diagram části psaroniového kmene (vpravo): znázornění růstu listových řapíků uspořádaných do typu *Stipitopteris* s charakteristickými listovými jizvami typu *Caulopteris*, převzato ze Stewarta & Rothwella (1993).



Uvnitř silicifikovaného pláště vzdušných kořínků nebo na jeho povrchu se velmi často nacházejí prokřemenělé stonky **epifytických liánovitě popínavých rostlin** z řádu Coenopteridales (Zygopteridales), čeledi Ankyropteridaceae (Clepsidraceae) nebo Tubicaulidaceae (Němejc 1963). Z první uvedené čeledi je velice hojná *Ankyropteris* (STENZEL) P. BERTR. (Němejc 1963), která je často nacházena i spolu s kalamity. Hustý plášť malých vzdušných diarchních kořínků doprovázel změt' vinoucích se lodyžek a přichycoval svými afleboidními lístečky rostlinu k psaroniovému kmeni. Lodyžky byly až 2 cm tlusté a jejich cévní svazek má na průřezu tvar pěticípé hvězdice s poměrně krátkými rameny, popř. je kruhovitý. Xylém je rozlišen na dvě zóny a tvoří ho schodovité tracheidy. U některých druhů bylo dokonce vzácně pozorováno i druhotné dřevo, např. *Ankyropteris corrugata* WILL. (Němejc 1963). Jelikož u psaroniových kořínků druhotné tloušťnutí nikdy nenastává, lze mezi nimi díky tomu velmi dobře odlišit jiný taxon. Nálezy *Ankyropteris brongniartii* REN. jsou přímo popisovány z permu Nové Paky, Autunu ve Francii, Chemnitz v Německu, v uhelných pánvích Anglie a Severní Ameriky. V lýku či jiných částech jsou často k vidění koprolity či chodbičky členovců. Do druhé čeledi patří rod *Tubicaulis* COTTA, konkrétně *Tubicaulis* cf. *berthieri*, doložená např. v materiálu v Chemnitz nebo Autunu. Z pteridosperm stojí za zmínku např. *Callistophyton poroxyloides* DELEVORIAS, taktéž identifikovaná v plášti vzdušných kořenů psaronií z Chemnitz. (Dernbach et al. 2002).

2.1.6 Typ **D** - stonky kaprad'osemenných rostlin (Lyginodendrophyta)

♣ Typ *MEDULLOSA*

Typ stonku: **víc segmentární monostélé**

U zkřemenělých dřev tohoto typu popisujeme zcela ojedinělý typ stéle. Jednalo se o tzv. **manoxylické dřeviny**. Jejich kmeny vykazují poměrně složitou stavbu, zvláště uspořádání vodivé soustavy se **slabým druhotným dřevem a rozvinutou dřeví**, ve které se nacházejí **samostatné segmenty cévních svazků**, které lze použít jako výrazný identifikační znak (Steward & Rothwell 1993), viz níže. Fakticky se nejedná o polystélé, ale o typ **monostélé**, které připomíná eustélé. Kambium obklopuje jednotlivé cévní svazky, resp. vaskulární systém stonku (internetový zdroj č. 3).

Typickým rodem této skupiny nalezaným v Čechách je *Medullosa* COTTA, která je řazena do řádu **Medullosales**, třídy **Lyginodendropsida**. Jednalo se o dřeviny, stromy či poléhavé keře, patřící mezi primitivní nahosemenné (gymnospermické) rostliny. Patřily k nejrozšířenějším kaprad'osemenným v karbonu, ale přežily jen do permu. Některé tvořily součást uhlíkových lesů, jiné obývaly i biotopy se suššími půdami. Od permu se obecně snižovala jejich diverzita, protože se projevovaly adaptace rostlinstva na sušší klimatické podmínky (Kvaček et al. 2006).

Němejc (1968) uvádí, že rod *Medullosa* je některými autory dále dělen na primitivnější rod *Scottiella* SCHUSTER s malým počtem dílčích svazků a pokročilejší *Medullosa* COTTA (v užším smyslu) se složitějšími soustavami svazků. Pro tuto druhou skupinu je typické, že se jejich obvodové svazky navzájem v různé míře spojují v souvislejší válec, kolem kterého se pak tvoří mohutný souvislý pruh druhotného dřeva. Stejně tak i v jiné literatuře (Dernbach et al. 2002, Taylor & Taylor 1993) se dočteme o různých morfologických typech rodu *Medullosa* COTTA, které byly doposud popsány a klasifikovány jako druhy. O některých (např. *Medullosa primaeva* BAXTER, Dernbach et al. 2002) se však již dříve objevovaly jisté spekulace, jelikož klasifikovat druhy medulóz podle přesného počtu cévních svazků na příčném průřezu se ukázalo jako zavádějící. Např. v permokarbonu Brazílie (stát Tocantins) byly nově nalezeny celé dlouhé silicifikované kmeny medulóz a už při jejich předběžném studiu bylo rozpoznáno několik odlišných morfologických typů v rámci jednoho jediného kmene, které byly dodnes v literatuře popisovány jako odlišné druhy (Rößler, ústní sdělení). Dalším podrobnějším výzkumem tak budou dosavadní znalosti sjednoceny a revidovány. Nové poznatky však ještě nemohou být zahrnuty v následujícím textu, neboť výzkum zatím nebyl ukončen a výsledky ještě nebyly publikovány. Následně uvedené klasifikace vychází zejména z Němejce (1968).

Podrobnější anatomická stavba stonku typu *Medullosa*:

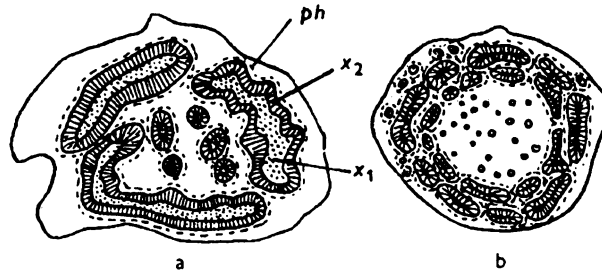
Němejc (1968) uvádí, že geologicky starší druhy mívají malý počet dílčích cévních svazků, druhy mladší, zejména permské, vynikají velmi složitou stavbou (přehled viz tab. D.2). Stavba vodivého pletiva navíc bývá komplikována tím, že se jednotlivé dílčí svazky místy dělí ve větší počet svazků, a to zejména v no-

dech, které se výše (dále nad uzlinami) opět vzájemně spojují (obr. D.1). Při studiu příčných řezů musíme brát tuto skutečnost v úvahu, abychom se vyhnuli zmýlení při určování druhů.



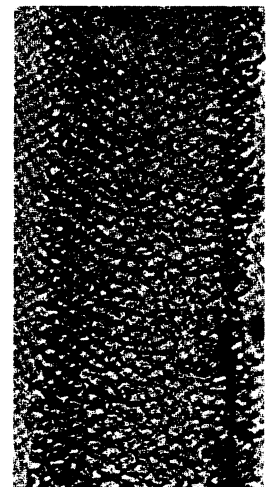
Obr. D.1. Vpravo nahoře: schéma větvení lodyžní stéle v části lodyhy *Medullosa thompsonii* ANDREWS, která byla příčně rozřezána v řadu bloků. Zmenšeno; svrchní karbon v Kansasu (USA). Převzato z Němejce (1968).

Obr. D.2. Níže vpravo: uspořádání stéle ve stoncích (na příčných řezech) progresivnějších druhů rodu *Medullosa* COTTA (nakresleny jsou jen vnitřky stonků bez kůry): a – *M. leucartii* GOEPP. et STENZEL, b – *M. solmsii* SCHENK var. *typica* WEB. et STENZEL. Slabě zmenšeno: primární xylém (x_1), sekundární xylém (x_2), floém (f). Spodní perm v Sasku. Převzato z Němejce (1968).



Každý dílčí cévní svazek, resp. (cévní) vaskulární segment, tvoří tyto části:

- **Válec prvotního dřeva** (primárního xylému), často ze stran deformovaný, prostoupený pruhy **dřeňového parenchymu** s mesarchními nebo exarchními pruhy protoxylému a sekrečními kanálky, a obklopený tlustou vrstvou druhotného dřeva (viz např. obr. D.2, D.4).
- **Sekundární xylém** se skládá z **dvůrkatě tečkovaných cévic** s tečkami v několika řadách (viz obr. D.3) a z četných **dřeňových paprsků** až tři buňky širokých (tzv. **manoxylické dřevo**).
- **Lýko (floém)** obsahuje tubicovitě dlouhé buňky se zřetelnými sítkovými políčky na bočních stěnách (primitivní sítkovice). Lemuje cévní svazky z vnější strany.
- **Základní pletivo**, ve kterém jsou segmenty monostélé.
- **Druhotná kůra (periderm)** se vytváří u některých druhotně tloustnoucích rostlin, může dosahovat značné mocnosti (obr. D. 4).
- **Masivní kůra**, která obsahuje sklerenchymatická vlákna, sekreční kanálky a listové stopy.



Obr D.3. Vpravo: radiální řez tracheidou sekundárního xylému se střídajícími se kruhovitými tečkami na radiální stěně. Svrchní pennsylvan; upraveno ze Stewarta & Rothwella (1993).



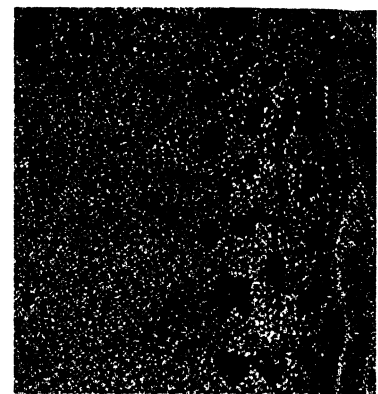
Obr. D.4. Vlevo: příčný průřez stonkem v dolní starší části rostliny *Medullosa noëi* STEIDTMANN. Tři cévní segmenty uprostřed (vs), oddělené základní hmotou parenchymu (gt) a tlustá druhotná kůra (periderm) (p). Svrchní pennsylvan. Převzato ze Stewarta & Rothwella (1993).

Stonky většiny druhů obsahují mimo **hlavní cévní svazky** také ještě uvnitř soustavu tenkých **vedlejších svazků**, které se oddělují od hlavních, na příčném řezu jsou kruhové a mají velmi podobného složení (v anglické literatuře tzv. *star rings*), např. obr. D.2.

Poměrně časté bývají nálezy **silicifikovaných listových řápků medulóz**. Většinou jsou velmi tlusté a stejně jako stonky mají kůru vyztuženou soustavou podélných pruhů mechanického sklerenchymatického pletiva (tzv. sparganová struktura, obr. D.5). Základním parenchymem prochází mnoho kolaterálních cévní svazků, které obsahují dřevo složené z tracheid šroubovitě a schodovitě ztlustlých. Známe je jako *Myeloxylon* BRONGN. (obr. D.5), dříve byly považovány za stonky *Medullosa elegans* COTTA, *Stenzelia* GOEPP., *Myelopteris* REN., *Aulacopteris* GR. EURY, neboť na příčných řezech velmi připomínají stonky jednoděložných rostlin. **Vzdušné (adventivní) kořeny** medulóz, např. u *M. anglica* SCOTT, bývají triarchní, až přes 1 cm tlusté a mají druhotné dřevo a tlustou kůru.



Obr. D. 5. Příčný průřez listovým řápkem *Myeloxylon* BRONGN.
Vlevo: příčný průřez řápkem.
Vpravo: zvětšená část sparganové struktury (černě) s cévními svazky (uprostřed). Svrchní pennsylvan.
Převzato ze Stewarta & Rothwella (1993).



Medulózy se také taxonomicky třídí podle vzhledu druhotného dřeva (viz tab. D.1), které vždy nebývá na všech stranách hlavních cévních svazků stejnoměrně vyvinuté. Velmi často bývá tlustší na vnější straně než na vnitřní, řidčeji i obráceně. Svazky se tak mohou jevit na příčném řezu silně excentrické.

TAXONOMICKÝ TYP	DRUHOTNÉ DŘEVO	VÝSKYT	TAXONY (<i>Medullosa</i> sp.)
endocentrický	mohutněji vyvinuté na straně obrácené ke středu stonků	zejména v karbonu	<i>M. anglica</i> SCOTT, <i>M. a.</i> var. <i>thiessenii</i> SCHOPF, <i>M. a.</i> var. <i>iovensis</i> ANDREWS et KERSEN, <i>M. pusilla</i> SCOTT, <i>M. centrofilis</i> DE FRAINE, <i>M. distelica</i> SCHOPF, <i>M. thompsonii</i> ANDREWS, <i>M. primaeva</i> BAXTER, <i>M. elongata</i> BAXTER, <i>M. endocentrica</i> BAXTER, <i>M. pandurata</i> STEWART, aj. <i>M. leucartii</i> GOEPP. et STENZEL, <i>M. noëi</i> STEIDTMANN, aj.
isocentrický	rovnoměrně vyvinuté	karbon a perm	<i>M. solmsii</i> SCHENK, <i>M. stellata</i> COTTA, <i>M. porosa</i> COTTA, <i>M. gigas</i> REN., aj.
exocentrický	mohutněji vyvinuté na straně obrácené ke kůře	typické hlavně pro perm	

Tab. D.1. Taxonomické třídění medulóz na základě vzhledu druhotného dřeva, upraveno podle Němejce (1968).

TAXON (<i>Medullosa</i> sp.)	POPIS VODIVÉ SOUSTAVY	NALEZIŠTĚ
<i>M. distelica</i> SCHOPF	dva cévní svazky, navzájem se místy spojují	karbon v Sev. Americe, (dolomitické konkrce, stát Illinois, USA)
<i>M. anglica</i> SCOTT	tři hlavní cévní svazky, v korovém pletivu několik vedlejších tenkých svazků, náleží patrně k listům <i>Alethopteris lonchitica</i> SCHL.	starší westphal v Anglii (Lancashire)
<i>M. centrofilis</i> DE FRAINE	čtyři hlavní cévní svazky, jeden tenký vedlejší uprostřed mezi nimi	spodní karbon v Anglii (Lancashire)
<i>M. leucartii</i> GOEPP. et STENZEL	na příčném řezu viditelný kruh hlavních svazků (většinou tři), tangenciálně zploštělých a zprohýbaných, uvnitř menší počet tenkých vedlejších svazků	spodní perm v Sasku
<i>M. solmsii</i> SCHENK var. <i>typica</i> WEBER et STERZEL	na příčném řezu dva soustředné kruhy deskovitě zploštělých hlavních svazků, uvnitř četné tenké vedlejší svazky	perm v Sasku
<i>M. solmsii</i> SCHENK var. <i>lignosa</i> WEBER et STERZEL	vnější kruh hlavních svazků s mohutněji vyvinutým druhotným dřevem na vnější straně, dále je celá tato soustava obklopena několika soustřednými válci dalšího druhotného dřeva, které se vytváří periodicky; silně progresivní typ	perm v Sasku
<i>M. stellata</i> COTTA var. <i>typica</i> WEBER et STERZEL	hlavní cévní svazky splývají v souvislý válec s lýkem na vnitřní i vnější straně a s mohutněji vyvinutým druhotným dřevem na vnější straně než na vnitřní; uvnitř je pak soustava četných tenkých vedlejších svazků	konec stephanu a spodní perm různých evropských oblastí
<i>M. stellata</i> COTTA var. <i>corticata</i> WEBER et STERZEL	válec nebývá zcela souvislý, vedle tenkých svazků majících příčný kruhovitý průřez se uvnitř objevují též zploštělé svazky	konec stephanu a spodní perm různých evropských oblastí
<i>M. stellata</i> COTTA var. <i>gigantea</i> WEBER et STERZEL	(podobná var. <i>typica</i>), vně souvislého válce je vytvořeno několik přírůstků druhotného dřeva s centrifugální orientací, vytváří se periodicky; velmi vývojově pokročilý typ	konec stephanu a spodní perm různých evropských oblastí

Tab. D.2. Známé druhy medulóz, seřazeny od nejjednodušších typů. K obrázkům: sekundární xylém čárkovaně, línie floému přerušovaně; upraveno podle Němejce (1968) a Stewarta & Rothwella (1993).

2.1.7 Typ **E** - stonky jehličnatých rostlin (Pinophyta)

♣ Typ *DADOXYLON*

Typ stonku: **e u s t é l é** s hustým sekundárním (pyknoxylickým) dřevem

Mineralizované části kmenů nahosemenných stromů s hustým dřevem (tzv. **pyknoxylické dřeviny**) jsou velmi hojně nalézány v obou lugsických pánvích (Březinová 1970). Pocházejí zejména z období svrchního karbonu a spodního permu. Označují se pojmem „**araukarity**“. Ze všech výše uvedených skupin právě silicifikované kmeny araukaritů svým vzhledem nejvíce připomínají kmeny recentních stromů. Tvoří **eustélé s druhotným dřevem dadoxylonového typu**, které zaujímá většinu objemu kmene (Kvaček et al. 2000). Lze u něho mikroskopicky pozorovat tracheidy s hustě sestavenými dvůrkatými tečkami (tzv. **araukaroidní tečkování**, obr. E.2B.). Uvnitř eustélé byla vyvinuta mohutná dřev, která se často dochovala v podobě kamenných jader (viz níže).

Typickým představitelem je rod *Cordaites* UNG., což byly mohutné stromy až nižší stromky s chůdovitými kořeny. Patří do třídy **kordaitů (Cordaitopsida)**, řádu **Cordaitales**. Jeho zástupci tvořili součást **uhlotvorných karbonských močálů**, kde svým vzrůstem připomínali dnešní mangrovy, husté porosty dřevin na pobřeží tropických moří (Kvaček et al. 2000). Falcon-Lang (2003) také popisuje suchozemské druhy, které hojně rostly na aluviálních plošinách, tzv. *well-drained plains* (WDP) v tropických podmínkách namuru a westphalu.

Další rod, *Walchia* STERNB., je přiřazován k podobnému typu zkřemenělého dřeva. Patří mezi primitivní **jehličnany** (třída **Pinopsida** či **Coniferopsida**, řád **Voltziales**), a byl typický zejména pro permské období, kde tvořil součást vegetace sušších stanovišť. Jednalo se o menší stromy s pravidelně ploše rozdělenými větvemi vyrůstajícími téměř přeslenitě z kmene. Stromovitým vzrůstem a olistěním připomíná dnešní blahočety (araukárie) (Kvaček et al. 2000).

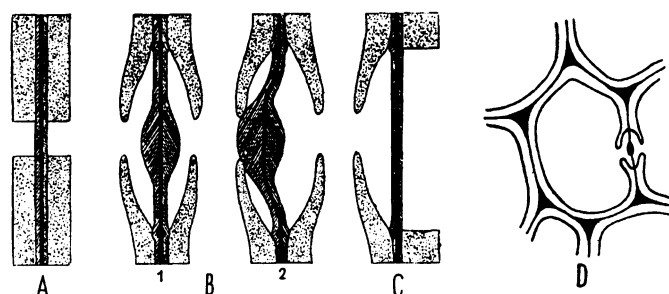
Zástupci obou zde uvedených skupin jeví výrazné tendence k zjednodušování listů (druhotná mikrofylie). Vyskytovali se kosmopolitně od karbonu do permu. Třída Cordaitopsida v permu vymírá, třída Pinopsida (Coniferopsida) se od permu naopak bouřlivě rozvíjí, přičemž se úspěšně přizpůsobuje globální aridizaci klimatu. V mnoha moderních rodech dále přežívá až do současnosti (Kvaček et al. 2000).

Dřevo kordaitů a prvních konifer (jehličnanů) prvohorního stáří se označuje termínem **dřevo typu *Dadoxylon* ENDL.**, dodnes se však diskutuje nad správným používáním tohoto termínu, zejména vzhledem k uvedenému stáří (Stewart & Rothwell 1993). Pro dadoxylonové dřevo se používají i další jména, jako např. *Cordaioxylon* GR. EURY ve vztahu ke kordaitům; *Araucarioxylon* KRAUS ve vztahu k čeledi Araucariaceae; Araucarites a tzv. „**araukarity**“. Např. rod *Cordaioxylon* je jednoznačný pouze v případě, když je s ním na nalezišti zachovaná i dřev *Artisia* STERNB. (Němejc 1963).

Dřevo kordaitů a primitivních konifer, kterým se zabývá tato kapitola, má v mnohém ohledech velmi podobnou stavbu, a liší se mezi sebou jen nepatrně v některých detailech. V porovnání se dřevem progresivnějších typů nahosemenných a krytosemenných dřevin je toto dřevo poněkud jednodušší. Jak již

bylo zmíněno v kap. 2.1.2, jeho studiem se zabývá paleoxylotomie (Wheeler et al. 1986, 1989). Naprostou většinu tkáně xylému tvoří tracheidy, což jsou většinou odumřelé buňky specifického tvaru, které mají funkci mechanickou vodivou. Komunikují mezi sebou pomocí ztenčenin (tzv. jednoduchých teček či dvojteček, viz tab. 1), které jsou výborným identifikačním nástrojem také při studiu permineralizovaných dřev. V naprosté většině případů jsou vyztuženy různě uspořádanými ligninovými strukturami (Stewart & Rothwell 1993). V následujícím textu budou uvedeny hlavní charakteristiky dadoxylonového dřeva kordaitů i primitivních konifer pospolu a zároveň mezi nimi uvedeny jednotlivé rozdíly.

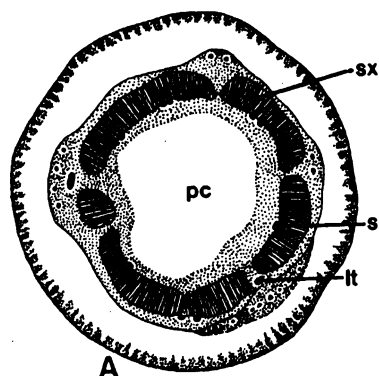
Tracheidy (cévice) zástupců řádu Cordaitales, Voltziales jsou vnitřně spojeny samotnými jednoduchými **tečkami**, anebo páry kruhovitých či oválných teček, tzv. **dvojtečkami (dvůrkatými tečkami)**, obr. E.1) tak, aby byla zajištěna komunikace mezi elementy dřevní stavby a probíhala látková výměna (Balabán 1955). Na tracheidách lze tečky nejlépe vidět z radiální strany (obr. E.2B), stejně jako u ostatních pokročilejších konifer. Hlavní rozdíl vůči nim však spočívá v morfologické stavbě dvojteček, které jsou u těchto primitivních typů buď oválně nebo kruhovitě ztlustlé, více či méně zploštělé. Rozdíly najdeme také v prostorovém uspořádání teček na stěně tracheidy (obr. E.2B). Anatomie teček je podrobněji rozebrána např. v práci Balabána (1955), Stewarta & Rothwella (1993) či internetovém zdroji č. 1.



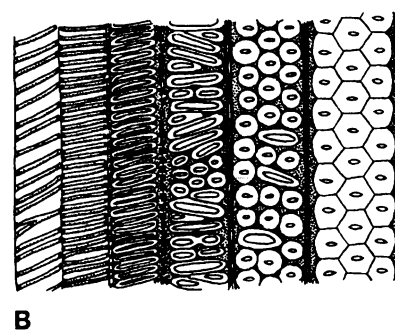
Obr. E.1: Schematické znázornění tečky a dvojtečky: A - jednoduchá tečka ze strany, B₁ - dvojtečka otevřená z obou stran, kruhovitá ztlustlina uprostřed dvojtečky se nazývá torus, B₂ - zavřená dvojtečka s torusem vyklenutým k levé straně, C - poloviční dvojtečka ze strany, D - příčný řez podélnou tracheidou s příčně proříznutou dvojtečkou. Upraveno podle Balabána (1955).

Podrobnější anatomická stavba dřeva typu *Dadoxylon*:

Poměrně tlusté dřeňové válce a dadoxylonový typ dřeva jsou všeobecně považovány za archaický znak, který je připisován gymnospermickým dřevům permokarbonského stáří (Němejc 1968).



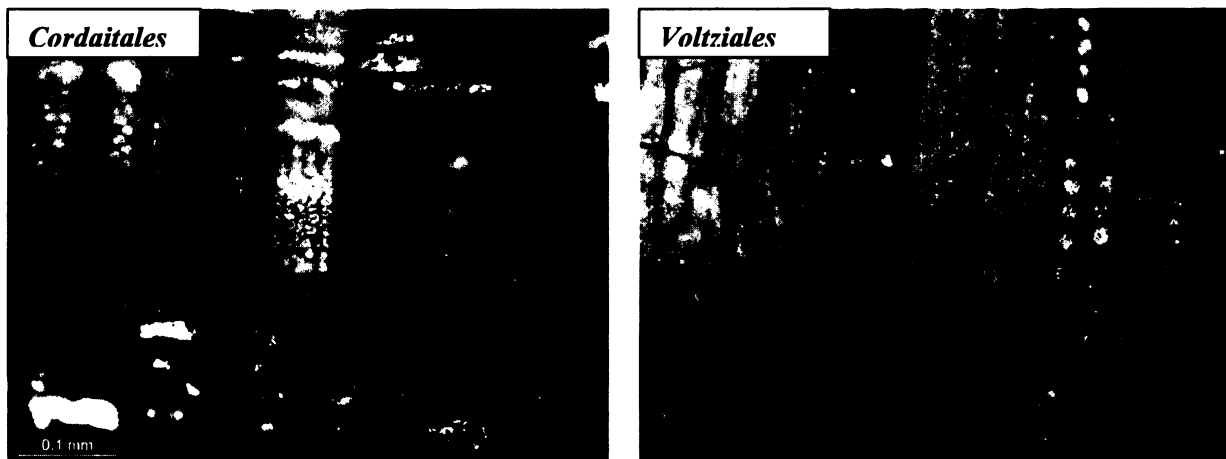
Obr. E.2. Stavba kordaitového dřeva. A - Příčný průřez mladou větví *Cordaitoxylon* GR.'EURY: dřeňová dutina (pc), sekundární xylém (sx), primární cévní svazek (s), listová stopa (lt); pennsylvan. B - Radiální řez kmenem kordaitů od centrální dřeně směrem ke kůře (zleva doprava): šroubovitě a kruhovitě ztlustlý protoxylém, schodovitě ztlustlý a přechodně dvůrkatý metaxylém a tečkované tracheidy sekundárního xylému s hustě sestavenými dvůrky ve více řadách (tzv. araukaroidní tečkování); karbon; upraveno podle Stewarta & Rothwella (1993).



Pro lepší názornost jsou hlavní anatomické znaky sestaveny do následující tabulky:

ANATOMICKÉ ČÁSTI OD CENTRA K OKRAJI KMENE (k obr. E.2A i B)	KORDAITY (Cordaitales)	PRIMITIVNÍ JEHLIČNANY (Voltziales)
mohutná dřev	objemná, přehrádkovaná bez sklerenchymatických plátů zkamenělá jako <i>Artisia</i> STERNB. (obr. E.4)	také poměrně objemná, často v pravidelných úsecích zduřelá (podélně rýhovaná), se sklerenchymatickými pláty, mohou v ní být pryskyřičné kanálky např. kamenná jádra <i>Schizodendron</i> EICHW.
tenká vrstva endarchního protoxylému	hladký přechod xylému z dutiny tracheidy šroubovitě ztlustlé (obr. E.2B vlevo)	
tenká vrstva centrifugálního metaxylému (obr. E.2B)	tracheidy schodovitě ztlustlé postupným tvořením šikmých příček přecházejí v tracheidy síťovitě ztlustlé tracheidy s dvůrkatými tečkami metaxylém tak zvolna přechází ve druhotné dřevo	
sekundární xylém (druhotné dřevo) hustého pyknoxylického typu (obr. E.3)	dvůrkaté tracheidy s drobnými tečkami (bez torů a krasul) tečky sestaveny velmi hustě, obvykle v několika podélných střídavých řadách jsou na sebe vzájemným tlakem smáčknuté do podoby šestibokých políček (obr. E.2B vpravo)	tracheidy mají jen jednu až tři podélné řady dvůrkatých teček dvojtečky jsou spíše kulaté (obr. E.3 vpravo)
dřevní parenchym a	tzv. „araukaroidní tečkování“ nemá typicky vyvinuté letokruhy ani pryskyřičné kanálky chybí, nebo je jen slabě vyvinutý a rozprostřený ve všech částech růstového válce v radiálním řezu se buňky dřevního parenchymu vyskytují v dlouhých podélných řadách, jako u ostatních konifer	
dřeňové paprsky	obvykle jednu buňku (či dvě) široký paprsek a cca 40 až 50 buněk vysoký radiální stěny s 1 až 15 tečkami, tangenciální a horizontální stěny hladké	
kůra	ve vnitřní části často sekreční kanálky ve vnější části vedle kanálků také pruhy sklerenchymatického pletiva v kůře starších větví a kmenů bývají často také pruhy tracheid	?
listové stopy	vždy dvojité	jednoduché

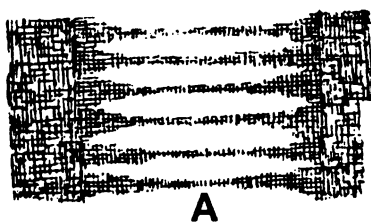
Tab. E.1. Podrobná charakteristika anatomických znaků dadoxylonového dřeva zástupců řádů Cordaitales a Voltziales, sestaveno z různých zdrojů (Němejc 1968, Stewart & Rothwell 1993, Dernbach et al. 2002, R. Rößler – ústní sdělení).



Obr. E.3: Příklady sekundárního xylému dadoxylonového dřeva. Vlevo: typické araukaroidní tečkování kordaitového dřeva - dvůrkaté tracheidy s hustě sestavenými šestibokými tečkami v několika podélných střídavých řadách, patrné paprsky dřevního parenchymu (radiální řez). Vpravo: radiální průřez dřevem primitivních konifer (zleva doprava) od dutiny přes protoxylém, metaxylém až k sekundárnímu xylému s tracheidami, které mají dvůrkaté tečky uspořádané v jedné, maximálně dvou řadách (srovnej s obr. E.2B); značně zvětšeno; upraveno z mikrofotografií kordaitů a primitivních konifer ze zdrojů R. Rößlera.

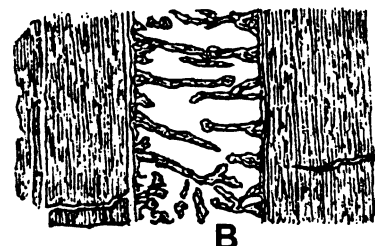
Stewart & Rothwell (1993) uvádí, že dřevo **dadoxylon-araucarioxylonového** typu je jedno z mnoha skupin koniferových dřev, které se dnes vyskytuje jen u rodu *Araucaria* JUSS. a *Agathis* SALISB., a jeho uvedené charakteristiky odpovídají těm sestaveným výše v tab. E.1. Je vlastně správné jméno *Dadoxylon* ENDL. spojovat pouze s paleozoickými kordaity a primitivními koniferami, zatímco *Araucarioxylon* KRAUS připisovat mezozoickým dřevům, které mají dadoxylonové znaky, např. permínalizované kmeny z triasu v Petrified Forest v Arizoně (National Monument, Chinle Formation), či jurský *Pentoxylon sahnii* SRIVASTAVA? Nebo bychom snad měli používat platnou formu rodu *Dadoxylon* ENDL. pro všechna dřeva araukariového typu nezávisle na čase? Podle autorů je tato otázka stále nezodpovězena, ačkoli jí věnovala pozornost řada vědců.

Mimo silicifikované kmeny kordaitů a primitivních konifer se vzácněji také dochovaly permínalizované kusy jejich kořenů, větví, či jádra dutin, která vznikla rozrušením dřevě. Bývají velice dobrým nástrojem pro bližší identifikaci nalezených dřev v permokarbonských uloženinách (Němejce 1968). Tak např. dřevě typu *Artisia* STERNB. s typickou přehrádkovitou stavbou (obr. E.4) patří k „araukaritům“ kordaitového původu, nikoliv ke koniferám. K těm se zase naopak přisuzuje tzv. *Schizodendron* EICHW. (či *Angiodendron* EICHW., *Tylodendron* WEISS) s typickými sklerenchymatickými pláty. Jsou to válcovité, často i přes 3 cm tlusté útvary, které jsou pravidelně, asi ve 30 cm vzdálenostech, silně zduřelé. Jejich povrch je rozbrázděn kosočtverečnými políčky. Patří zejména k zástupcům čeledi Lebachiaceae, podřádu Voltziineae. Objevují se v mladším stephanu a permu, popsány byly např. z Chemnitz (Dernbach et al. 2002).



A

Obr. E.4. Cordaites - *Artisia* STERNB., podélné řezy dřevním válcem stonků s naznačenou dřevňovou dutinou (upraveno podle Němejce 1968): A) *Cordaites brandlingii* LINDL. et HUTT., mladý stonek, zvětšeno, Dudley (Anglie). B) *C. transversa* ARNOLD, starší stav stonku, zmenšeno, severoamerický svrchní karbon.



B

Permineralizované kořeny kordaitů jsou známe pod jmény *Amyelon* WILL. nebo *Rhizocordaites* GR.'EURY. O těchto bohatě větvených kořenech rostoucích na bažinatých půdách svědčily jejich větve, jež se nacházely vodorovně rozložené v podkladu (Němejc 1968). Také podle nich lze usuzovat na mangrovový typ prostředí, ve kterém pravděpodobně kordaity rostly. Podrobným studiem anatomických struktur těchto kořenů se zabýval zejména Cridland (1964) in Stewart & Rothwell (1993).

V následující tabulce jsou uvedeny základní charakteristiky kordaitových kořenů, které byly sestaveny zejména ze zdrojů Němejce (1968), Stewarta & Rothwella (1993) a Dernbacha et al. (2002), srov. s tabulkou E.1.

ANATOMICKÉ ČÁSTI OD CENTRA K OKRAJI	<i>Amyelon</i> WILL.
dřeň	slabě vyvinutá
protoxylém	2 až 4 svazky protoxylému, který je tvořen šroubovitě ztlustlými tracheidami tvoří centrální exarchní aktinostélé diarchního až pentarchního typu, poměrně tenké ve stáří sotva patrné
metaxylém	schodovitě ztlustlé tracheidy
sekundární xylém	tvoří mohutný válec stejný jako u stonku
kůra	poměrně tlustá (periderm), rozlišená ve dvě vrstvy vnitřní: z tenkostěnného parenchymu (někdy s houbovými vlákny – mykorrhiza) vnější: korkové buňky s aerenchymem a lenticelami

Tab. E.2. Podrobná charakteristika anatomických znaků kordaitových kořenů *Amyelon* WILL., sestaveno z různých zdrojů (Němejc 1968, Stewart & Rothwell 1993, Dernbach et al. 2002).

2.2 Mechanismy silicifikace rostlinného materiálu

2.2.1 Petrifikace

Petrifikace, tzv. zkamenění (z lat. *petra* = kámen), je obecný termín týkající se fosilizace neboli přeměny živého organismu ve fosílii, či procesu vedoucího k zachování odumřelého organismu v podobě tvrdého kamene (Pokorný et al. 1992, Petránek 1993). Tento termín byl v minulosti často zaměňován s lithifikací, silicifikací, karbonatizací, mineralizací, permineralizací, atd. a mnoha autory v tomto směru nesprávně a nejednotně používán v literatuře (Weibel 1996).

Fosilizační proces vedoucí k petrifikaci ve smyslu vzniku tzv. pravých zkamenělin, které mají pro paleobotanický výzkum obrovský význam (Pokorný et al. 1992), může probíhat dvěma podstatně odlišnými způsoby, a to **karbonizací (zuhelnatěním)**, nebo **permineralizací (intuskrustací)** (Březinová 1970). Karbonizací vznikají během humifikačních stadií v anaerobním prostředí zuhelnatělá (karbonizovaná) dřeva; ta netvoří náplň této práce. Permineralizace neboli intuskrustace zachovává dřeva prostoupením jejich pletiv vodnými roztoky různých minerálních látek (Fengel 1991, Siurek et al. 2004, Nowak et al. 2005). Stručný přehled těchto látek, mezi které patří křemitá hmota (opál, rohovec, křemen a jeho odrůdy včetně chalcedonu), dále pak dolomit, vápenec, limonit, pyrit, sulfid (zvláště Cu), halit (kamenná sůl) a vzácně i zeolit (silikáty), podala Březinová (1970) a znovu uvedla Matysová (2004). Siurek et al. (2004) a Nowak et al. (2005) k výše uvedeným uvádějí také goethit a fosforečnan vápenatý, přičemž Nowak et al. (2005) z fosfátů jmenuje konkrétně apatit a frankolit, dále pak laumontit, sapperit, sfalerit a dokonce i smolinec a coffinit.

Permineralizace je tedy širší termín, který zahrnuje především **kalcifikaci, fosfatizaci a silicifikaci**, jež se od sebe liší minerální hmotou, v tomto případě CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a SiO_2 , která prostupuje původní rostlinnou tkáň. Mechanismy samotné permineralizace jsou mnohdy nejasné nebo neznámé, a často se v jejich souvislosti jen vágně mluví o impregnaci odumřelého organismu roztoky, k čemuž jsou zapotřebí specifické podmínky prostředí, jako např. dostupnost vody a minerálů, fyzikální a chemický charakter sedimentů, teplota, tlak, aktivita fluid a v neposlední řadě samotný rostlinný organismus (Ash 1998, Matysová 2004). Toto všechno však samo o sobě plyne již z pouhého faktu kompletní fosilizace celých orgánů rostlin či jejich částí z různých dávných období fanerozoika. Paleobotanika tyto zkamenělé fosílie potom označuje jako tzv. morfotaxyony, a to většinou zcela jinými „rodovými a druhovými“ jmény než příbuzné otisky či výlitky původně pocházející z jednoho rostlinného organismu, a mimo jiné je tímto od jejich alternativ odlišuje (Matysová 2004).

Fosfatizace je poměrně vzácná. Mnohem častěji je popisována kalcifikace, a to nejen v souvislosti s legendárními kalcitovými konkrkami zvanými *coal balls* ze spodního pennsylvanu Anglie, Holandska, Německa, Uralu v Rusku, USA či spodního i svrchního permu Číny (Dernbach et al. 2002). Jedná se o naprosto unikátní fosílie, kde se kalcifikací dochovaly celé ekosystémy s orgány, pyly a sporama plavuňovitých, přesličkovitých, kapradinovitých a kaprad'osemenných rostlin a také zástupců prvních nahosemenných, kordaitů. Kromě nich se např. z permu také dochovalo značné množství kalcifikovaných

dřev dadoxylonového typu v Novém Skotsku v Kanadě (Falcon-Lang & Scott 2000, Falcon-Lang 2003, Falcon-Lang & Bashforth 2004). K permineralizaci pomocí CaCO_3 v tomto případě došlo v říčních konglomerátech, píscích a štěrcích a subarkózových pískovcích. Klima v dané oblasti bylo sezónně aridní: v profilech se hojně nacházejí i kalcitové konkrece, což znamenalo vysokou koncentraci CaCO_3 v půdním roztoku.

Jak ale uvádí Fengel (1991), silicifikace je obecně považována za nejběžnější a také k nejtrvalejším fosiliím vedoucí proces. I přesto, že se studiem silicifikace rostlinných pletiv zabývala a stále zabývá řada autorů, jako např. Drum (1968), Leo & Barghoorn (1976), Sigleo (1978), Hesse (1989), Weibel (1996), Channing & Edwards (2004), Siurek et al. (2004), je kolem jejího průběhu stále mnoho spekulací (Witke et al. 2004).

2.2.2 Mechanismy silicifikace

Mechanismy silicifikace můžeme rozdělit do dvou základních typů.

- Obecně známější je **vypadávání masivního SiO_2** ve formě **opálu $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$** , **moganitu** aj. metastabilních fází **z roztoků H_4SiO_4 silně přesycených** vzhledem ke stabilním formám SiO_2 . Taková silicifikace je velice intenzivní a vede např. ke vzniku rohovců (Umeda 2003), silkret a pazourků (Hesse 1989), silicifikovaných sedimentů nebo křemitých tmelů v pískovcích či jílovcích. Zdroj H_4SiO_4 musí v tomto případě být rychlý a masivní (např. biogenní opál, Hesse 1989), a vypadávání SiO_2 je závislé na kolísání rozpustnosti H_4SiO_4 související s kolísáním salinity nebo pH vody (Hesse 1989, Umeda 2003 a reference v něm), což je případ např. jezerních rohovců. Hnací silou pro vypadávání SiO_2 může být i prostý odpar vody v aridních oblastech, které vede k přesycení roztoku vůči opálu, což je případ např. silkret.
- Mnohem specifitější je **prokřeňování rostlinných pletiv. SiO_2 přednostně impregnuje rostlinné tkáně, hlavně buněčné stěny.** SiO_2 může vypadávat i z poměrně zředěných roztoků H_4SiO_4 , protože křemičitá kyselina se patrně specificky sorbuje na povrch buněčných stěn až za vzniku jejich anorganických replik (Drum 1968, Leo & Barghoorn 1976, Karowe & Jefferson 1987 a další reference v nich). Že se jedná o **specifický proces, "katalyzovaný" buněčnými stěnami**, dokládá obvyklá absence silicifikace okolní horniny, což je často nezpevněný pískovec, obklopující kompletně silicifikované dřevo (viz např. pozorování v práci Cúneo et al. 2003 nebo pozorování z žaltmanských arkóz). Hnací silou vypadávání SiO_2 je tedy **specifický vliv celulózy nebo ligninu buněčných stěn** (Sigleo 1978). I podrobné petrografické studium miocenního petrifikovaného dřeva (Weibel 1996) prokázalo, že první se silicifikují buněčné stěny a teprve pak následují vnitřky buněk. Hnací silou tohoto procesu může být snížená energie potřebná k nukleaci nebo sorpční akumulaci SiO_2 z nepříliš koncentrovaných roztoků H_4SiO_4 na buněčných stěnách.

2.2.3 Geochemie SiO₂ a zvětrávací procesy

Chceme-li studovat vznik, chování a přeměny jednotlivých forem SiO₂ v průběhu silicifikace pohřbených rostlin, musíme nutně znát nejdůležitější geochemická fakta, která se SiO₂ v exogenním prostředí týkají a přicházejí při silicifikaci odumřelých organismů zanořených v určitém sedimentu v úvalu.

SiO₂ se v přírodě vyskytuje v pevné fázi v mnoha krystalických modifikacích (viz kap. 2.3), v pravém roztoku jako molekulová forma, monomerní kyselina tetrahydrogenkřemičitá (H₄SiO₄⁰) (rovnice 1), nebo v koloidním stavu jako „zpolymerovaná“ kyselina křemičitá, tj. asi ve formě polykřemičitých kyselin.



Krystalický křemen má při 25°C součin rozpustnosti $K_{\text{sp}} = 10^{-3,7}$, zatímco amorfni SiO₂ ho má při stejné teplotě až o jeden řád vyšší, $K_{\text{sp}} = 10^{-2,71}$. Amorfni forma SiO₂ se tedy vyznačuje znatelně vyšší rozpustností než krystalický minerál SiO₂. Jelikož některé další horninotvorné minerály mají ještě vyšší rozpustnost než velice stálý a odolný křemen, stávají se tyto minerály v přírodě mnohem častějším zdrojem SiO₂ pro mineralizaci. Tato rozpustnost roste zhruba v opačném směru než stabilita těchto minerálů při zvětrávání (viz obr. 3). V exogenním prostředí se Si uvolňuje do roztoku např. při zvětrávání silikátů, a to jako nejstabilnější forma kyseliny křemičité, H₄SiO₄⁰. Rozpouštění SiO₂ ovlivněné zejména hydratační reakcí (1), je závislé především na pH. Jak vyplývá z obecně známých stabilitních diagramů SiO₂ ve vodném roztoku, při nízkém pH se rozpouští jen malé množství SiO₂, zatímco při pH ≥ 9 se jeho rozpustnost dramaticky zvětšuje a nastává slabá disociace kyseliny křemičité. Tyto jevy se navíc umocňují se zvyšující se teplotou. Kyselina křemičitá H₄SiO₄⁰ je slabá kyselina, která ve vodném roztoku podléhá disociaci (rovnice 2 a 3), a to v přímém vztahu k pH roztoku a jeho teplotě. Její první disociační konstanta (K₁) má při 25°C nejvyšší hodnotu $K_1 = 10^{-9,82}$ a druhá (K₂) je již mnohem menší $K_2 = 10^{-13,10}$. Celková koncentrace rozpuštěného SiO₂ je potom suma H₄SiO₄⁰, H₃SiO₄⁻ a H₂SiO₄²⁻. K disociaci kyseliny křemičité dochází často ve vodách s vysokým pH, které vznikají např. při zvětrávání ultrabazických hornin.



K popisu reálného chování iontů (látek), v tomto případě H₄SiO₄⁰, v roztoku se používá rovnice pro výpočet aktivity látky *i* (a_{*i*}), což je bezrozměrná veličina, která se vyjadřuje jako součin aktivitního koeficientu látky *i* (γ_{*i*}) a její hmotnostní koncentrace (m_{*i*}) (rovnice 4).

$$a_i = \gamma_i m_i \quad (4)$$

Jelikož je H₄SiO₄⁰ slabá nenabitá kyselina v molekulové formě, používá se pro výpočet jejího γ_{*i*} **Setchenovy rovnice** (5), přičemž K_{*i*} je konstanta, tabelovaná pro každou látku při teplotě 25°C (pro H₄SiO₄⁰ má hodnotu 0,0803) a *I* je iontová síla roztoku.

$$\log \gamma_i = K_i I \quad (5)$$

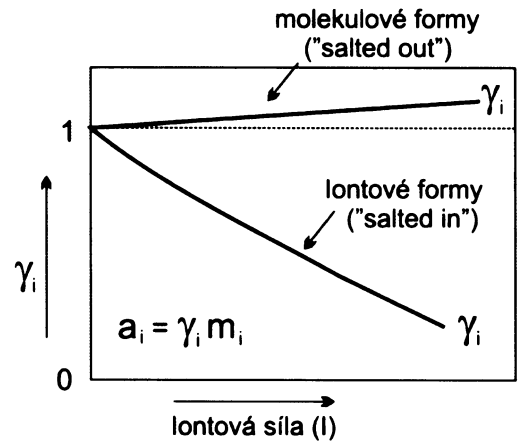
V tomto případě je hodnota γ pro H₄SiO₄⁰ vyšší než 1. Vlivem solí pak dochází k tzv. vysolovacímu efektu („salted out“, viz obr. 2), kdy s rostoucí *I* roztoku se zvyšuje γ kyseliny křemičité a tím se snižuje

její koncentrace m . Nenabité molekuly jsou tedy při vyšší iontové síle méně rozpustné. Vliv vysolovacího efektu často nastává v mořském nebo silně halinním jezerním prostředí.

Při zvětrávání hornin v exogenním geochemickém cyklu, se hornina rozpadá vlivem fyzikálních a/nebo chemických procesů na jemnozrné částice (půda, sedimenty) a roztoky, s rychlostí závislou na minerálním složení horniny. Goldich ve 40. letech 20. století (Bouška et al. 1980) sestavil zvětrávací schéma hlavních horninotvorných minerálů (viz obr. 3). Jak plyne ze sestavené posloupné řady, nejméně odolné minerály vůči zvětrávání jsou olivín a Ca-Na živce z izomorfní řady plagioklasů a nejvíce odolný je křemen.

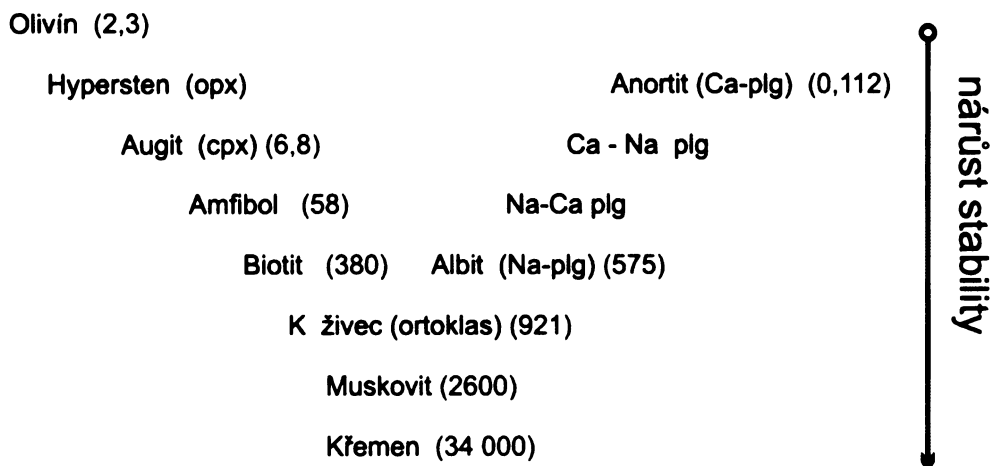
Relativní odolnost minerálů při zvětrávání může být dále vyjádřena touto řadou (od minerálu s největší k minerálu s nejmenší odolností): zirkon > turmalín > monazit > granát > biotit (z kyselých granitů) > apatit > ilmenit > magnetit > staurolit > kyanit > epidot > amfibol > andaluzit > topaz > titanit > zoisit > augit > sillimanit > hypersten > biotit (z nestabilních alkalických hornin) > olivín.

Při zvětrávání vzniká několik typů produktů, jednak jsou to rozpustné formy, obvykle vynesené ze zvětrávací zóny, jako např. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , ale někdy i H_4SiO_4 , dále reziduální primární minerály jako je např. křemen, zirkon, granát, a významný je i podíl nově vzniklých stabilních minerálních fází, jako jsou např. kaolinit, montmorillonit, illit, chlorit, hematit (Fe_2O_3), goethit ($\alpha\text{-FeOOH}$), gibbsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), böhmit a diaspor (AlOOH), amorfni SiO_2 a pyroluzit (MnO_2).



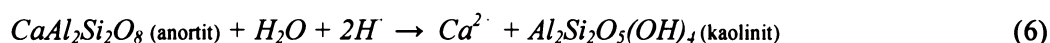
Obr. 2. Závislost aktivních koeficientů látek na iontové síle roztoku. Kyselina křemičitá patří mezi molekulové formy, které mají $\gamma_i > 1$.

GOLDICHOVO ZVĚTRÁVACÍ SCHÉMA (1938)

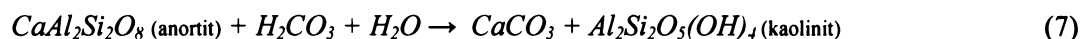


Obr. 3. Vzárust stability minerálů za stejných podmínek zvětrávání v exogenním prostředí, doba setrvání běžných horninotvorných minerálů v podmínkách zemského povrchu je uvedena červeně (v tisících let); podle Goldicha (1938).

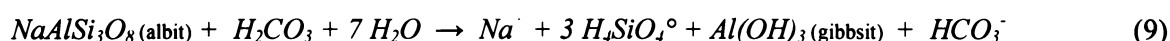
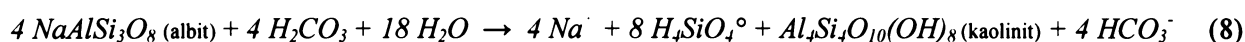
Při vzniku kyseliny křemičité v průběhu zvětrávání se uplatňují zejména reakce nekongruentního typu, jako je např. **hydrolyza alumosilikátů**, kdy novotvořenými produkty jsou často oxidy Al či Fe a jílové minerály. Např. Umeda (2003) považuje za zdroj SiO₂ zvětrávání vulkanických hornin. Při zvětrávání vápenatého živce (**anortit**) podle rovnice (6) vzniká vedle kyseliny křemičité i **kaolinit**.



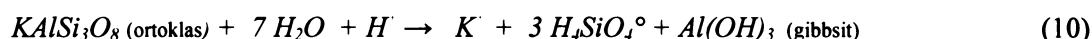
Anortit může ale také reagovat v přítomnosti CO₂ podle rovnice (7).



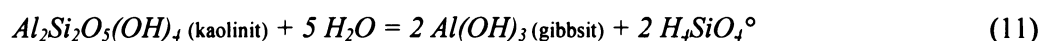
Podobně se může nekongruentně rozpouštět za vzniku kaolinitu i sodný živec (**albit**) (rovnice 8), v kyselém uhlíčanovém prostředí se z něj ale přednostně sráží **gibbsit** (rovnice 9). Plagioklasy tedy do roztoku uvolňují Ca²⁺, Na⁺ a H₄SiO₄⁰ (aq) a vzniká gibbsit a kaolinit, atd.



Prvním produktem při zvětrávání K-živce (**ortoklas**) je gibbsit, do roztoku se uvolňuje K⁺ a kyselina křemičitá a spotřebovává se H⁺ (10).



Z živce uvolněný gibbsit a kyselina křemičitá spolu dále reagují na nejprve amorfní alumosilikáty a nakonec až např. na kaolinit. Nowak et al. (2005) uvádí jako možný zdroj SiO₂ rovnici zvětrávání K-živce rovnou na kaolinit. Pomineme-li chování Si v mořském prostředí, pak nahromadění SiO₂ ve svrchním půdním horizontu při evaporaci v horkém, např. tropickém klimatu, může být i výsledkem rozpouštění kaolinitu (rovnice 11), což může mít dlouhodobý vliv na snížení koncentrace Si v půdní vodě. Kaolinit je avšak přibližně o jeden řád stabilnější než oxyhydroxidy Al.



Velmi časté je také **zvětrávání slídků**, a to zejména **biotitu**, jak vyplývá z obr. 3. Biotit s přibližným vzorcem K(Mg,Fe²⁺)₃[AlSi₃O₁₀(OH,F)₂] (internetový zdroj č. 4) se jednak rozpouští a jednak postupně přechází na expandabilní **jílové minerály** (vermikulit, smektity). Ty jsou dále hydrolyticky nestabilní a tak se buď dále rozpouští anebo přechází na kaolinit. Do roztoku se přitom uvolňují hlavně K⁺, Mg²⁺, Fe^{2+/3+} (podle redoxních podmínek) a H₄SiO₄⁰. Vliv oxidačních či redukčních podmínek na formu výskytu Fe při zvětrávání také uvádí Nowak et al. (2005).

Jak plyne z výše uvedeného, silicifikace může být důsledkem zvětrávacích procesů včetně intenzivní pedogeneze, a proto při jejím studiu musíme brát v úvahu nejen vlastnosti a chování samotného SiO₂ či rostlinných pletiv, ale i vlastnosti celého prostředí, tj. především geologie, geochemie, petrologie a klimatu, ve kterém permineralizované fosílie vznikaly.

2.2.4 Krystalizace SiO₂

Ačkoli tato možnost nebyla dříve považována za pravděpodobnou, za určitých okolností může z roztoku H₄SiO₄ vypadávat **přímo chalcedon a/nebo křemen** (obrácením rovnice 1 doleva), nikoli metastabilní meziproducty, jako je opál a amorfní SiO₂. Přímá krystalizace stabilních forem **může nastávat při nízké koncentraci H₄SiO₄**, tj. **při koncentraci pod součinem rozpustnosti amorfních forem**, a v přítomnosti

organické hmoty (Heaney 1993, Umeda 2003), která snižuje pH svého nejbližšího okolí. To by vysvětlovalo, proč se při kompletní silicifikaci často dochová velmi dobře vnitřní stavba rostlinných pletiv. Při rekrystalizaci amorfních forem SiO_2 by totiž docházelo Ostwaldovým zráním ke značné objemové kontrakci a vzniku trhlin. Křemen je přitom jedinou krystalovou formou ve starých silicifikovaných dřevěch ze svrchního paleozoika (Sigleo 1978, Weibel 1996). Je sice otázka, zda by opál od permokarbonu nebo triasu vydržel nezkrytalovaný na termodynamicky stabilní formu, tj. křemen. Ale jak uvádí Moxon (2002), velikost částic křemene v podobně starých achátech, které pravděpodobně vznikaly Ostwaldovým zráním z metastabilních forem, je nesrovnatelně menší, tj. pod $1\ \mu\text{m}$. Tyto krystaly jsou tedy o dva až tři řády menší než v silicifikovaných dřevěch, kde se běžně vyskytují krystaly křemene, vyplňující celé buňky (Weibel 1996).

2.2.5 Příklady silicifikace dřev

První úspěšné **laboratorní pokusy** o silicifikaci rostlin prováděl Drum (1968), a to s úlomky větviček bříz druhu *Betula papyrifera*, které ponořoval do velmi koncentrovaného roztoku křemičitanu sodného (Na_2SiO_4), tzv. vodního skla. Ke vzniku křemitých replik rostlinných pletiv došlo po 12-24 hodinách impregnace při pokojové teplotě. Opálová forma SiO_2 se vysrážela z roztoku na vnitřním povrchu buněčných stěn různé velikosti. Zbylá organická hmota byla následně odstraněna oxidací H_2CrO_4 , křemité repliky pouhlikovány a pozorovány pod elektronovým mikroskopem. Tato metoda tak poskytla na konci 70. let minulého století neobvyklý trojdimenzionální pohled do buněčných prostor dřevní tkáně. Práce Druma (1968) představovala průlom ve způsobu studia silicifikace rostlinných pletiv v laboratorních podmínkách a stala se odrazovým můstkem pro řadu dalších výzkumů, a to nejen v oblasti silicifikace rostlinných pletiv ale i současných nanotechnologií.

Leo & Barghoorn (1976) se zase o silicifikaci dřeva pokoušeli tetraethoxysilanem, přičemž tvrdili, že silicifikace probíhá od opálu-A, přes opál-CT až ke křemeni, a že po silicifikaci buněčných stěn SiO_2 vyplňuje i vnitřky buněk. Přestože tyto experimenty probíhaly za umělých podmínek v laboratoři, byly pomocí nich získány křemité textury velice podobné těm, které se nalézají ve dřevěch silicifikovaných v přírodě.

Studiem **silicifikace v prostředí horkých minerálních pramenů** se zabývali Channing & Edwards (2003) a Akahane et al. (2004). Channing & Edwards (2003) prováděli pokusy v hydrotermálním prostředí gejzírového jezírka Medusa Geyser (Norris Geyser Basin) v Národním Parku Yellowstone (USA). Čerstvé, z blízkého okolí nasbírané rostliny druhu *Eleocharis rostellata* a *E. flavescens* (morfologicky podobné taxonu Rhytie) i s jejich kořenovými systémy, byly horizontálně položeny na dno okraje gejzírového jezírka a vystaveny po 30 a/nebo 330 dnů periodickému působení **alkalických horkých fluid gejzírového pramene**. V jezírku o rozměru cca 3-5 m, obklopeném asi 5 metrů dlouhou krustou sintru, dosahují teploty běžně 360°C a kolísají až pod 80°C , čímž dochází k ohromnému přesycení alkalického chloridového roztoku solvatovanou kyselinou tetrahydrogenkřemičitou (**338 až 348 mg/kg**) a také dochází díky vysokým teplotám k odumření rostlinné tkáně. Po skončení experimentu byly

ze vzorků zhotoveny příčné řezy a studovány pomocí SEM a TEM, plošně analyzovány EDX a WDX a minerální fáze v nich obsažené určovány pomocí XRD. Autoři podrobně popsali a porovnali průběh silicifikace ve vzorcích z kratšího i delšího experimentu, ve kterých detekovali opál-A. Tato amorfní fáze SiO_2 se objevuje uvnitř buněk, v buněčných stěnách i v mezibuněčných prostorech, a to v podobě různě velikých (nano-/mikro-) kuliček a jejich agregátů. Ze zjištěných dat se autoři pokusili odhadnout průběh silicifikace, který rozdělili na několik stádií, a to fázi nukleace, fázi polymerizace (ve smyslu růstu nano- a mikrokuliček a tvorby gelu), fázi destrukce gelu a usazování mikrokuliček a fázi koalescence/cementace (spojování/stmelování) mikrokuliček. Podobné kuličky opálu se vyskytují i v přírodních opálech (Flörke et al. 1991, Moxon 2002, Akahane et al. 2004).

Velmi podobné, ale podstatně déletrvající experimenty prováděli Akahane et al. (2004) v jezírku Tateyamského horkého pramene v prefektuře Toyama ve středním Japonsku. Toto jezírko vulkanického původu o průměru cca 30 m, známé pod jménem „Shin-yu“, je vlastně pozůstatý kráter po explozivní činnosti sopky Tateyama, která produkovala andezitové, dacitové lávy a pyroklastické horniny. V současnosti je tato vulkanická oblast v období relativního klidu, pouze s postvulkanickými výrony horkých pramenů a par. Čerstvé kousky olšového dřeva druhu *Alnus pendula* MATSUMURA byly před 16 a 15 lety (v r. 1990 a 1991) ponořeny na dobu cca 7 let do proudu **kyselého horkého pramene o teplotě 50 až 52°C, pH 2,95 až 3** a s velmi vysokou koncentrací H_4SiO_4 dosahující **323,2 až 378 mg/l**. Vzorky byly z pramene odebírány postupně, a to po 1, 2, 4, 5 a 7 letech. Pomocí XRD v nich autoři detekovali opál-A. Dále byla provedena rentgenová fluorescence, zobrazení SEM a stanovení ^{14}C . Fragменты dřeva byly z 0,7 %, 2,9 %, 10,7 %, 26,8 %, 38,1 % a po 7 letech téměř z 40 hmotnostních % silicifikovány kuličkami opálu-A. Autoři porovnávali mezi sebou nejen výsledky z těchto různě dlouhých experimentů, ale i srovnávali data, která získali stejnými analýzami z podobných, v okolní přírodě přirozeně silicifikovaných olší rodu *Alnus* (z ostrova Noto ve středním Japonsku, miocén). Získali velmi podobné výsledky, jako v případě prvně uvedeného alkalického pramene. Všichni výše uvedení autoři tedy došli k závěru, že takováto permíneralizace v příhodných podmínkách horkých pramenů nastává během cca desítek až stovek let a jejím meziproduktem jsou několikamikrometrové kuličky amorfního SiO_2 , které postupně vyplňují buněčné prostory a brání jejich mechanickému zborcení. Porovnáme-li toto zjištění s Moxonovým tvrzením (2002), že při vzniku achátů se vylučuje SiO_2 z gelu či roztoku kyseliny křemičité, mohlo by se i zde jednat o podobný mechanismus (Moxon 2002). Jedná se ale o naprosto odlišné podmínky silicifikace, kde jsou v prostředí hydrotermálních pramenů roztoky přesyceny opálem-A, narozdíl od prostředí zvodnělých vulkanoklastických sedimentů, kde jsou roztoky naopak podsycené vůči křemenu (Leo & Barghoorn 1976).

Velmi inspirativní ke studiu mechanismu silicifikace v méně exotickém prostředí však byla pozorování **silicifikace lahary** po opakovaných historických i nedávných výbuších sopky sv. Heleny v USA (Karowe & Jefferson 1987). Tento případ je velmi zajímavý, neboť podobné podmínky by nejspíš mohly přicházet v úvahu i při vzniku silicifikovaných permokarbonských dřev. Většina stromů rodu *Abies*, *Tsuga*, *Pinus* a *Pseudotsuga* byla brutálně vytržena z místa růstu a transportována silným bahnotokem na velké vzdálenosti, někdy až 120 km po svahu. Místy se dochovaly i vzpřímené pařezy

se zachovalým kořenovým systémem. K permineralizaci dřevní hmoty dochází u stromů kmenů, které byly rapidně pohřbeny velmi mocnými vrstvami náplavů z laharů (hlíny smíšené se sopečným materiálem), pravděpodobně po cca desítkách tisíc let. Toto rychlé překrytí sedimenty zajistilo anaerobní prostředí pro silicifikaci a zabránilo oxidativnímu rozkladu dřeva. Jako zdroj SiO_2 se v tomto případě uvádí hlavně vulkanoklastický materiál. Studovány byly tedy fosilní nálezy přímo *in situ* (vzprámené pařezy s kořeny vyplněnými jemným detritickým materiálem) a potom přemístěné, horizontálně uložené kmeny nebo pařezy s narušeným kořenovým balem, a to z doby 36 000 let př. n. l., z období let 1450 až 1550 n.l., z roku 1885 a z května r. 1980. Za výjimečně srovnatelných přírodních podmínek tak bylo umožněno porovnat různé úrovně probíhající silicifikace, a to v různých lokalitách dané oblasti (South Fork Toutle River, Ape Canyon, Smith Creek). U stromů pohřbených lahary odhalila řádkovací elektronová mikroskopie (SEM) výborný stupeň zachování dřevní tkáně. Naopak stromy pohřbené vulkanoklastickým materiálem ve fluvialním prostředí byly zachovány velmi špatně. Kmeny pohřbené před rokem 1885 vykazovaly znaky začínající silicifikace a kusy nejstarší (z 36 000 let př. n. l.) již měly pomocí SiO_2 impregnované buněčné stěny, přičemž autoři ověřovali stáří kmenů (u druhu *Pseudotsuga menziesii*) také dendrologickým datováním pomocí letokruhů. Svě výsledky srovnávali s podobnými případy silicifikace lesů ve vulkanoklastických sedimentech a laharech v Národním parku Yellowstone, Wyoming a Alexandrově ostrově na Antarktidě. Většina silicifikovaných dřev, která byla v literatuře dobře popsána, se dochovala v poměrně hrubých říčních sedimentech, a to konkrétně v říčních náplavech, takže průběh silicifikace popsán pod sv. Helenou se zdá velmi inspirativní a jedinečný.

Nálezy fosilních "lesů", kde kromě kmenů uložených horizontálně byly často nalezeny i kmeny v růstové poloze, dobře popsali Sigleo (1978), Karowe & Jefferson (1987), Gand et al. (1993), Březinová et al. (1994), Weibel (1996), Ash & Creber (2000), Fairon-Demaret et al. (2003), Cúneo et al. (2003) a Witke et al. (2004).

Z těchto případů čtyři (Sigleo 1978, Karowe & Jefferson 1987, Ash & Creber 2000 a Cúneo et al. 2003) popisují prostředí fosilizace jako **říční koryto**, kde došlo k poměrně rychlému pohřbení dřeva alespoň několikametrovým nánosem poměrně hrubého sedimentu, čímž vzniklo anaerobní prostředí potřebné k zachování ligninu a celulózy (Sigleo 1978, Karowe & Jefferson 1987, Fengel 1991). Lignin se například po mineralizaci dochoval až z triasu (Sigleo 1978). Ve třech případech (Sigleo 1978, Karowe & Jefferson 1987, Cúneo et al. 2003) byl v sedimentu autory popsána i přítomnost vulkano-klastického materiálu.

V případě fosilního lesa v Chemnitz (např. Dietrich et al. 2000, 2001; Witke et al. 2004) šlo přímo o **pyroklastický materiál**, který zasypal rostliny na jejich původním stanovišti (kap. 2.4.3). Rovněž Březinová et al. (1994) uváděli, že fosilní dřevo rovněž bylo uloženo v přímém kontaktu s tufitem a ve stejném horizontu se vyskytovaly chalcedonové a křemenné konkrce.

Dosti odlišné případy popisovali Weibel (1996) a Fairon-Demaret et al. (2003). Fairon-Demaret et al. (2003) vulkanický materiál v sedimentu neuvádí, a Weibel (1996) výslovně tvrdí, že žádný vulkanický materiál nebyl v sedimentu s permineralizovaným dřevem přítomen. V obou těchto případech (Weibel 1996, Fairon-Demaret et al. (2003) došlo k silicifikaci ve **fluvialním prostředí**, kde klíčovou roli hrálo

kolísání hladiny spodní vody. Weibel (1996) navíc jako pravděpodobný zdroj Si uvádí pedogenezi nebo chemické zvětrávání sedimentu.

Ze základních faktorů nutných k silicifikaci, které ve své práci přehledně uvedl Ash (1998) jsou tedy v literatuře opakovaně uváděny dva klíčové faktory, a to **zdroj křemíku a charakter sedimentárního prostředí.** Za zdroj křemíku je nejčastěji uváděn nedostatečně chemicky zvětralý sediment anebo vulkanický materiál zejména extruzivních bazických hornin. Sedimentární prostředí potom často tvoří aktivní říční systém nebo alespoň prostředí s dostatečnou a navíc asi kolísající hladinou spodní vody, která zajišťuje potřebné anaerobní prostředí k zachování rostlinných pletiv alespoň po dobu nezbytně nutnou k silicifikaci materiálu. Pokud byl ve hře navíc i vulkanický materiál, čili poměrně „rychlý“ zdroj H_4SiO_4 o poměrně vysoké koncentraci, popisuje se vedle silicifikovaných dřev i nespecifická silicifikace a masivní akumulace SiO_2 např. ve formě rohovce (Umeda 2003, Březinová et al. 1994).

2.3 Mineralogie modifikací SiO₂

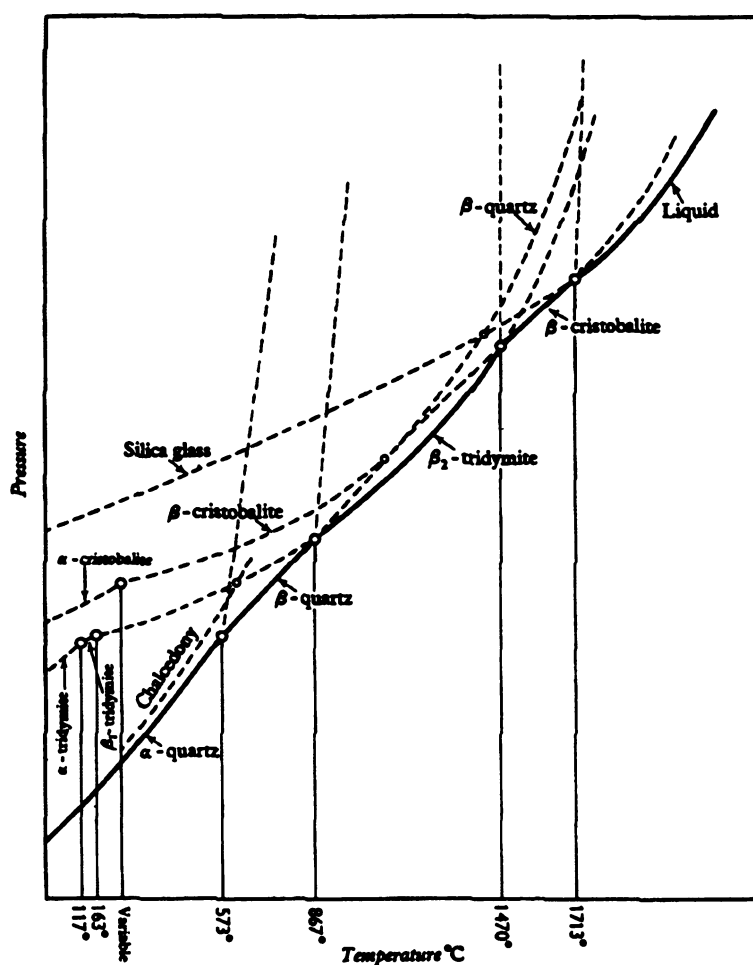
2.3.1 Skupina křemene (SiO₂)

Křemen je jeden z hlavních zástupců skupiny polymorfních minerálů o složení SiO₂, která je v mineralogické nomenklatuře klasifikována jako IV/D.01 a patří do vyšší skupiny oxidů, IV/D.01-10 (internetový zdroj č. 4). Do skupiny SiO₂ tedy patří především nejběžnější nízkoteplotní **α křemen** (trigonální), který přechází při 573°C ve vyšší **β křemen** (hexagonální), dále pak nad 870°C se vyskytující **tridymit** (monoklinický) a nad 1470°C **crystalit** (kubický) (Petránek 1993). Stabilitní diagram SiO₂ je uveden na obr. 4. Vysokotlaké formy SiO₂, **coesit** (monoklinický) a **stishovit** (*stishovite*; kubický), **lechatelierit** (*lechatelierite*; amorfní) se vyskytují především v impaktitech (internetový zdroj č. 4). Vlákničitá, mikrokrytalická odrůda křemene se nazývá **chalcedon**, někdy se vyskytuje s příměsí opálu a vody. U α křemene a chalcedonu je známá řada odrůd, jako např. **achát**, což je jemně páskovaná odrůda chalcedonu nejrůznějších barev (Petránek 1993, Marek 2004). Odlišnou vláknitou odrůdou je **kvarcín** s jinou orientací vláken než chalcedon (Hesse 1989).

Vedle těchto termodynamicky stabilních forem křemene existuje řada metastabilních forem, které mají poněkud jinou stechiometrii než křemen. Nejběžnějším je **opál** (SiO₂ · n H₂O), který se skládá z amorfního SiO₂, tridymitu a cristobalitu (Heaney 1993).

Moganit je mnohem méně obvyklý

vlákničitý, sférolitický, mikrokrytalický minerál SiO₂ s cca 2% H₂O a 0,5% CO₂ ve strukturálním vzorci, který je šedý jako chalcedon a byl poprvé nalezen v ignimbritu u Moganu (jižní Gran Canaria, Španělsko). Do skupiny SiO₂ také patří s empirickým vzorcem SiO₂ · n (C,H,O,S) čtverečný **melanoflogit** a izometrický **β melanoflogit** (internetový zdroj č. 4). Podrobné popisy struktur, optických a fyzikálních vlastností jednotlivých horninotvorných minerálů skupiny SiO₂ atd. publikoval např. Deer et al. (1963).



Obr. 4. Rovnovážný diagram SiO₂ (podle Deera et al. 1963).

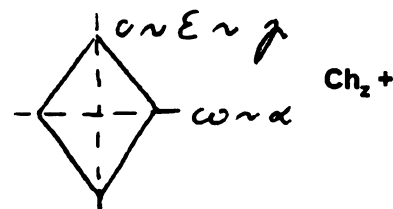
2.3.2 Vlastnosti křemene (SiO₂) v optické mineralogii

Křemen (qtz) patří k nejrozšířenějším minerálům na Zemi a vyskytuje se v mnoha vyvřelých, metamorfických a sedimentárních horninách. V přírodě není stabilní s foidy a olivínem. V Mohsově relativní stupnici tvrdosti stojí na 7. místě. Jeho základní formy α a β se liší prostorovým uspořádáním atomů v molekule.

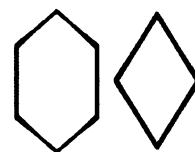
Optická mineralogie studuje vlastnosti minerálů pomocí viditelného záření. Viditelné světlo je část spektra elektromagnetického záření, s charakteristickým rozsahem vlnových délek (λ) od cca 400 do 800 nm a barevnou škálou zhruba v tomto pořadí: tmavě fialová (397 nm) → modrofialová (433 nm) → modrá (486 nm) → zelená (527 nm) → žlutá (589 nm) → oranžová (565 nm) → sytě červená (687 nm) a tmavě červená barva (768 nm). Chování světla uvnitř minerálů je výsledkem interakce elektrického vektoru světla, kolmého na směr šíření vlnění, s elektrickým charakterem minerálu, a to ve smyslu charakteru atomů a chemických vazeb uvnitř minerálu (Chvátal 1999).

Křemen je tzv. jednoosý minerál, při pozorování s jedním nikolem (OM, PPL; viz tab. 3 na str. 57) bezbarvý. Je neštěpný s lasturnatým lomem, a také je velmi stabilní (viz obr. 4). Optický charakter minerálu je Ch_m^+ , hodnoty indexů lomu jsou: $\omega = 1,544$ (α) a $\varepsilon = 1,553$ (γ ; viz obr. 5), hodnota jeho dvojlomu (D_{qtz}) je 0,009 ($\varepsilon - \omega$). Pro křemen je dále charakteristický nízký reliéf (α a γ jsou mírně vyšší než kanadský balzám) a nízké interferenční barvy (zakalená, šedá, bílá). Interferenční barvy vznikají při pozorování ve zkřížených nikolech (se zasunutým analyzátozem; PM, XPL) jako důsledek interference vzájemně zpožděných (retardovaných) paprsků světla procházejících minerálem. Zpoždění paprsků (retardace; R) je závislé nejen na dvojlomu (D), který je charakteristický pro každý minerál ($D = \gamma' - \alpha'$, D_{max} je tabelováno), ale také na tloušťce výbrusu (t). $R = D \cdot t$, je potom rovnice pro výpočet retardace, podle které byla mimo jiné sestavena škála interferenčních barev, tzv. Newtonova barevná škála. Pozorujeme-li tedy tlustší výbrus než je obvyklé (např. 0,05 až 0,1 mm), zákonitě se u minerálů objevují i vyšší interferenční barvy. U křemene se tak můžeme setkat až s různými odstíny žluté, oranžové, červené, fialové a modré, což je přesně v souladu s odečtením barev pro určité t a D na Newtonově škále.

Krystaly křemene bývají zřídka idiomorfní (obr. 6), např. ve výlevných horninách (α křemen s hexagonálním dipyramidálním uspořádáním), ale většinou bývají xenomorfní (obr. 7). Nepravidelný zhruba izometrický tvar se objevuje v granitech (křemen krystalizuje nakonec). Zubovitý, protažený tvar a tvar s migrujícími hranicemi jsou deformace krystalů typické pro metamorfované horniny. Trojné body



Obr. 5. Optické osy křemene.

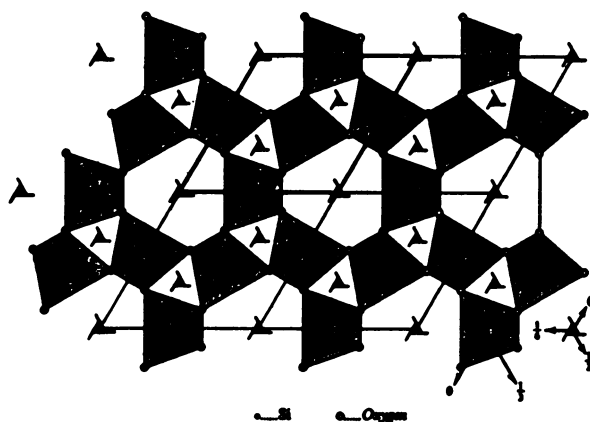


Obr. 6. Idiomorfní tvary křemene.

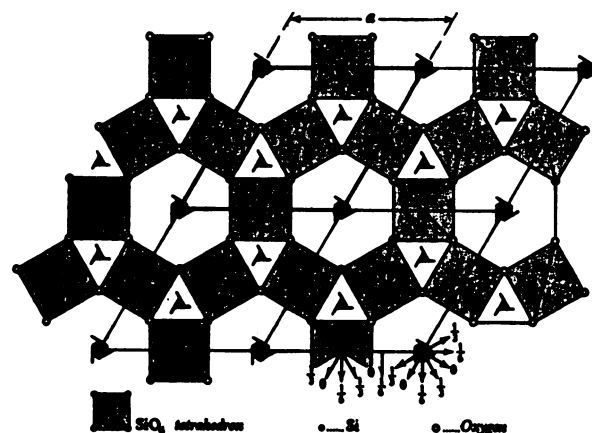


Obr. 7. Xenomorfní tvary křemene. Nepravidelný cca izometrický krystal (nahore), nepravidelný zubovitý, protažený, s migrující hranicí krystal (uprostřed) a trojné body (dole).

pod úhlem cca 120° se zase objevují u teplotně zotaveného křemene během kontaktní metamorfózy. U křemene se setkáváme s tzv. undulózním zhášením, tzn. že zrno zháší poličkovitě díky specifické deformaci krystalové mřížky. Odlišnosti v prostorovém uspořádání atomů α a β formy křemene jsou znázorněny na obrázcích 8 a 9.



Obr. 8. Struktura α křemene v 0001 projekci; převzato z Deera et al. (1963).



Obr. 9. Struktura β křemene v 0001 projekci; převzato z Deera et al. (1963).

2.3.3 V literatuře popsané typy sedimentárního křemene (SiO₂)

Důkladnou práci o morfologii sedimentárního křemene a průběhu silicifikace napsal Hesse (1989). Zabýval se studiem silicifikace fanerozoických karbonátů, pískovců s obsahem karbonátů, evaporitů a fosilních dřev z lakustrinních, pedogenetických a hydrotermálně-vulkanických podmínek. U materiálů z jezera Magadi a dalších jezer v údolí Východoafrického riftu popisoval stejnoměrně zrnité a vláknité typy křemene. Při studiu karbonátových souvrství, které byly nahrazeny anorganickou křemennou hmotou (metasomatické silicity), definoval a od sebe odlišil sedm různých podob křemene. Mezi stejnorozměrné (izometrické) typy zařadil mikrokrytalický křemen (*microquartz*) a makrokrytalický křemen (*megaquartz*), mezi vláknité potom chalcedon, kvarcín (*quartzine*), dlouze vláknitý chalcedon (*length-slow chalcedony*), lutecit (*lutecite*), zebrovitý chalcedon (*zebraic chalcedony*) a pestrobarevný křemen (*microflamboyant quartz*). Některé z nich jsou vyvinuty spíše v silicifikovaných evaporitech než karbonátech. Hesse (1989) odhaduje, že k silicifikaci v těchto silně minerálních alkalických jezerech došlo pravděpodobně srážením křemene z roztoku přes gelová stadia SiO₂.

Studiem sledu křemitých fází objevujících se ve fosilních dřevěch se zabýval Drum (1968), Leo & Barghoorn (1976), Sigleo (1978), Hesse (1989) a Channing & Edwards (2004), viz kap. 2.2.5. Autoři došli k závěru, že silicifikace dřev pravděpodobně probíhá přes SiO₂ prekurzory, a to opál-A a opál-CT až ke křemenu. Tyto fáze však nejsou u fosilií běžně zachovány a lze je zpětně jen těžko dokázat (Weibel 1996). Např. silicifikovaná permokarbonská dřeva, jakožto jedna z nejstarších, vykazují nejvyšší krystalinitu SiO₂ (Hesse 1989, Weibel 1996). Velikost krystalitů křemene permokarbonských silicifikovaných dřev je o několik řádů větší, než by odpovídalo stejně starým achátům (Moxon 2002). Naproti tomu přímou tvorbu chalcedonu nebo křemene z roztoku bez amorfního meziprojektu předpokládali Heaney (1993) a Umeda (2003). Jisté ale je, že kdekoli se během pohřbení objevila

v pórech fluida s vysokou koncentrací H₄SiO₄ velmi silně přesycená vzhledem ke křemenu, srážení metastabilních fází předcházelo vzniku křemene. Hesse (1989) a Weibel (1996) dále na základě mikroskopického (PM, XPL) studia uvádí, že různá velikost a vzájemná orientace krystalů křemene v zachovaných pletivech silicifikovaných dřev závisí na uspořádání jejich buněčných struktur, které SiO₂ omezují při krystalizaci.

V silicifikovaných dřevěch se tedy může vyskytovat vedle stabilního α křemene ještě opál, CT-opál, cristobalit, tridymit, chalcedon a snad i moganit. Z těchto možných forem se dá opál-CT, cristobalit a tridymit nejlépe rozlišit rtg práškovou difrakcí (Březinová et al. 1994) a chalcedon mikroskopií (Heaney 1993, Umeda 2003). Popisem moganitu se rovněž zabýval Heaney (1993). Moganit detekovali pomocí Ramanovy mikrospektrometrie Witke et al. (2004), a to ve světlé dřevě v centru hvězdčovitě uspořádaných dílčích cévních svazků permokarbonské medulósy podle charakteristického pásu při 501 cm⁻¹.

Březinová et al. (1994) se zabývali mineralogií křemene fosilního kmene *Podocarpoxylon helmstedtianum* GOTTWALD z lokality Kučlín (sz. Čechy, svrchní eocén). K rozlišení jednotlivých forem SiO₂ autoři použili zejména XRD analýzu. Všimli si heterogenit křemenné hmoty na povrchu i uvnitř kmene, a to jak ve dřevě tak i v prasklinách a dutinách (obr. 10).

Obr. 10. Inkrustace v příčném řezu: 0 - dřevo silicifikované opálem s blízkou zónou rekrystalizovaného SiO₂, pravděpodobně chalcedonu, a – pigmentovaný opál, c – chalcedon a agregáty kvarcínu, d – opál, e – agregáty křemene, f – krystaly křemene. Zvětšeno cca 10x. Převzato z Březinová et al. (1994).



V několika vzorcích dřeva popsali izotropní, amorfní opál, malé množství submikroskopického β cristobalitu, tridymitu a chalcedon vzniklý rekrystalizací. V dutinách určili zelenomodrý opál s malým množstvím mikrovláknitého neuspořádaného chalcedonu a výjimečně i autigenní alotriomorfní křemen. Větší dutiny potom obsahovaly fragmenty silicifikovaného dřeva spojené pigmentovaným opálem. Na povrchu silicifikovaného dřeva našli stejné minerální formy jako uvnitř. Opál pigmentovaný organikou tvořil povlak na dřevě a byl překryt vrstvou bezbarvého opálu. Další vrstvu tvořil koncentricky uspořádaný chalcedon a kvarcín. Sférolity chalcedonu byly neúplné a ve tvaru polokoulí či vějířů. Kvarcín pokrýval tyto sférolity chalcedonu. Další vrstvu tvořil nahnědlý opál a alotriomorfní křemen.

O různých modifikacích křemene ve fosilních dřevěch a o jejich mikroskopickém studiu a studiu pomocí instrumentálních metod se také zmiňuje Rößler v monografii Dernbach et al. (2002). V řadě fosilních dřev se našly páskované achátové struktury tvořené barevným mikrokrytalickým chalcedonem. V naprosté většině popsanych případů tvoří chalcedon výplně dutin či širokých prasklin (viz obr. 18, kap. 2.4.3; Witke et al. 2004). Dernbach et al. (2002) uvádí řadu případů palmových, koniferových a zřídka i cykasových dřev ze zkamenělého křídového lesa (*Cretaceous Forest*) v Rio Negro (Argentina), které byly velice silně permineralizovány chalcedonem a většinu jejich objemu dnes tvoří nádherně červeno-žluto-bíle probarvené acháty.

2.3.4 Dělení křemene podle morfologie a velikosti krystalů

Na základě výše uvedených skutečností je proto při petrografické analýze nejen praktické ale hlavně účelné blíže rozlišovat křemen podle velikosti a charakteru jeho krystalů. Při studiu fosilních dřev se však setkáváme s problémem, kdy se na celkové struktuře silicifikované hmoty podílejí nejen anorganické krystaly SiO₂, ale i vlastní anatomie a morfologie původního rostlinného organismu. Weibel (1996) mimo jiné ve své práci oživuje terminologii textur krystalických forem permineralizujících minerálů z první poloviny 40. let 20. století, která byla aplikována na petrifikovaná rostlinná pletiva. Popisuje pomocí ní textury krystalů SiO₂ v tracheidách dochovaného sekundárního xylému ze středního miocénu (rod *Sequoia* nebo *Taxodium*) z pískovcového lomu ve Voervadsbro (Dánsko). Petrifikované dřevo rozděluje do čtyř texturních typů podle velikosti krystalů křemene a jejich uspořádání v buňkách, a to na:

- **polyblastický typ** – buňka obsahuje mnoho krystalů,
- **oligoblastický typ** – buňka obsahuje pouze jeden krystal,
- **hyperblastický typ** – krystaly rostou skrz buněčné stěny,
- **idioblastický typ** – buňka obsahuje euhedrání (idiomorfní) krystaly.

Weibel (1996) také dochází k závěru, že struktura buněk má podstatný vliv na texturu krystalů křemene.

Dále je uvedeno členění křemene podle morfologie a velikosti krystalů v souladu s Deerem et al. (1963), Hessem (1989), Flörkem et al. (1991) a Umedou (2003), pozornost ale byla věnována hlavně formám, které byly popsány v silicifikovaných fosiliích. Mezi níže uvedenými jednotlivými typy křemene běžně existují pozvolné přechody.

Stejněrně zrnité (izometrické) typy křemene

- **Mikrokrystalický křemen** (*microquartz*, definovaný Hessem 1989) se skládá z drobných průhledných krystalků křemene (obecně méně než 5 až 20 μm v průměru), které mají stejněrně zrnitou texturu a v XPL zháší jen velice nepatrně. Pokud je velikost jednotlivých krystalků menší než rozlišení obyčejného optického mikroskopu, tak je tento křemen nazýván jako kryptokrystalický. Tento křemen většinou nemá dobře rozlišitelné ostré hranice krystalků a při vysokém zvětšení typicky undulózně zháší (Umeda 2003).
- **Makrokrystalický křemen** (*megaquartz*) o velikosti jednotlivých krystalů od 20 do 2000 μm nebo i více, může být průhledný či jemně zbarvený. Může mít mozaikovitou stavbu podobnou mozaikám kalcitových drúz. Většinou jeho krystaly rostou postupně od okrajů k centru a zároveň roste i jejich velikost. Nejčastěji působí jako tmel a vyplňuje dutiny, ale také nahrazuje karbonátové fosílie nebo dřívější fáze opálu-CT (např. ve fosilním dřevu). Pokud sekundárně nahrazuje jiné látky, lze v něm nalézt z těch původních látek např. karbonátové nebo organické inkluze, a tak ho odlišit od běžného pojiva a tmelu. Umeda (2003) navíc ještě rozlišuje bezbarvý **drobnější makrokrystalický křemen** (od 20 do 50 μm), který se nejčastěji vyskytuje v rostlinných fosiliích a v základní hmotě, a potom bezbarvý **hrubší makrokrystalický křemen** (od 50 do 2000 μm), který se také typicky vyskytuje v rostlinných fosiliích, a to zejména v dutinách a cévních elementech, a dále potom v žilách a žilkách.

Tyto dva typy také undulózně zháší. Vyskytuje-li se drobnější makrokrytalický křemen spolu s chalcedonem, je mezi nimi velmi jemný přechod. Také rostlinné struktury jsou díky nim mnohem lépe zachovány než u hrubě makrokrytalického křemene (Umeda 2003). Termín „*megaquartz*“, používaný v souvislosti s mikroskopickými rysy, je nesprávný, bohužel je však poměrně užívaný a zakotvený v literatuře (Hesse 1989).

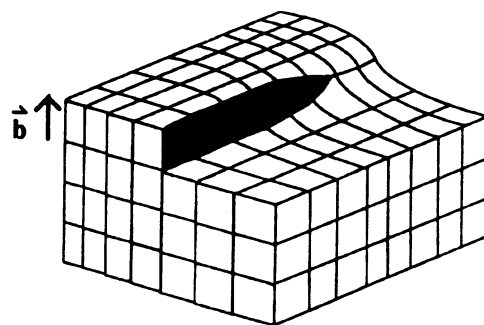
- **Euhedrání mozaikovitý křemen** popsal Umeda (2003) v miocénních jezerních až brakických rohovcích v Yachi (Japonsko). Jeho krystaly o velikosti cca 200 μm jsou bezbarvé, bez undulózního zhášení a jsou časté v rostlinných fosíliích.

Vláknité typy křemene

- „*Chalcedon sensu stricto*“, „chalcedonový křemen“ či „*length-fast chalcedony*“, je nejhojnější odrůda mezi těmito vláknitými typy křemene. Obsahuje cca 1 až 2 objemová % H₂O. Jak dále uvádí Heaney (1993), jedná se o **mikrokrytalický (< 1 μm) vláknitý křemen**, a protože achát se přednostně skládá z koncentrického, sféroliticky vláknitého křemene, je považován za varietu chalcedonu.

V silicifikovaných dřevěch byl achát popsán jako anorganická struktura vyplňující dutiny (viz výše). U chalcedonu je prodloužení jeho vláken kolmé na krystalografickou osu *c* (čili epsilonový vibrační směr). Heaney (1993) uvádí, že ze strukturních analýz

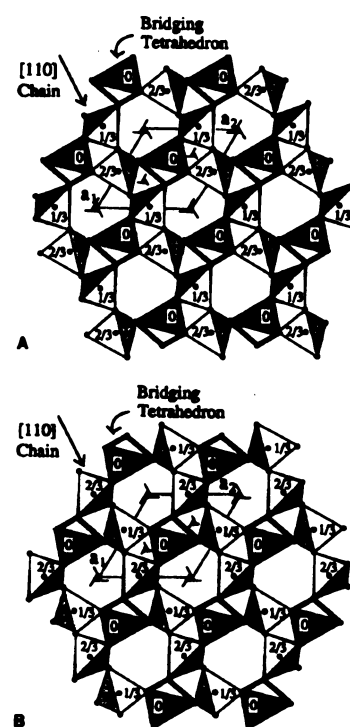
defektů, které jsou pro vláknitý křemen typické, vyplývá, že chalcedon roste spirálně díky šroubovitě dislokaci s Burgerovým vektorem (obr. 11). Ve většině případů svazky chalcedonových vláken vyrůstají z jednoho bodu v substrátu a z toho se radiálně rozbíhají (Flörke et al. 1991). Tento paprskovitý habitus je charakteristický zejména pro chalcedon, který se typicky vyskytuje jako hmota vyplňující dutiny, např. uvnitř radiolariových schránek. Také může nahrazovat původní hmotu, podobně jako makrokrytalický křemen. Tzv. „*chalcedonic overlays*“ běžně lemují primární a sekundární póry jako izopachické lemy (tzn. stejně mocné vrstvy), které se rozbíhají ze zachovaných zrn na vnitřním povrchu dutých stěn. Obvykle se skládají z na sebe navazujících vrstev, které se v polarizovaném světle (XPL) jeví jako nahnědlá seskupení, což je pravděpodobně způsobeno přítomností pásků velmi malých inkluzí. Chalcedonová vlákna potom mohou přecházet buď v krystaly makrokrytalického křemene, jehož velikosti zrn se zvětšují směrem do středu dutiny, anebo ve sférolitický chalcedon. Chalcedon se často objevuje v sedimentech a hydrotermálních žilách, vyplňuje dutiny v mandlovcových efuzívech, tzv. geody, tvoří tmel sedimentů (silicity), různé hlízy a konkrece (rohovec, pazourek).



Obr. 11. Schematický diagram šroubovitě dislokace s vektorem Burgera *b*. Trvalá přítomnost římsy (*ledge*) podporuje spirální růst, paralelní k *b*. Převzato z Heaneyho 1993.

- **Kvarcín** (také tzv. *length-slow chalcedony*) je dlouze vláknitý křemen s orientací vláken rovnoběžnou s krystalografickou osou *c* (Hesse 1989). Tato forma se vyskytuje v rohovcových nodulích, kde tvoří náhradu původních evaporitů. Dále se může vyskytovat v hlubokovodních pelagických sedimentech, čímž bylo prokázáno, že není omezena jen na mělkovodní evaporitické prostředí. Byla také popsána jako sekundární náhrada původní hmoty u některých fosílií.
- **Moganit** někdy bývá popisován v asociaci s chalcedonem. Jedná se o jinou mikrokrytalickou fázi SiO₂ s poměrně komplikovanou stavbou. Je to derivát křemene, kde se lamely pravotočivého křemene střídají s levotočivými lamelami v rámci jedné buněčné cely (obr. 12). Tyto lamely jsou ohraničeny rovinami [101] a narozdíl od brazilských dvojčat se striktně periodicky střídají (Heaney 1993).

Výše uvedená terminologie, která se týká popisu křemenných krystalů zejména podle jejich morfologie a velikosti především při pozorování optickým mikroskopem v polarizovaném světle, bude použita i v následujícím textu a budou z ní vycházet zejména mikroskopické popisy silicifikovaných dřev v kap. 5 (Výsledky). Ve smyslu výše uvedených definicí budou používány termíny **polyblastický**, **oligoblastický**, **hyperblastický**, **idioblastický** typ, pokud jde o texturu silicifikovaných pletiv, a **mikrokrytalický**, **makrokrytalický**, **euhedrání (idiomorfní)**, **mozaikovitý křemen** a **chalcedon**, pokud jde o morfologii krystalů SiO₂ a jejich agregátů bez ohledu na anatomii pletiv.



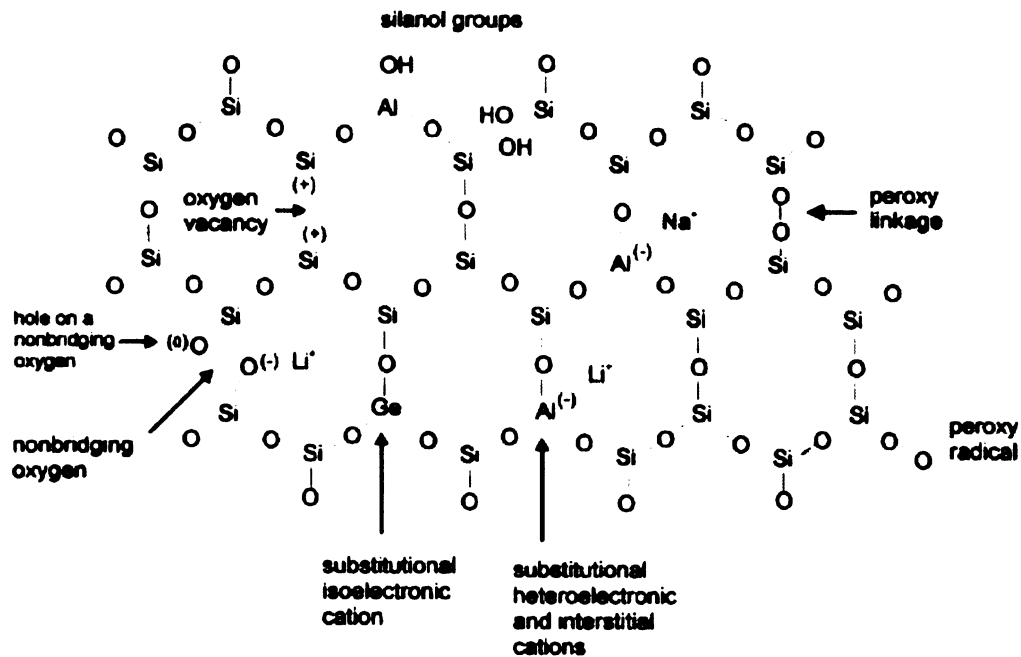
Obr. 12. Prostorová projekce křemene podél osy *c*. A – pravotočivá forma křemene (prostorová grupa P₃21); B – levotočivá forma křemene (prostorová grupa P₃121). Můstkové tetraedry jsou zvýrazněny tučně. Převzato z Heaneyho (1993).

2.4. Studium křemenných hmot katodovou luminiscencí

2.4.1 Princip katodoluminiscence (CL)

Katodoluminiscence (CL) je deexcitace některých atomů, iontů, vazeb nebo mřížkových defektů po zásahu elektronovým svazkem spojená s vyzářením světla charakteristické vlnové délky (Götze 2000). CL záření poskytují jen některé minerály, a to především kalcit (Marek 2004, Leichmann & Jelínek 2005, Leichmann et al. *in print*), křemen (Götze & Zimmerle 2000, Götze et al. 2001), apatit a živce (Götze 2002, Leichmann & Jelínek 2005), fluorit (Götze 2002, Witke et al. 2004), diamant, sfalerit, periklas, korund, kasiterit, granát, dolomit a zirkon (Götze 2002). Sytě červenou CL mají i jemné inkluze hematitu (Marek 2004), přestože masivní hematit CL nemá. Katodoluminiscence je metoda, při které je vzorek, obvykle vyleštěný výbrus o tloušťce cca 0,03 až 0,08 mm, bombardován proudem urychlených elektronů z katody v prostředí vakua. Elektrony vyvolávají po dopadu na minerál emisi viditelného záření (VIS), která je způsobena přechodem elektronu z vyšší energetické hladiny na hladinu energeticky nižší, přičemž rozdíl energie mezi hladinami je vyzářen jako foton. Termín luminiscence zahrnuje fluorescenci (radiace zaniká současně s přerušením excitujícího záření) a fosforescenci (radiace přetrvává i po přerušení excitace). Vzniklé VIS záření lze následně fotografovat (metoda zobrazení neboli „*imagingu*“) či podrobit spektrální analýze. CL se velmi osvědčila při petrografické analýze hornin obsahujících křemen (Watt et al. 1997; Götze et al. 1998, 1999; Götze & Zimmerle 2000; Götze 2000, 2002; Marek 2004; Götze et al. 2005; Leichmann & Jelínek 2005), a tak není divu, že byla použita i k analýze petrifikovaných dřev (Götze et al. 2001, Richter et al. 2003, Witke et al. 2004).

Emise světla po dopadu elektronového svazku může nastat z několika příčin (viz obr. 13). Jednak jimi mohou být poruchy v krystalové mřížce, přerušené vazby či defekty po ozáření, anebo přítomnost tzv. aktivátorů (např. $\text{REE}^{2+/3+}$, Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Sn^{2+} nebo skupina UO^{2+}), jejichž množství je úměrné intenzitě luminiscence. Jednotlivé aktivátory se navíc mezi sebou liší kvantem energie, která je nezbytná k vybuzení elektronu, např. Mn^{2+} potřebuje podstatně nižší energii než jiné kovy nebo kationty. Některé prvky, jako např. Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , naopak luminiscenci tlumí. Těmto atomům se říká zhášecí neboli *quencher* (*poisons, killers, inhibitors*). Vybuzené elektrony v tomto případě neztrácejí svoji energii ve formě světla ale tepla (Götze 2002). Pozorovaný vzorek potom výslednou luminiscenci získává ze vzájemného poměru aktivátoru a zhášecí. Běžně existuje dlouhodobá katodoluminiscence, a déle potom tzv. krátce-žijící CL, která po několika sekundách rychle zaniká. Díky komplikované povaze CL je třeba se jí "naučit" interpretovat jednotlivě pro každý typ vzorků a řešených problémů, což je u metod *imagingu* ostatně dosti obvyklé. Výhodou CL je ovšem její obrovská produktivita ve srovnání s jinými instrumentálními metodami.



Obr. 13. Schéma struktury křemene a jeho nejběžnější strukturální defekty, které se uplatňují při luminiscenci (Götze et al. 2001).

2.4.2. Katodoluminiscence v praxi a problémy při měření i interpretaci

Praktické aspekty použití CL při petrografické a analýze shrnul velmi dobře ve své práci o struktuře achátů Marek (2004). K praktickému studiu geologických materiálů se používají tři druhy katodoluminiscenčních přístrojů. Jsou to: CL s horkou katodou, CL s chladnou katodou a rastrovací CL. Lze pomocí nich velmi dobře identifikovat přítomnost některých stopových prvků v minerálech. V heterogenních strukturách, které mohou obsahovat i mnoho nekystalických fází, jsou touto metodou rozlišitelné i různé alterace, difúze či fáze nově vzniklých minerálů, které se např. v polarizovaném světle či za použití jiných analytických metod nedají od sebe téměř odlišit. Získanými výsledky lze např. dokázat vliv paleoprostředí a diagenetických procesů na konečnou stavbu horniny.

K pozorování výbrusů silicifikovaných dřev v CL byl použit přístroj s horkou katodou (viz kap. 4.3; Götze et al. 2001, Richter et al. 2003, Witke et al. 2004). Zdrojem elektronů je v tomto případě tenký wolframový drát (katoda), který je nažhaven protékajícím proudem v prostředí vysokého vakua (v našem případě to byla tisícina milibaru). Elektrony, které vznikají v okolí katody, jsou urychlovány vysokým anodovým napětím. V hlubokém vakuu nejsou letící elektrony ničím bržděny, jejich energie je díky tomu při dopadu na vzorek poměrně vysoká, což umožňuje získat luminiscenci vysoké intenzity. Podle druhu studovaného materiálu můžeme poměrně snadno regulovat jak velikost proudu protékajícího katodou, tak i výslednou energii elektronového svazku. Výbrusy se mohou při měření nabíjet stejně jako při SEM, proto se musí nechat před vlastním měřením pokovit (uhlík, zlato, atd.) a povrch uzemnit, aby se vznikající náboj odváděl. Křemenná hmota je typická svou nízkou tepelnou vodivostí a zároveň i nízkou intenzitou luminiscence. Je tedy nutné, aby dopadající elektrony měly vysokou energii, a proto je k její analýze právě nejvhodnější horká katoda. S ohledem na výše uvedené skutečnosti je nezbytné, aby byl

prokřemenělý vzorek exponován po delší dobu. V případě silicifikovaných dřev se pro zachycení krátko-žijící CL osvědčila krátká, cca osmisekundová expozice, a pro dlouhotrvající CL delší než 15 sekundová, neboť krátko-žijící CL cca po 15 s vymizí a potom je již zachytitelná jen dlouhotrvající CL. Obzvláště v případě krátko-žijící CL si musíme dát pozor na celkovou dobu expozice, na které velice záleží při interpretaci výsledků. Odezdnívání krátko-žijící CL a spektra dlouhodobé CL jsou v časových sekvencích ukázána v kap. 2.4.3. Existuje bohužel i možnost přehřátí vzorku, propálení pouhlikovaného povrchu svazkem urychlených elektronů a až celkové destrukce preparátu. Někdy také může v důsledku zahřátí vzorku dojít ke vzniku termoluminiscence nebo ke snížení intenzity luminiscence.

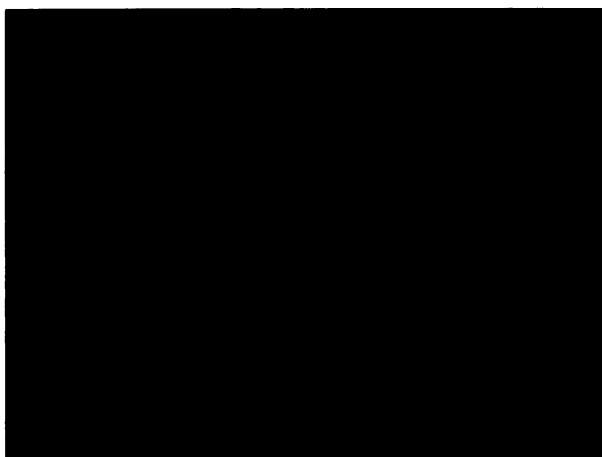
Samotná barva luminiscence, tzn. hodnota jejích RGB souřadnic, její odstín, jas, intenzita, kontrast atd., jsou velice diskutabilní, neboť při jejich záznamu záleží na mnoha experimentálních podmínkách. Lze tvrdit, že nejvíce ovlivňuje výsledný odstín délka expozice, ale také např. značka a typ filmu nebo CCD snímače. Proto při interpretaci získaných CL barev není nejdůležitější jejich přesný odstín, nýbrž samotné struktury, které jsou díky CL vidět a jejich vzájemný rozdíl (kontrast), popř. podle možností i odhad geneze jednotlivých struktur viditelných pomocí CL.

Podrobnější informace týkající se katodové luminiscence lze najít např. v pracích Götzeho (2000, 2002) či Leichmanna (2003).

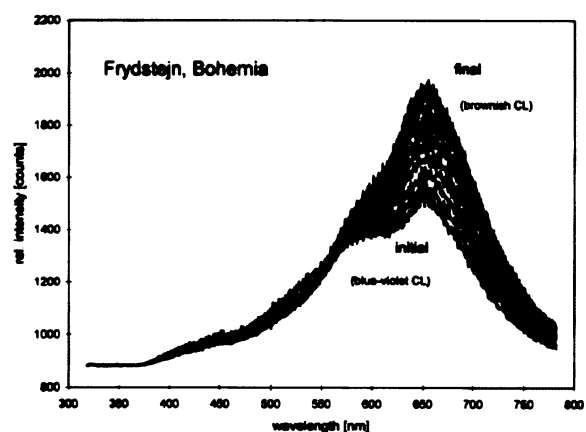
2.4.3 Výzkum petrifikovaných dřev pomocí CL

Katodoluminiscence se běžně používá ke studiu vyvřelých, metamorfovaných a sedimentárních hornin, které obsahují křemen (Götze et al. 2001). Pomocí CL byla také studována křemenná hmota achátů (Götze et al. 1999). Studium vybrané skupiny českých achátů z neznámějších lokalit v Podkrkonoší se nedávno ve své diplomové práci zabýval Marek (2004). CL se při jeho práci ukázala jako neocenitelná metoda, která v achátech a křemenných inkrustacích zobrazuje vnitřní strukturu a zónování, a to se selektivitou zcela odlišnou od obrazů viditelných např. v normálním polarizačním mikroskopu. U achátů, které jsou z větší části tvořeny vláknitým chalcedonem a vznikají za poměrně nízkých teplot, je CL způsobena vysokými koncentracemi vnitřních defektů krystalové mřížky, zónami a inkluzemi kalcitu (obr. 13) a přítomností několika stopových prvků inkorporovaných v jejich struktuře (tzv. luminiscenční centra). Pomocí získaných luminiscenčních barev lze velmi dobře odlišit acháty (chalcedony) z bazických a kyselých vulkanitů (Götze et al. 1999).

Otázkou však zůstává, jak velkou podobnost či shodu můžeme uvažovat mezi těmito zcela anorganickými křemíty a prokřemenělými rostlinnými zbytky. Např. Götze et al. (1999) popisuje krátko žijící modrofialovou (s velmi rychle klesající intenzitou) a výslednou červenou a hnědou luminiscenci (různých odstínů) mikrokrystalického chalcedonu i makrokrystalického křemene z bazických vulkanitů (obr. 15). Tento uvedený fakt tedy ukazuje na možnost zobrazovat podobné jemné struktury pomocí katodoluminiscence i v silicifikovaných dřevěch, pokud ovšem bylo prokřemeňování vícefázové nebo jinak komplikované jevy.



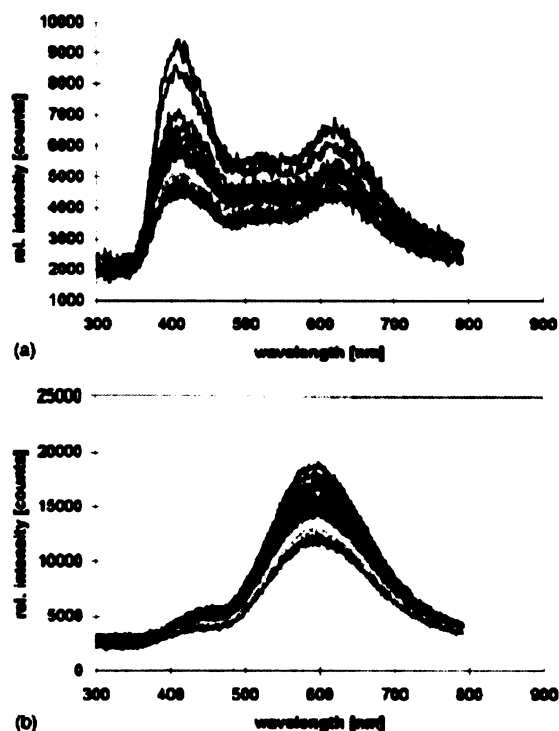
Obr. 14. Typická oranžová CL barva karbonátu v achátu z Benešova u Semil. Spodní hrana snímku 3 mm. Převzato z Marka (2004).



Obr. 15. Časově závislá CL spektra u achátu z Frydštejna podle Götzeho et al. (1999).

Velmi snadno lze pomocí CL také odhalit přítomnost paragenetického karbonátu různého stáří (Marek 2004, Leichmann et al. *in print*; viz obr. 14). Tudiž by tato metoda mohla v petrifikovaných dřevěch citlivě detekovat i menší množství kalcitových heterogenit. To je obzvláště cenné, vezmeme-li v úvahu, kolik minerálů a v jak složité souhře se na petrifikaci rostlin může podílet (Fengel 1991, Siurek et al. 2004, Nowak et al. 2005).

Popsaných použití katodoluminiscence v oblasti výzkumu silicifikovaných dřev je v současnosti jen několik. CL k analýze silicifikovaných permokarbonských dřev pocházejících z okolí Chemnitz v Německu úspěšně použil tým R. Rößlera (podrobněji zmíněno již výše v kap. 2.2.5, Götze et al. 2001, Witke et al. 2004). K silicifikaci svrchnopaleozoického pralesa, dnes známého jako tzv. *Chemnitz Petrified Forest*, došlo za dosti dramatických podmínek po opakovaných erupcích nedalekého vulkánu *Zeisigwald*. Okolní krajina byla několikrát po sobě zasypána horkým pyroklastickým materiálem ryolitického charakteru. Götze (in Witke et al. 2004) vhodně použil CL pro zmapování minerálního složení petrifikovaných preparátů a ze získaných výsledků usuzoval na složitost silicifikace, která pravděpodobně proběhla ve více než jedné fázi. Hlavními popsányi minerály ve studovaných vzorcích medulóz a dadoxylonů byly nízkoteplotní i hydrotermální křemen, moganit, fluorit (CaF_2), baryt (BaSO_4) a oxidy železa a manganu. Primární křemen v buněčných stěnách měl většinou žlutou CL (580 nm), zatímco vnitřky buněk neměly žádnou či jen velmi slabou hnědavou

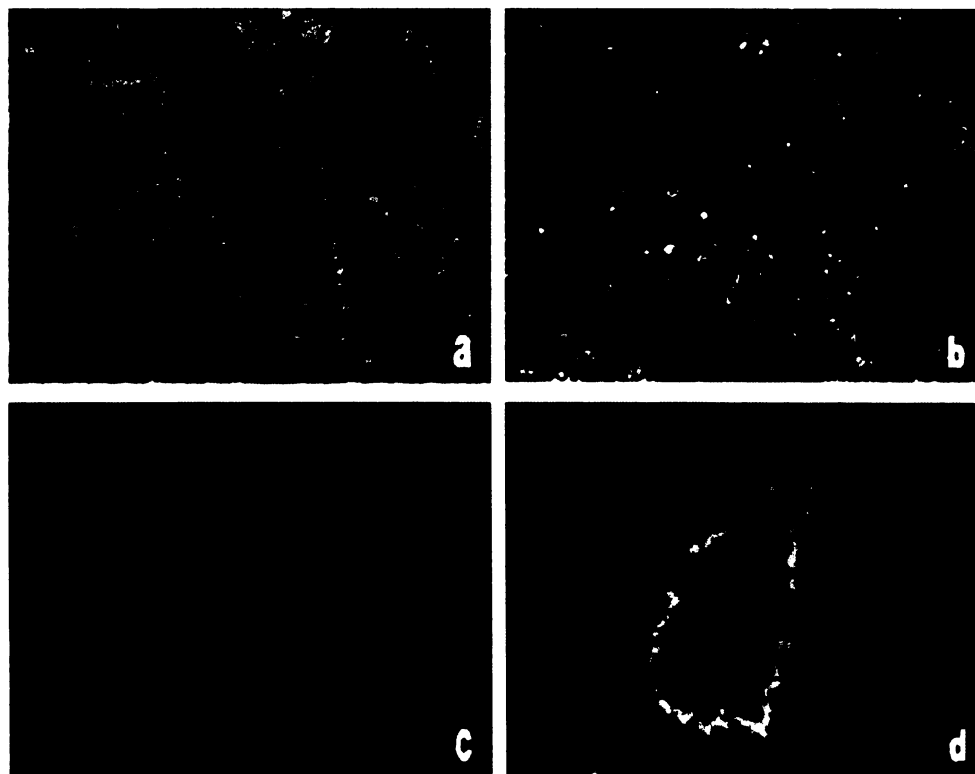


Obr. 16. Časově odlišná CL spektra ze silicifikovaného radiálně uspořádaného sekundárního xylému druhu *Medullosa stellata* COTTA: (a) krátce žijící modrá CL hydrotermálního křemene a (b) žlutohnědá CL typická pro fosilie z Chemnitz. Převzato z Witkeho et al. (2004).

CL (obr. 16). Ve většině případů však byla detekována krátce-žijící modrá CL ($\lambda_{\max} = 410 - 420 \text{ nm}$), a to zejména v buněčných stěnách (ponejvíce paprsků), kde je žlutá CL zhasnutá (obr. 17, 18). Pravděpodobně tato krátce-žijící modrá CL indikuje jinou fázi silicifikace, způsobenou nejspíše přítomností hydrotermálního roztoku, který narušil původní buněčnou strukturu a primárně silicifikovanou hmotu rekrystalizoval. V některých dutinách a trhlinách byly objeveny i achátové struktury (obr. 18d), tvořené zejména fanerokrystalickým a mikrokrytalickým α křemenem a také mikrokrytalickým moganitem.



Obr. 17. CL mikrograf je ze vzorku silicifikovaného dřeva s velmi dobře zachovalou buněčnou strukturou. Lze v něm rozeznat hmotu se žlutou CL, která byla postupně nahrazována sekundárním křemenem, jež vykazuje přechodnou krátce-žijící modrou CL. Emisní spektra CL nalevo i napravo tedy ukazují odlišné luminiscenční chování dvou genetických typů křemene. Převzato z Götzeho et al. (2001).



Obr. 18. Fotografie transverzálního řezu ze střední oblasti radiálně rostlého sekundárního xylému (*Medullosa stellata* COTTA) ve třech vyhotoveních: zobrazení v normálním světle (a), v polarizovaném světle (b), katodoluminiscence (c). Detailní CL foto dutiny vyplněné achátovou strukturou v oblasti centrální dřeně (d). Převzato z Witkeho et al. (2004).

V některých dadoxylonech byly také detekovány fluority, které měly různorodou nazelenalou a světle až tmavě modrou CL, která byla přisouzena heterogenní distribuci REE, konkrétně Sm^{3+} a Dy^{3+} (Witke et al. 2004).

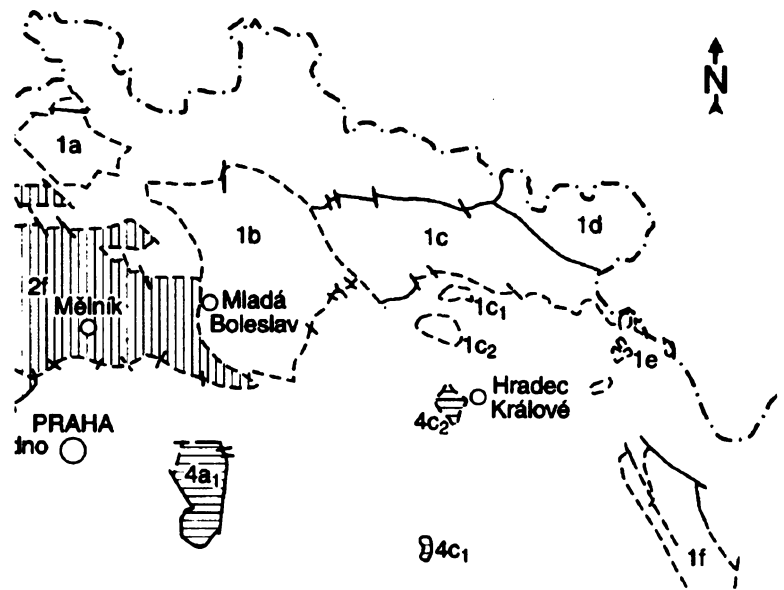
Götze et al. (2001), Richter et al. (2003) a Witke et al. (2004) podrobně diskutují souvislosti mezi výslednými odstíny CL a strukturami silikátové matrice petrifikovaných dřev, jejímiž aktivátory jsou zejména různé defekty ve struktuře. Navíc došli k závěru, že taxon rostliny a anatomická struktura buněk jeho fosilního dřeva (myšleno různých typů pletiv) nemá vliv na průběh silicifikace (narozdíl od vlivu konkrétního geologického prostředí). Autoři mimo jiné zmiňují, že pro čistý SiO_2 detekovaný v autigenním křemenu sedimentárního původu a v silicifikovaných dřevech jsou typická červená emisní CL spektra o vlnové délce 620 nm. Dále jsou velice skeptičtí, pokud jde o rozlišení jednotlivých forem křemene, např. chalcedon a křemen má podle jejich závěrů stejnou luminiscenci (Richter et al. 2003).

2.5 Geologie fosiliferných jednotek podkrkonošské a vnitrosudetské pánve

Tato kapitola se stručně zabývá charakterizací permokarbonských stratigrafických jednotek vnitrosudetské a podkrkonošské pánve (obr. 19), v jejichž fosiliferných polohách byly popsány nálezy silicifikovaných dřev. Geologie české části těchto lužických pánví byla stručně uvedena v práci Matysové (2004) v kapitole č. 3, na kterou tato část navazuje. Pro podrobnější studium vzniku limnických pánví České republiky v souvislosti s průběhem variské orogeneze a tektonickými aj. událostmi, odkazují zde např. na podrobné práce Táslera et al. (1979) a Chlupáče et al. (2002), nejnovější shrnutí týkající se limnických pánví ČR potom uvedli Pešek et al. (2001).

Obr. 19. Rozšíření limnických permokarbonských pánví (podle přijatého návrhu Čs. stratigrafické komise). Vysvětlivky:

1c – podkrkonošská pánev s výskytem na Zvičině (1c₁) a Hořickém hřbetu (1c₂), 1d česká část vnitrosudetské pánve. Dále: 1a – českokamenická pánev, 1b – mnichovohradištská pánev 1e- výskyty permu v Orlických horách, 1f – orlická pánev, 2f – mšensko-roudnická pánev. 4 – mladší paleozoikum brázd: 4a₁ – severní díl blanické brázdy (Česko-brodsko), 4c₁ – jihlavská brázda v Železných horách, 4c₂ – jihlavská brázda u Hradce Králové; upraveno z Chlupáče et al. (2002).



2.5.1 Podkrkonošská pánev (PKP)

PKP (obr. 19, 22) je celkově rozmanitější než vnitrosudetská pánev (VSP), mimo jiné i s ohledem na bohatší diverzitu rostlinných fosilií. Od Drážďan až po Kozákov se táhne lužický zlom (Pešek et al. 2001). V pánvi se vyskytují dvě poruchy jdoucí V - Z směrem, přičemž jedna z těchto elevací tektonicky omezovala PKP na jihu. V minulosti byla provedena řada vrtů (cca 10 – 20), např. v Košťálově, Libštátu, Prosečné, které významně přispěly k podrobnému studiu stratigrafie geologických jednotek (Pešek et al. 2001). V oblasti PKP byla také zaznamenána vulkanická činnost (viz kap. 2.5.3), která se jeví velmi důležitá v souvislosti s možným vlivem na silicifikaci rostlin. Pánev přímo reagovala na řadu různě se střídajících postorogenních změn variského vrásnění, přičemž také vznikala např. jezera či občasné říční systémy. Některé pánevní změny byly cyklické, jak uváděl pro české pánve už Havlena (1964); cyklický vývoj permokarbonských pánví je ve světě dodnes předmětem základního výzkumu (Cecil 1990, Stollhofen et al. 1999, Falcon-Lang 2004). Pánev je ze stran lemována sedimenty aluviálních kuželů. Naopak střed pánve je překryt křídou a jeho studium je tak značně ztíženo. Na některých místech se objevují minerální prameny, jako např. v Lázních Bělohrad nebo lokalitě Železnice na jihu. Souvislý průběh různě mocných nánosů křídových sedimentů je často porušen kolem řek, čímž někde podél toků

vycházejí karbonské jednotky. Právě v těchto místech se dají velmi často v sekundárních náplavech najít silicifikovaná dřeva.

Pešek et al. (2001) uvádí pouze čtyři geologické jednotky (tab. 2), v jejichž souvislosti jsou také uváděny výskyty zkřemenělých dřev. Silicifikovaná dřeva se v těchto místech vyskytují *in situ* jen v některých případech, mnohem častěji jsou popisovány z aluviálního prostředí po odnosu matečné horniny.

- **Štikovské arkózy kumburského souvrství** představují analog k žaltmanským arkózám ve VSP a jejich předpokládané stáří je barruel. Tato facie fluviálních sedimentů hojně obsahuje „araukaritonošné“ vrstvy. Jde o arkózy a arkózové pískovce až slepence, ve kterých jsou naplavena dřeva dadoxylonového typu. Výchozy těchto jednotek vystupují např. u Staňkova či V od Nové Paky, kde jsou u Pecky dodnes k vidění prokřeměnělá dřeva v hradním sklepení. Sedimentární materiál těchto vrstev se přinášel od J. Ze stratigrafie vyplývá, že dřeva nerostla v místech dnešních nálezů, ale pravděpodobně byla přinesena z větších dálek.
- **Svrchní části semilského souvrství** je přiřazeno stáří stephan C. Tyto vrstvy vystupují s. od Nové Paky a patří sem patrně jedna z nejslavnějších lokalit zvaná **Balka**, **V balkách** nebo též **Na balkách** s vysokou diverzitou rostlinných fosilií. Na rozdíl od předchozích fosiliferých“ vrstev se semilské souvrství ukládalo v nové paleogeografické situaci s přínosem materiálu z krkonošského krystalnika od S. Ve střední části semilského souvrství je význačný vulkanický horizont, tzv. **ploužnický obzor**, s výskytem tufitů a silicitů. Fosilie z lokality Balka jsou ale nalézány v recentním aluviu, a jejich podrobnější stratigrafické přiřazení vzhledem k ploužnickému obzoru není jisté.
- **Staropacké pískovce ze spodní části vrchlabského souvrství** patří ke stáří spodního autunu. Jedná se o hrubozrnné arkózové pískovce a arkózy s nepravidelnými polohami slepenců. Charakteristickou součástí pískovců jsou úlomky tufů a zvětralých ryolitů. Ve staropackých pískovcích se vyskytují i redeponované součásti ploužnického obzoru. V arkózových polohách se vyskytují petrifikované "araukarity" a psaronie.

2.5.2 Česká část vnitrosudetské pánve (VSP)

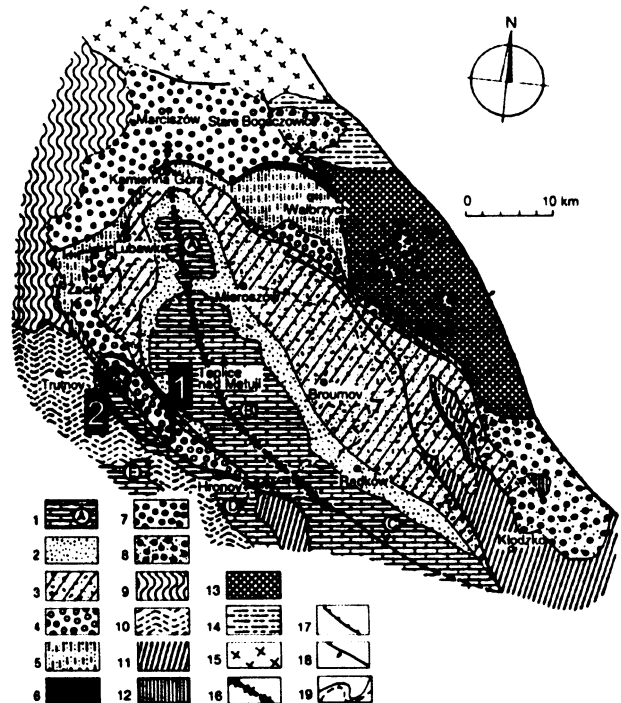
Vnitrosudetská pánev (obr. 19, 20) prodělala během variské tektogeneze na českém území zajímavý vývoj a stala se z hlediska svého stratigrafického uspořádání a výskytu kvalitního černého uhlí předmětem podrobných geologických průzkumů a mapování (Tásler et al. 1979, Pešek et al. 2002). Za hlavní geologický vrt lze považovat **Brou-1** či **Broumov-1**, který provrtal nejdelší část profilu, a to krystalinikum, karbon i perm, přičemž ostatní vrty už nebyly tak hluboké. Podle informací uvedených Táslerem et al. (1979), Peškem et al. (2001) a Prouzou (ústní sdělení) existují dvě hlavní vrstvy, které jsou spojovány s *in situ* výskyty permineralizovaných dřev:

- **Petrovické vrstvy žacléřského souvrství v okolí Hronova**, které odpovídají stáří bolsov jsou tvořeny hlavně hrubými slepenci a arkózami. Valouny slepenců tvoří hlavně křemence, ale

i rozložená kyselá eruptiva nebo přímo ryolit. Živce arkóz v základní hmotě jsou vesměs kaolinizovány. Ve spodní části petrovických vrstev je vulkanodetritická poloha.

- **Jívceké vrstvy odolovského souvrství** odpovídají stáří barruel až stephan B. Ve střední části pánve je vyvinutý význačný člen **žaltmanských arkóz**, který je ekvivalentem štikovských arkóz v PKP. Hojně nálezy silicifikovaných dřev dadoxylonového typu právě v této jednotce proslavily celý kraj, jak již bylo zmíněno v úvodu, a to díky tzv. Radvanickému zkamenělému lesu (Renger 1863, internetový zdroj č. 1). Dnes lze už jen žalostné pozůstatky tohoto útvaru nalézt nedaleko vrchu Žaltman na Kryštofových kamenech. Podrobný rozbor této facie provedl Valín (1960). V arkózách převládají vedle křemene draselné živce, řídce jsou přítomny z Na-Ca živců albit a oligoklas. Živce jsou jen částečně kaolinizovány. Převažující úlomky a valouny jsou v těchto místech hlavně křemeny, kvarcity a jen vzácně efuzivní horniny. Původně šlo o aluviální plošinu zanášenou materiálem od JZ, patrně z orlického krystalinika.

Obr. 20. Geologická mapa vnitrosudetské pánve s vyznačením lokalit, ze kterých pocházejí dřeva v této práci. K legendě: 1 – svrchní křída: A – gorzeszówská pánev, B – polická pánev, C – křída kladského prolomu (kladské Nisy), D – hronovsko-poříčský příkop, E – výběžek české křídové pánve; 2-7 vnitrosudetská pánev: 2-6 trias, perm, svrchní karbon: souvrství: 2 – bohdašinské, bohoslavické a trutnovské; 3 – broumovské a chvalečské; 4 – odolovské, resp. glinické; 5 – žacléřské; 6 – walbrzyšské; 7 – spodní karbon; 8-15 mimopánevni struktury: 8 – mimopánevni spodní karbon; 9 – krkonoško-jizerské krystalinikum; 10 – podkrkonošská pánev; orlicko-sněžnické krystalinikum; 12 – struktura bardská; 13 – krystalinikum Sovích hor; 14 – pánev swjebodzická; 15 – krystalinikum Kaczawských hor; 16 – osa vnitrosudetské pánve; 17-19 současné omezení pánve: 17 – hronovsko-poříčská porucha; 18 - zlom; 19 – atektonická hranice: ověřená (plná čára), předpokládaná (čárkovaně). K lokalitám: 1 - Žaltmanský hřeben a Jestřebí hory, 2 – Radvanice. Upraveno podle Táslera et al. (1979).



2.5.3 Vulkanismus podkrkonošské a vnitrosudetské pánve

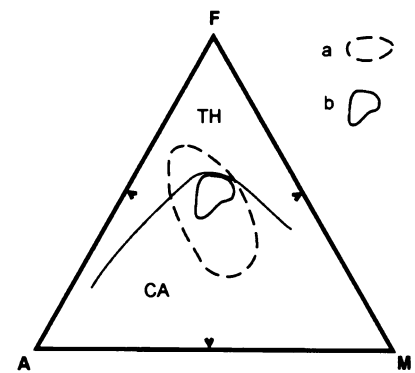
Studiem vulkanických hornin severovýchodních Čech se zabývala řada vědců již od druhé poloviny 19. století (Pešek et al. 2001), pro tuto práci má zejména význam z hlediska hledání souvislostí se způsobem prokřemeňování permokarbonských dřev. V limnických pánvích sv. Čech se ve svrchním karbonu a permu objevuje vulkanismus s alkalicko-vápenatým charakterem, přičemž jeho typickými vulkanity jsou „melafyry“ a „křemenné porfyry“. Vyplyvá to z AFM diagramu (obr. 21), který porovnává podkrkonošské „melafyry“ s permokarbonským vulkanismem střední Evropy (Šreinová & Šrein 1997). Vulkanismus proběhl v semikratogenních podmínkách v souvislosti s variským vrásněním ve střední Evropě. Patří k typickým subsekventním magmatickým projevům variské orogeneze.

Nejintenzivnější vulkanická aktivita svrchního paleozoika se v Českém masívu přisuzuje podkrkonošské, severní části mnichovohradišťské a vnitrosudetské pánvi (obr. 19). Bazické respektive intermediální vyvřeliny (andezitoidy), pokrývají asi 10 % její plochy. Začátek vulkanické činnosti v permokarbonu PKP se projevuje v brusnických vrstvách kumburského souvrství. Vulkanická aktivita vrcholí ve spodním autunu dvěma maximy v souvrství vrchlabském. V nadloží jeho rudnického obzoru se v první eruptivní fázi uložily lávové proudy mezi Komárovem, Loukovem a Vrchlabím. Druhá fáze je vázána přibližně na rozhraní vrchlabského a prosečenského souvrství, kdy se vytvořilo kozákovské těleso, tělesa Levínské vrchoviny a Čistecké a Císařovy hůry (Pešek et al. 2001).

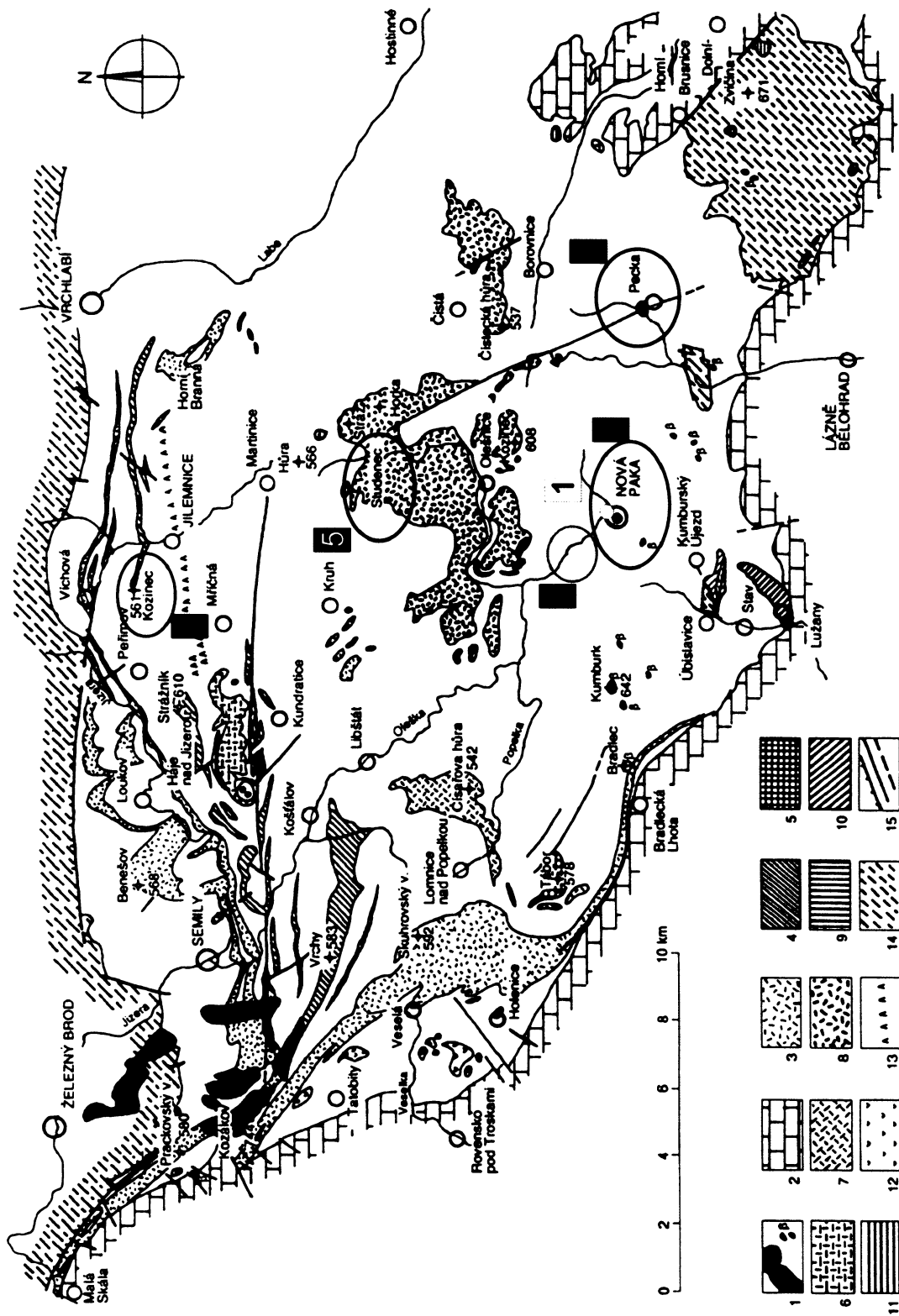
Andezitová vulkanická činnost se projevovala zejména povrchově, zřídka se ale objevují i subvulkanity. Většinou více než 50 % andezitoidů připadá na mandlovcové varianty, které jsou známé jako achátonosné horniny. Největším a nejznámější efuzivní tělesa jsou např. poměrně mocný bazaltandezit v horní části jz. svahu Kozákova (pokračuje na SZ k Malé Skále a na JV k Tužín), deskovitá tělesa mezi Semily a Vrchlabím, tělesa andezitových tufů, tufitů a aglomerátů Levínské vrchoviny a Čistecké hůry (nedaleko od Nové Paky); efuziva, subvulkanity a pyroklastika bazaltandezitu Císařovy hůry u Lomnice nad Popelkou (Pešek et al. 2001). Na jihu podkrkonošské pánve mezi Stavem, Kumburským Újezdem a Lužany se podle Peška et al. (2001) vyskytují odlišné intermediální vulkanity, a to několik těles dacitů, které jsou uloženy v kumburském souvrství. Jde o komínové brekie a tufové aglomeráty proniklé lávovými tělisky nebo o drobné pně. Petrograficky téměř shodná jsou malá tělesa dacitů až ryodacitů, které pronikají horninami zvičinského krystalinika nedaleko od vrcholu Zvičiny, a tělisko na Hradišti J od Kalu (Pešek et al. 2001).

Kyselý vulkanismus se ve svrchním paleozoiku podkrkonošské pánve objevuje zřídka. Výskyt ryolitových tufů a lamin či vrstviček popelových až písčitých tufitů je vázán na období nejkolidnější sedimentace, kterými byly stálé vodní bazény a uhlotvorná rašeliniště. Zdroje ryolitových pyroklastik mohly být vzdáleny stovky kilometrů a ležely pravděpodobně mimo pánev. Až koncem autunu se uložением těles ryolitových ignimbritů u Tatobit, Žlábků a Rovenska pod Troskami projevil intenzivnější ryolitový vulkanismus (Pešek et al. 2001).

Jak je patrné z tabulky 2 není vyloučeno, že vulkanický materiál, pravděpodobně přenášený v rámci podkrkonošské pánve řekami, mohl být zdrojem Si pro silicifikaci dřev, protože prakticky v každém fosiliferním souvrství se vulkanismus vyskytoval. Je pravděpodobné, že zatímco v některých litofaciích lze nalézt celkem dobře i stopy po méně významném vulkanismu, např. jako tenké vložky zjilovělých pyroklastik v jezerních sedimentech nebo tonsteinové vložky v uhelných slojích, pozůstatky méně masivního eruptivního vulkanismu by se v tocích divočících řek patrně tak dobře nedochovaly.



Obr. 21. Ternární AFM diagram s vyznačeným rozhraním mezi alkalicko-vápenatými a tholeitickými horninami. Porovnání chemického složení podkrkonošských „melafyrů“ (b) s „melafyrů“ střední Evropy (a); převzato ze Šreinové & Šreina (1997).



Obr. 22. Přehled vulkanitů podkrkonošské pánve s vyznačením lokalit, ze kterých pocházejí dřeva v této práci. K legendě: 1 – čedičové horniny nerozlišené; 2 – svrchní křída; 3 – bazaltandezity: efuze, místy s drobnými tělesy subvulkanitů; 4 – subvulkanity: ložní a pravá žíla; 5 – vulkanický peň; 6 – lakolit; 7 – složitě vulkanické těleso (efuziva, pyroklastika, subvulkanity) ; 8 – stratovulkán; 9 – pyroxenický andezit; 10 – pyroxenický dacit; 11 – dacit až ryodacit; 12 – rylitový ignimbrit; 13 – hornobranský tufitický obzor; 14 – krystalinikum; 15 – přesmyk, zlom zjištěný a předpokládaný. K lokalitám: 1 – Balka, 2 – Nová Paka, 3 – Stará Paka, 4 – Pecka, 5 – Studenec, 6 – Kozinec u Jilemnice. Upraveno z Peška et al. (2001).

Stáří	Souvrství	Andezitový vulkanismus	Ryolitový vulkanismus	Výskyt silicifikovaných dřev (X)
saxon	trutnovské			
autun	chotěvické		tufy a tufity u Libče, ve vrtech u Ratibořic, tělesa ignimbritů u Tatobit, Žlábků, Rovenska pod Troskami, z. od Kozákova, sv. od Smrčí	
	prosečenské	efuzivní tělesa u Kruhu, Horní a Dolní Branné (Principálek) a u Holenic	tufy a tufity v podloží a nadloží arkózového obzoru	
	vrchlabské	kozákovské efuzivní těleso, podřízeně pyroklastika Levínské vrchoviny a Čistecské hůry (stratovulkán), těleso Císařovy hůry (efuze, subvulkanity, pyroklastika)	hornobranský a mladobucký obzor	X (staropacké pískovce)
		lávové proudy mezi proudy mezi Komárovem, Loukovem a Vrchlabím		
stephan C	semilské	malé efuzivní těleso v podloží ploužnického obzoru u Plouznice	tufy a tufity v ploužnickém a štěpanicko-čikváseckém obzoru	X
stephan B	syřenovské		vrstvičky tufů a tufitů v obzoru černých jílovců a ve slojích syřenovského souslojí	
barruel kantabr	kumburské	andezit (Pecka) – patrně intruze, dacity a ryodacity (Kumburský Újezd, Lužany, okolí Zvičiny)		X (štikovské arkózy)
westphal D				

Tab. 2. Přehled výskytu vulkanitů v permokarbonu podkrkonošské pánve. Tučně zvýrazněny jednotky popisované v souvislosti s výskytem zkřemenělých dřev (X). Upraveno z Peška et al. 2001 a Marka (2004).

2.5.4 Naleziště zkřemenělých stonků a kmenů v PKP a VSP

Výčet lokalit byl uveden v práci Matysové (2004) v kapitole 4, zde je nově jmenováno např. místo s nejstaršími araukaritami z oblasti (Prouza ústní sdělení), a to lokalita mezi **Šárovcovou Lhotou a Ostroměří** u řeky **Javorky** (PKP), kde jsou v tektonickém okně uprostřed křídý obnaženy tenké vrstvy paleozoika, konkrétně v oblasti kolem potoka. Araukaritové kmeny jsou uloženy v lese nad řekou, v *poloze hrubozrnných slepenců*, přičemž styčnou vrstvou nad kmenem jsou arkózy složené z velkých, poměrně dobře opracovaných valounů, které ukazují na dlouhý transport, s velkým podílem sedimentárních křemenců, zde 70 až 80 %, přičemž složení valounů se v různých místech mění. Jako zdroj valounů křemenců byla uvažována oblast Železných hor. Je nutné připomenout také další lokality jako jsou **Staňkov** či **Staňkovská Lhota** u Pecky (PKP), **Pecka** (PKP), konkrétněji **hrad Pecka**, kde se ve sklepeních nacházejí podélně uložené kmeny araukaritů ve stěně, **Nová Paka** – „na hřišti“ (PKP), což

je místo, kde se našly v PKP **dua nejdelší kmeny** uložené *in situ*, jsou vystaveny ve vitrině muzea v Nové Pace u Klenotnice.

Další velmi známou a mezi sběrateli populární lokalitou je **Balka (Na Balkách, V Balkách)** (PKP), která se však v současnosti jeví už jen jako vysbírané místo. Štikovské arkózy kumburského souvrství se zde místy objevují pouze jako **tenká poloha**, všechno kolem jsou jemnější sedimenty jemně písčitého, prachovitého až jílovitého charakteru. Arkózy byly i v těchto místech zřejmě uloženy fluviačním systémem, přičemž řeka tekla od jihu (úklon vrstev a uložení směřuje k severu), měla však pravděpodobně menší unášecí schopnost a třídila jemnější materiál, který se zde ukládal. Hypotetická představa odpovídala široké aluviální plošině, s občasnými toky, jezery atd., z čehož plyne nepravidelný periodický krátkodobý přínos jemných materiálů, ukládání slínovců a vznik poloh vápenců. Řeky na toto místo, po delším období prvotního ukládání hrubozrnných klastů a velkého materiálu (slepence), připravily v dalších fázích spoustu jemného materiálu. Zdrojem arkóz byla pokročilá denudace krystalinika. Někde se místo arkóz objevují i arkóзовé pískovce s vyšším podílem živců, z čehož lze zpětně vystopovat provenienci, zdrojem byl pravděpodobně žulový masív. Polohy na Balce jsou tvořeny drolivým, rozpadavým a nesoudržným materiálem a polohy slepenců zde nenajdeme.

Dříve se tato lokalita vyznačovala velmi vysokou diverzitou floristických nálezů, zejména silicifikovaných stonků psaronií, kalamitů, aj. Některé z nejkrásnějších nálezů vlastní muzeum v Nové Pace, jsou zajímavé svou pestrobarevností a vysokým stupněm zachování původní struktury dřeva. Balka je v literatuře často zmiňována v souvislosti s nedalekým **ploužnickým obzorem** (semilské souvrství), který představuje jeden z tzv. vůdčích obzorů, přičemž směrem na S je spíše uhelný a směrem na J v něm převažují vápnité jílovce. V mnoha ohledech (stratigrafické, petrografické hledisko) je to tedy úplně jiná jednotka než arkózy, s hojným výskytem poměrně dobře zachovaných rostlinných zbytků (fosílií). Ploužnický obzor tvoří především jemné jílové materiály; rohovce (silicity), které asi vznikaly z vulkanických tufů a dochovaly se jen v tenkých vrstvičkách; vápence; nafialovělé, šedé lupínky, atd. Z genetického hlediska se zřejmě jedná o jezerní sedimenty mocné 20 až 30 m v šířce cca 50 m, někde mají i dvě polohy, a to zejména na jihu (např. Tuřín), který je bohatý na karneoly a jiné fosílie svrchnokarbonské flóry a fauny. Zajímavá lokalita je také **Horní Kalná** (PKP), kde převažovaly jezerní sedimenty či uhlotvorná rašeliniště a bažiny, a objevuje se zde zrudnění mědi (Cu). Najdeme zde kalenský a rudnický obzor.

Ve vnitrosudetské pánvi nalezneme nejčastěji silicifikované dadoxylonové kmeny v žaltmanských arkózách, které jsou součástí jíveckých vrstev odolovského souvrství, a to přímo „*in situ*“. Mezi takové lokality patří např. lokalita **Pod Jiráskovým bukem** (PKP) v místě opuštěného lůmku, kde leží kmen v horizontální poloze ve vrstvě žaltmanských arkóz (stephan). Živce přítomné v arkózách se zde vyskytují v poměrně vysokém množství, a to i přes 25%, a často jsou kaolinitizované. Dalšími lokalitami jsou např. **Drahoňův lom – Zbečnick** (PKP), který je spojen s výskytem „koulí“ (hnízd), jejichž vznik nebyl doposud objasněn a je zřejmě spojen s arkózami, zvětráváním hematitu a možná i biologickou činností, přičemž v profilu se různě objevují méně mocné vrstvičky jemnějších sedimentů; lokalita **U Panské cesty** (PKP) sz. od Bohdašína (jižní hranice CHKO Broumovsko); **Kryštofovy kameny** (PKP) nad bývalým

Tmavým dolem, kde se vyskytuje skupina větších skalisek a v nich najdeme několik araukaritových kmenů v hrubozrnném štěrku (konglomerátu), v této oblasti se střídají polohy arkóz s polohami oligo- až polymiktních slepenců, ve kterých převažuje křemen s křemitým, výjimečně i karbonátovým či železitým tmelem, atd. Kromě těchto lokalit *in situ* a sekundárních náplavů např. v **Jestřebích horách** se se zkřemenělými dadoxylonovými kmeny můžeme setkat v Malých Svatoňovicích kde je kmeny vyzdobena kaplička na náměstí, hřbitovy a řada pomníků (i ve Velkých Svatoňovicích, Markoušovicích, atd.; viz kap. 2).

2.5.5 Shrnutí

Fosilní dřeva *in situ* jsou jak ve VSP tak PKP především araukarity a jsou vázané na slepence, arkózy a arkózové pískovce, tj. na facie říční sedimentace nebo aluviálních plošin. Podle velikostí valounů a rozsahu sedimentace se mohlo jednat až o divočí říčky. V těchto sedimentech se většinou neuvádí výskyt vulkanických materiálů. Zdroj sedimentu byl jižně od pánví. Toto je zejména případ starších výskytů dřev v obou jednotkách VSP uvedených výše a štikovských arkóz v PKP.

Mladší výskyty silicifikovaných dřev v PKP, především v semilském souvrství s. od Nové Paky a ve staropackých pískovcích by mohly být svázány s pozůstatkem vulkanismu zodpovědného za vznik ploužnického obzoru. Zdrojem materiálu bylo pravděpodobně krkonošské krystalinikum.

Kmeny jsou v pánvích různě rozesety, což je také dílem času, kdy se pohybovaly v prostředí a reagovaly tak stejně jako sedimentární jednotky na pokřídové přesmyky, přesmyky, zlomy a výzdvihy, které proběhly ve spojitosti s alpsko-karpatským vrásněním, atd. Kolem kmenů uložených *in situ* se vyskytují rezavé povlaky hematitu, osa uložení kmenů velmi často leží paralelně s vrstvami sedimentů, alespoň co se týče dosud v literatuře popsaných případů.

Mechanismus silicifikace v PKP a VSP je poměrně těžké odhadnout, protože se dnes většina silicifikovaných dřev (s výjimkou araukaritů) nachází v aluviu, vzniklém po rozplavení původních horizontů, kde docházelo k petrifikaci. K rozřešení tohoto problému by mohla přispět analýza minerálních inkluzí v silicifikovaném dřevě. Všeobecně se soudí, že dřeva byla uložena a pak petrifikována v arkózových nebo subarkózových sedimentech, v případě araukaritů v náplavu dosti prudké až divočí říčky. V arkózových vrstvách s fosilními dřevy se sopečný materiál neuvádí (Valín 1960), otázkou však zůstává, jak by např. tuf vypadal po tolika letech, vezmeme-li v úvahu pohyb v řece a vysokou hladinu spodní vody v poměrně porézním, dodnes dosti nezpevněném říčním náplavu. Možnou výjimkou je však množství nálezů z okolí Nové Paky, z blízkosti ploužnického obzoru v semilských vrstvách, které pravděpodobně sopečný materiál obsahovaly. Ploužnický obzor je zóna, kde proběhla intenzivní silicifikace včetně vzniku silicitů a „karneolů“ (Pešek et al. 2001).

3. Metodika vlastní práce

3.1 Úvod

Cílem vlastní experimentální práce bylo podrobit vybrané vzorky, které byly v předchozím období hodnoceny pouze makroskopicky, detailnímu mikroskopickému studiu a instrumentální analýze. Pochopení anatomie permokarbonských rostlin, vztahu mezi anatomii a fosilizací, petrografie křemenné hmoty či doprovodného detritického materiálu, které vzorky tvoří, a hlavně všestranná interpretace získaných výsledků, si vyžadují maximálně otevřený interdisciplinární přístup. Neexistuje jednotný postup, jak vzorky petrifikovaných stonků rostlin vlastně zpracovat, aby se vytěžilo maximum informací o vlastních rostlinách, jejich tafonomii a průběhu petrifikace vůbec. Jedním z cílů této práce bylo k navržení takového postupu přispět. V následujícím textu je používáno několik zkratk, jejichž význam je vysvětlen v tabulce 3.

OM	Optická mikroskopie (s jedním nikolem; PPL – <i>plain polarised light</i>)
PM	Mikroskopie v polarizovaném světle (se zkříženými nikoly; XPL – <i>crossed polars</i>)
XRD	Rentgenová prášková difrakce (<i>X-ray powder diffraction</i>)
CL	Katodová luminiscence; katodoluminiscenční (<i>cathodoluminescence</i>)
EDX	Energiově disperzní rentgenová analýza (spektroskopie) (<i>energy dispersive X-ray analysis</i>)
SEM	Řádkovací elektronová mikroskopie (<i>scanning electron microscopy</i>)
RBS	Rutherfordův detektor zpětně odražených elektronů (<i>Rutherford Backscattering Spectrometry</i>)
BSE	Detektor odražených elektronů (<i>backscattered electrons</i>)
SE	Detektor sekundárních elektronů (<i>secondary electrons</i>)
Qtz	Křemen (SiO_2)
Plg	Plagioklas; izomorfní řada Na-Ca živců ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)
Ort	Ortoklas; K-živec (KAlSi_3O_8)
Chemický kontrast	různý stupeň šedi podle průměrného atomového čísla chemických prvků při zobrazení SEM detektorem BSE
Mapping	zjištění plošné distribuce prvků
Imaging	metoda zobrazení

Tab. 3. Přehled nejčastěji používaných zkratk a pojmů v textu.

3.2 Půjčení vzorků

Veškeré vzorky silicifikovaných dřev určené ke studiu v rámci této práce byly vypůjčeny z Národního muzea v Praze, jehož sbírky jsou rozsáhlé a obsahují i spoustu dosud nezpracovaného materiálu. V první etapě bylo zapůjčeno 16 ks, v druhé 12 ks petrifikovaných dřev. Snahou bylo vybrat co nejvíce reprezentativní kusy, na kterých by bylo možné demonstrovat základní anatomické charakteristiky zástupců jednotlivých skupin či typů A až E (viz Paleobotanická část, kap. 2.2). Dalším krokem bylo studovat jejich mineralogické a chemické složení a získané výsledky dávat do souvislosti se známými charakteristikami uvedených nalezišť, pokud ovšem byla u daných vzorků uvedena.

Od každé skupiny či typu dřeva (viz Paleobotanická část, kap. 2.2) bylo vybráno několik zástupců, a to také se zřetelem na uvedená naleziště. Ta měla pocházet pokud možno rovnoměrně z obou východočeských permokarbonských pánví, podkrkonošské i vnitrosudetské. Tím mělo být zajištěno, že získané výsledky ze vzorků z obou pánví, popř. nalezišť, bude možné mezi sebou navzájem porovnat. Jak se však ukázalo, ve sbírkách Národního muzea nebylo v době kdy jsme si dřeva půjčovali, dostatek

pro nás příhodného materiálu, který by splnil všechny naše požadavky. Hledali jsme totiž spíše menší vzorky vhodné k nařezání (což byl jeden z největších problémů), dále vzorky zachovalé, s texturou typickou pro jednotlivé taxony, a vzorky co nejlépe dokumentované a popsané. Většinu takových fosilních dřev má ale Národní muzeum bohužel umístěnou v trvalé expozici, která se nepůjčuje.

Zdaleka ne všechny zapůjčené kusy byly systematicky určené. U pojmenovaných vzorků byl určen rod, výjimečně i druh. Některá taxonomická zařazení však byla nesprávná. U některých kusů se dokonce ukázalo, že šlo o chybný popis (viz Výsledky, kap. 5). Často také chybělo určení naleziště. Při výběru vzorků v Národním muzeu nebyl nalezen ani jeden vhodný reprezentativní vzorek plavuně (typ A, podle kap. 2.2), tudíž tato skupina není v této DP zmiňována. Bohužel, některé kusy dřev mohly být naopak zapůjčeny pouze k makroskopickému pozorování, jako např. dva vzorky **typu D** (rod *Medullosa* sp.), a nebylo je dovoleno jakkoli řezat či zmenšit.

Hlavní vzorková základna, která byla získána pro potřeby této práce, se tedy skládá z dřev **typu B, C a E** (*Arthropitys* sp., *Psaronius* sp. a *Dadoxylon* sp.). Výrazně převažuje materiál z podkrkonošské pánve. Seznam vzorků je uveden v tabulce 4. Ke každému vzorku s evidenčním číslem Národního muzea bylo pro snadnější orientaci přiřazeno pracovní číslo, a to od 1 do 18. Tyto kusy bylo možno po vzájemné dohodě nařezat tak, aby byla podstatná část vzorku vrácena neporušená. Z odřezaných částí byly zhotoveny výbrusy (viz kap. 4.1), které po ukončení studia rovněž přejdou do vlastnictví muzea.

Vzorky a z nich zhotovené výbrusy byly dokumentovány digitálním fotoaparátem (viz kap. 4.1, 4.2) a výbrusy byly naskenovány pro pracovní dokumentaci. Ta byla nezbytná pro základní orientaci a dokumentaci instrumentálních analýz. Velikosti celých vzorků jsou uváděny v evidenčních tabulkách jednotlivých vzorků v rámci kapitoly Výsledky (kap. 5) v milimetrech, přičemž první dvě čísla znamenají cca průměrnou délku kratší a delší strany průřezu a třetí číslo označuje délku stonku.

3.3 Postup identifikace vzorků z výbrusů

Nejprve byla dřeva z výbrusů podrobně popsána a systematicky určena za použití **optické mikroskopie**. Zařazení vzorků do paleobotanického taxonomického systému na základě jejich zachovaných anatomických znaků bylo velice obtížné. Ukázalo se, že vzorky jsou ve většině případů silně rekrystalizované a jejich pletiva porušená a obtížně určitelná. Nesmírně cennou pomocí byla odborná konzultace všech výbrusů u Ronnyho Rößlera v Museum für Naturkunde v Chemnitz v Německu. Jelikož se často stává, že anatomické znaky viditelné na transverzálních řezech jsou nepostačující pro přesnou identifikaci, a to i u dobře zachovaných, nepřekrystalizovaných vzorků (Balabán 1955; Němejc 1963, 1968; Dernbach et al. 2002), bylo nezbytné dodatečně zhotovit od některých stonků nábrusy z tangenciálního či radiálního řezu (viz kap. 4.2). Nábrusy byly prohlíženy mikroskopii v reflexním režimu (kap. 4.3). Až teprve na základě srovnání anatomických znaků v jednotlivých řezech byla dřeva alespoň v některých případech s jistotou určena. Systematický přehled permokarbonských dřev používaný v této práci je uveden v kap. 2.1 a vychází z taxonomického systému Němejce (1963, 1968) a jeho adaptace (Matysová 2004).

Číslo výbrusu	Původní označení	Lokalita	Inventární číslo	Pánev
1	<i>Arthropityx</i> sp.	Nová Paka, Balka	E 6291	PKP
2	<i>Psaronius</i> sp.	Nová Paka, Balka	E 6293	PKP
3	<i>Arthropityx</i> sp.	Nová Paka, Balka	E 6290	PKP
4	<i>Psaronius asophilloides</i>	Nová Paka	E 6214	PKP
5	<i>Psaronius</i> sp.	Nová Paka, Balka	E 6295	PKP
6	? Přeslička	Nová Paka, Balka	E 6296	PKP
7	? Přeslička	Stará Paka, les Lísek	27030	PKP
8	? Přeslička	Stará Paka, les Lísek	27030	PKP
9	? <i>Dadoxylon</i>	Stupná (u Pecky), lesní úvoz k sv. Máří Magdaléně, sběr 26.6.1909	26240, 56, 2240.	PKP
10	?	Stará Paka, pole při "Přičnici", sběr 8.10. 1909	2218, 26240	PKP
11	? <i>Dadoxylon</i>	Žaltmanský hřeben u Radvanic, Brenda	26240, 3/59, 2246.	VSP
12	? Přeslička	Stará Paka, les Lísek	27030	PKP
13	<i>Calamites</i>	Podkrkonoší	1	PKP
14	?	Studenec, Černý les, směrem k Nedaříži, sběr 1910	26240, 3/69. 2224	PKP
15	? <i>Dadoxylon</i>	Radvanice, halda po uhelném dolu, sběr XII. 1932	26240	VSP
16	? <i>Dadoxylon</i>	Žaltmanský hřeben u Radvanic, sběr 29.9.1910	26240, 3/60, 2246.	VSP
17	?	Nová Paka, sběr 1949	32033	PKP
18	?	Kozinec u Jilemnice, sběr 8.10.1909	3/41 2108.B	PKP
19	<i>Medullosa stellata</i>	?	E 6219	?

Tab. 4. Seznam vzorků přijatých z Národního muzea v Praze s originálním označením.

V kombinaci s **polarizační mikroskopii** byla dále petrograficky studována křemenná matrice (viz kap. 2.3) a její vliv na anatomii dřeva, nebo v mnoha případech spíše naopak, vliv anatomie dřeva na konkrétní podobu křemenné hmoty. Jelikož měly studované výbrusy větší tloušťku než je obvyklé (až 0,08 mm), mají krystaly různých forem křemene ve zkřížených nikolech vysoké interferenční barvy. Výsledky z oblasti anatomie dřev a petrografie křemene, popř. jiných minerálních složek, které byly ve výbrusech přítomny, dále sloužily jako významný odrazový můstek při aplikaci chemických instrumentálních analytických metod, a to zejména za účelem zanalyzovat podrobněji vybrané zajímavé oblasti.

3.4. Použité instrumentální techniky

Kromě již výše zmíněných zajímavých oblastí, které byly vybrány pomocí OM a PM, bylo nezbytné hrubě proměřit pomocí jednotlivých instrumentálních metod plochu celého výbrusu, zobrazit chemický kontrast SEM s BSE nebo RBS detektorem, detekovat jakékoliv doposud mikroskopii neobjevené heterogenity v silicifikovaném materiálu a zjistit prvkové složení minerálních příměsí, případně detritického materiálu. Při instrumentálních analýzách bylo využito schopností **imagingu katodové luminescence a rastrovací elektronové mikroskopie SEM se zobrazovacím módem detektorů RBS, BSE a SE**. V kombinaci s **režimem EDX** byla u vybraných bodů provedena i kvalitativní a kvantitativní analýza. U několika vzorků, z nichž byly k dispozici fragmenty vhodné velikosti a tvaru, byly změřeny **rentgenové práškové difraktogramy**. Jednotlivé metody jsou při správném používání nedestruktivní a až na drobné problémy, které vznikají s potřebami pokovit či nepokovit výbrus kvůli CL nebo SEM ve vysokém vakuu při použití detektoru SE nebo BSE, se při studiu silicifikovaných dřev velice osvědčily. Jejich výhody a konkrétní aplikace v praxi jsou rozepsány v kapitole 5 (Výsledky), principy katodové luminescence byly podrobněji rozebrány v kap. 2.4.1. V následující kapitole (Experimentální část, kap. 4) jsou uvedeny analytické podmínky při jednotlivých měřeních a obchodní názvy použitých přístrojů, zároveň s jejich parametry.

Je nutné zdůraznit, že právě kombinace všech výše zmíněných metod a správný sled jejich návazného používání, poskytuje hodnotné výsledky. Např. z práce Marka (2004), který se zabýval studiem křemenné hmoty achátů, vyplývá, že CL často zobrazí zajímavá místa ve výbrusech, která nejsou "viditelná" ostatními zobrazovacími metodami. Abychom tedy efektivně využili výpovědní hodnotu *imagingu* z katodoluminiscenčních měření v rámci celé experimentální práce, musíme si správně rozmyslet, do které fáze studia ji zařadíme.

4. Experimentální část

4.1 Fotodokumentace vzorků

Fotografie vzorků byly zhotoveny digitálním fotoaparátem CANON POWERSHOT A 520 a Olympus C-765UZ.

4.2 Příprava výbrusů

Z vypůjčených petrifikovaných stonků byly pro přípravu výbrusů odříznuty menší části, a to bohužel vždy u každého vzorku jinak s ohledem na jeho strukturu a tvar, přičemž musela být plně respektována Smlouva o výpůjčce v Paleontologickém oddělení Národního muzea v Praze. Podle této dohody nesměl být vzorek č. 19 řezán, tudíž byl studován pouze z nábrusu.

Celkem bylo z 18 ks dřev zhotoveno 24 výbrusů v transversálním řezu. Prvních dvanáct zhotovila fa. DIATECH s.r.o., a to 6 párů, vždy po jednom krytém (petrografickém) a jednom leštěném výbrusu. Výbrusy s krycím sklíčkem (dále v textu značeny symbolem „a“, např. 1a, 2a až 6a) byly použity pouze k mikroskopickému studiu (OM, PM). Další dvanáct výbrusů bylo vyrobeno v Laboratoři geologických ústavů PřF UK (Jana Škorpíková), a to od každého vzorku vždy jeden leštěný nepokrytý výbrus. Těchto 12 výbrusů spolu s druhou šesticí z první výpůjčky (značené symbolem 1b, 2b až 6b) bylo využíváno ke studiu pomocí OM a PM a hlavně k instrumentálním analýzám. Výše zmíněné instrumentální metody (kap. 3.4) totiž vyžadují leštěné nepokryté povrchy výbrusů.

Odřezané úlomky vzorků byly přilepeny epoxidovou pryskyřicí na podložní sklíčko a broušeny do požadované tloušťky 0,03 až 0,08 mm, která záležela především na mechanických vlastnostech a opracovatelnosti dřeva. Následně byly tenké transversální řezy leštěny diamantovou pastou až do dosažení dokonale hladkého povrchu. Z některých zbylých úlomků a odřezaných kusů byly dodatečně zhotoveny a vyleštěny nábrusy v radiálním či tangenciálním řezu (viz kap. 3.3) Vybrané plochy byly vyleštěny diamantovou pastou do vysokého lesku. Vzorek medulózy (č. 19; bez výbrusu) byl pro svou velikost dodatečně leštěn oxidy hliníku v Laboratoři odboru geochemie horninového prostředí ČGS (Jana Škorpíková). Leštěné výbrusy byly pro studium pomocí CL a EDX (se SE nebo BSE detektorem) pokryty vrstvou grafitu. Grafit byl po elektronové mikroskopii odstraňován otřením buničinou ovlhčenou acetonem. Vybrané úlomky po řezání vzorků, které měly vhodnou velikost (cca 1 x 2 cm a tloušťku cca 0,5 cm) byly použity k změření rentgenových práškových difraktogramů.

4.3 Optická mikroskopie (OM, PM)

Mikroskopie sloužila k pozorování a popisu jednotlivých strukturních částí dřev (buňky, pletiva), a na základě anatomických znaků k přiřazení vzorku do určité systematické skupiny. Taxony totiž nebývají vždy správně určeny, a to ani v muzejních sbírkách. Všechny výbrusy byly pozorovány

pod optickým laboratorním mikroskopem Olympus BX51 s digitálním fotoaparátem a softwarem na zpracování obrazu (pracoviště Jakuba Sakaly, ÚGP PŘF UK). Vybrané části byly přímo fotografovány trvale nainstalovaným digitálním fotoaparátem Olympus Camedia C-3030Z a přes rozhraní plochého LCD panelu a s pomocí programu grafické analýzy AnalySIS převedeny do elektronické podoby.

Pro pozorování výbrusů v polarizovaném světle (PM = XPL) byl využíván mikroskop pro fluorescenční mikroskopii v UV-světle, Leica instalovaný v laboratoři ÚGMNZ PŘF UK. Fotografie z tohoto mikroskopu byly zhotoveny fotoaparátem Olympus Camedia C-2000Z. Dalším použitým mikroskopem byl Olympus BX-60 (ÚACH AVČR v Řeži), na kterém bylo zhotoveno několik digitálních fotografií v procházejícím i polarizovaném světle. K detailnímu prohlížení nábrusů byl použit mikroskop Olympus BX51M s reflexním režimem (ÚSMH AV ČR).

4.4 Katodová luminiscence (CL)

Katodová luminiscence je výbornou a dosud poněkud nedocenenou metodou při studiu petrografických výbrusů. Metoda se z mnoha různých důvodů velice osvědčila při studiu silicifikovaných dřev. Tato metoda je stručně popsána v kapitole 2.4.

K pozorování výbrusů silicifikovaných dřev CL byl použit přístroj s horkou katodou značky Simon-Neuser HC2 – LM umístěný na pracovišti Doc. Jaromíra Leichmanna (ÚGV PŘF MU v Brně). Měření se provádělo při urychlovacím napětí 14 keV, proudové hustotě 10 - 40 $\mu\text{A}/\text{mm}^2$, v prostředí vysokého vakua (10^{-6} barů). Fotodokumentace byla zhotovena pomocí digitálního fotoaparátu Olympus C – 5060. Před měřením CL byly všechny leštěné výbrusy pokryty vrstvou grafitu, aby se předešlo povrchovému nabíjení výbrusu. Jelikož má křemen slabou luminiscenci a navíc byly používány tlustší výbrusy, než je běžné, bylo nutné vzorek exponovat delší dobu, v našem případě cca 8 sekund u krátce-žijící CL, a více než 15 sekund u CL, která přechází z krátké na dlouhodobou.

4.5 Analýza EDX a zobrazení skenovací elektronovou mikroskopií (SEM)

Analýzy EDX sloužily k zjištění prvkového složení jednotlivých komponent permineralizovaného materiálu, přítomných pigmentů, detritických a minerálních příměsí a akumulací těžkých kovů ve výbrusech. K analýzám EDX byly využity dva odlišné přístroje, které jsou v následujícím textu (pokud byly využity oba dva zároveň) uváděny za sebou podle místa pracoviště, což je buď ÚACH AVČR v Řeži, nebo PŘF UK v Praze.

Analýzy EDX v ÚACH AVČR v Řeži se prováděly na elektronovém mikroskopu Philips XL-30 CP s RBS detektorem v režimu tzv. vysokého tlaku (do 0,5 mbar), takže vzorky se nemusely před analýzou pokovovat. Výsledky prvkových kvantitativních analýz EDX vybraných bodů ze zvolených oblastí jsou u jednotlivých vzorků uváděny v tabulkách, a to v atomárních procentech od C výše normalizovaných na 100%. Analýza C je poměrně nespolehlivá, protože energie jeho čáry je příliš nízká. Ve výsledcích je přesto uhlík uváděn, ale jeho význam je spíše semikvantitativní. Díky tomu jsou bohužel méně správné

i analýzy ostatních prvků, přičemž jejich poměry ale nejsou nesprávností C ovlivněny. Lze je tedy bez problémů využít při odhadu stechiometrie minerálních zrn.

Na pracovišti ÚGMNZ PřF UK byly některé vzorky analyzovány Radkem Procházkou na Elektronovém mikroskopu Cambridge CamScan s EDS detektorem a mikroanalytickým systémem LinkISIS 300. Před měřením byly vzorky pokoveny vrstvou uhlíku na napařovače vzorků pro SEM a LEM BS 349+BP 343.6, Tesla Elmi. Při bodových analýzách byl použit proud elektronového svazku o intenzitě 1,8 nA s urychlovacím napětím 20 kV a načítací čas 100 sekund. Rozlišení energií spekter bylo 62 eV. Spektra byla kvantifikována procedurou ZAF. Pro rutinní kvantitativní kalibraci byly použity sada minerálů SPI Supplies 53 Minerals Standard set #02753-AB. Vybrané body byly u jednotlivých vzorků proměřovány zejména kvalitativně, a pokud byly nalezeny zajímavé heterogenity, byl kladen důraz zejména na *imaging* v zobrazovacím módu SEM. Při zobrazení SE detektorem měl proud elektronového svazku 0,003 nA při urychlovacím napětí 15 kV. Při zobrazení BSE byl proud svazku nastaven na 0,8 nA a urychlovací napětí na 20 kV.

4.6 Rentgenová prášková difrakce (XRD)

Rentgenová difrakce sloužila ke zjištění minerální matrice petrifikovaného dřeva, neboť mohlo jít o křemen, kalcit, siderit, případně další minerály. Několik jednostranně planárních fragmentů po řezání vzorků při přípravě nábrusů bylo použito k rentgenové práškové difrakci na přístroji Siemens D5005 (ÚACH AVČR, Řež) a na přístroji X'Pert PRO (PřF UK, Praha). Difraktogramy byly prohlíženy ve volně šiřitelném programu PowderCell 2.4 (W. Kraus a G. Nolze, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin).

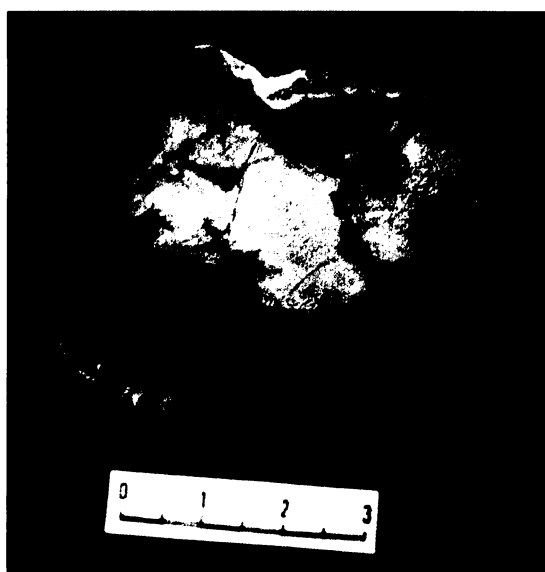
5. Výsledky

Po nastínění cílů práce (kap. 1), všeobecném úvodu (kap. 2), rešeršních kapitolách (kap. 2.1 až 2.5), stručně nastíněné metodice vlastní práce (kap. 3) a přesně charakterizované experimentální části (kap. 4), kde jsou podrobně uvedeny parametry podmínek, za kterých probíhaly analýzy, přichází na řadu 5. část s výsledky mikroskopického studia a instrumentálního měření jednotlivých vzorků. Vysvětlení zkratk a pojmů nejčastěji používaných v textu je uveden v tabulce 1 a 3 (viz kap. 2.1.3 a 3.1).

V každé následující kapitole jsou uvedeny

- ◆ **systematické zařazení vzorku** (nahore uprostřed)
- ◆ **fotografie vzorku**
- ◆ **typ permokarbonského dřeva** (nahore vpravo; vysvětlení viz kapitola 2.1)
- ◆ **makroskopický popis** ve formě evidenční tabulky, přičemž:
 - *inventární číslo vzorku* označuje inventární číslo Národního Muzea,
 - *velikosti celých vzorků* jsou uváděny v *milimetrech* ve tvaru X x Y x Z, kde X, Y a Z jsou průměrná délka kratší a delší strany průřezu a délka stonku
- ◆ **mikroskopický popis** zhotovený z pozorování v normálním a polarizovaném světle (**OM, PM**) + demonstrační fotografie k popisu
- ◆ celkový obrázek výbrusu, který dále sloužil jako podklad pro přesnou lokalizaci měřených bodů analyzovaných jednotlivými metodami (umístěn u popisu měření EDX)
- ◆ výsledek **rentgenové práškové difrakce** (XRD) pokud byla prováděna
- ◆ měření **katodové luminiscence** (CL) + fotografie
- ◆ měření **EDX (ÚACH)** + fotografie (zobrazení SEM; RBS) + *mapping* SEM
- ◆ měření **EDX (PřF UK)** + spektra EDX + fotografie (zobrazení SEM; BSE, SE)

1

Arthropitys GOEPP. (*Arthropitys* sp.)♣ Typ *ARTHROPITYS* /BObr. S.1.1. Vzorek E 6291, *Arthropitys* sp.

Obr. S.1.2. Transverzální řez vzorkem E 6291.

MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.1.1, S.1.2)

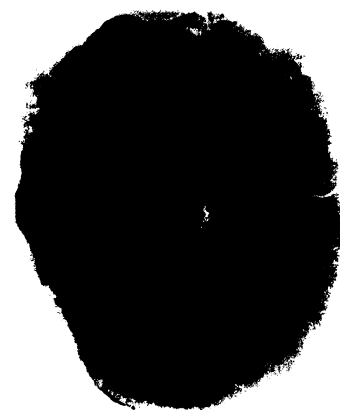
<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6291	<i>Velikost [mm]</i>	50 x 34 x 30	<i>Lokalita</i>	Balka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Malý fragment silicifikovaného stonku přesličky o délce necelého jednoho článku, neboť z obou stran chybí oblast nodu i komisurální linie, na průřezu makroskopicky viditelná nejen radiální struktura, ale i velké množství prasklin a trhlin						
<i>Tvar</i>	Nepravidelný, na průřezu připomíná trojlístek						
<i>Zbarvení</i>	Šedavě narůžovělá barva, silnější tmavší linie na okraji						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	2 výbrusy, pokrývají celý průřez vzorkem 1a s tmavou strukturou na kraji 1b s kulatým průřez				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Ve výbrusu č. 1a a 1b (obr. S.1.3, S.1.4) mikroskopicky pozorujeme silicifikaci velice dobře zachovanou strukturu rostlinného pletiva, které má poměrně jednotnou stavbu. Převážnou většinu plochy totiž tvoří pletivo sekundárního xylému (obr. B.2.), jehož tracheidy jsou uspořádány do podélných řad většinou o šířce 2 až 5 buněk a jsou lemovány paralelně procházejícími úzkými dřevními parenchymatickými paprsky, které jsou poměrně dlouhé (i 8 až 12 buněk). Stonek tedy druhotně tloustl.



Obr. S.1.3. Výbrus č. 1a (vlevo): červeně jsou znázorněny linie dřevních paprsků, mezi nimi je vždy několik řad tracheid sekundárního xylému (žlutě). Vlevo tmavá struktura permineralizovaného sedimentu; transverzální řez. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

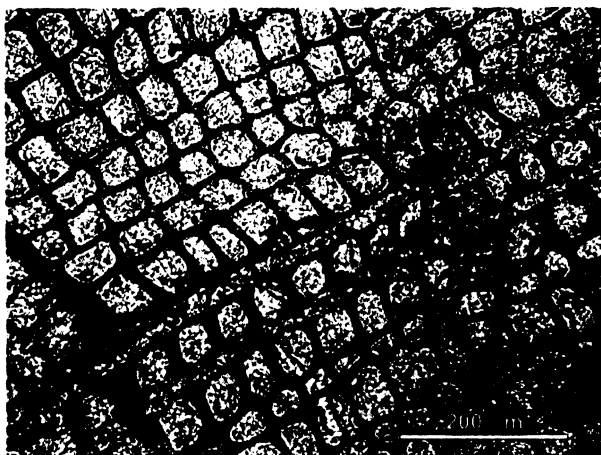


Obr. S.1.4. Výbrus č. 1b (vpravo): pletivo sekundárního xylému je uspořádáno radiálně, ale je přerušované častými prasklinami; transverzální řez. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

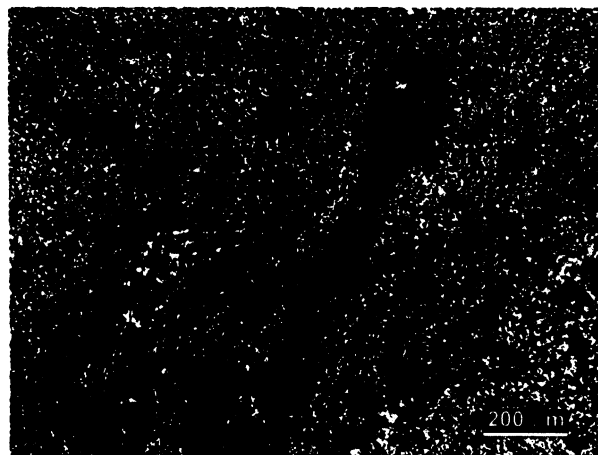


Rod *Arthropitys* by bylo potřeba přesně určit z radiálního (či tangenciálního) řezu z poměru parenchymu ku dřevu (viz obr. B.5, vpravo), ale bohužel nebyl k dispozici vhodný nábrus. V některých místech mají buněčné stěny tracheid v příčném řezu deformovaný tvar a jsou zkrabatělé (obr. S.1.5). Stejně tak i linie sekundárního dřeva a k nim přidružených paprsků jsou na některých místech zprohýbané (obr. S.1.3). To by mohlo naznačovat deformaci vnějším tlakem. Pletivo je porušené častými prasklinami, které vybíhají z různých směrů a jsou vyplněny bílou, naředlou nebo čirou křemitou hmotou. Některé buňky jsou tmavě zbarveny, a to oxidy železa, jak dokázala analýza EDX (viz níže). Pomocí PM vidíme, že buněčné stěny (obr. S.1.7) jsou mineralizovány jemným mikrokrytalickým křemenem (obr. S.1.8), což vytváří na první pohled jednotnou síťovitou strukturu. Každá buňka tracheidy je však zevnitř vyplněna chalcedonem, který má v PM oranžově nahnědlou barvu (S.1.8, S.1.11). Krystalizační jádra tohoto sférolitického chalcedonu musela být uvnitř buněk a jednotlivé krystalky narůstaly směrem k okraji a vytvářely radiálně rostlé paprsky, ukončené plochou buněčné stěny. Každou tracheidovou buňku vyplňuje vždy jen jeden sféroliticky rostlý chalcedon. Podle Weibela (1996) se tedy jedná o oligoblastickou texturu dřeva.

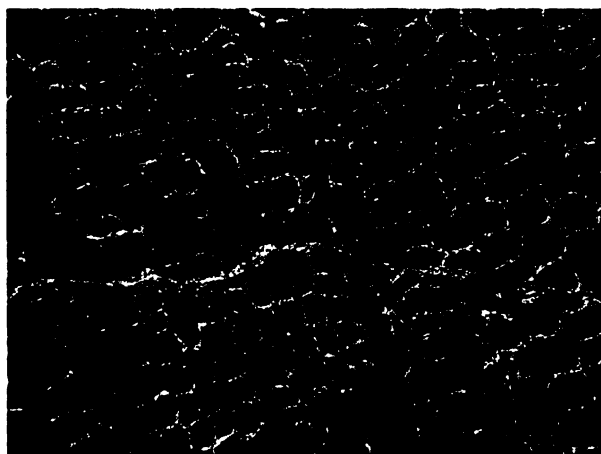
Tmavá struktura v dolní polovině výbrusu 1a nalevo (obr. S.1.3) je pravděpodobně relikv permineralizovaného okolního sedimentu, v kterém jsou vidět ostrohranná zrna a vláknité struktury (obr. S.1.6, S.1.9). Několik zrn má v OM fialovou barvu, a jsou difúzně obklopena nafialovělou zónou. V mezerní prasklině jsou zrnka slídy, nejspíš muskovitu, neboť zrna nejsou pleochroická jako biotit a v PM mají vysoké interferenční barvy s perleťovými odlesky (obr. S.1.10).



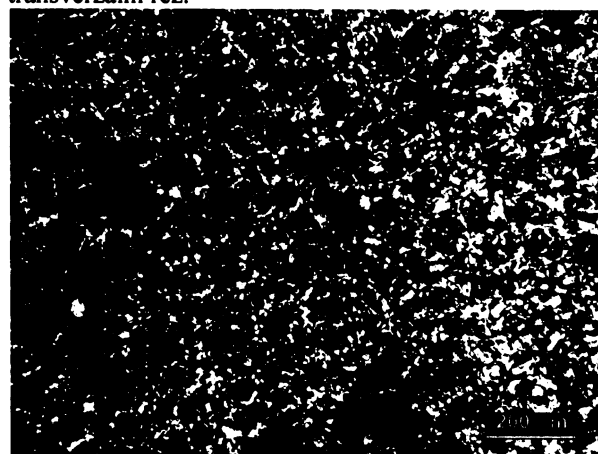
Obr. S.1.5. Výbrus č. 1a – OM: řady tracheid se ztlustými buněčnými stěnami, úzké dřevní parenchymatické paprsky lemují řady tracheid; transverzální řez.



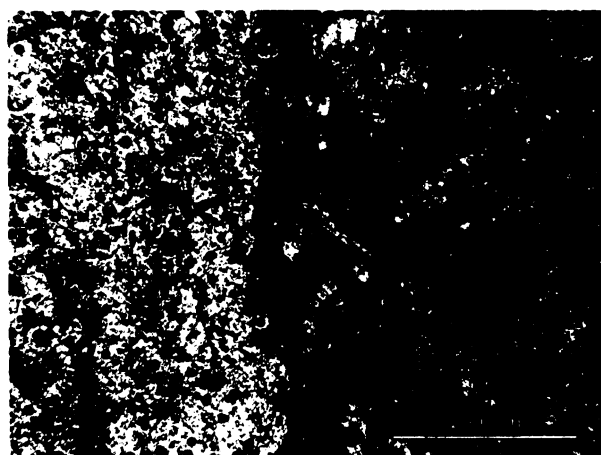
Obr. S.1.6. Výbrus č. 1a - OM: permineralizovaný okolní sediment s vláknitými strukturami (tmavá struktura při levém okraji v dolní polovině výbrusu 1a. Od stonku ho odděluje mezera vyplněná minerály; transverzální řez.



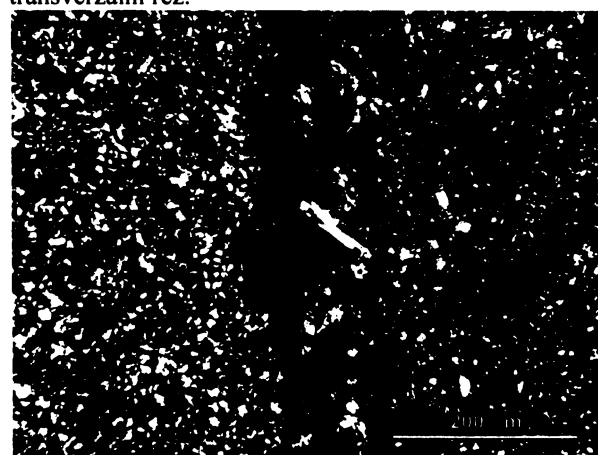
Obr. S.1.7. Výbrus č. 1a – OM: řady tracheid se ztlustými buněčnými stěnami, přerušené prasklinou vyplněnou čirým křemenem. V buňkách je vidět shluky železitého pigmentu; transverzální řez.



Obr. S.1.8. Výbrus č. 1a - PM: řady tracheid jejichž buněčné stěny jsou tvořeny mikrokrytalickým křemenem a vnitřky vyplněny radiálně ze středu buněk rostlým chalcedonem (oranžově nahnědlé barvy); transverzální řez.

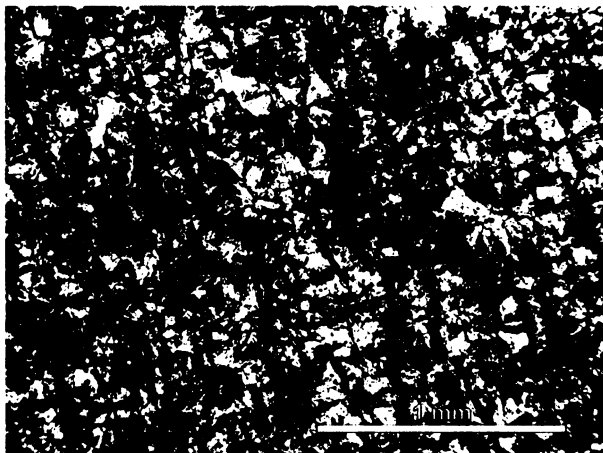


Obr. S.1.9. Výbrus č. 1a - OM: mezera na rozhraní dřeva přesličky (vlevo) a permineralizovaného sedimentu (vpravo), vyplněná detritem a minerály, uprostřed průhledné zrno slídy, patrně muskovitu; transverzální řez.

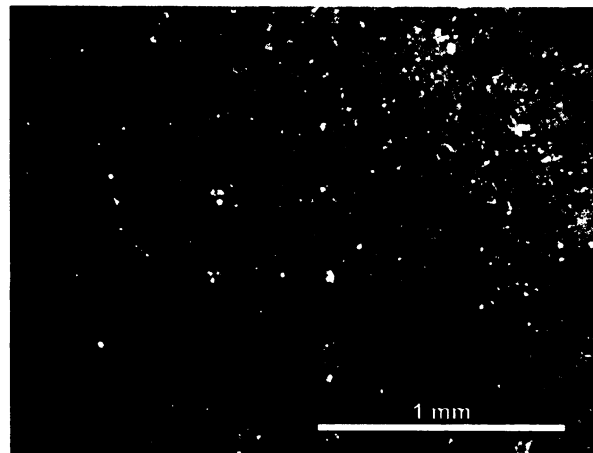


Obr. S.1.10. Výbrus č. 1a - PM: mezera na rozhraní dřeva přesličky a permineralizovaného sedimentu, vyplněná detritem a minerály, uprostřed zrno slídy, patrně muskovitu s vysokými interferenčními barvami a perleťovým odleskem; transverzální řez.

KATODOLUMINISCENCE: CL křemité hmoty v oblasti sekundárního xylému poskytuje dvě odlišné barvy (obr. S.1.12). Buněčné stěny tracheid mají červenou CL, takže se jeví jako kontury, různě zprohýbané a zvlněné stejně jako stěny buněk. Obsah buněk má naopak (než u ostatních vzorků) jasně modrou CL. Jedná se pravděpodobně o odraz odlišné stavby buněčné hmoty, která měla vliv na průběh silicifikace. Při okraji výbrusu 1b převažuje modrá barva CL, je vidět rozhraní obou barev a začátek červených buněčných stěn.



Obr. S.1.11. Výbrus 1b - PM: buňky sekundárního xylému vyplněné chalcedonem, okolo buněčné stěny tvořené mikrokrystalickým čirým křemenem.



Obr. S.1.12. Výbrus 1b – CL: buňky sekundárního xylému jeví dvě odlišné CL, červené buněčné stěny a modrý obsah buněk.

EDX (ÚACH): Analýzou bylo zjištěno, že celá fosílie je jednotně složena z SiO_2 , který je zbarven oxidy Fe. Na mikroskopických snímcích (OM) je pigment vidět uvnitř buněk.

2 *Psaronius* COTTA (*Psaronius* sp.)

♣ Typ *PSARONIUS* /C



Obr. S.2.1. Vzorek E 6293, *Psaronius* sp.

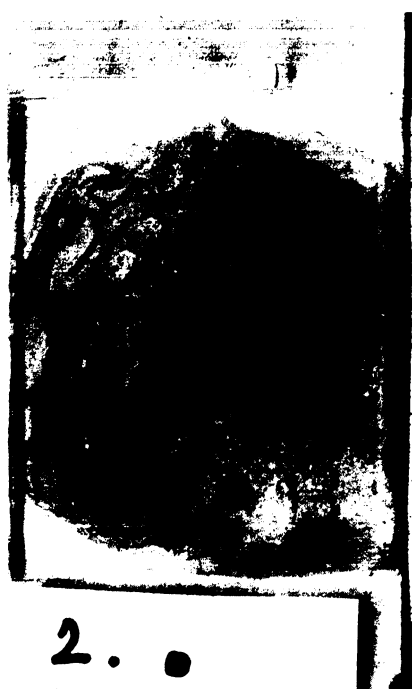
Obr. S.2.2. Vzorek E 6293, *Psaronius* sp. s výbrusy.

MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.2.1, S.2.2)

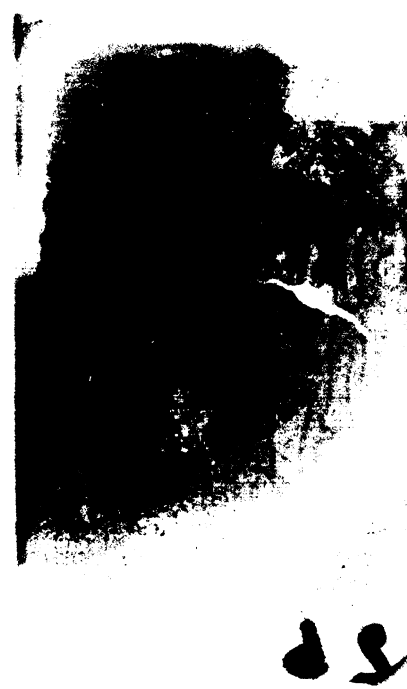
<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6293	<i>Velikost [mm]</i>	42 x 73 x 38	<i>Lokalita</i>	Balka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Fragment silicifikovaného pláště vzdušných kořenů rodu <i>Psaronius</i> COTTA, dobře viditelná struktura kořínek, většinou ve tvaru protáhlých oček uspořádaných téměř do prohnutých "řad"						
<i>Tvar</i>	Oválný průřez, z jedné strany "lasturnatý" vnější okraj vzorku						
<i>Zbarvení</i>	Červenavě černý vzorek, výrazně tmavé sklerenchymatické pochvy kořínek ve tvaru protáhlých oček, vnitřky kořínek červenavé barvy						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	2 výbrusy pokrývají téměř celý vzorek, oba obsahují velmi podobné struktury 2 a - středový 2 b - okrajový				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Oba výbrusy (obr. S.2.3) obsahují poměrně dobře zachovanou strukturu typické psaroniové rostliny, a to výhradně z oblasti pláště vzdušných kořínek. Nedochovaly se bohužel některé jemné parenchymatické a aerenchymatické struktury a cévní svazky kořínek. Tmavě zbarvené sklerenchymatické pochvy jednotlivých kořínek jsou vidět makroskopicky i mikroskopicky. V OM je v některých místech kolem nich viditelná tkáň zachovaného sekundárního (intersticiálního) parenchymu, což je typický znak vnitřního pláště (viz obr. C.5).

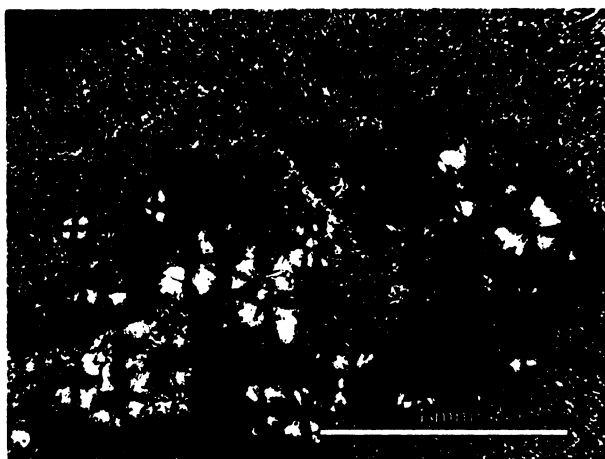


Obr. S.2.3. Výbrus č. 2a (vlevo) a 2b (vpravo): většinu výbrusu tvoří tmavě zbarvené sklerenchymatické pochvy vzdušných kořínků z vnitřního pláště, mezi nimi je ukryta sekundární (intersticiální) parenchymatická tkáň se zrní sedimentu. Vzorkem prochází velké množství prasklin. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm, transverzální průřez.

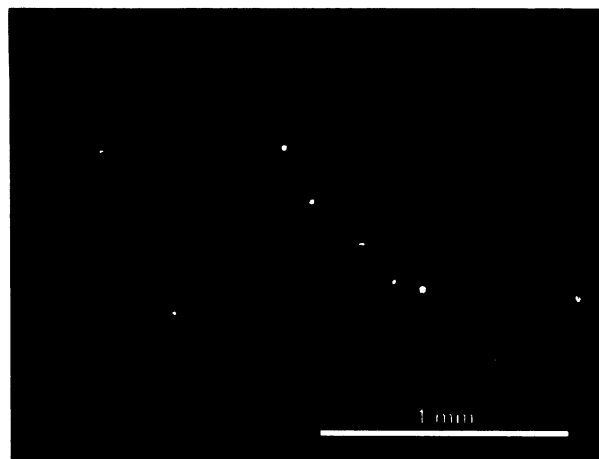


Bohužel pouze z fragmentu kořenového obalu nelze určit typ stéle ani typ psaroniové rostliny (viz obr. C.2, C.4., C.7., C.8). Psaronie se sice v současné době taxonomicky třídí zejména podle morfologických znaků (Procházka 1912 či nověji Němejc 1963 a Dernbach et al. 2002), ale rozhodující je uspořádání jednotlivých cévních svazků a listových stop v rámci diktyostéle, nikoliv uspořádání pláště a tvar vzdušných kořínků. Ty totiž nabývají různého objemu a tvaru v závislosti na stáří, výšce a vyspělosti rostliny, a také na tom, kde konkrétní jedinec rostl a zda byl nějak omezen v růstu. Uvnitř kořínků (obr. S.2.4, srov. s obr. C.6) nenajdeme ani náznak tracheid či struktur cévního svazku, ani okolní parenchymatickou tkáň vnitřního korového pletiva. Někde totiž po nich zůstaly jen prázdné mezery, většinou ale byly nahrazeny sférolitickým chalcedonem, který se v PM jeví oranžově hnědavě (obr. S.2.4), nebo krystalky idiomorfního makrokrystalického křemene, který má však ve srovnání s chalcedonem vyšší interferenční barvy. Stejně tak místy vykrytalizoval i chalcedon, a to zejména v oblasti porušené sklerenchymatické pochvy, která je jinak mineralizována mikrokrystalickým křemenem podřizujícím se struktuře tlustých buněčných stěn. V intersticiální tkáni lze občas nalézt relikt sedimentu. Jde o ostrohranná drobná zrna, která se v některých případech dostala i dovnitř kořínků do oblasti vnitřního korového pletiva, a to zejména pokud byla porušena sklerenchymatická pochva nebo místem procházela prasklina (např. obr. S.2.6). Prasklin najdeme ve výbrusu hodně a jsou orientovány nahodile různým směrem.

KATODOLUMINISCENCE: Stejně jako u vzorku 1 se i zde objevují dva hlavní odstíny CL. Opět se zdá, že úzce souvisejí se strukturami buněk rostlinných pletiv, které poskytovaly prostor pro krystalizaci křemitých hmot. V oblasti každé sklerenchymatické pochvy kořínku a místy i uvnitř kořínku má křemitá hmota červenou CL, naopak chalcedonové struktury, tak dobře viditelné v PM (obr. S.2.4, S.2.6), mají CL modrofialovou.

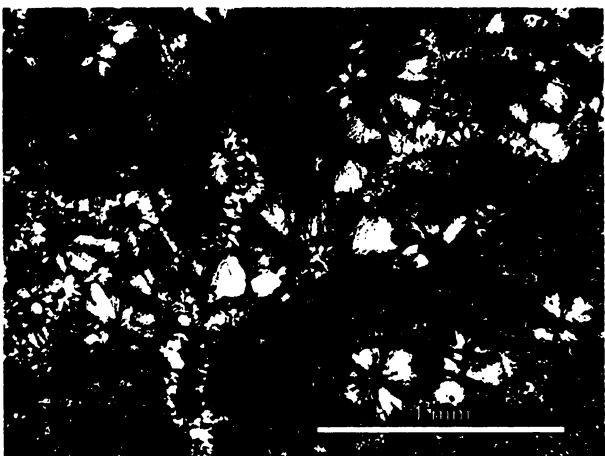


Obr. S.2.4. Výbrus č. 2b – PM: transversální průřez vzdušným kořínkem se silnou sklerenchymatickou pochvou, chalcedonové struktury v centru (oranžově nahnědlé), uprostřed prasklina, vyplněná čirým xenomorfním křemem.

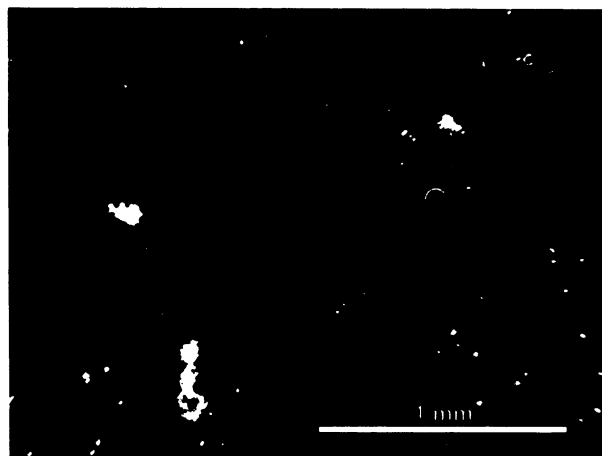


Obr. S.2.5. Výbrus č. 2b – CL: transversální průřez vzdušným kořínkem, buňky sklerenchymatické pochvy (červeně), chalcedonové struktury (modrofialově), prasklinu uprostřed lemují tenká modrá žilka, která vbíhá do sklerenchymu. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

Xenomorfni zrna mikrokrytalického křemene (obr. S.2.4, S.2.6), která vyplňují praskliny, mají od okolní hmoty zcela odlišnou jasně modrou CL, např. na obr. S.2.5, S.2.7. Jelikož se z fotografií nezdá, že by modře luminiskující SiO_2 nějak reagoval s okolní červeně luminiskující hmotou, dá se předpokládat, že nějaké sekundární fluidum odlišných vlastností (složení, teplota) proniklo prasklinou dovnitř a na styčné ploše vykrytalizovalo. Tato cizí generace křemene, pravděpodobně s jinými defekty ve struktuře, luminiskuje odlišně od svého okolí. Tmavě karmínové drobné skvrny v CL jsou oxidy železa.

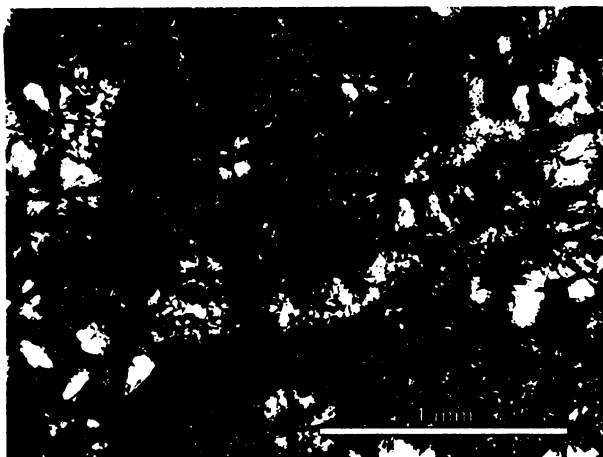


Obr. S.2.6. Výbrus č. 2b – PM: transversální průřez vzdušným kořínkem podlouhlého tvaru, přerušným spoustou prasklin, které jsou vyplněny čirými krystalky makrokrytalického křemene. Chalcedon místy vykrytalizoval i ve sklerenchymatické tkáni korového pletiva.

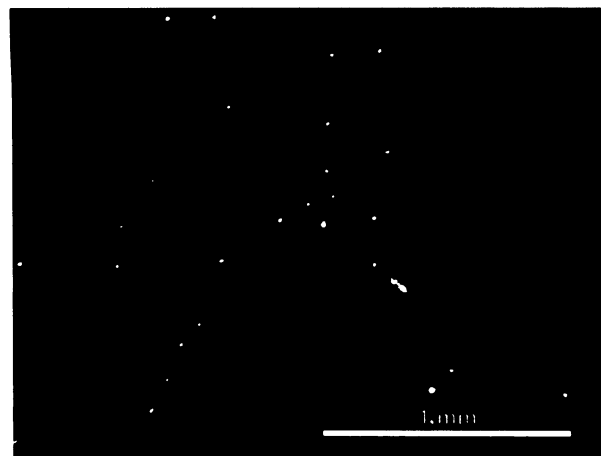


Obr. S.2.7. Výbrus č. 2b – CL: transversální průřez vzdušným kořínkem podlouhlého tvaru: buňky sklerenchymatické pochvy (červeně), chalcedonové struktury (modrofialově), dvě praskliny při okrajích vyplněny křemennou hmotou s jasně modrou CL (světle modrá uvnitř je CL podložního skla). Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

Na další dvojici obrázků (S.2.8, S.2.9) je zobrazeno rozhraní mezi dvěma kořínky, sklerenchymatické pochvy se místy dotýkají a mezi nimi je dobře rozeznatelná zachovaná tkáň sekundárního intersticiálního parenchymu, a to pouze v CL (obr. S.2.9), neboť při PM je neurčitelná a při OM velmi špatně viditelná. Přívod sekundárního fluida, který vykrytalizoval jako silikátová hmota odlišných vlastností v dutinách a prasklinách, znázorňují modré CL linie mezi kořínky (obr. S.2.9).



Obr. S.2.8. Výbrus č. 2b – PM: transversální průřez rozhraním mezi vzdušnými kořínky, napříč prochází viditelná silná prasklina vyplněná čirými krystalky makrokrystalického křemene. Chalcedon zcela vyplňuje vnitřky kořínků, ale místy se objevuje i v intersticiální tkáni (není rozeznatelná) mezi kořínky.



Obr. S.2.9. Výbrus č. 2b – CL: transversální průřez rozhraním mezi vzdušnými kořínky, červený a modrofialový (zejména chalcedon) odstín CL křemité hmoty, uprostřed jasně viditelná modrá žilka, která prochází taktéž dobře viditelnými a zachovanými parenchymatickými buňkami sekundární výplně. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

EDX (ÚACH): Výsledek prvkové analýzy vybraných bodů je uveden v tabulce (tab. S.2.1) v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%). Výsledky EDX umožnily odhadnout složení barevných součástí výbrusu ať už jde o minerální inkluze nebo pigmenty.

EDX (ÚACH) ○

EDX (PřF UK) ○

CL ○



Prvek	Bod 2	Bod 3	Bod 4
C	23,20	36,69	-
O	48,35	41,05	60,66
Si	15,96	12,16	21,57
Fe	1,27	0,93	16,16
Ti	0,10	0,09	0,99
Al	8,64	6,23	-
Mg	1,65	1,39	-
Ca	0,19	0,12	0,00
Na	-	0,49	0,62
K	0,64	0,67	-

Interpretace *jilové minerály* *jilové minerály* *Fe pigment*

Tab. S.2.1. Umístění bodů analyzovaných jednotlivými metodami a výsledky EDX (ÚACH).

EDX (PřF UK): dokázala v základní hmotě pouze přítomnost SiO₂ a oxidů železa, které zbarvují materiál do odstínů červené a hnědé. Chemický kontrast ve zpětně odražených elektronech v bodě 1 (viz tab. S.2.1) je velmi malý (obr. S.2.10). Jen při velmi pečlivém nastavení přístroje jsou jasně viditelné sklerenchymatické pochvy kořínků a některé buněčné struktury.

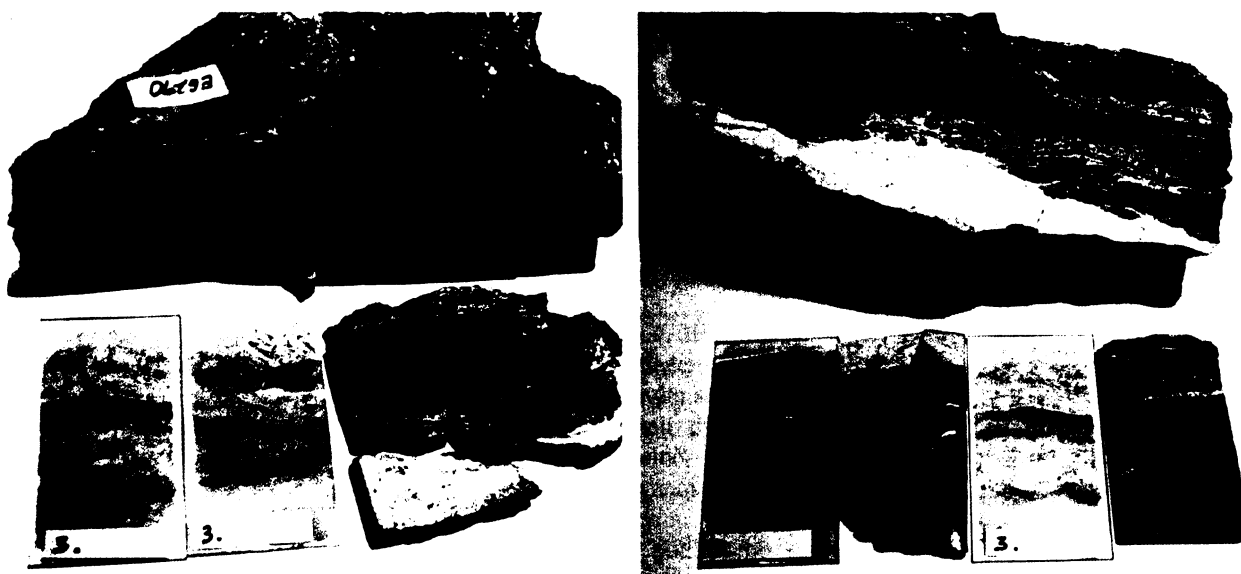
5.2

Z této fotografie BSE vyplývá, že sklerenchymatické pochvy kořínků budou pravděpodobně zbarveny i zbytky uhlíku, neboť se tyto části na fotografii jeví tmavší (tedy obsahují lehčí prvek s průměrnou atomovou hmotností 12 než okolní SiO_2 s průměrným atomovým hmotnostním číslem 20), což potvrdila i prvková analýza EDX (viz tab. S.2.1).

Obr. S.2.10. Výbrus č. 2b – SEM/EDX: chemický kontrast mezi světlejšími vnitřky a tmavšími sklerenchymatickými pochvami vzdušných kořínků vnitřního pláště zobrazený detektorem BSE, bílé tečky jsou oxidy železa; měřítko 2 mm.



3 *Myeloxylon* BRONGN. (*Myeloxylon* sp.)

♣ Typ Medullosa /E


Obr. S.3.1. Vzorek č. E 6290, silicifikovaný sediment s *Myeloxylon* BRONGN. a výbrusy; původní popiska zněla *Arthropitys* sp.

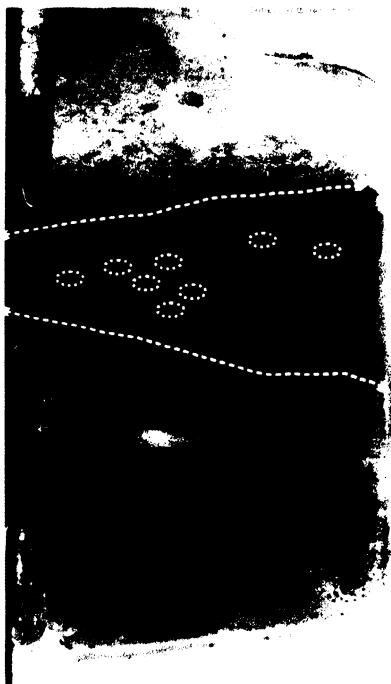
Obr. S.3.2. Vzorek č. E 6290, silicifikovaný sediment s *Myeloxylon* BRONGN. a výbrusy.

MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.3.1, S.3.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6290	<i>Velikost [mm]</i>	45 x 120 x 55	<i>Lokalita</i>	Balka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný laminovaný sediment s mechanicky stlačeným silicifikovaným listovým řapíkem <i>Myeloxylon</i> BRONGN., u kterého je makroskopicky dobře rozeznatelná sparganová struktura, vzorkem prochází napříč velké množství prasklin						
<i>Tvar</i>	Téměř obdélníkový průřez						
<i>Zbarvení</i>	Střídají se bílé a šedé vrstvy různé tloušťky i odstínu, někde tenké proužky, cca uprostřed dvě řady tečkovatých struktur proti sobě, při okraji silný bílý lem						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	2 výbrusy, každý z jiné části průřezu, ale z oblasti vedle sebe 3a spíše uprostřed průřezu 3b od okraje				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Jedná se o poměrně heterogenní strukturu silicifikované hmoty, která je zejména v horní a dolní části výbrusu tvořena různě silnými zprohýbanými vrstvami, které v sobě uzavírají drobné fosílie neidentifikovaných organických zbytků a zhruba uprostřed svírají silicifikovaný listový řapík se stlačenou sparganovou strukturou. Struktura je porušena hojnými trhlinami, které většinou sledují horizontální sled vrstev. Určení a popis tohoto vzorku byl po dlouhou dobu velmi nejasný, na popisce z N.M. bylo původně uvedeno jméno *Arthropitys* sp. Za rozluštění tohoto preparátu vděčím Ronnymu Rößlerovi.

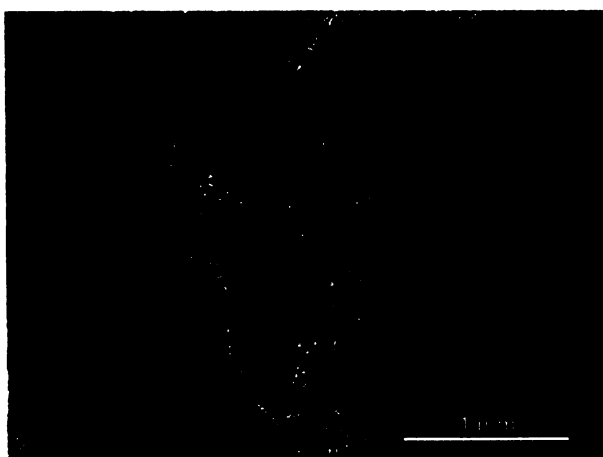


Obr. S.3.3. Výbrus č. 3a (vlevo): silicifikovaný řapík medulóz, *Myeloxylon* BRONGN., uzavřený a stlačený v laminovaném silicifikovaném sedimentu. Žlutě je vyznačena oblast struktury řapíku: od přerušované čáry směrem dovnitř vystupuje sparganová struktura, tečkované kroužky označují polohy cévních svazků (srov. s obr. D.6). Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm, transverzální průřez.

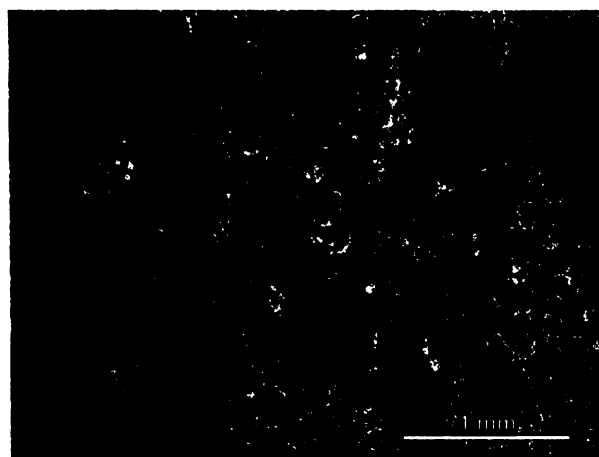


Obr. S.3.4. Výbrus č. 3b (vpravo): transverzální řez stlačeným laminovaným silicifikovaným sedimentem. Uprostřed procházejí dvě sklerenchymatické paralelně uspořádané linie patřící sparganové struktuře řapíku medulózy, *Myeloxylon* BRONGN. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

Řapíky medulóz jsou většinou velmi tlusté a jejich kůra je vyztužena sparganovou strukturou tvořící podélné pruhy sklerenchymatického pletiva (viz obr. S.3.3, S.3.4, S.3.6; srov. s obr. D.5). Právě tato struktura, která plní funkci mechanické vzpěry řapíku, se ukázala jako výborný identifikační znak. V základním parenchymu lze najít mnoho kolaterálních cévních svazků (viz obr. S.3.3), které jsou nahodile rozptýleny a jejich uspořádání na příčných řezech velice připomíná stonky jednoděložných rostlin. Tento vzorek je jedinečný tím, že uchoval i okolní silicifikovaný sediment se spoustou rozmanitého organického i minerálního detritu. V PM lze vidět ostrohranná sedimentární zrna uzavřená mezi jednotlivými prokřemenělými vrstvami, tvořenými hlavně mikrokrytalickým křemenem (obr. S.3.7, S.3.9, S.3.11, S.3.13). Podobný materiál popsal Umeda (2003) v miocénním jezerním sedimentu poblíž vulkanických oblastí (Japonsko).



Obr. S.3.5. Výbrus č. 3a - OM: transverzální řez silicifikovaným sedimentem s lehce zvlněnými lamami detritického materiálu.



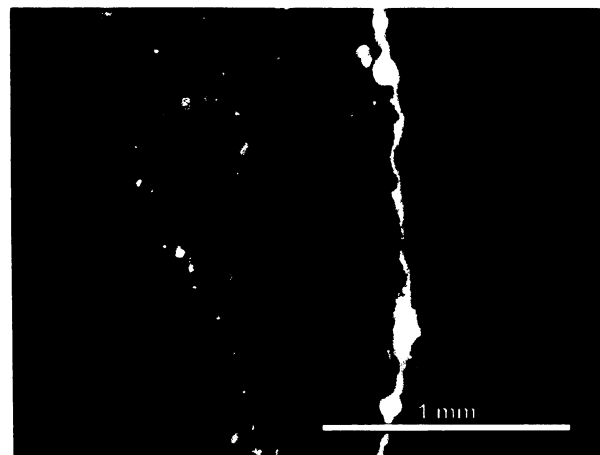
Obr. S.3.6. Výbrus č. 3a - OM: rozhraní mezi řapíkem *Myeloxylon* (v levé části snímku; nahoře vlevo je vidět sklerenchym sparganové struktury), vpravo řapík obklopuje detritus s mikrofosíliemi; transverzální řez.

KATODOLUMINISCENCE: Heterogenní struktura výbrusu č. 3b poskytuje velice složitý obraz CL, složený z různých odstínů červené, modré a fialové. Odráží se v něm nejen tvary objektů, morfologické znaky struktur vrstevních linií a prasklin, ale i genetická rozdílnost přítomných složek. Porovnááme-li mezi sebou fotografie z různých oblastí výbrusu 3b zhotovené v PM a CL, vidíme velké množství nečekaných odlišností ve struktuře. Výbrus 3b byl fotografován v profilu od horního okraje k dolnímu (viz obr. S.3.15) a zejména horní dvě třetiny jeví výraznou luminiscenci. V celém výbrusu převažuje červená CL křemité hmoty, ve které se často objevují různé tenké liniové prvky mající modrofialovou CL, které v některých případech i obtáčejí drobná kulatá zrnka organického detritu. Zbytky diamantového leštidla se opět ukázaly jako spolehlivý lokalizátor prohlubní, dutin a prasklin, ve kterých se hromadí. Nejde jen o praskliny, které mohly vzniknout až při přípravě výbrusu, ale i o starší mechanické poruchy vytvořené během silicifikace. Svědčí o tom i fakt, že právě kolem prasklin často procházejí linie silikátové hmoty s odlišnou modrou CL (obr. S.3.10, S.3.12). Podél prasklin tedy pravděpodobně nateklo fluidum SiO₂ odlišných vlastností, které má i jinou CL než okolní hmota.

Na obr. S.3.12 se navíc objevuje linie s výraznou jasně červenou CL. Ta prochází kulatou dutinou, kde se nedochoval cévní svazek listového řápku *Myeloxylon* (též S.3.11, srov. s obr. D.6). Jedná se nejspíše o rozdílnou prokřemenělou linii, geneticky odlišnou od okolní hmoty. Z postupné sekvence katodoluminiscenčních snímků napříč vzorkem byly níže vybrány jen některé. Jsou seřazeny ve vzestupném pořadí za sebou dle směru šipek uvedených na obr. S.3.15. Místa zachycená na obr. S.3.8, S.3.10 a S.3.14 byly pravděpodobně silně ovlivněny rekrystalizací. Všechny níže uvedené fotografie jsou otočeny o 90 stupňů proti směru hodinových ručiček.



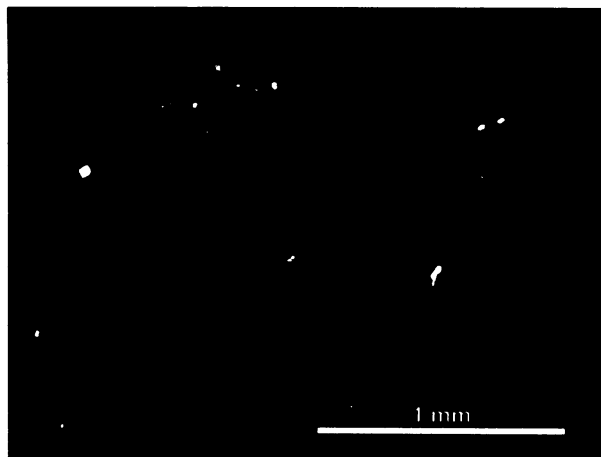
Obr. S.3.7. Výbrus č. 3b – PM: horní třetina výbrusu. Je patrná výrazná laminace detritického materiálu kolem fosílie; transversální řez.



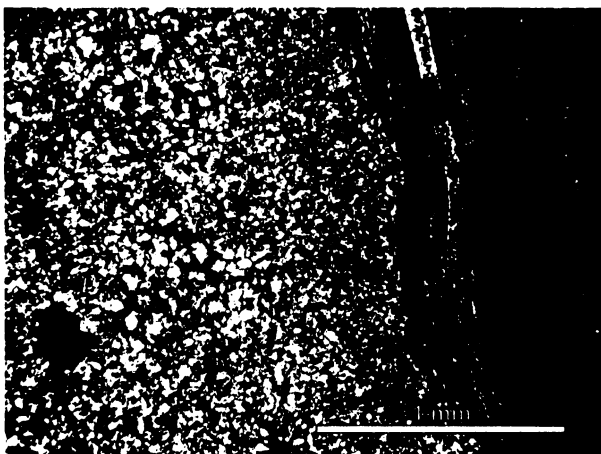
Obr. S.3.8. Výbrus č. 3b – CL: ukazuje dva odlišné odstíny CL silicifikované hmoty sedimentu (červený a fialový), přičemž další, a to modrý, lemují jednotlivé detritické struktury. Tyrkysová barva podložního skla prosvítá trhlinou ve výbrusu. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla; transversální řez.



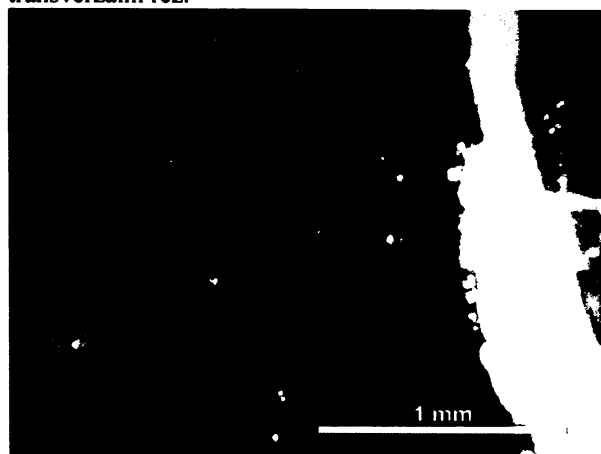
Obr. S.3.9. Výbrus č. 3b – PM: fotografie z horní třetiny výbrusu následující za obr. S.3.7, prasklinu v levé horní části snímku lemují hnědý pruh oxidů železa; transversální řez.



Obr. S.3.10. Výbrus č. 3b – CL: kolem trhliny vlevo nahoře je vidět linie s modrou CL, která s koncem poruchy pokračuje podél horizontální vrstvy vpravo. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla; transversální řez.



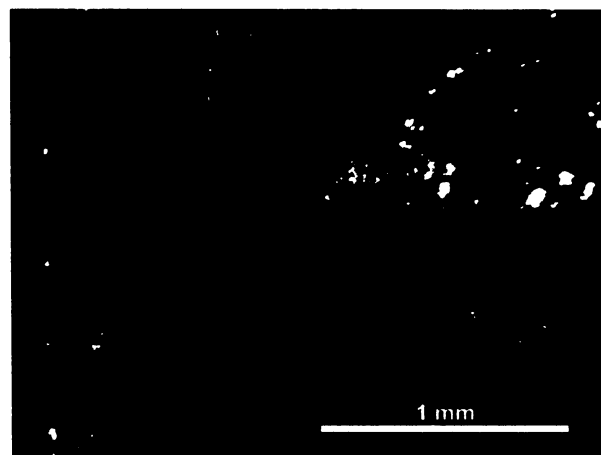
Obr. S.3.11. Výbrus č. 3b – PM: část sparganové struktury listového řapíku (rezavě zbarvené oblasti v levé polovině snímku). Základní parenchym okolo je vyplněn mikrokrystalickým křemenem. Po cévním svazku zůstala kulatá nevyplněná dutina (dole vlevo); transversální řez.



Obr. S.3.12. Výbrus č. 3b – CL: CL dobře zviditelňuje sparganovou strukturu (viz vlevo). Skrz dutinu na levé straně snímku prochází linie s jasně červenou CL. Modře luminiskující linie křemité hmoty kopírují horizontální laminaci; transversální řez.



Obr. S.3.13. Výbrus č. 3b – PM: mikrokrystalickým křemenem permínalizovaná hmota sedimentu. V dolní polovině snímku vpravo se nachází triletní spora, jejíž střed je vyplněn makrokrystalickým křemenem; transversální řez.



Obr. S.3.14. Výbrus č. 3b – CL: červeně, modře a fialově luminiskující objekty, v dolní polovině snímku vpravo je pravděpodobně triletní spora. Žlutá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla; transversální řez.



EDX (PřF UK): Prvková analýza potvrdila, že permineralizace listového řapíku *Myeloxylon* je způsobena hmotou SiO_2 , která zasáhla i okolní sediment. Silicifikovaný sediment je heterogenní a mezi jednotlivými vrstvami sedimentu je patrná uhlíková hmota. Ve výbrusu byly analyzovány 4 oblasti, a to 3 z hmoty sedimentu a jeden z hmoty řapíku (lokalizace oblastí a výsledky měření viz obr. S.3.15 a tab. S.3.1). V detritickém materiálu byly prokázány živce, slídy a těžké minerály (monazit, oxidy titanu). Oxidy železa lze také najít na povrchu úlomků ze vzorku (obr. S.3.20 a S.3.21). Vzorek se jeví jako poměrně komplikovaná struktura.

EDX
(PřF UK)

CL



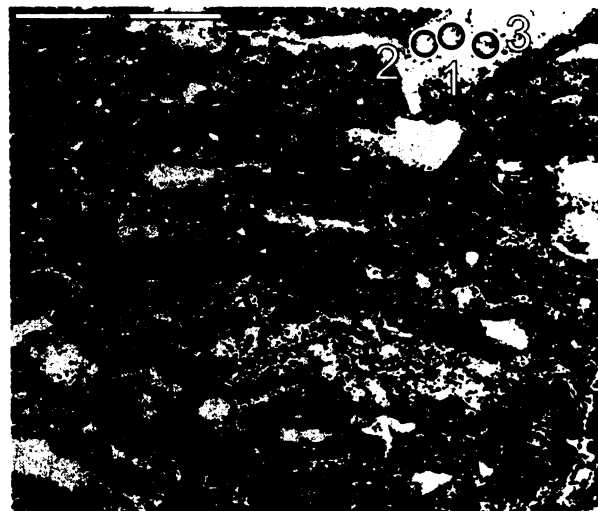
Obr. S.3.15. Výbrus č. 3: lokalizace oblastí analyzovaných jednotlivými metodami.

- Oblast 1 na obrázku S.3.16 je patrný chemický kontrast v části zprohýbaného laminovaného silicifikovaného sedimentu, kapsa uprostřed je vyplněná detritickým materiálem a proto byla podrobena další analýze, foto na obrázku S.3.17 je z jejího středu, zjištěny byly Si, Fe, K, Mg, patrně K živce, biotity (v souladu s tvarem částic) a SiO_2 hmota, vpravo nahoře jsou žlutě označeny 3 další analyzovaná zrna sedimentu s těžkými prvky, výsledky:
 bod 1.1: LREE (La Ce, Nd), Th, P, Ca - monazit
 bod 1.2: P, Fe - vivianit?
 bod 1.3: Ti, Fe - možná ilmenit, oxidy Fe, Fe-rutil?
- Oblast 2 zjištěno pouze SiO_2 , se zrný oxidů Fe (zde bez fotografie SEM)
 Oblast 3 zjištěno pouze SiO_2 , jsou patrné jemné detaily ve struktuře buněk řapíku (obr. S.3.18)
 Oblast 4 analýza velmi podobná jako v oblasti 2; v bílých bodech na obr. S.3.19 zjištěny: Mg, Al, Si, K, Ti, Fe – nejspíše K živce; uprostřed vpravo – muskovit

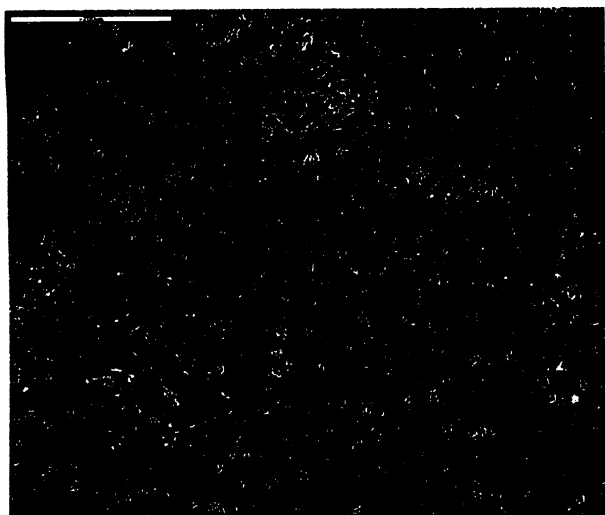
Tab. S.3.1. Výsledky bodových měření EDX (body 1 až 4) z výbrusu č. 3b.



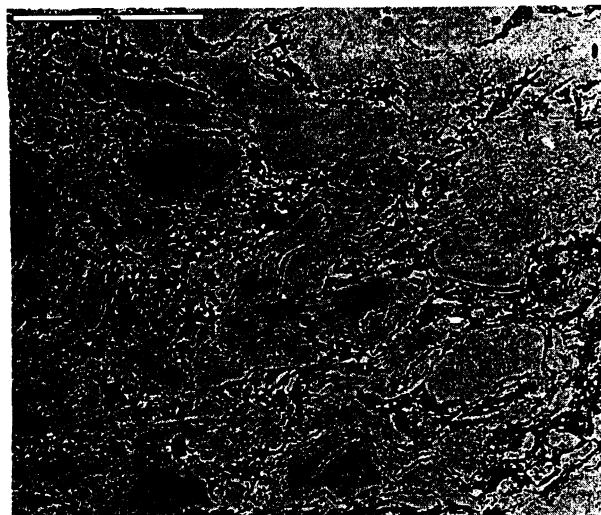
Obr. S.3.16. Výbrus č. 3b – SEM/EDX – oblast 1: zobrazení chemického kontrastu části laminovaného sedimentu detektorem BSE, uprostřed kapsa vyplněná detritem; měřítko 2 mm.



Obr. S.3.17. Výbrus č. 3b – SEM/EDX - oblast 1: zobrazení chemického kontrastu detektorem BSE, střed detritické kapsy uprostřed obr. S.3.15, vpravo nahoře lokalizace tří měřených bodů; měřítko 200 μm .



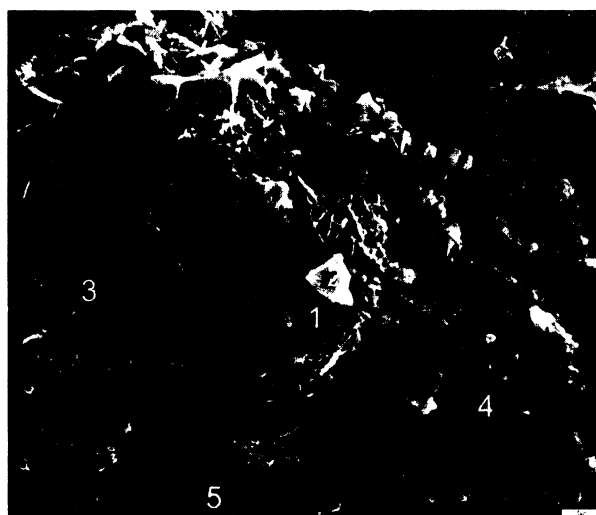
Obr. S.3.18. Výbrus č. 3b – SEM/EDX – oblast 3: zobrazení chemického kontrastu tmavé oblasti řapíku detektorem BSE, jsou patrné i jemné detaily struktur buněk řapíku; měřítko 200 μm .



Obr. S.3.19. Výbrus č. 3b – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení chemického kontrastu části laminovaného silicifikovaného sedimentu detektorem BSE; měřítko 200 μm .

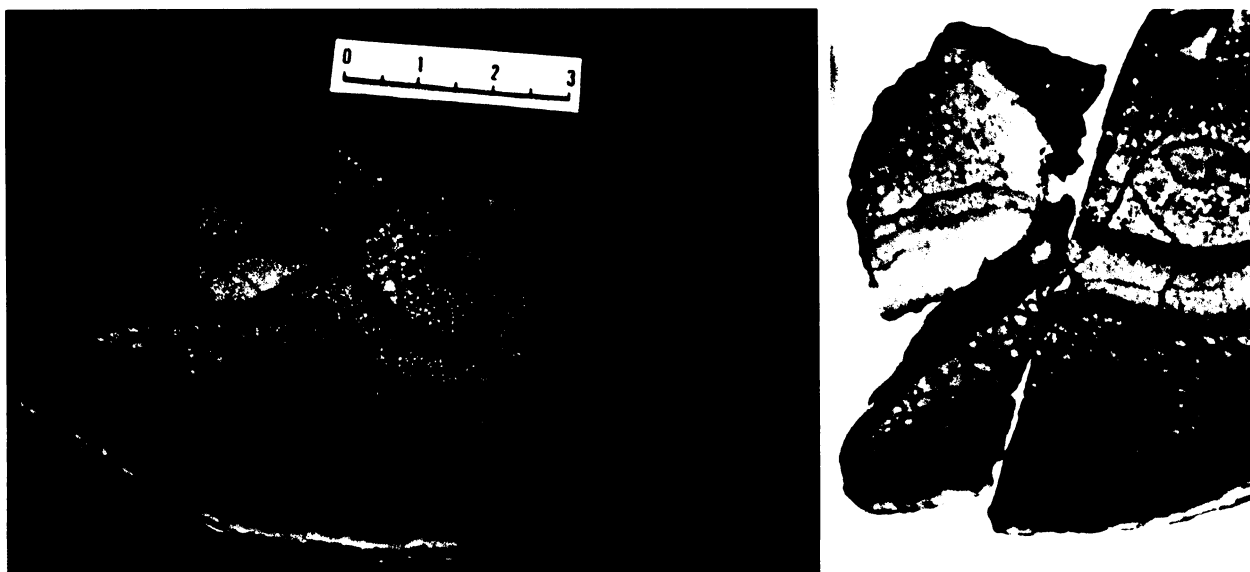


Obr. S.3.20. Vzorek č. 3 – SEM/EDX: zobrazení oxidů železa na povrchu úlomků ze vzorku detektorem SE; měřítko 50 μm .



Obr. S.3.21. Vzorek č. 3 – SEM/EDX: zobrazení oxidů železa (1,3,4) a SiO_2 (2,5) na povrchu úlomku ze vzorku detektorem SE; měřítko 5 μm .

4

Psaronius COTTA (*Psaronius* sp.)♣ Typ *PSARONIUS* /C

Obr. S.4.1. Vzorek E 6214, původně označen jako *Psaronius alsophiloides* CORDA; vpravo detail částí, ze kterých byly zhotoveny výbrusy.

MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.4.1)

Inventární
číslo
vzorku

E 6214

Velikost
[mm]

50 x 98 x 15

Lokalita

Nová Paka

Pánev

PKP

Popis

Tenký fragment silicifikovaného psaroniového stonku, na příčném průřezu viditelné diktyostélé s výrazným cévním svazkem, které je obalené pláštěm vzdušných kořinek, pravidelně uspořádaných, o menším průměru a kroužkovitém tvaru. Makroskopicky je viditelné množství trhlin a prasklin

Tvar

Nepřavidelný, neúplný kus stonku, tenký průřez

Zbarvení

Červenavě černohnědé, pletiva narůžovělá (zejména diktyostélé), pochvy kořinek tmavé, stejně tak i vnější plášť

Řez

Transverzální

Výbrus

2 výbrusy, z odlišných míst

4 a plášť vzdušných kořenů, rezavohnědý okraj

4 b středová oblast diktyostélé

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Při mikroskopickém pozorování výbrusů č. 4 (obr. S.4.2, S.4.3) bylo zjištěno, že i jemná struktura buněk pletiv je velice dobře zřejmá, stejně tak i makroskopicky. Silicifikace zde tedy zachovala většinu podstatných, hrubých i jemných morfologických rysů původní psaroniové rostliny. Vzorek byl v muzejních sbírkách popsán jako *Psaronius alsophiloides* CORDA, ale o tomto druhu se již Němejc ve své práci z roku 1963 nezmiňuje. Podle Procházky (1912) se ještě jedná o označení z doby, kdy tento druh ve 2. pol. 19. stol. zevrubně popsal sám Corda a posléze ho Feistmantel (Procházka 1912) zařadil



Obr. S.4.2. Výbrus č. 4a (vlevo): transverzální řez pláštěm vzdušných kořínků, vnitřní část se jeví světlejší než vnější, kořinky jsou lemovány tmavšími sklerenchymatickými pochvami, mezi nimi je sekundární (intersticiální) parenchymatická tkáň se zrna sedimentu, vnější obal je výrazně rezavě zbarven. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm, transverzální průřez.



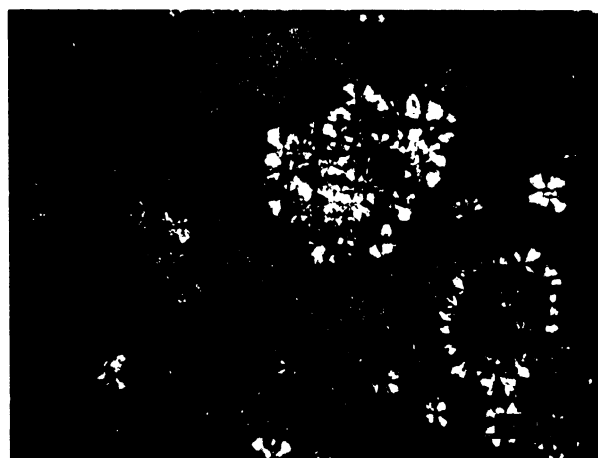
Obr. S.4.3. Výbrus č. 4b (vpravo): oblast diktyostélé s konkávně prohnutým stélé lemovaným tmavě ohraničenou prasklinou. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm, transverzální průřez.

do tabulky permských druhů a jako typické naleziště uváděl Novou Paku. V současnosti se paleontologové přiklání již ke klasifikaci na základě morfologických znaků (viz kap. C). Tento vzorek můžeme podle novodobé klasifikace druhově určit jen stěží, neboť je to jen fragment a není jasná celá struktura diktyostélé, přesněji řečeno uspořádání jednotlivých stélé a listových stop v rámci diktyostélé.

Ve výbrusu 4a (obr. S.4.2) pozorujeme jednotlivé anatomické součásti pláště vzdušných kořínků. Každý kořínek, většinou téměř kruhovitěho průměru (obr. S.4.4), má zachovanou strukturu střední zóny korového pletiva, neboli sklerenchymatickou pochvu, která je na některých místech porušena prasklinami (viz obr. S.4.6, srov. s obr. C.5). Sklerenchymatické buňky pochvy vyplňuje mikrokrystalický křemen, někdy se ale v těchto místech objevují i náhodně rozmístěné vláknité agregáty chalcedonu oranžově hnědé barvy, což je zejména dobře patrné při pozorování ve zkřížených nikolech (viz obr. S.4.5, S.4.7).



Obr. S.4.4. Výbrus č. 4a - OM: transverzální řez kořinky z vnitřního kořenového pláště. Každý kořínek je obalen sklerenchymatickou pochvou a jeho vnitřek vyplňují sférolity chalcedonu, cévní svazky v centru kořínků se většinou díky této silné rekrystalizaci nedochovaly. Mezi kořinky je patrná intersticiální tkáň.

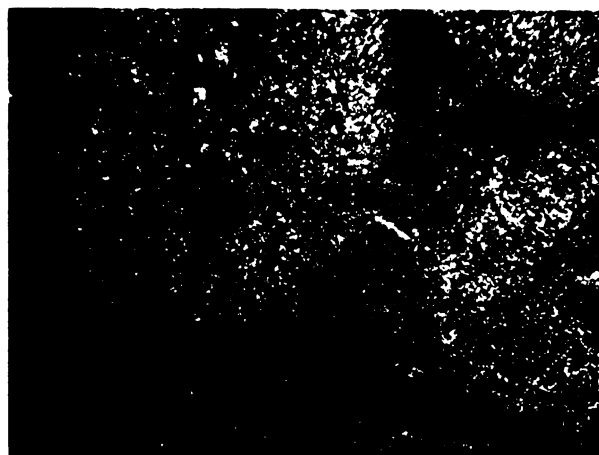


Obr. S.4.5. Výbrus č. 4a - PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Intersticiální tkáň i sklerenchymatické pochvy kořínků jsou mineralizovány mikrokrystalickým křemenem (šedý a nahnědlý), chalcedon (oranžovohnědý) často nahrazuje jak cévní svazek, tak i původní parenchym či aerenchym uvnitř kořínku.

Polyarchní cévní svazek je zachován jen u některých kořínků (obr. S.4.6), bohužel je často rozrušen krystaly sférolitického chalcedonu, který jinak vyplňuje podstatnou část prostoru vnitřní zóny korového pletiva původně patřící aerenchymatické či parenchymatické tkáni (obr. S.4.5, srov. s obr. C.6). Kořínky ve vnitřním obalu navzájem spojuje pletivo sekundární intersticiální tkáně (obr. S.4.6, srov. s obr. C.5). Buňky kořínků vnějšího pláště jsou nejenže tmavší, ale také jsou mezi nimi někde přítomna zrna klastického materiálu, který se prasklinami a trhlinami ve sklerenchymatických pochvách dostává i dovnitř kořínků. V PM lze pozorovat, že trhliny jsou vyplněny čirým makrokrytalickým křemenem. Tmavé shluky v buňkách tvoří železitý pigment (obr. S.4.6, S.4.7, S.4.10).

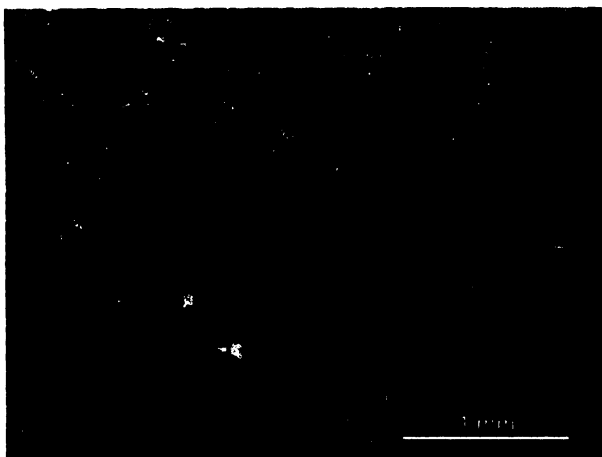


Obr. S.4.6. Výbrus č. 4a - OM: transversální řez kořínky vnitřního kořenového obalu při větším zvětšení, popis snímku zhruba jako na obr. S.4.4. Sklerenchymatická pochva kořínku (v levé části snímku) je silně porušena prasklinou. Cévní svazek se ale v tomto případě zachoval.

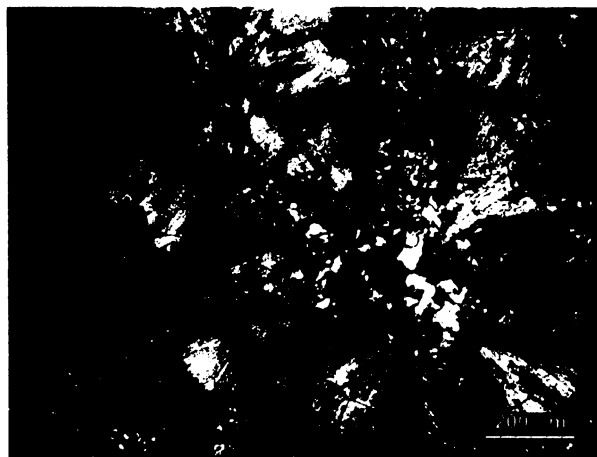


Obr. S.4.7. Výbrus č. 4a - PM: popis snímku jako na obr. S.4.5, ale chybí chalcedon uvnitř kořínků, místo toho se v centru zachoval cévní svazek. Hrubá prasklina v dolní levé polovině snímku zůstala nevyplněna. Výrazná je také tmavá pigmentace sklerenchymatických pochev a tkáně mezi kořínky.

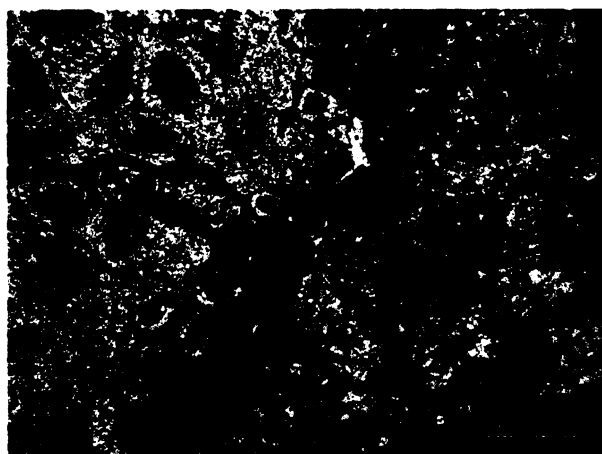
Výbrus 4b je velmi zajímavý tím, že se podél zachované struktury diktyostélé táhne tmavě zbarvená trhlina (obr. S.4.10, S.4.11), která se zde pravděpodobně přednostně vytvořila na styčné ploše stélé a vrstvy parenchymatických buněk, právě díky nehomogenitě a rozdílným vlastnostem rostlinných pletiv. Okolí trhliny bylo dále podrobněji analyzováno (viz níže). V základní hmotě lze pozorovat hlavně parenchymatické buňky, které tvoří podstatnou část výbrusu, a v nichž se obvykle nacházejí jednotlivé pláty stélé, při okraji s listovými stopami (viz obr. C.2, C.3). V tomto výbrusu je však přítomna jen jedna krátká celistvá linie stélé (obr. S.4.3, S.4.8, S.4.15). Buněčné stěny parenchymu jsou tvořeny mikrokrytalickým křemenem (v PM šedým; obr. S.4.13, S.4.16), který však většinu buněk vyplňuje i uvnitř. Parenchymatické pletivo je hojně porušeno chalcedonem (v OM tmavě hnědý, v PM oranžovohnědý), který nerespektuje tenké buněčné stěny a výrazně je přerůstá (obr. S.4.9, S.4.13). Tam, kde nejsou vnitřky buněk vyplněny chalcedonem (ani mikrokrytalickým křemenem) se nachází čiré krystaly makrokrytalického křemene (viz obr. S.4.9, S.4.13). Trhliny které porušují základní hmotu jsou stejně jako v plášti kořínků vyplněny makrokrytalickým křemenem. Opět se v buňkách hojně nachází tmavě hnědé shluky železitého pigmentu, který zbarvuje psaroniové diktyostélé do růžova (obr. S.4.8, S.4.12). Tracheidy stélé jsou zcela vyplněny chalcedonem, jehož růst omezily právě buněčné stěny těchto schodovitě ztlustlých tracheid (obr. S.4.8, S.4.16).



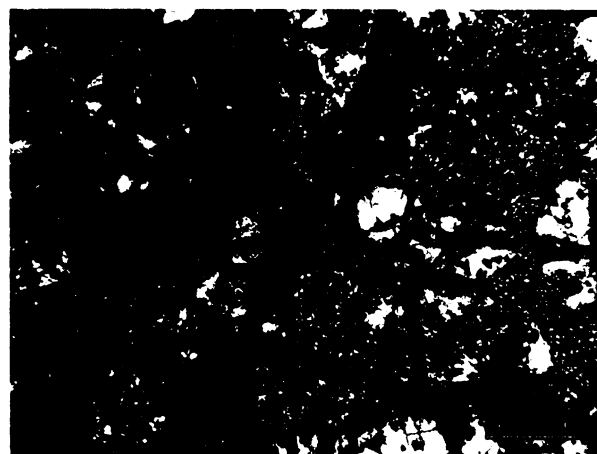
Obr. S.4.8. Výbrus č. 4b - OM: transverzální řez rozhraním parenchymatických buněk diktyostélé (levý horní roh snímku) a plátem stélé s tracheidovými buňkami (prochází snímek diagonálně). Tmavě hnědé struktury jsou krystaly chalcedonu (uvnitř buněk stélé) a také jeho sférolity (v parenchymu, levý horní roh).



Obr. S.4.9. Výbrus č. 4b - PM: transverzální řez sférolity chalcedonu (oranžovohnědé) v oblasti parenchymatické výplně diktyostélé. V jejich středu vykristalizoval čirý makrokrytalický křemen, zatímco okolní hmota je tvořena jemným mikrokrytalickým křemenem šedé barvy.

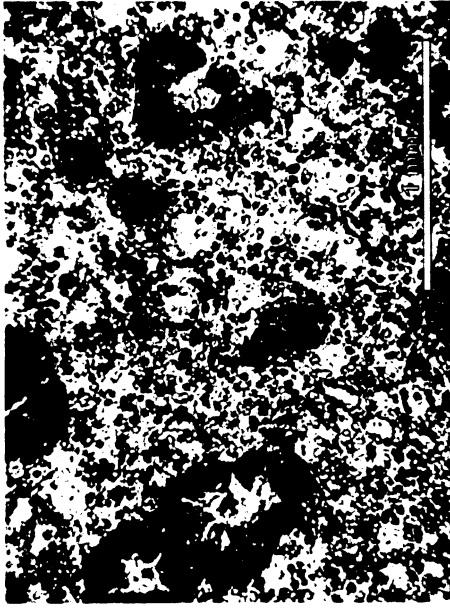


Obr. S.4.10. Výbrus č. 4b - OM: transverzální řez parenchymatickým okolím největší trhliny ve výbrusu, která je vyplněna oxidy železa (černé). Tmavě hnědé struktury uvnitř buněk tvoří xenomorfní chalcedon, ještě tmavší hnědé shluky jsou volně rozptýlené oxidy železa.

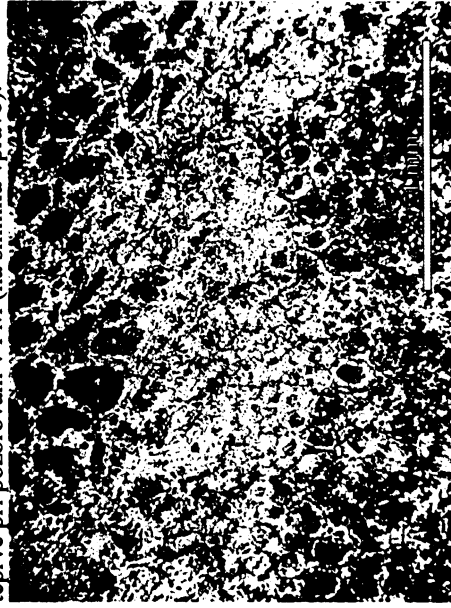


Obr. S.4.11. Výbrus č. 4b - PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Chalcedonové výplně parenchymatických buněk z oblasti diktyostélé mají oranžovohnědou barvu. Oxidy železa v okolí praskliny jsou tmavě rezavé až černé a v některých místech kontaminovaly i buněčné stěny nejbližších buněk.

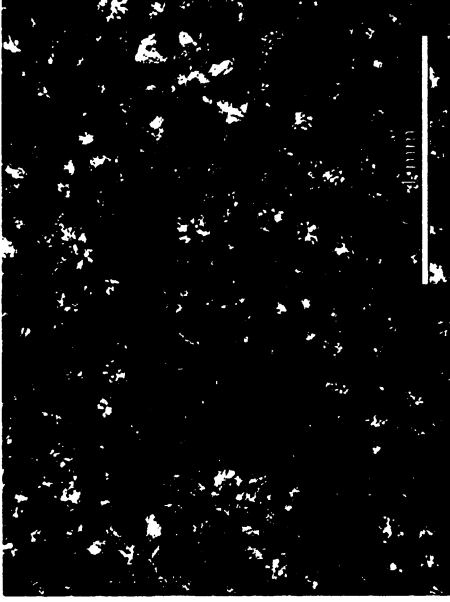
KATODOLUMINISCENCE: Z měření CL u výbrusu č. 4b vyplývá, že barva CL odpovídá morfologii zrn SiO_2 , a ta je zase závislá na prostoru, který byl k dispozici při silicifikaci. Buněčné stěny parenchymu mají červenou CL (mikrokrytalický křemen), chalcedon modrofialovou a makrokrytalický křemen uvnitř zachovaných parenchymatických buněk hnědofialovou CL (obr. S.4.14). Silicifikovaná hmota buněčných stěn tracheid (opět mikrokrytalický křemen) má červenou CL, vnitřky buněk vyplněné chalcedonem modrofialovou CL (obr. S.4.13). Oxidy Fe rozptýlené v základní hmotě parenchymu i v buňkách stélé vypadají jako tmavě karmínové skvrny. Výhodou výše uvedených pozorování je, že některé detaily zobrazuje lépe OM, jiné PM a jiné CL, což obecně platí u všech vzorků. Kombinace těchto zobrazovacích metod je tedy výborná pomůcka, nikoli samoučelný technický trik.



Obr. S.4.12. Výbrus č. 4b - OM - bod 1: buňky parenchymatické tkáně ve vnitřní oblasti diktyostélé, vnitřky buněk průhledné (dvě jsou zvýrazněny modrým kroužkem). Většina tkáně je rozrušena chalcedonem (tmavohnědé kruhovitě útvary), který je ale určitelný až teprve při pozorování v PM (na snímku vpravo).



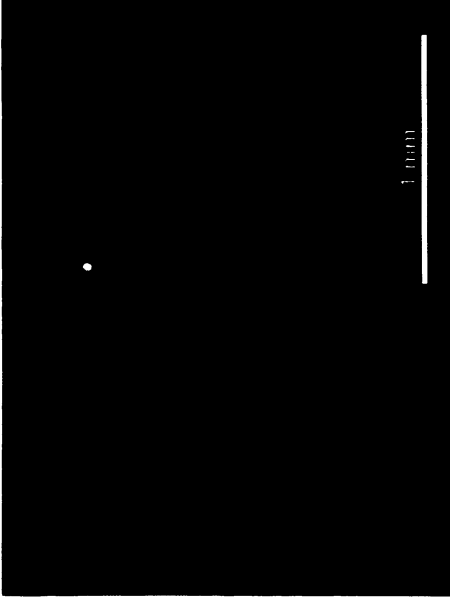
Obr. S.4.15. Výbrus č. 4b - OM - bod 2: rozhraní parenchymatické tkáně a stéle ve vnější oblasti diktyostélé (dvě odlišné buňky jsou zvýrazněny modrým kroužkem). Vnitřky buněk jsou tmavě zbarvené (naopak než v bodu 1, viz snímek nahore).



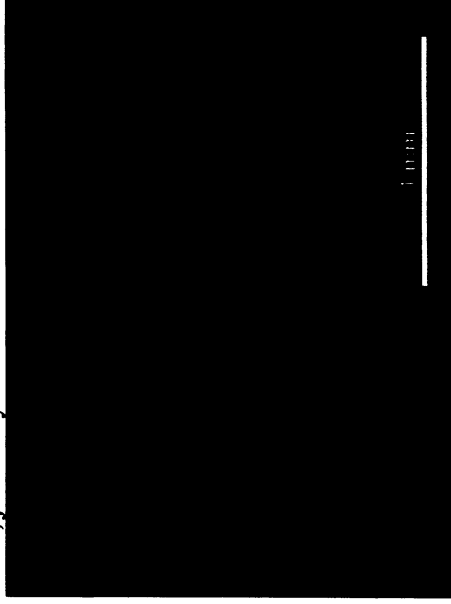
Obr. S.4.13. Výbrus č. 4b - PM - bod 1: parenchymatická tkáň narušená volně postupující krystalizací chalcidonu (sférolity na PM snímku, hnědé okrouhlé útvary na OM snímku vlevo). Dochované parenchymatické buňky jsou vyplněny mikrokrystalickým křemenem (tmavě šedá hmota).



Obr. S.4.16. Výbrus č. 4b - PM - bod 2: tracheidy stéle v horní části snímku vyplňuje chalcidon, v růstu omezený strukturou buněčných stěn. Parenchymatické buňky (dole) chalcidon naopak výrazně rozrušil. Buněčné stěny tvoří mikrokrystalický křemen.



Obr. S.4.14. Výbrus č. 4b - CL - bod 1: mikrokrystalický křemen má červenou CL, chalcidon modrofialovou a makrokrystalický křemen uvnitř zachovaných parenchymatických buněk hnědofialovou CL. Tmavé karminové skvrny, rozptýlené v základní hmotě, jsou oxidy Fe.

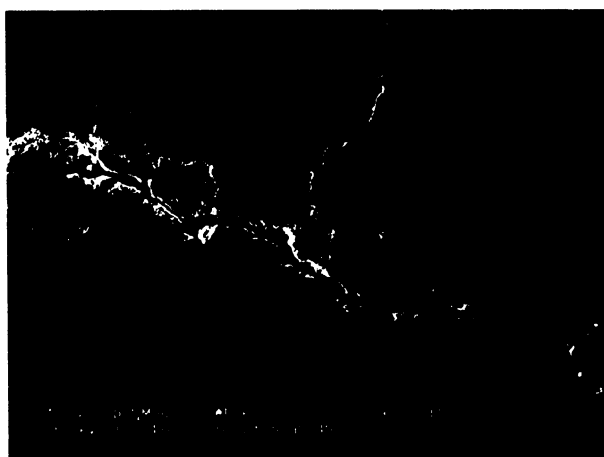


Obr. S.4.17. Výbrus č. 4b - CL - bod 2: křemenná hmota buněčných stěn parenchymu i tracheid má červenou CL, vnitřky buněk vyplněné chalcedonem modrofialovou CL. Oxidy železa mají tmavé karminové zbarvení (shluk dole uprostřed).

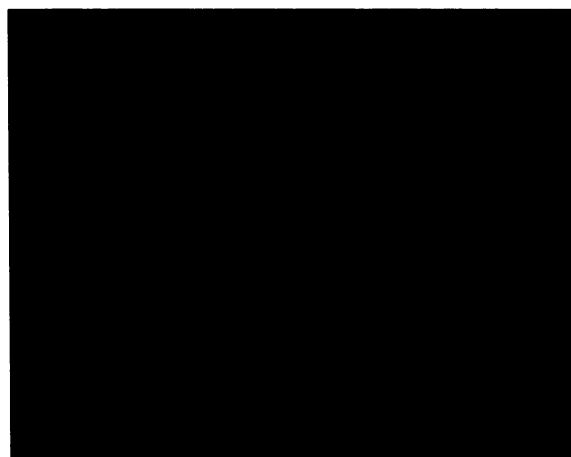
EDX (ÚACH): Analýze ve výbrusu č. 4b byly podrobeny 4 oblasti, a to zejména v okolí tmavě lemovaných prasklin a míst s tmavými strukturami (tab. S.4.1). Zejména při hlavní trhlině podél diktyostélického plátu byly detekovány oxidy železa (obr. S.4.18), v některých trhlinách i místy nahromaděné sloučeniny s olovem, které jsou díky vysokému atomovému číslu velmi snadno lokalizovatelné. *Mapping* železa v oblasti 3 je uveden na obr. S.4.19, viz níže. Ze získaných výsledků můžeme usuzovat, že bylo silicifikované dřevo druhotně impregnováno roztokem s těžkými kovy. Výsledek prvkové analýzy vybraných bodů je uveden v tabulce (tab. S.4.1) v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%). Výsledky EDX opět, jako u výbrusu č. 2, umožnily odhadnout složení barevných součástí výbrusu, ať už se jednalo o minerální inkluze nebo pigmenty.

EDX (ÚACH)	○	Prvek	Oblast 1	Oblast 2	Oblast 4
		C	47,55	27,13	-
		O	34,50	44,24	62,13
EDX (PřF UK)	○	Si	7,03	15,53	16,35
		Fe	1,68	1,27	21,17
		Ti	0,17	0,12	0,35
CL	○	Al	4,85	4,33	-
		Mg	0,37	0,40	-
		Ca	1,02	1,44	-
		Na	0,32	0,46	-
		K	0,25	0,26	-
		Pb	1,87	3,67	-
		Interpretace	<i>křemičitany s Pb?</i>	<i>hlinitokřemičitany?</i>	<i>oxidy Fe?</i>

Tab. S.4.1. Lokalizace vybraných oblastí analyzovaných jednotlivými metodami a výsledky EDX (ÚACH).

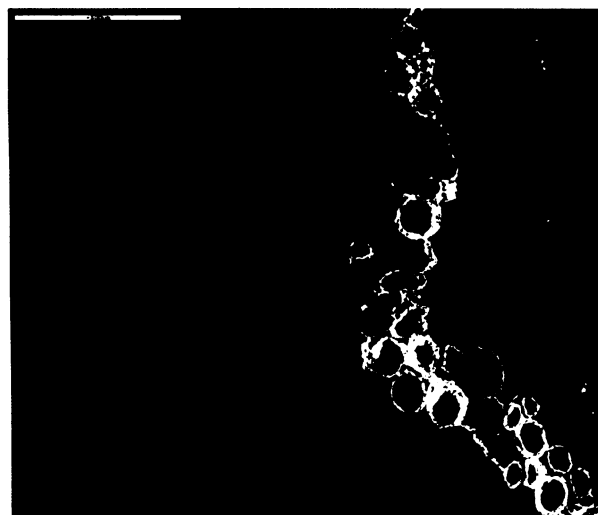


Obr. S.4.18. Výbrus č. 4b - SEM/EDX - oblast 3: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS v okolí trhliny. Oxidy železa jsou naakumulovány podél trhliny i podél buněčných stěn nejbližších buněk.

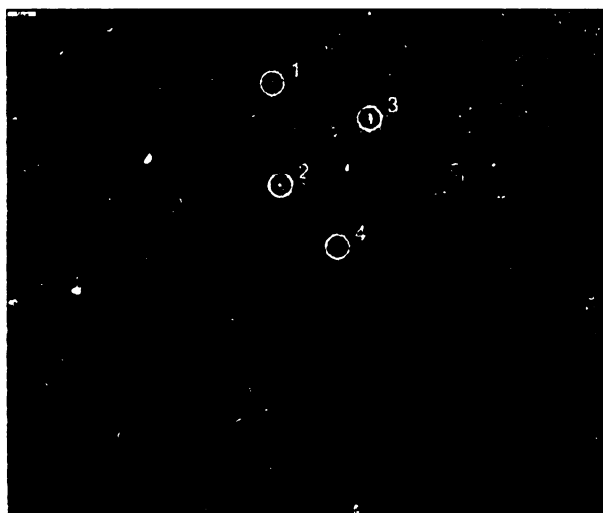


Obr. S.4.19. Výbrus č. 4b - SEM/EDX - oblast 3: *mapping* FeK čar železa (červeně). Nejvyšší akumulace je v buněčných stěnách při prasklině, železo je ovšem jako pigment rozptýleno také v celém výbrusu.

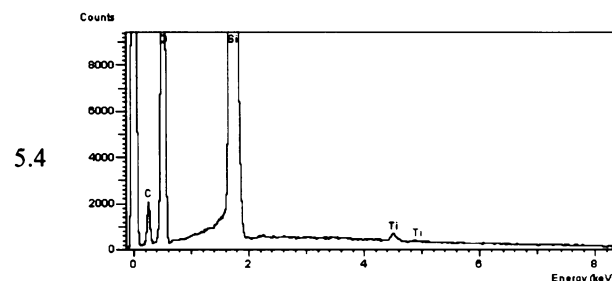
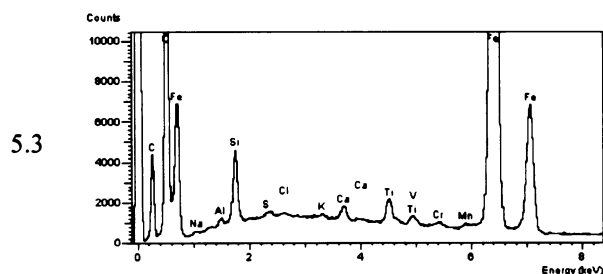
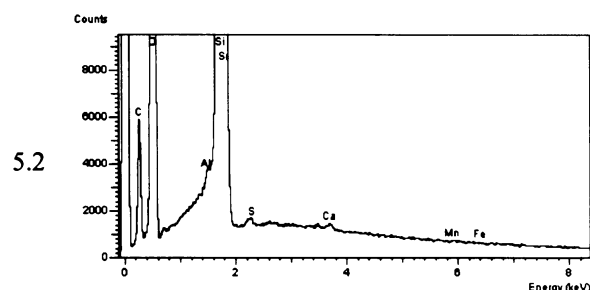
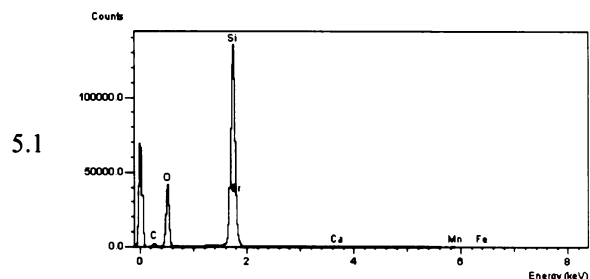
EDX (PřF UK): Ve výbrusu č. 4b byly celkem měřeny 3 body č. 5 – 7 (lokalizace bodů viz tab. S.4.1), chemický kontrast oxidů železa naakumulovaných podél trhliny v okolní, jinak poměrně homogenní křemenné hmotě původní parenchymatické výplně diktyostélé, je zobrazen na obr. S.4.20. Těsně vedle bílé trhliny nalevo je vidět v parenchymatické oblasti sférolitická struktura chalcedonu, která byla dále podrobněji měřena (viz obr. S.4.21). Lokalizace čtyř analyzovaných bodů a jednotlivá k nim příslušející spektra jsou uvedena v tab. S.4.2. Z analýz vyplývá, že tmavé barvivo uzavřené chalcedonem obsahuje železo a mangan.



Obr. S.4.20. Výbrus č. 4b - SEM/EDX - oblast 5: zobrazení chemického kontrastu oxidů železa v okolí hlavní trhliny podél diktyostélé detektorem BSE; vlevo je vidět struktura vláknitého chalcedonu, podrobněji analyzovaná níže (obr. S.4.21); měřítko 500 μm .

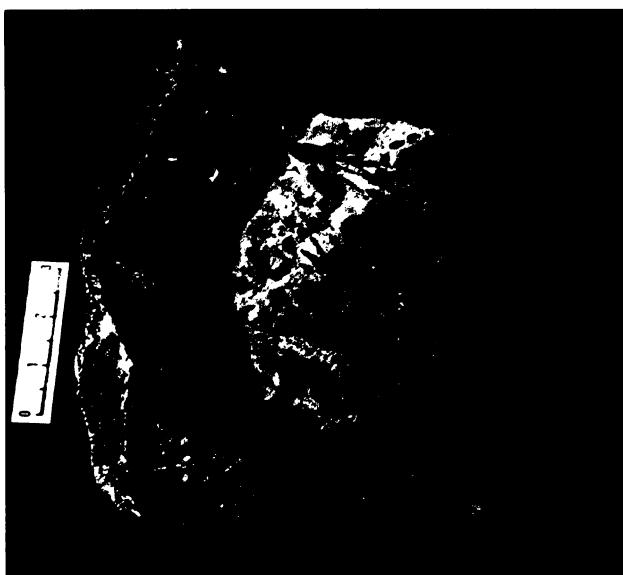


Obr. S.4.21. Výbrus č. 4b - SEM/EDX - oblast 5: lokalizace čtyř analyzovaných bodů (5.1 až 5.4) v parenchymu a sférolitu chalcedonu blízko hlavní trhliny v parenchymatické oblasti diktyostélé; zobrazení detektorem BSE; měřítko 50 μm .



Tab. S.4.2. Lokalizace bodů 5.1 až 5.4 na obrázku S.4.21 a k nim příslušná spektra, EDX (PřF UK).

5

Psaronius COTTA (*Psaronius* sp.)♣ Typ *PSARONIUS* /CObr. S.5.1. Vzorek E 6295, *Psaronius* sp.Obr. S.5.2. Vzorek E 6295, *Psaronius* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.5.1, S.5.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6295	<i>Velikost [mm]</i>	88 x 103 x 27	<i>Lokalita</i>	Balka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný psaroniový stonek , zhruba polovina průměru lodyhy, oblast diktyostélé uprostřed je zasypaná klastickým materiálem, zřetelně odlišitelný plášť vzdušných kořenů, které mají očkovitý tvar, při vnějším okraji zachovalý zbytek sedimentu, hojně praskliny napříč stonkem i silicifikovaným sedimentem uvnitř						
<i>Tvar</i>	Půlkruh; snadno odlišitelné strukturální části uspořádané původně do kruhu						
<i>Zbarvení</i>	Růžovošedá oblast diktyostélé, kořenový plášť je při vnitřním okraji černý a směrem k okraji přechází do červeno-černého zbarvení, vzdušné kořinky v něm jsou tmavě lemované, při okraji je růžovošedá arkóza						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	2 výbrusy velmi podobné stavby, od středu k okraji, silnější růžovošedá část je střed stonku, nikoliv okraj! 5 a tvar jako „přesýpací hodiny“ 5 b baculatější tvar, s menším profilem kořínků				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: I když se nám vzorek č. 5 (obr. S.5.1, S.5.2) na první pohled jeví jako velmi dobře zachovaný stonek psaroniové rostliny, při bližším pozorování zjistíme, že z ní zbyl nejvíce plášť vzdušných kořenů, a to ještě hodně porušený. Pozůstatky stéle z vnější lodyžní části najdeme pouze při okraji kořenového obalu, zbytek tvoří jen prokřemenělý klastický materiál. Všechny hlavní strukturální části původní stromovité kapradiny jsou tedy obsaženy na obou výbrusech (obr. S.5.3, S.5.4) a lze je od sebe poměrně

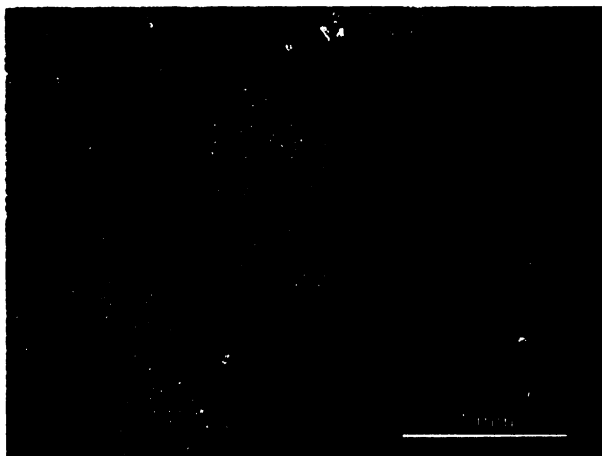


Obr. S.5.3. Výbrus č. 5a (vlevo): průřez psaroniovým stonkem (od shora): růžovošedý silicifikovaný klastický materiál ze středové oblasti diktyostélé, pod ním okrově zbarvený vnější a vnitřní plášť vzdušných tmavě lemovaných kořínků nepravidelného tvaru, kořínky často rozpraskané. Při dolním okraji lem jemnozrnne růžovošedé arkózy. Napříč vzorkem prochází velká trhlinka, která se rozvětjuje k okraji. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm, transversální průřez.

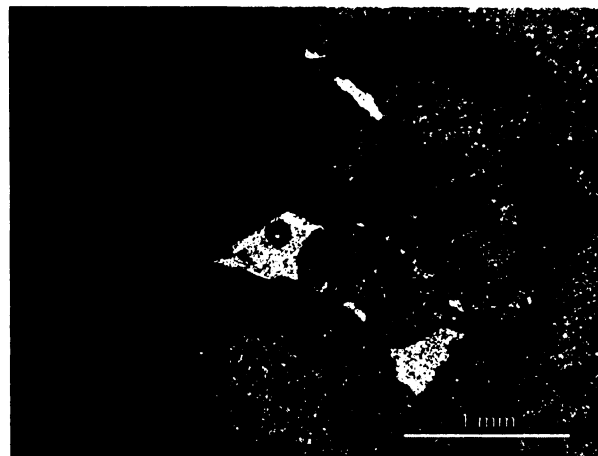
Obr. S.5.4. Výbrus č. 5b (vpravo): transversální průřez psaroniovým stonkem, velmi podobný jako předchozí (obr. S.5.3.), ale s větším podílem diktyostélícké oblasti, plášť vzdušných kořínků jen tenký (cca 1/6 výbrusu), při dolním okraji vrstva růžovošedé arkózy. Výbrus porušen mnoha trhlinami. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.



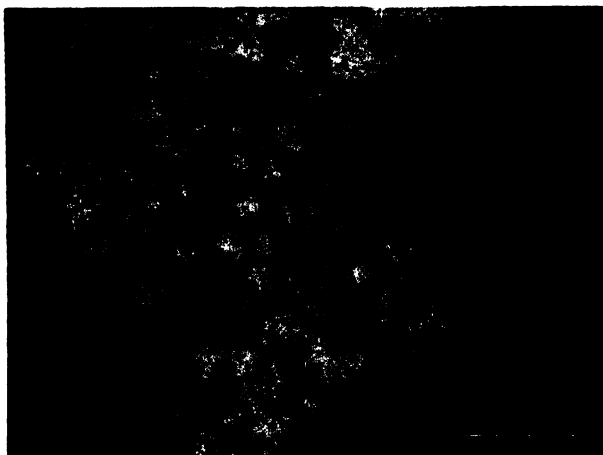
snadno odlišit i pouhým okem. Plášť vzdušných kořínků koncentricky obaluje ve středu umístěnou oblast diktyostélé. Makroskopicky lze jen stěží rozlišit polohu sklerenchymatických plátů či jednotlivých stélé, mikroskopicky však lze najít části konkávně prohnutých stélé, a to těsně při hranici vnitřního kořenového obalu (viz obr. S.5.5, S.5.13), celý vnitřek je bohužel vyplněn růžově zbarveným klastickým materiálem. Podle morfologické klasifikace, kterou uvádí Němejc (1963), můžeme podle zachované struktury stonku předpokládat, že se jedná o polystichický typ diktyostélé (viz kap. C, např. obr. C.4, C.8), ovšem i v tomto případě nám bohužel k naprosto přesnému určení chybí druhá polovina stonku rostliny. Vzdušné kořínky jsou poměrně dobře zachované a opět mají tmavě zbarvené sklerenchymatické pochvy, tkáň sekundárního (intersticiálního) parenchymu však v OM či PM rozeznatelná není (obr. S.5.11), v CL ji lze ale velice dobře určit (obr. S.5.12, obojí srov. s obr. C.5).



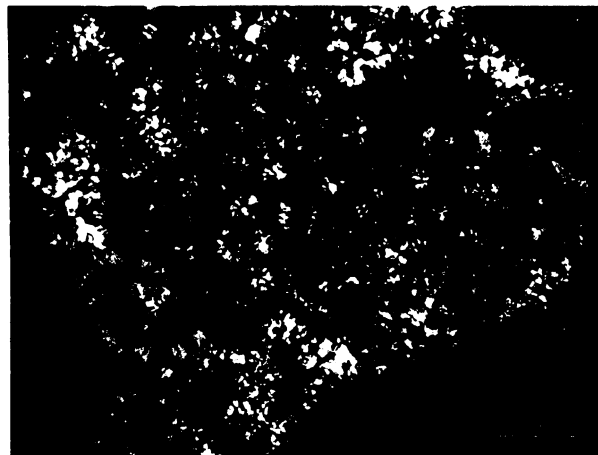
Obr. S.5.5. Výbrus č. 5a – OM: transversální řez psaroniovým diktyostélé, konkávně prohnuté pláty stélé mezi sebou vytvářejí mezery, do kterých se často dostane detritický materiál.



Obr. S.5.6. Výbrus č. 5a – OM: transversální řez psaroniovým kořínkem se zachovaným cévním svazkem uprostřed, parenchymatická vrstva vnitřního pláště kořínku nebyla místy ničím nahrazena, sklerenchymatická pochva kořínku (podkovovitý tvar tmavší barvy) je místy narušená.



Obr. S.5.7. Výbrus č. 5a – OM: psaroniový kořínek se zachovaným cévním svazkem polyarchního typu s exarchním protoxylémem. V kořítku obaleném sklerenchymatickou pochvou (při okrajích snímku) jsou tmavě hnědé sférolity chalcedonu; transverzální řez.



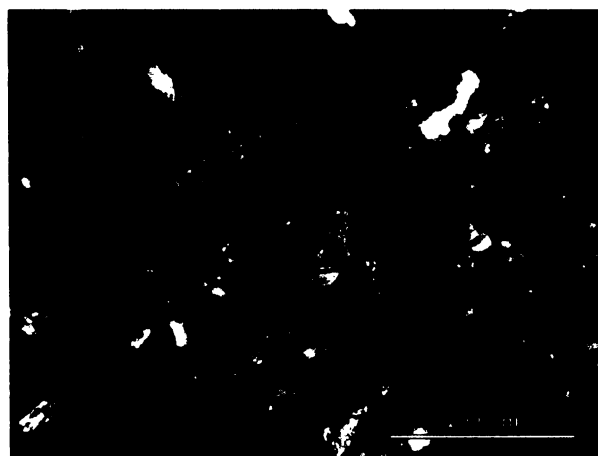
Obr. S.5.8. Výbrus č. 5a – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. V oblasti parenchymu či aerenchymu jsou přítomny oranžovohnědé sférolity chalcedonu, obklopené makrokryalickým křemenem. Mikrokrystalický křemen permineralizoval buněčné stěny tracheid cévního svazku a sklerenchymatickou pochvu.

V některých kořincích se dochoval i cévní svazek (viz obr. S.5.6, S.5.7, srov. s obr. C.6), a to i přesto, že v oblasti vnitřního korového pletiva (parenchym, aerenchym) přítomen sférolitický chalcedon, který někdy narůstá i v oblasti tracheid cévního svazku (obr. S.5.7, S.5.8).

Vzorkem prochází velké množství trhlin, které v mnoha případech porušují i celistvou strukturu pletiv a kořínků, čímž je jasné že nevznikly následkem přípravy výbrusu, nýbrž během silicifikace, lithifikace či rané diagenese. Klastický materiál z vrstvy sedimentu obklopující vlastní stonek je hojně přítomen i mezi kořínky vnějšího kořenového pláště. Trhlinami ale často proniká i do pláště vnitřního, často i do vnitřku samotných kořínků, a to porušenými sklerenchymatickými pochvami. Kupodivu ho lze najít i nasypáný mezi zachovanými pláty diktyostélé a listovými stopami (S.5.17), mohl se tam ale dostat z druhé strany zevnitř, neboť klastický materiál se hojně nachází i ve středové oblasti původního diktyostélé, kterou zcela vyplňuje. V PM lze vidět jednotlivá zrna detritu, např. biotit postižený hematitizací (obr. S.5.9, S.5.10).

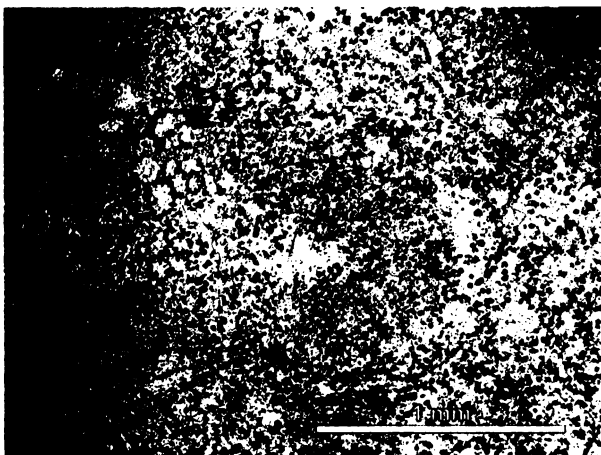


Obr. S.5.9. Výbrus č. 5a – OM: krystal biotitu postižený hematitizací, ve středu snímku čirý krystal zirkonu a granátu (grt je od zirkonu více vpravo nahoře) v okolní detritické hmotě; transverzální řez.

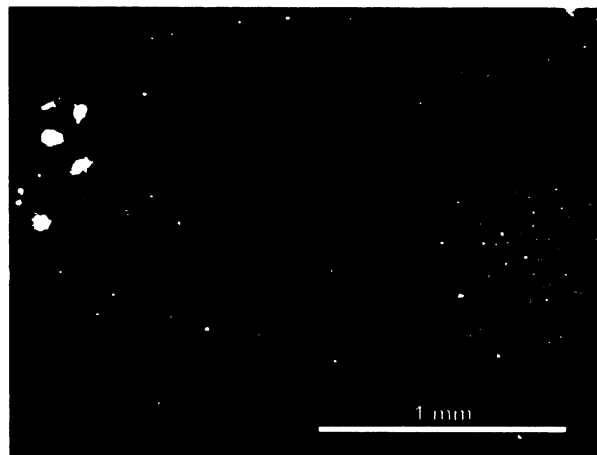


Obr. S.5.10. Výbrus č. 5a – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Krystal biotitu postižený hematitizací. Zirkon s pestrými interferenčními barvami uprostřed, granátové zrno vpravo nahoře od něj zhaslé; transverzální řez.

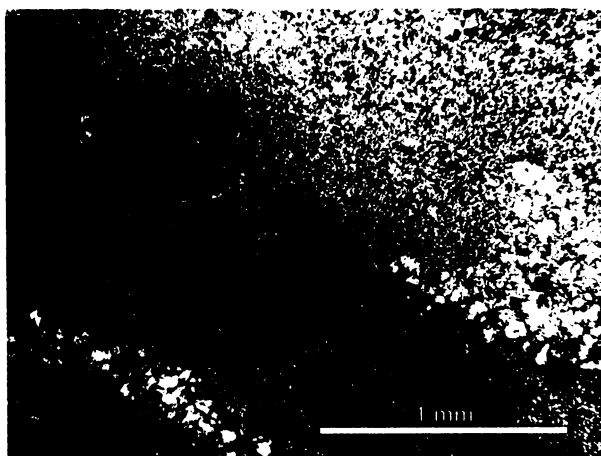
KATODOLUMINISCENCE: CL tohoto výbrusu je velice různorodá, protože klastický materiál má zcela odlišnou luminiscenci než prokřemenělý psaroniový stonek. Jak ve vzdušných kořincích, tak i v dochované struktuře diktyostélé, které jsou převážně tvořeny mikrokrystalickým, makrokrystalickým křemenem a chalcedonem (jak je patrné z PM obrázků výše), se objevuje dvojí odlišná CL. Je to na prvním místě červenofialová CL, která převažuje v plášti vzdušných kořínků (obr. S.5.12) a zdá se, že by mohla patřit prvotní křemenné hmotě. Na druhé straně se zde ale ještě objevuje krátce žijící modrá CL, která byla na první pokus při běžném nastavení přístroje nezachytitelná. Lze ji totiž pozorovat jen při expozici do cca 15 s, podrobněji je tento jev vysvětlen u vzorku č. 8. Tato modrá CL převažuje v oblasti zachovaných plátů diktyostélé (obr. S.5.14) a střetává se s červenou CL na rozhraní stonku a pláště, kde prostupuje i do porušených kořínků (obr. S.5.16). Objevuje se zcela nepředvídatelně tam, kde se křemenná hmota v OM či PM jeví zcela homogenní (S.5.13, S.5.15). Často proniká podél prasklin či sklerenchymatických struktur, které jakoby ji zadržovaly, a vypadá jako „modrá řeka“ (obr. S.5.16).



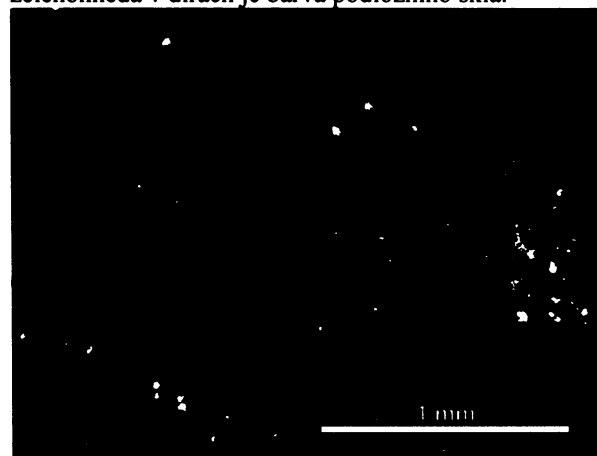
Obr. S.5.11. Výbrus č. 5b – OM: transverzální průřez psaroniovým kořínkem, tmavší sklerenchymatická pochva je špatně viditelná, vlevo uprostřed lze najít dochované buňky cévního svazku. Volně rozptýlené hnědé tečky jsou železitý pigment.



Obr. S.5.12. Výbrus č. 5b – CL: transverzální průřez psaroniovým kořínkem, sklerenchymatická pochva mnohem lépe patrná než v OM, stejně tak i intersticiální tkáň (protáhlé buňky v levém dolní rohu snímku). Převažuje červený odstín CL kořenového pláště. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla, zelenohnědá v dírách je barva podložního skla.

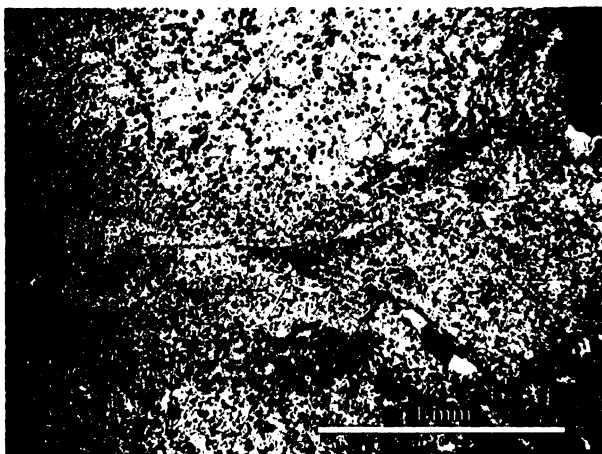


Obr. S.5.13. Výbrus č. 5b – PM: transverzální řez na rozhraní diktyostélé a kořenového pláště. Převažuje mikrokrystalický křemen, v dutině prohnutého stélé chalcedon. Volně rozptýlené hnědé tečky jsou železitý pigment.

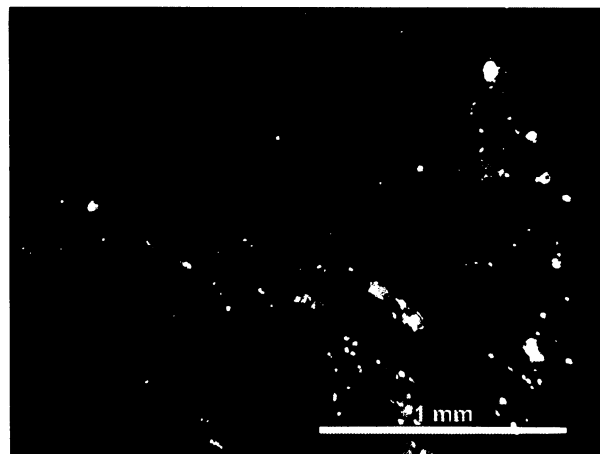


Obr. S.5.14. Výbrus č. 5b – CL: transverzální řez na rozhraní diktyostélé a kořenového pláště. Křemenná hmota diktyostélé má modrou CL a setkává se s hmotou kořenového pláště (červenofialová CL). Chalcedon jeví ružovofialovou CL. Vpravo nahoře je vidět sklerenchymatickou pochvu kořínku.

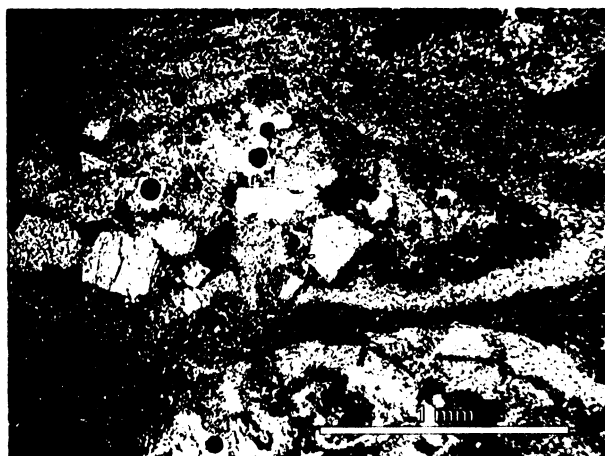
Zdrojová oblast fluida odlišných vlastností, které brekciovitě rozrušilo a nepravidelně rekrystalizovalo (obr. S.5.16) původní hmotu kořenového pláště (zde poskytující krátce-žijící modrou CL), pochází ze směru diktyostélé (z externího zdroje, pravděpodobně z okolního sedimentu) a podél velké příčné praskliny postupuje dále směrem do kořenového obalu, jehož křemennou hmotu výrazně narušuje. Směr proudění fluida je naznačen modrými šipkami na obr. S.5.22. Toto by mohl být ukázkový příklad polyfázového procesu silicifikace. Podobný případ invaze odlišného silicifikačního fluida takového rozsahu bohužel nebyl v jiných fosíliích zaznamenán. Možná to souvisí s množstvím prasklin a polymiktních klastů.



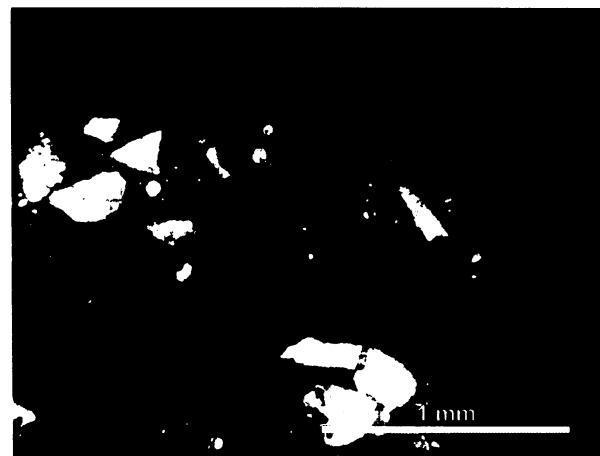
Obr. S.5.15. Výbrus č. 5b – OM: transverzální průřez psaroniovým kořínkem situovaným blízko velké praskliny (na obr. vpravo nahoře), která prochází napříč vzorkem. Tmavší sklerenchymatická pochva kořínku je špatně viditelná a zdá se splasklá. V zorném poli se hmota jeví poměrně homogenně. V PM je to pouze chaotická směs mikrokystalického křemene. Volně rozptýlené hnědé tečky jsou železitý pigment.



Obr. S.5.16. Výbrus č. 5b – CL: transverzální průřez psaroniovým kořínkem situovaným blízko velké praskliny (na obr. vpravo nahoře), která prochází napříč vzorkem z oblasti diktyostélé. Tou zřejmě později pronikla jiná fluida, která způsobila rekrystalizaci původní hmoty v kořenovém plášti (s červenofialovou CL), a ta nyní poskytuje krátce-žijící modrou lumiscenci. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.



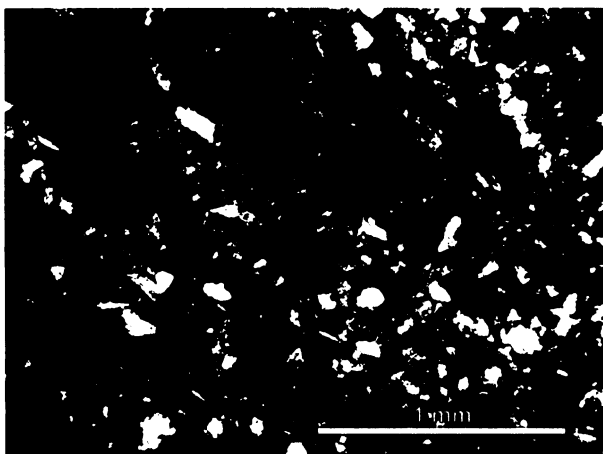
Obr. S.5.17. Výbrus č. 5b – OM: transverzální průřez listovou stopou vybíhající z diktyostélé, která v sobě uzavřela detritický materiál s ostrohrannými zrny.



Obr. S.5.18. Výbrus č. 5b – CL: transverzální průřez detritickým materiálem s ostrohrannými zrny uzavřenými uvnitř listové stopy. Křemen - tmavě modrá CL, K-živec - jasně modrá CL, plagioklas - žlutohnědá CL.

Základní hmota sedimentu nejeví žádné známky CL a je tmavá. Září v ní však zrna polymiktního klastického materiálu, a také diamantová zrna z leštění vzorku zachycená v prasklinách a pórech (obr. S.5.20). Pomocí CL zde byla bezpečně detekována ostrohranná zrna křemene (tmavě modrá CL)

a K-živců (jasně modrá CL). Určování pouze pomocí barev luminiscence je jen orientační, zrna sedimentu je vždy nutno podrobit prvkové chemické analýze (viz níže). Klastický materiál je velice podobný ve středu i na okraji, podle všech znaků se jedná o jemnozrnnou arkózu. Větší ostrohranná zrna uzavřená uvnitř rostlinných struktur (obr. S.5.18), která jsou tak snadno rozeznatelná zejména v CL, lze připisovat klastickému sedimentu, který zřejmě prodělal odlišnou genezi a ještě kratší transport než arkóza nacházející se na okrajích.



Obr. S.5.19. Výbrus č. 5b – PM: jemně zrnitá arkóza z vnitřní oblasti stonku (původně diktyostélé). Ostrohranné úlomky křemene, slíd, živců a těžkých minerálů. Zrna však mnohem drobnější než ta, co jsou uzavřena v rostlinných strukturách (viz obr. S.5.17).



Obr. S.5.20. Výbrus č. 5b – CL: jemně zrnitá arkóza z vnitřní oblasti stonku (původně diktyostélé). Základní hmota nejeví žádnou CL. V ní luminiscují zrna křemene (tmavě modrá CL), slíd (bez CL), K-živců (světle modrá CL), apatitů (větší zrna se žlutou CL) a těžkých minerálů (bez CL). Drobná žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

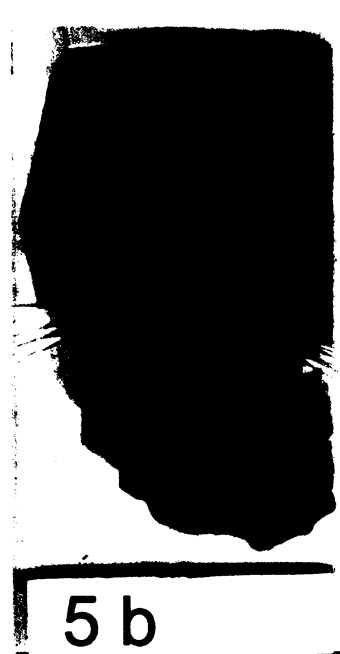
EDX ○
(ÚACH)

CL ○



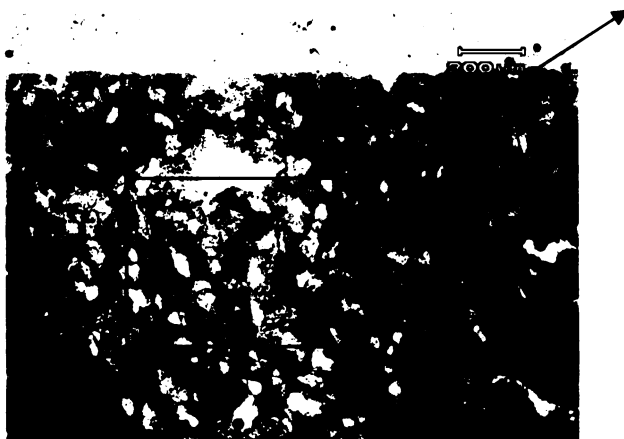
Obr. S.5.21. Výbrus č. 5b (vlevo): lokalizace oblastí analyzovaných jednotlivými metodami, výsledky z měření EDX viz níže (tab. S.5.1, S.5.2).

Obr. S.5.22. Výbrus č. 5b (vpravo): Grafické znázornění výsledků katodoluminiscenčních měření. Charakteristické barvy CL shora: *sediment* – základní hmota (bez luminiscence) + zrna minerálů (různé barvy CL); *zachované diktyostélé* (krátce-živící modrá); *kořenový plášť* (červenofialová); *sediment* – základní hmota (bez luminiscence) + zrna minerálů (různé barvy CL). Modré šipky znázorňují pravděpodobný směr toku fluida odlišných vlastností. Některé z doprovodných snímků CL viz výše.

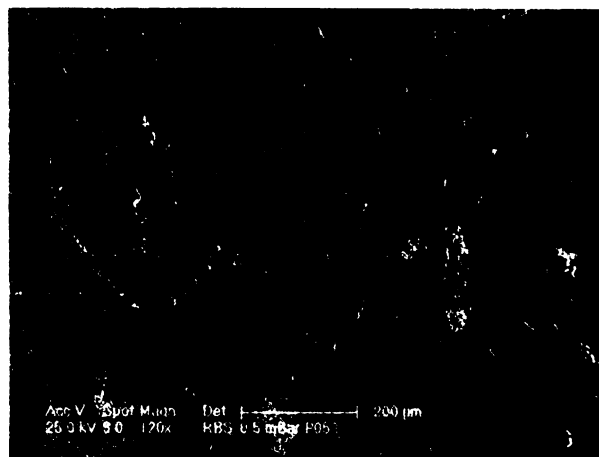


EDX (ÚACH): Výsledky EDX umožňují zejména odhadnout minerální složení klastického materiálu v bezprostřední blízkosti silicifikované rostliny. Vyplývá z nich, že psaroniový stonek byl před silicifikací zanořený v jemnozrnné až středozrnné arkóze s velikostí většiny zrn pod 0,25 mm) s obsahem živců a významným podílem těžkých minerálů (zirkon, monazit, apatit, oxidy železa a titanu), které byly nalezeny ve vnější i vnitřní vrstvě sedimentu. Naopak zrna klastického materiálu uzavřeného uvnitř

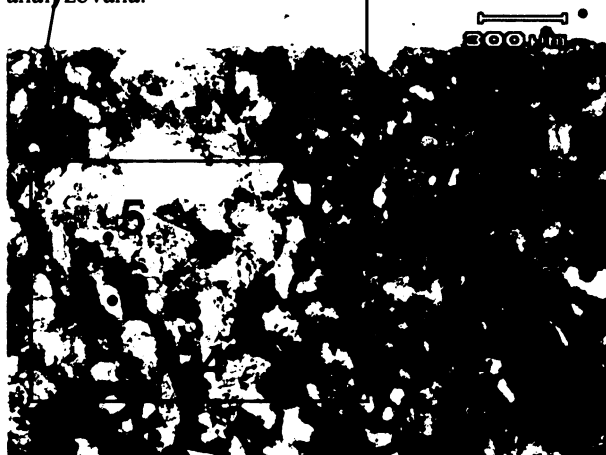
rostlinných pletiv (obr. S.5.17) jsou mnohem více ostrohranná a zároveň střednězrnitá až hrubozrná (0,25 - 0,5 mm). Výsledky prvkové analýzy vybraných bodů (obr. S.5.21) jsou uvedeny v tabulkách (tab. S.5.1 a S.5.2) v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%).



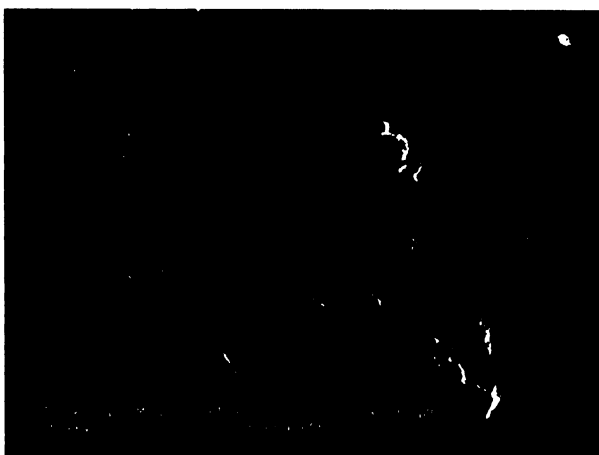
Obr. S.5.23. Výbrus č. 5b – OM/(EDX): optická fotografie sedimentárního okolí oblasti 2, z kterého byl udělána průměrná analýza. Vybraná oblast bodu 2 (v červeném obdélníku; blízko tůhliny) byla podrobněji analyzována.



Obr. S.5.24. Výbrus č. 5b – SEM/EDX – oblast 2: zobrazení chemického kontrastu vybrané oblasti v bodu 2 detektorem RBS.



Obr. S.5.25. Výbrus č. 5b – OM/(EDX): optická fotografie klastického materiálu v oblasti 2) při větším zvětšení (červený obdélník). Číselná lokalizace analyzovaných minerálních zrn 1 - 6.



Obr. S.5.26. Výbrus č. 5b – SEM/EDX - bod 2.1: zobrazení chemického kontrastu slidového zrna (biotit, mírně vlevo od středu) s dobře patrnou štěpností detektorem RBS.



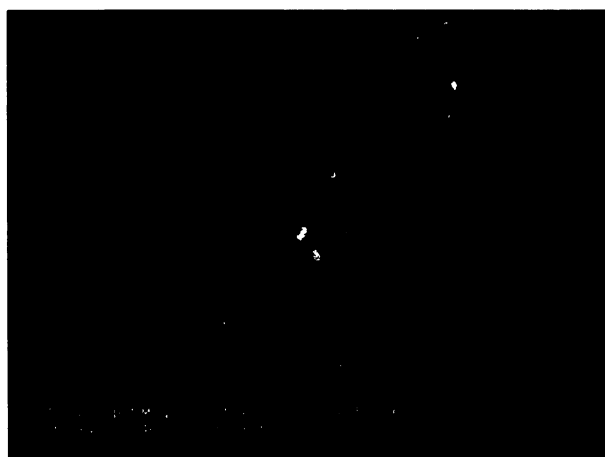
Obr. S.5.27. Výbrus č. 5b – SEM/EDX - bod 2.4: paralelně uspořádané slidové vrstvy štěpné podle 001, zde s výraznou exfoliací, zobrazeno detektorem RBS.



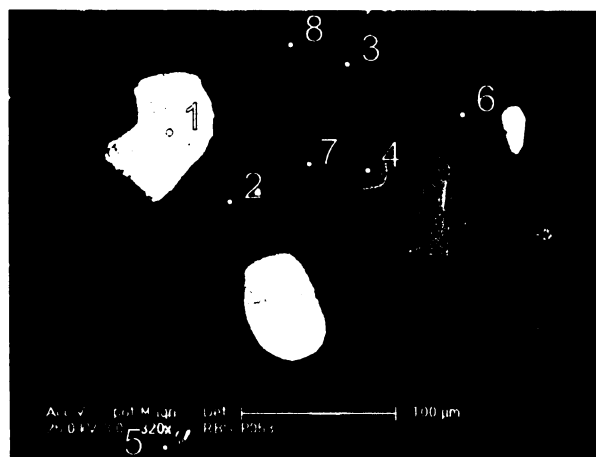
Obr. S.5.28. Výbrus č. 5b – PM/(EDX) - bod 2.6: optická fotografie křemenného zrna obklopeného biotitem v polarizovaném světle.

Prvek	Oblast 2	Bod 2.1	Bod 2.2	Bod 2.3	Bod 2.4	Bod 2.5	Bod 2.6
C	19,00	1,62	-	-	12,75	-	-
O	50,01	58,72	57,52	61,35	53,21	64,33	74,92
Si	24,27	27,38	25,41	27,52	24,95	8,70	25,08
Fe	0,31	3,14	-	1,71	0,63	0,42	-
Ti	-	0,28	-	0,34	0,17	0,24	-
Al	3,44	4,91	9,04	5,24	4,52	0,52	-
Mg	1,18	2,13	-	2,60	1,59	-	-
Ca	-	-	0,33	-	-	0,80	-
Na	0,90	0,36	7,36	-	1,35	0,00	-
K	0,79	1,45	0,35	1,24	0,82	0,38	-
P	-	-	-	-	-	15,53	-
La; Ce	-	-	-	-	-	2,07; 4,01	-
Pr; Nd	-	-	-	-	-	0,49; 1,68	-
Th	-	-	-	-	-	0,84	-
Interpretace	<i>průměrná analýza</i>	<i>biotit</i>	<i>albit</i>	<i>biotit</i>	<i>slída</i>	<i>Ce monazit (LREE)</i>	<i>SiO₂</i>

Obr. S.5.1. Výsledky prvkové analýzy vybraných minerálních zrn v oblasti 2 metodou EDX (výbrus č. 5b).



Obr. S.5.29. Výbrus č. 5b – SEM/EDX - oblast 3: zobrazení chemického kontrastu okolí analyzované oblasti 3 detektorem RBS, oblast 3 přesně uprostřed.



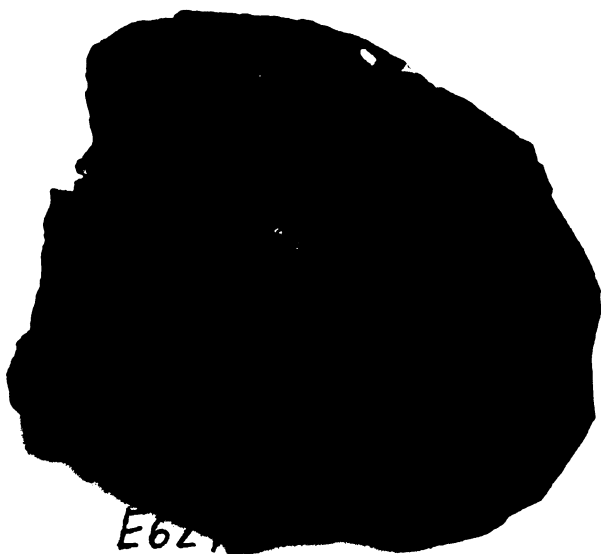
Obr. S.5.30. Výbrus č. 5b – SEM/EDX - oblast 3: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS, číselná lokalizace analyzovaných minerálních zrn 1 - 8.

Prvek	Bod 3.1	Bod 3.2	Bod 3.3	Bod 3.4	Bod 3.5	Bod 3.6	Bod 3.7	Bod 3.8
C	1,29	-	13,44	5,91	8,89	10,09	-	-
O	73,37	76,36	59,94	65,39	57,86	67,30	70,68	74,67
Si	1,65	0,50	8,22	14,79	0,27	4,09	10,31	0,33
Fe	0,10	7,92	8,47	-	-	17,19	16,21	7,80
Ti	-	13,72	0,23	-	-	0,28	0,46	15,99
Al	-	0,30	5,11	-	-	1,05	1,93	-
Mg	-	0,39	3,30	-	-	-	-	-
Ca	1,10	-	-	-	17,95	-	0,14	-
Na	-	0,52	-	-	-	-	-	0,88
K	0,29	-	1,29	-	-	-	0,28	-
P	13,83	-	-	-	14,75	-	-	-
La; Ce	1,78; 3,31	-	-	-	-	-	-	-
Pr; Nd	0,29; 0,91	-	-	-	-	-	-	-
Th	2,08	-	-	-	-	-	-	-
Zr	-	-	-	13,91	-	-	-	-
Sr	-	-	-	-	0,28	-	-	-
Mn	-	0,29	-	-	-	-	-	0,33
Interpretace	<i>Ce monazit (LREE)</i>	<i>leukoxen, oxidy Fe a Ti</i>	<i>biotit</i>	<i>zirkon</i>	<i>apatit</i>	<i>Fe oxid</i>	<i>Fe oxid</i>	<i>leukoxen, oxidy Fe a Ti</i>

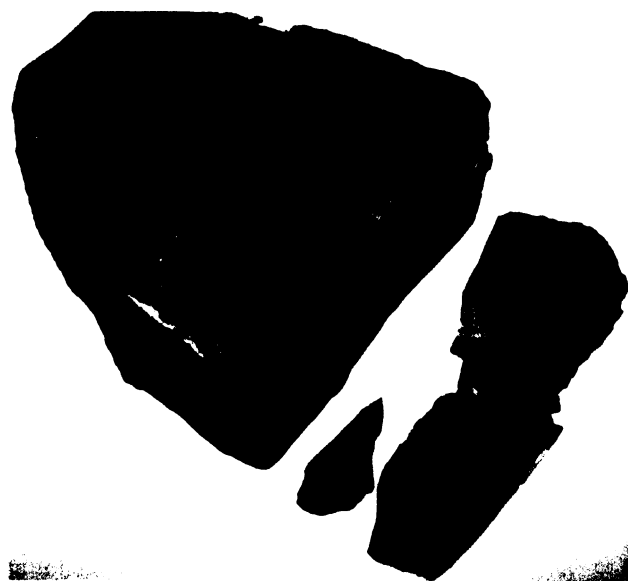
Tab. S.5.2. Výsledky prvkové analýzy vybraných minerálních zrn v oblasti 3 metodou EDX (výbrus č. 5b).

6 *Arthropitys* GOEPP. (*Arthropitys* sp.)

♣ Typ **ARTHROPITYS /B**



Obr. S.6.1. Vzorek č. E 6296, *Arthropitys* sp.



Obr. S.6.2. Vzorek č. E 6296, *Arthropitys* sp.

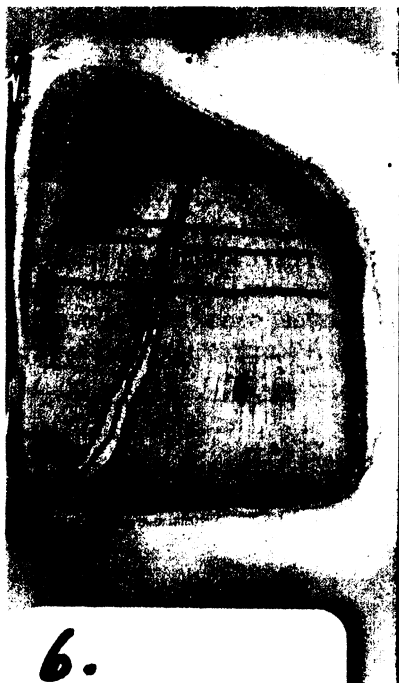
MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.6.1, S.6.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6296	<i>Velikost [mm]</i>	65 x 100 x 22	<i>Lokalita</i>	Balka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný stonek přesličky s viditelnou koncentrickou stavbou, kolem středu s narušenou strukturou a s četnými trhlinami prostupujícími celý vzorek						
<i>Tvar</i>	Cca 2/3 průměru z oválného stonku, tenký špalek						
<i>Zbarvení</i>	Hnědorůžové, na spodní straně s nepravidelnými „letokruhy“ světlé barvy a cihlově červeně zbarvenými trhlinami						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	2 výbrusy, levá a pravá strana 6 a - z širšího kousku 6 b - lichoběžný čtyřúhelník				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Oba dva výbrusy vzorku č. 6 (obr. S.6.3, S.6.4) v celém svém rozsahu obsahují velice dobře zachovanou strukturu sekundárního xylému, jen místy porušenou tenkými dlouhými prasklinami. Struktura se pod mikroskopem jeví velice jednotvárná. Sekundární xylém je tvořen řadami tracheid a dřevních paprsků (obr. S.6.5). Tracheidy jsou schodovitě ztlustlé, jak je velice dobře patrné z nábrusu v tangenciálním řezu (jako na obr. B.5). V OM pozorujeme, že buněčné stěny všech tracheid i paprsků jsou tvořeny mikrokrystalickým křemenem (šedivý), narozdíl od vnitřků buněk, které jsou vyplněny mozaikou xenomorfních zrn makrokrystalického křemene (čirý) (obr. S.6.8, S.6.10). Jedná se o typickou polyblastickou texturu, tak jak ji popsal Weibel (1996), kap. 2.3.4. Každá tracheida je vždy vyplněna více krystaly SiO₂. I zde se tedy pravděpodobně uplatňuje vliv vymezení prostoru rostlinnými tkáněmi

na krystalickou formu křemenné hmoty. Dřevní parenchymatické paprsky jsou na transversálním řezu velice dlouhé, zasahují i přes více než 10 tracheidových buněk. Skládají se z tenkostěnných krátkých buněk cihlovitého tvaru. Poměr parenchymu ke dřevu je velký, což je charakteristický znak tzv. „řidkého dřeva“ rodu *Arthropitys* (obr. B.5.; Ronny Rößler, ústní sdělení). Kolmo na řady tracheid vedou jakési linie, které připomínají růstové zóny neboli letokruhy (obr. S.6.7).



Obr. S.6.3. Výbrus č. 6a (vlevo): transversální průřez sekundárním xylémem přesličkovité rostliny rodu *Arthropitys* se schematickým nákresem. Makroskopicky jsou viditelné řady tracheid (žlutě), lemované řadami parenchymatických buněk dřevních paprsků (červeně). Dřevo tvoří jakési zvlněné nepravidelné letokruhy (zeleně), které však mohly vzniknout vlivem působení tlaku (zelené šipky). Podrobnější schéma tohoto jevu na obr. S.6.6. Některé části ve výbrusu jsou tmavší než ostatní. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

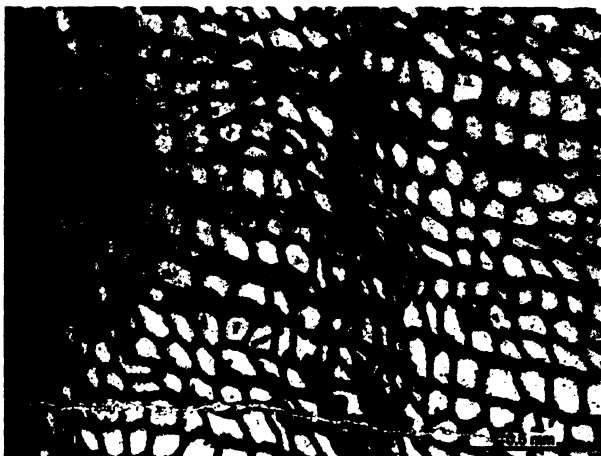


Obr. S.6.4. Výbrus č. 6b (vpravo): struktury stejné jako na obr. vlevo, užší výseč z druhé poloviny průřezu stonkem; transversální řez. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

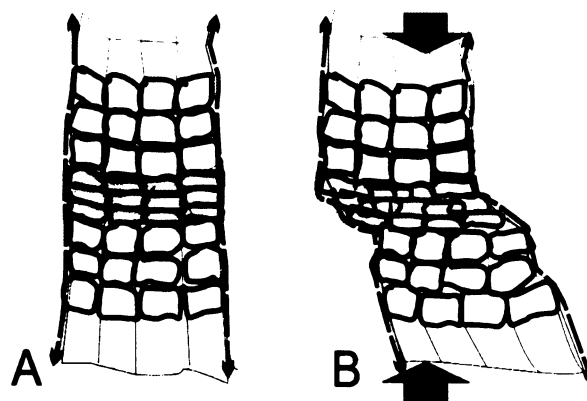
Němejc (1963) popisuje, že dřevo rodu *Arthropitys* mohlo tloustnout tvorbou tzv. interfascikulárního dřeva, dále také tvorbou sezónních letokruhů, ale stejně tak by se mohlo jednat o vrstvy vzniklé kompakcí. Celý vzorek totiž vypadá zploštěle (obr. S.6.1), a hlavní směry tlaku, které by mohly způsobit takovouto deformaci, jsou přesně kolmé na tyto zvláštní „přirůstkové linie“ dřeva (obr. S.6.3). Ty navíc netvoří úplný kruh, nýbrž jsou viditelné právě jen podél delšího oblouku oválu stonku. Také tvar jednotlivých tracheid v těchto liniích je na příčném průřezu deformovaný (obr. S.6.7, S.6.9), což potvrdilo i zobrazení CL (viz níže, obr. S.6.12). Od klasického letokruhu, který představuje opravdovou přirůstkovou zónu ovlivněnou zonalitou a vyskytující se např. u dnes žijících nahosemenných stromů, se liší ve dvou podstatných znacích, které jsou vysvětleny na schematickém obrázku S.6.6.

Podobný případ „falešných letokruhů“ byl také nedávno popsán u kalcifikovaného dřeva kordaitů svrchnokarbonského stáří z Nového Skotska v Kanadě (Falcon-Lang & Scott 2000). Až pomocí peelingové¹ metody autoři zjistili, že u některých kmenů se vyskytují jakési imitace letokruhů, které byly způsobeny tlakovou deformací. Buňky sekundárního xylému byly smáčknuté do zón cca 1 mm širokých a 3 až 13 mm vzdálených. Pokud vezmu v úvahu tato fakta, přikláním se spíše k druhé variantě, a to že jde o vrstvy tracheidových buněk, které byly zdeformovány kompakcí a letokruhy svou podobou jen připomínají.

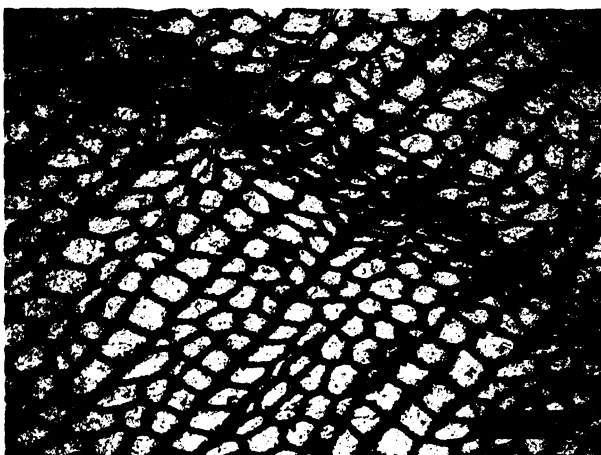
¹ speciální technika přípravy preparátů k mikroskopování některých fosilních materiálů, bližší zmínka např. v kap. 2.3 in Matysová (2004).



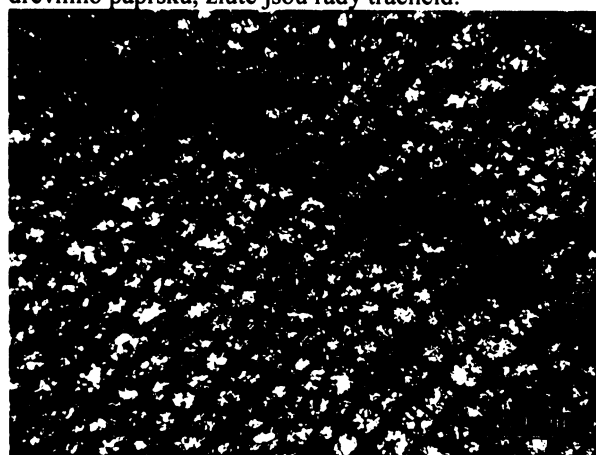
Obr. S.6.5. Výbrus č. 6a – OM: transverzální průřez sekundárním xylémem rodu *Arthropitys*. Několik horizontálně vedoucích řad tracheid je střídáno dlouhým paprskem dřevního parenchymu. Od středu snímku napravo je vidět kolmo jdoucí vrstva stlačených buněk, které připomínají letokruh.



Obr. S.6.6. Schematický náčrt odlišného uspořádání sekundárního xylému v transverzálním řezu: (A) běžný letokruh, kde se střídají přírůstky silnějších a užších tracheid (jarní a letní dřevo) např. díky změně klimatických podmínek, (B) vzorek č. 6 má v tmavých liniích, které vypadají jako letokruhy či přírůstkové zóny, zdeformované a stlačené tracheidy (viz obr. S.6.7, S.6.9), šipky znázorňují působení tlaku; červené přerušované čáry představují parenchymatické buňky dřevního paprsku, žluté jsou řady tracheid.



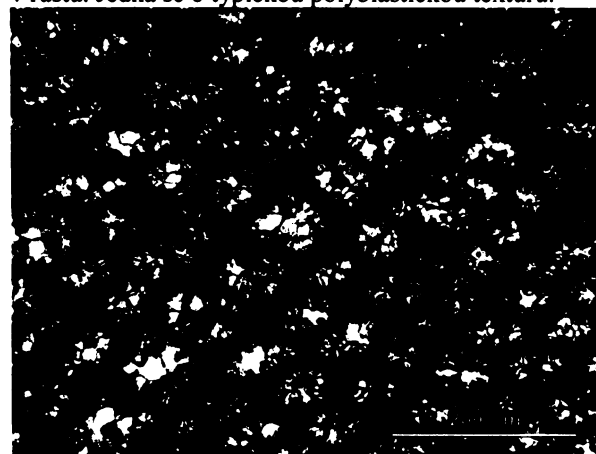
Obr. S.6.7. Výbrus č. 6b – OM: transverzální průřez sekundárním xylémem rodu *Arthropitys*. Řady tracheid i dlouhých paprsků vedou na snímku diagonálně. Po levé straně je doprovází tenká světlá trhlina. Buňky ve zdánlivé přírůstkové zóně zde vypadají velmi smáčknuté a spíše podporují hypotézu kompakce vzorku.



Obr. S.6.8. Výbrus č. 6b – PM: transverzální průřez sekundárním xylémem rodu *Arthropitys* (jako na obr. vlevo). Buněčné stěny tracheid jsou velmi tmavé, tvořené mikrokrytalickým křemenem, vnitřky buněk vyplňují krystaly makrokrytalického čírého křemene, které respektují buněčné stěny a jsou jimi omezeny v růstu. Jedná se o typickou polyblastickou texturu.

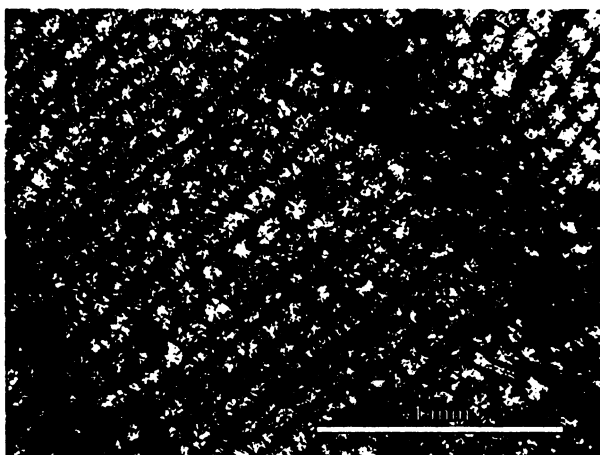


Obr. S.6.9. Výbrus č. 6b – OM: sekundární xylém rodu *Arthropitys* jako na obr. S.6.7 při větším zvětšení.

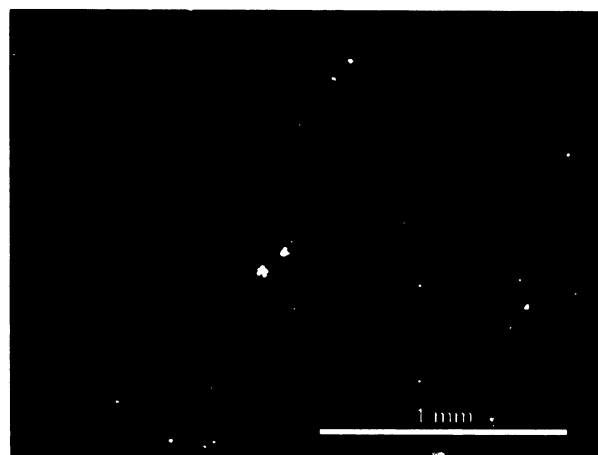


Obr. S.6.10. Výbrus č. 6b – PM: sekundární xylém rodu *Arthropitys* jako na obr. S.6.8 při větším zvětšení.

KATODOLUMINISCENCE: Zobrazení CL u tohoto výbrusu přineslo velice hodnotné výsledky. Poměrně jednotná vnitřní anatomická struktura části silicifikovaného stonku výbrusu č. 6b je velice dobře patrná v krátce-žijící modré katodoluminiscenční barvě, kterou po několik sekund vysílá, načež po jejím vyzáření přechází do dlouhodobé červené CL, ve které ty jednotlivé anatomické struktury už nejsou tak výrazné. Opět se u tohoto vzorku potvrdila hypotéza (jako u vzorků č. 4 či 7), že jednotlivé části buněk se pravděpodobně při silicifikaci chovaly odlišně, a to zřejmě v závislosti na svém primárním chemickém složení a biologické struktuře, a proto mají navzájem různý odstín CL. Jak je vidět na obr. S.6.12, buněčné stěny tvořené mikrokrytalickým křemenem mají fialovou CL, jemnozrnny chalcedon na vnitřní stěně buněčných stěn růzovofialovou CL a makrokrytalický křemen uvnitř buněk hnědofialovou CL. Přesné barevné odstíny ale nejsou tak důležité jako jejich kontrast (viz kap. 2.4.2), který zviditelňuje buněčnou strukturu. Dále se ještě místy ve výbrusu objevuje dlouhodobá jasně modrá CL, která lemuje dlouhé tenké trhliny (obr. S.6.12).



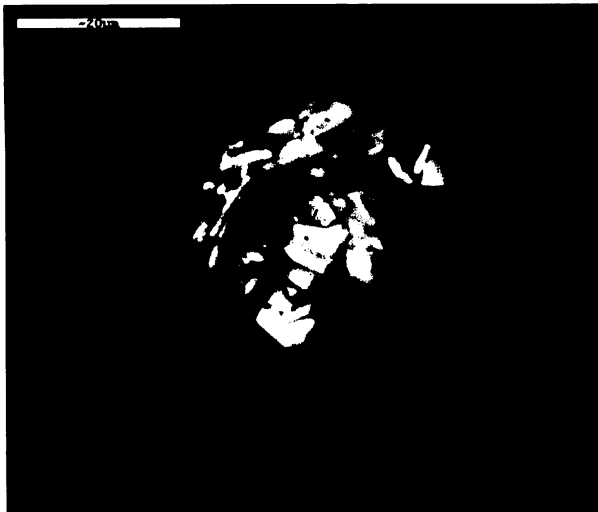
Obr. S.6.11. Výbrus č. 6b – PM: Výbrus č. 6b – PM: část sekundárního xylému, kde řady tracheid i dlouhých paprsků vedou na snímku diagonálně. V dolní části snímku je doprovází tenká tmavá trhlina (téměř není rozeznatelná). Buňky ve zdánlivé přírůstkové zóně zde vypadají velmi smáčkuté a objevují se na levé dolní a pravé horní části snímku; transverzální řez.



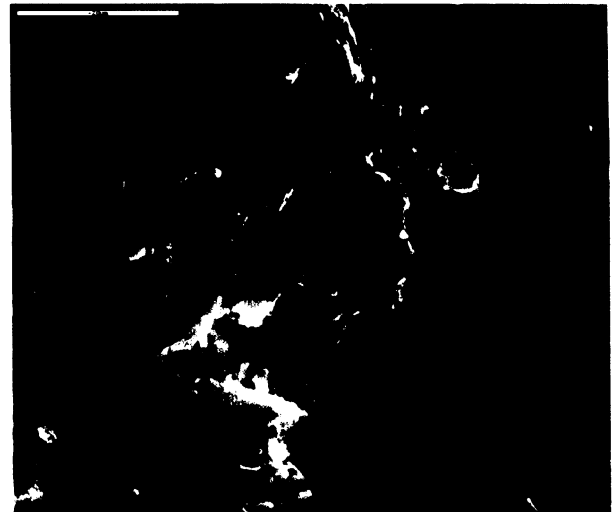
Obr. S.6.12. Výbrus č. 6b – CL: popis snímku jako na obr. vlevo, popis CL barev je uveden v textu. Všimněme si dlouhé tenké trhliny podél dřevního paprsku, která vyzářuje jasně modrou CL, hákovitě se uhybá doprava, a to v zóně dřevních buněk, které byly postiženy kompakcí a makroskopicky se na průřezu jeví jako „falešný letokruh“. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

Tato trhlina, tak dobře viditelná právě v CL, potvrdila hypotézu, že je sekundární xylém pravděpodobně v některých místech stlačený do pásů, které pouze vypadají jako letokruhy. Trhlina s modrou CL je totiž výrazně esovitě prohnutá. Buňky jsou v těchto pásích uhnuté a velice narušené či rozdrčené (v CL nejsou vůbec patrné), zatímco vnitřky buněk mimo deformační oblast jsou jasně patrné (olemované světlejší CL). Lze tedy tvrdit, že se nejedná o přírůstkové zóny, tak jak byly znázorněny na obr. S.6.6A, nýbrž jen o „letokruhy falešné“ (obr. S.6.6B).

EDX (PřF UK): Výsledky bodových analýz napříč výbrusem č. 6b potvrdily, že vzorek obsahuje SiO_2 matrici s příměsí železitých oxidů, které zbarvují silikátový materiál dohněda. Z povrchu úlomků bylo ve zobrazení SEM (detektorem SE) zhotoveno několik fotografií, kde se podařilo zachytit krystaly barytu (obr. S.6.13, S.6.14).



Obr. S.6.13. Vzorek č. 6 – SEM/EDX: krystaly barytu na povrchu úlomku ze vzorku č. 6, zobrazení detektorem SE; měřítko 20 µm.



Obr. S.6.14. Vzorek č. 6 – SEM/EDX: krystaly barytu na povrchu úlomku ze vzorku č. 6 (uprostřed snímku), zobrazení detektorem SE; měřítko 20 µm.

7

Arthropitys GOEPP. (*Arthropitys* sp.)♣ Typ **ARTHROPITYS** /BObr. S.7.1. Vzorek č. 7, *Arthropitys* sp.Obr. S.7.2. Vzorek č. 7, *Arthropitys* sp. GOEPP., část naleštěné vrchní strany vzorku s typickou radiální stavbou (zleva): neporušené dřevo (sekundární xylém; tmavě šedý a černý), rekrystalizované dřevo (světlé sférolity chalcedonu ve tvaru oček), rekrystalizovaný metaxylém (hnědá eliptická linie), rekrystalizovaná centrální parenchymatická dutina (vnitřek elipsy).**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.7.1, S.7.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	1.1.1974	<i>Velikost [mm]</i>	52 x 73 x 75	<i>Lokalita</i>	Stará Paka, les Lísek	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný stonek přesličky v oblasti mezi dvěma nody, na příčném řezu ve středové části makroskopicky viditelné hvězdičky chalcedonu, poměrně kompaktní hustá struktura s centrální dutinou posunutou k okraji, časté praskliny napříč vzorkem						
<i>Tvar</i>	Nepravidelný špalík						
<i>Zbarvení</i>	Bělošedé, na příčném řezu s bělavou středovou oblastí, tmavý a světlejší válec dřeva						
<i>Řez</i>	Transverzální		<i>Výbrus</i>	Pokrývá celou oblast od okraje ke středu průřezu			

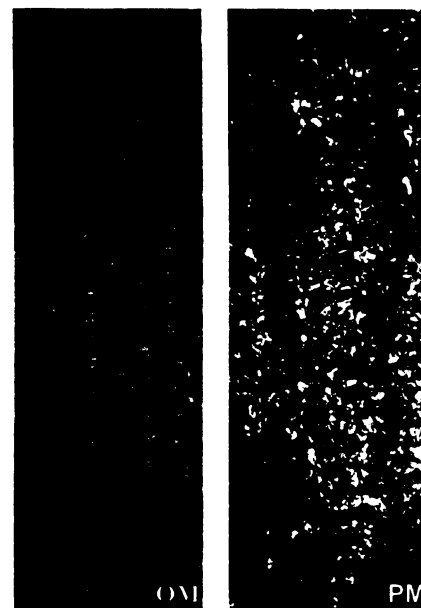
MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Ve výbrusu č. 7 (obr. S.7.3, S.7.4) se setkáváme s velice rekrystalizovanou strukturou původních pletiv přesličkovité rostliny rodu *Arthropitys*. Výsledkem rekrystalizace jsou zejména četné sférolity chalcedonu (obr. S.7.2, S.7.3), makroskopickým křemenem vyplněné nepravidelně procházející praskliny (S.7.7, S.7.8), a také selektivní odstranění pigmentu, tj. místní vybělení v sekundárním xylému (viz obr. S.7.4). Obecně je rekrystalizace nejvíce patrná ve dřevě této přesličky, neboť sekundární xylém tvoří převážnou část nejen výbrusu, ale i celého vzorku.



Obr. S.7.3. Výbrus č. 7, *Arthropitys* sp. GOEPP.: většinu plochy výbrusu tvoří sekundární xylém, více než vnitřní polovina jeho průběhu je silně rekrystalizovaná sférolity chalcedonu, struktura vnější části sekundárního xylému je poměrně dobře zachovaná, ale místy je vybělena (viz obr. S.7.4). Zbytky xylému a centrální dutiny úplně při dolním okraji výbrusu jsou taktéž velmi rekrystalizované.

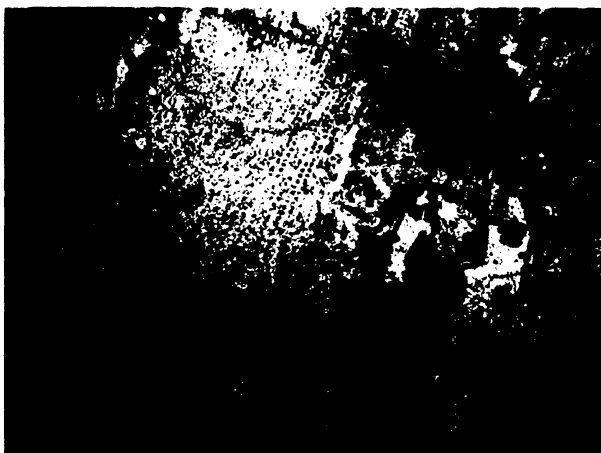
Obr. S.7.4. Výbrus č. 7, transversální řez sekundárním xylémem v tmavé hladké části vnější zóny dřeva: cca 4 - 8 řad tracheid je vždy z obou stran lemováno paprskem dřevního parenchymu. V OM vidíme vybělenou zónu. V PM je patrná její silná rekrystalizace makrokrytalickým čirým křemenem a chalcedonem (oranžový). Zvětšeno 100 x.



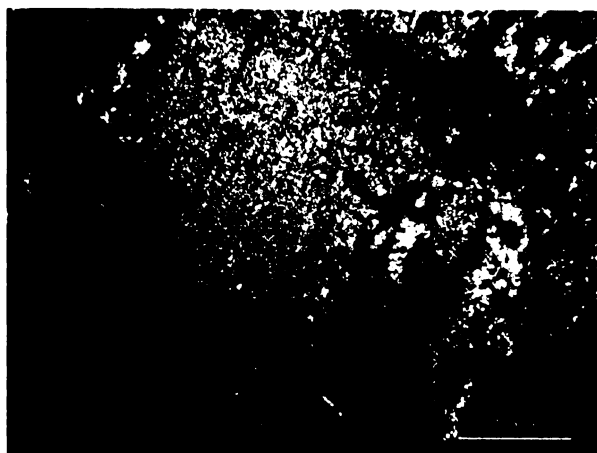
Z mohutně vyvinutého sekundárního xylému lze tedy usuzovat na starší druhotně tloustnoucí rostlinu, u níž ale nepozorujeme žádné náznaky „přirůstkových zón“ (či letokruhů), tak jako např. u výbrusů č. 6. Budeme-li postupovat směrem od dolního okraje výbrusu, tak jak ho vidíme na obr. S.7.3, tzn. od centra rostliny směrem k vnějšímu okraji, pozorujeme při spodní hraně výřezu pouze nepatrnou oblast velice rekrystalizované centrální dutiny s hojným chalcedonem a k ní přidruženou oblast téměř nečitelného metaxylému. Karinální kanály (viz obr. B.2, B.4) nejsou zachovány, taktéž byly roztrhány rekrystalizací. Nepravidelně ohraničená malá část této tkáně při dolním okraji výbrusu má při makroskopickém pozorování jemně fialovou barvu.

Sekundární xylém tvoří řady ztlustlých buněk tracheid, uspořádaných cca po 4 až 8 řadách do pásu obklopeného z obou stran velice dlouhými paprsky dřevního parenchymu, což je právě typický znak přesliček (viz kap. B). Tracheidy jsou na radiálních stěnách schodovitě ztlustlé. Dřevo se u tohoto vzorku (ve směru zevnitř k okraji) jeví jako dvě, možná i tři odlišné oblasti, světlá očkovitá, tmavá hladká, a světlá hladká (obr. S.7.2), poslední dvě vypadají pouhým okem spíše jako nějaká kůra, ale tento vzhled je spíše zavádějící. Ve vnitřní a střední části je prakticky veškerý původně přítomný sekundární xylém rozrušen krystalizací chalcedonu, jen řídce se místy dochovaly nepatrné zlomky tracheid s paprsky. Chalcedon vytváří sférolity různé velikosti, makroskopicky připomínají jakási očka, v OM jsou sférolity tmavohnědé až hnědé a v PM oranžovohnědé (obr. S.7.5, S.7.6, S.7.19, S.7.21). Mezi sférolity chalcedonu je PM pozorovatelný hlavně mikrokrytalický křemen a jen místy makrokrytalický křemen. Pravou částí výbrusu zhruba uprostřed prochází výrazná prasklina, která byla dodatečně vyplněna makrokrytalickým mozaikovitým čirým křemenem (obr. S.7.7., S.7.8). V blízkém okolí praskliny je mnoho morfologicky zajímavých útvarů, jako např. výplň dutiny připomínající v PM páskovitou strukturu achátu, jejíž vnější okraj lemuje řada drobných sférolitů chalcedonu, což můžeme na obr. S.7.9 a S.7.10 porovnat s velikostí blízkého sférolitu, která ve vzorku jinak převažuje. Zbytek dutiny vyplnil makrokrytalický křemen mozaikového typu, který typicky vzniká při vyplňování volných prostor

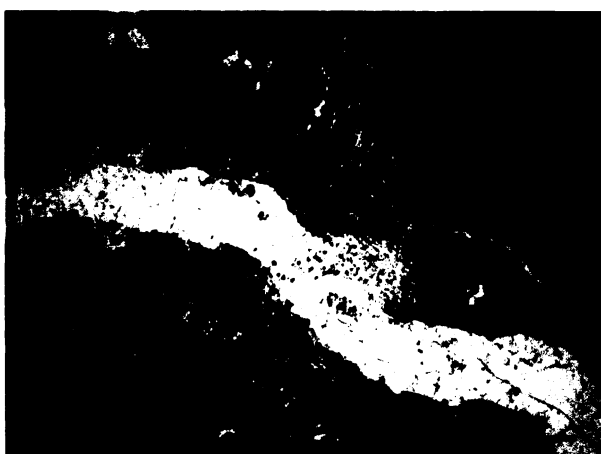
(Hesse 1989). Blízko této praskliny je také dobře viditelná změna krystalové struktury a průběhu sekundárního xylému, který přechází z chalcedonové zóny do tmavé se zachovaným průběhem dřevních buněk (obr. S.7.7). Napříč výbrusem se také nachází mnoho drobnějších prasklin, které zůstaly většinou nevyplněné. Je možné, že vznikly i při přípravě výbrusu.



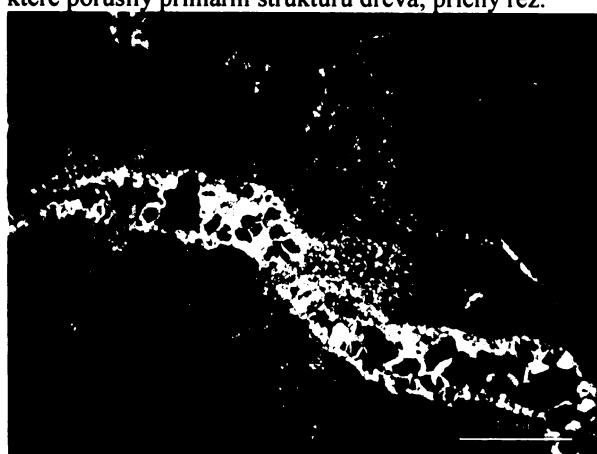
Obr. S.7.5. Výbrus č. 7 – OM: oblast sekundárního dřeva ve střední části výbrusu. Řady tracheid a dřevních paprsků jsou silně rozrušeny sférolitickými vyrostlicemi tmavě hnědého chalcedonu; transverzální řez.



Obr. S.7.6. Výbrus č. 7 – PM: oblast sekundárního dřeva ve střední části výbrusu. Řady tracheid a dřevních paprsků jsou mineralizovány jemným mikrokrytalickým křemenem. Na některých místech jsou patrné velké sférolity chalcedonu (na obrázku oranžovohnědý), které porušily primární strukturu dřeva; příčný řez.



Obr. S.7.7. Výbrus č. 7 – OM: výrazná bílá prasklina ve střední části výbrusu při pravém okraji. Nejenže přerušila průběh sekundárního xylému, ale také názorně odděluje jeho dvě odlišné zóny, a to vnitřní rekrystalizovanou chalcedonem (vlevo dole) a vnější, kde se chalcedon postupně ztrácí a dřevo si zachovalo svou strukturu; transverzální řez.

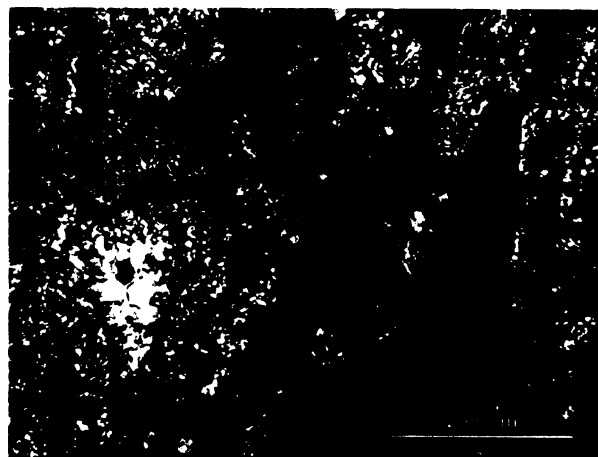


Obr. S.7.8. Výbrus č. 7 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Prasklinu vyplňuje makrokrytalický čirý křemen, chalcedon je oranžově hnědý a typický po jednotlivých paprscích zháší ve zkřížených nikolech. Zbylou tkáň dřevních paprsků a tracheid převážně vyplňuje mikrokrytalický křemen (šedý). Některé vnitřky tracheid jsou vyplněny xenomorfními krystalky chalcedonu; transverzální řez.

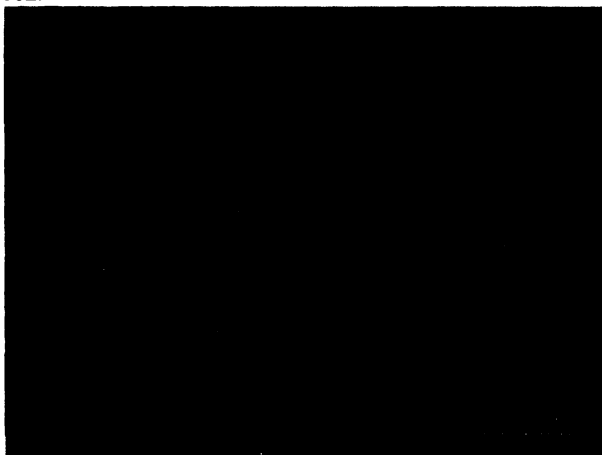
Tmavá a světlejší zóna při okraji vzorku obsahuje poměrně dobře zachované buňky tracheid i paprsků dřeva. Jejich buněčné stěny, a někde také samotný vnitřek buněk, jsou převážně vyplněny mikrokrytalickým křemenem, vnitřky buněk v jiných případech tvoří chalcedon (také v OM hnědý a v PM oranžovohnědý), popř. i makrokrytalický čirý křemen. Tmavá zóna v sobě navíc obsahuje jisté heterogenity, které se často nacházejí blízko prasklin a mohly by s nimi tedy souviset. Některé úseky totiž vypadají, jako by došlo k jejich selektivnímu vybělení. V PM je vidět, že jsou tyto úseky silně rekrystalizované čirým makrokrytalickým křemenem (viz obr. S.7.4, S.7.11).



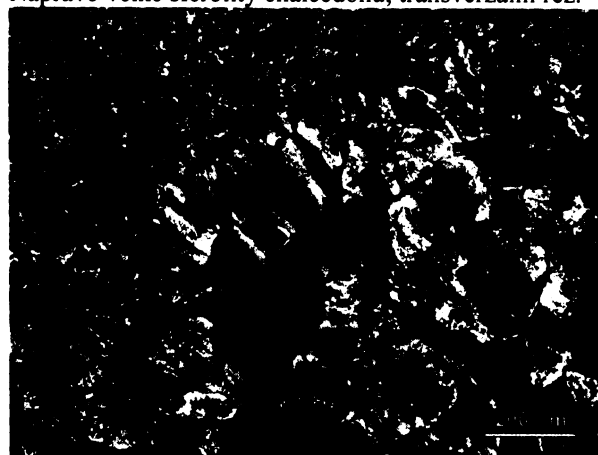
Obr. S.7.9. Výbrus č. 7 – OM: v levé části snímku se nachází bílá dutina, která přerušuje průběh sekundárního xylému. Její vnější okraj má hnědou barvu. Dutina připomíná achátovou stavbu. Napravo od ní jsou typické sférolity chalcedonu; transverzální řez.



Obr. S.7.10. Výbrus č. 7 – PM: popis jako na obr. vlevo. Vnější stěna dutiny je lemována drobným vláknitým chalcedonem (oranžovohnědý) a střed je vyplněn makrokrytalickým mozaikovitým křemenem. Kolem šedivá hmota mikrokrytalického křemene. Napravo velké sférolity chalcedonu; transverzální řez.

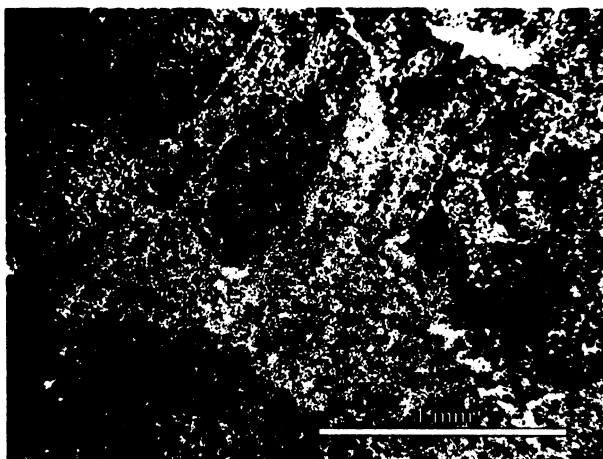


Obr. S.7.11. Výbrus č. 7 – OM: sekundární xylém z tmavé hladké zóny vnějšího okraje, silně rozrušený rekrystalizací; transverzální řez.

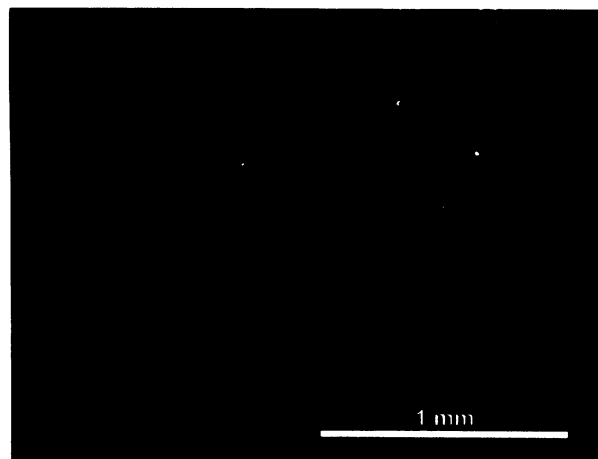


Obr. S.7.12. Výbrus č. 7 – PM: sekundární xylém z tmavé hladké zóny vnějšího okraje, tracheidy a paprsky tvoří mikrokrytalický křemen, vnitřky některých buněk vyplňuje oranžovohnědý chalcedon. Část pletiva byla silně rekrystalizována makrokrytalickým křemenem (vysoké interferenční barvy).

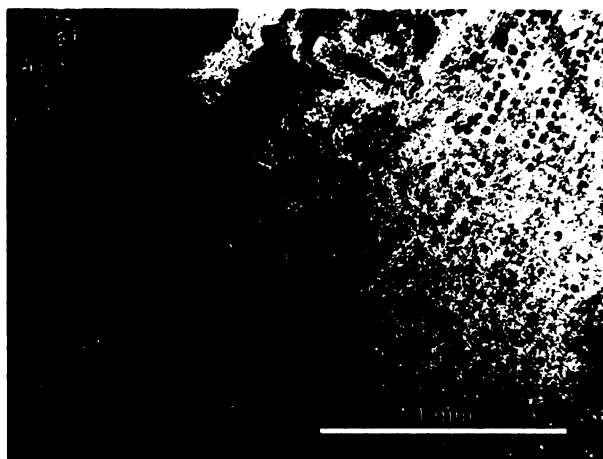
KATODOLUMINISCENCE: U výbrusu č. 7 se opět potvrdila hypotéza (již zmíněna u vzorků č. 2, 4 a 6), že CL barva křemenné hmoty závisí na její krystalické formě a souvisí s prostorem, který byl k dispozici při silicifikaci. Navíc se zde setkáváme s velice zvláštním jevem, kdy se v pruzích zachovaného sekundárního xylému, konkrétně v dolní části výbrusu, objevují nepravidelné okrouhlé poruchy, které v OM vypadají jako rekrystalizací silně narušená tkáň (obr. S.7.13, S.7.15). Tyto poruchy a jejich okolí, zejména vnitřky jednotlivých buněk tracheid (obr. S.7.14, S.7.16), mají oranžovou luminiscenci, která je typická pro karbonáty (srov. s karbonátovým vzorkem č. 18). Tato oranžová CL má navíc dva odlišné odstíny, přičemž ten tmavší (v centru jasně oranžových okrajů) pravděpodobně patří hmotě karbonátu s trochu odlišným chemickým složením. Lokalizace měřených oblastí je na obr. S.7. 21, k oblasti 3 nejsou přiloženy fotografie. Bohužel při následné analýze EDX a zobrazení SEM (viz níže) se tyto poruchy nepodařilo přesně najít a všechna měření ukazovala pouze na přítomnost křemité hmoty. Výjimkou byl bod 1 v oblasti 3 (viz obr. S.7.21), kde se objevily čáry síry, barya a vápníku, což zcela zřejmě ukazuje na přítomnost kalcitu a barytu (obr. S.7.24).



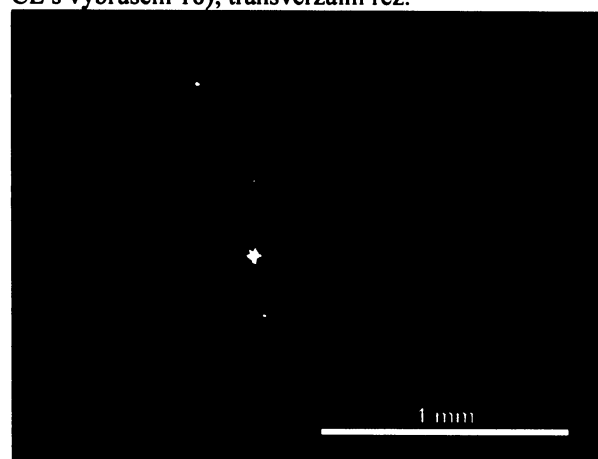
Obr. S.7.13. Výbrus č. 7 – OM – oblast 4 (CL); výrazně narušená oblast začínajícího sekundárního xylému v dolní části výbrusu (obr. S.7.3), opticky vypadá jako silně postižená rekrystalizaci; transversální řez.



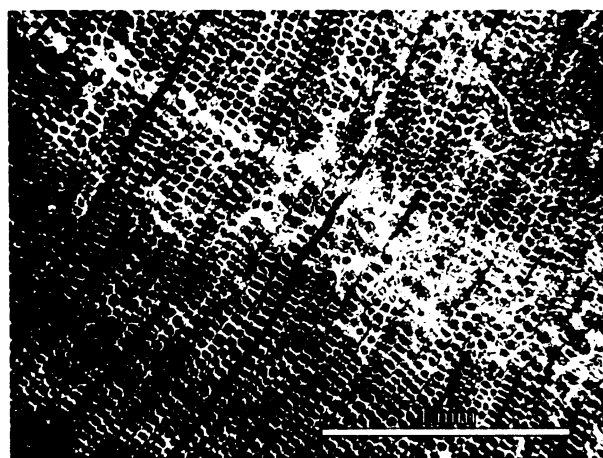
Obr. S.7.14. Výbrus č. 7 – CL – oblast 4: popis snímku jako na obr. vlevo, oválné poruchy, mezi porušeným pletivem dřeva, které má růžovofialovou CL chalcedonu, mají oranžovou CL typickou pro karbonáty (v centru poruch s tmavším odstínem; srov. barvu CL s výbrusem 18); transversální řez.



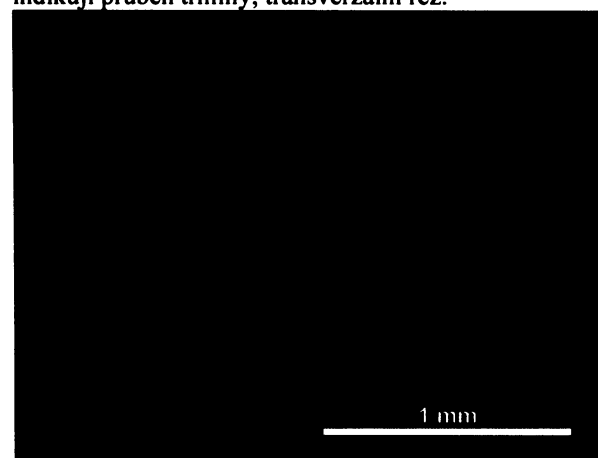
Obr. S.7.15. Výbrus č. 7 – OM – oblast 4 (CL); velké sférolity chalcedonu (tmavohnědé; na snímku vlevo) v blízkosti zachovaných řad sekundárního xylému v pravé horní části výbrusu; transversální řez.



Obr. S.7.16. Výbrus č. 7 – CL – oblast 4: popis snímku jako na obr. vlevo. Sférolity chalcedonu i jeho krystaly mají modrofialovou CL, oranžová CL typická pro karbonáty se projevuje v narušených zónách a v centru buněk podobně jako na obr. S.7.16, žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla, která indikují průběh trhliny; transversální řez.

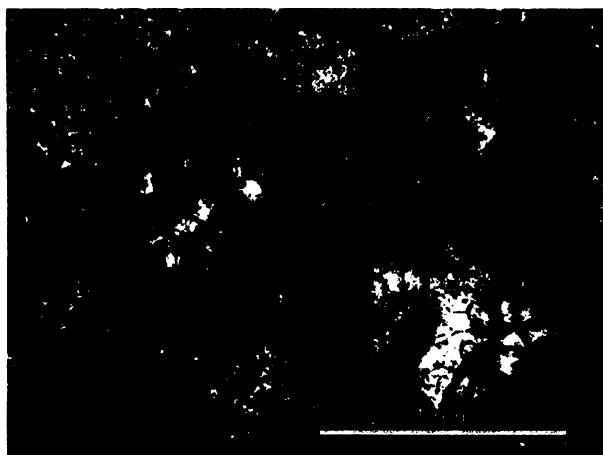


Obr. S.7.17. Výbrus č. 7 – OM – oblast 1 (CL); 4 až 8 řad tracheid tvoří pásy sekundárního xylému obklopené tmavými paprsky dřevního parenchymu. Příčně přes tuto strukturu (na snímku diagonálně) prochází narušená rekrystalizovaná vybělená zóna; transversální řez.

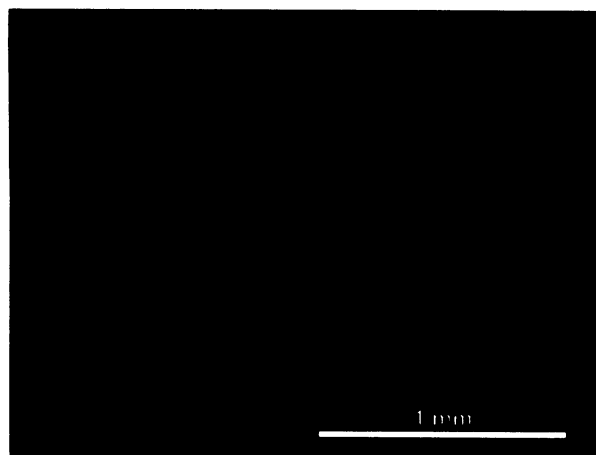


Obr. S.7.18. Výbrus č. 7 – CL – oblast 1: popis snímku jako na obr. vlevo. Pásy dřeva mají červenou až růžovo-či modrofialovou CL, rekrystalizovaná oblast je rozpoznatelná díky své odlišné namodralé barvě; transversální řez.

Křemenná hmota permineralizující sekundární xylém, který tvoří podstatnou část výbrusu, má dva odlišné typy CL. Jednak je to krátce-žijící modrá CL, která cca po 15 s vymizí a dále je pozorovatelná dlouhodobá červená CL. Při interpretaci snímků zde tedy velmi záleží na době expozice (obr. S.7.17, S.7.18). Tento jev byl podrobněji popsán u výbrusu č. 8.



Obr. S.7.19. Výbrus č. 7 – PM – oblast 2 (CL): Sférolity chalcedonu (oranžovohnědé) ze světlé „očkovité“ části sekundárního xylému. Jejich středy jsou vyplněny makrokrytalickým křemenem čiré barvy, okolní tkáň je značně rozrušena; transverzální řez.



Obr. S.7.20. Výbrus č. 7 – CL – oblast 2: popis snímku jako na obr. vlevo, chalcedonové struktury mají pro ně typickou růžovo- či modrofialovou CL, makrokrytalický křemen v centru sférolitů tmavě hnědofialovou CL, mikrokrytalický křemen v okolní hmotě červenou CL. Tmavé body karmínové barvy, na snímku nepravidelně rozptýlené, jsou oxidy železa; transverzální řez.

EDX (ÚACH): Výsledky několika bodových analýz napříč výbrusem (viz obr. S.7.21) potvrdily pouze přítomnost hmoty SiO_2 a malé množství oxidů železa, které zbarvují materiál dohněda.

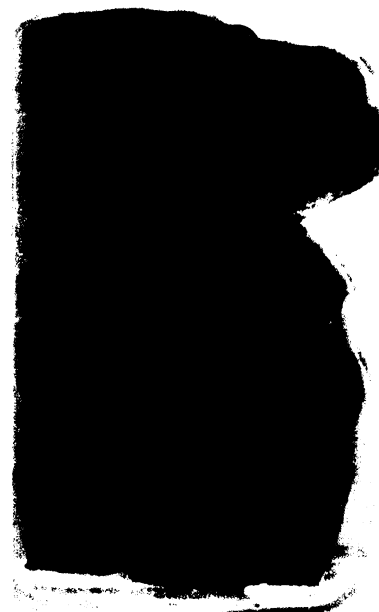
EDX (PřF UK): Analyzovány byly 3 oblasti, ve vnější, středové a vnitřní zóně výbrusu (viz obr. S.7.21). Kromě silikátové hmoty byly detekovány oxidy železa, titanu a hliníku (obr. S.7.22, S.7.23 a S.7.24, bod 3.2) a v 3. oblasti (v OM fialové barvy) také síra s baryem a vápníkem (obr. S.7.24, bod 3.1). Indikují tak lokální přítomnost barytu a kalcitu, který měl při katodoluminiscenčním měření výrazně oranžovou barvu (obr. S.7.16, S.7.18). Možná tedy nejprve v dané oblasti vzorku

došlo ke kalcifikaci a potom v druhotné fázi k nahrazení křemitou hmotou. Kalcit se dochoval jen místy a díky jeho silné luminiscenci ho lze snadno odlišit pomocí CL. Baryt má modrou luminiscenci, navíc často jen krátce-žijící, tudíž je sám od sebe těžko rozpoznatelný v CL a na snímcích se může jevit jako tmavé místo. Na povrchu vzorku a v prasklině při horním okraji výbrusu byla v tenké vrstvě arkózy nalezena zrnka ortoklasu (KAlSi_3O_8), muskovitu a rutilu (TiO_2).

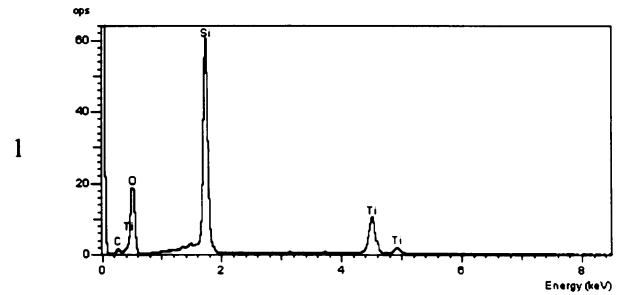
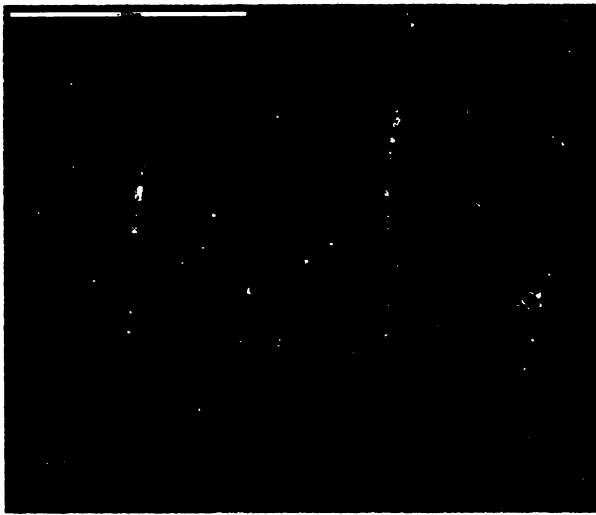
EDX ○
(ÚACH)

EDX ○
(PřF UK)

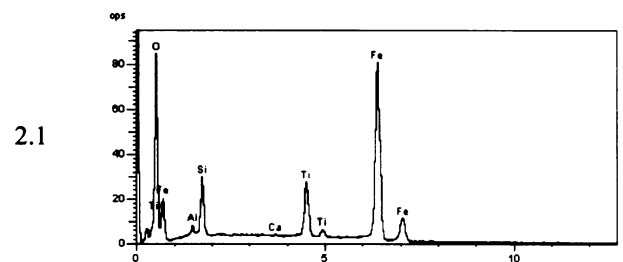
CL ○



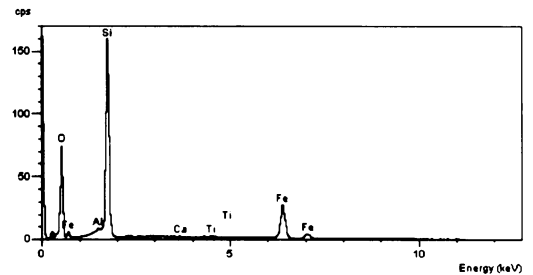
Obr. S.7.21. Výbrus č. 7: lokalizace vybraných oblastí analyzovaných různými metodami.



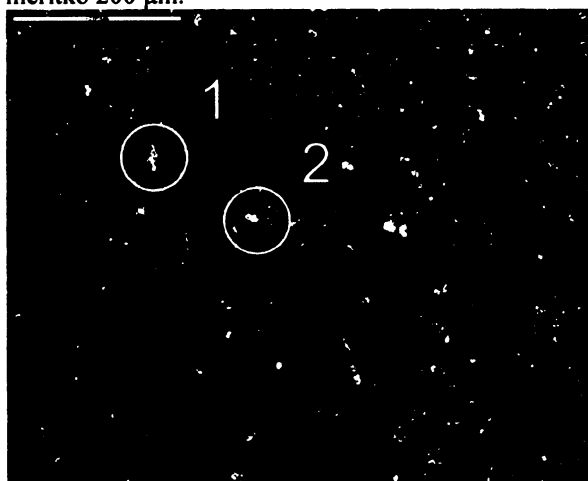
Obr. S.7.22. Výbrus č. 7 – SEM/EDX – oblast 1: zobrazení oblasti sekundárního xylému detektorem BSE; měřítko 500 μm . Světle šedé vnitřky buněk tracheid jsou tvořeny kalcitem a obklopeny silikátovou, tmavě šedou až černou hmotou. Vyplněné praskliny obsahují oxidy železa a titanu (průměrné spektrum z oblasti snímku vpravo).



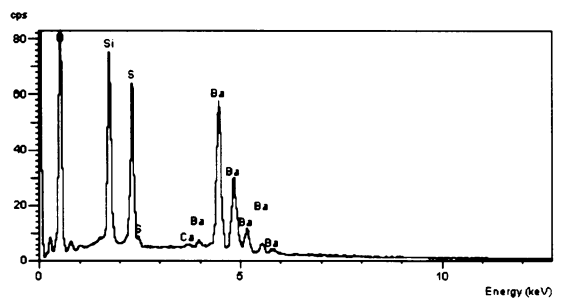
2.2



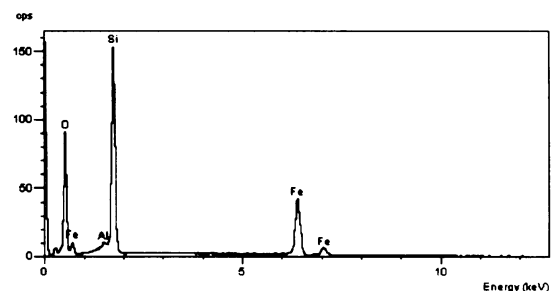
Obr. S.7.23. Výbrus č. 7 – SEM/EDX – oblast 2: lokalizace vybraných analyzovaných bodů (2.1 a 2.2) a k nim příslušná spektra (vpravo) z oblasti s chalcedonem. Světle šedá hmota je karbonát, tmavě šedá až černá křemen. Zobrazení detektorem BSE; měřítko 200 μm .



3.1

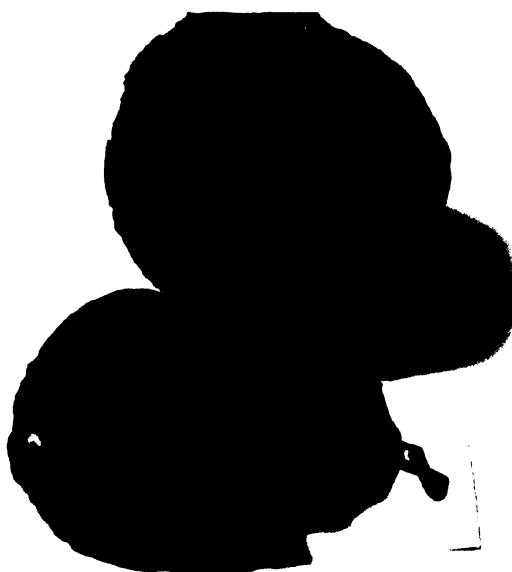


3.2



Obr. S.7.24. Výbrus č. 7 – SEM/EDX – oblast 3: lokalizace vybraných analyzovaných bodů (3.1 a 3.2) a k nim příslušná spektra (vpravo) v oblasti začínajícího sekundárního xylému. Světle šedá hmota je karbonát, tmavě šedá křemen; zobrazení detektorem BSE; měřítko 200 μm .

8

Arthropitys GOEPP. (*Arthropitys* sp.)♣ Typ **ARTHROPITYS /B**Obr. S.8.1. Vzorek č. 8, *Arthropitys* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.8.1)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	1.1.1974	<i>Velikost [mm]</i>	35 x 40 x 32	<i>Lokalita</i>	Stará Paka	<i>Pánev</i>	PKP
--------------------------------	----------	----------------------	--------------	-----------------	------------	--------------	-----

Popis **Silicifikovaný stonek přesličky rodu *Arthropitys* GOEPP.**, o délce necelého jednoho článku, chybí oblasti nodů i komisurálních linií; makroskopicky rozeznatelné, koncentricky uspořádané hlavní anatomické části stonku; vykrytalizované sférolity chalcedonu na příčném řezu v podobě světlých oček

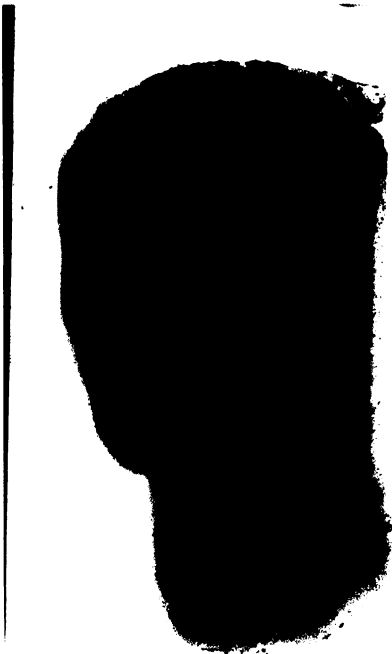
Tvar Kulatý stonek s radiální stavbou ve tvaru špalíčku

Zbarvení Šedohnědé s nádechem do růžova

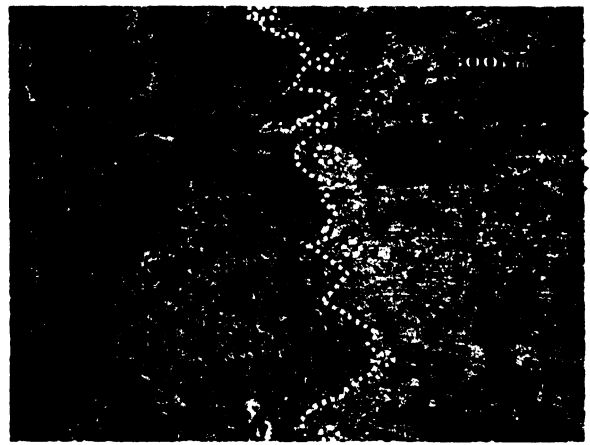
Řez Transverzální *Výbrus* Na výbrusu je celý průřez stonkem, ze dvou stran seříznutý podle delší hrany podložního sklíčka

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Výbrus č. 8 (obr. S.8.2) představuje průřez napříč celým stonkem přesličkovité rostliny rodu *Arthropitys* s dobře patrnou dutinou, a to v oblasti mezi dvěma nody. Charakteristické anatomické znaky zástupce kalamitů s koncentrickým uspořádáním arthrostélé (obr. B.1) jsou zde velice dobře čitelné. Struktura rostlinných pletiv je poměrně dobře zachována, i když je vzorek v některých částech bohatě rekrystalizován. Již makroskopicky jsou patrné drobné sférolity chalcedonu, které na průřezu vypadají jako světlé tečky. Následující popis pletiv a orgánů postupuje od středu k okraji stonku. Centrální dutina

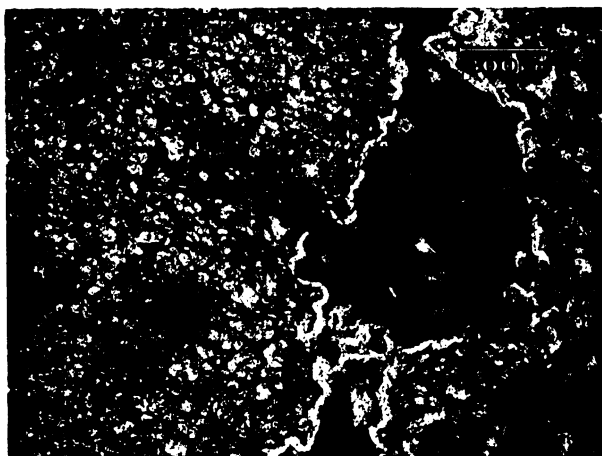


Obr. S.8.2. Výbrus č. 8: *Arthropitys* GOEPP. má charakteristické radiální uspořádání pletiv stonku typu arthro-stélé. Oblast centrální dřeně uprostřed je světlé barvy, z ní vybíhá sekundární xylém a paprsky směrem k okraji. Vzorek byl značně rekrystalizován a místy popraskán. V některých místech je rezavě, tmavě hnědé až černě probarven. Transverzální řez. Velikost podložního sklíčka 5 x 2,7 cm.

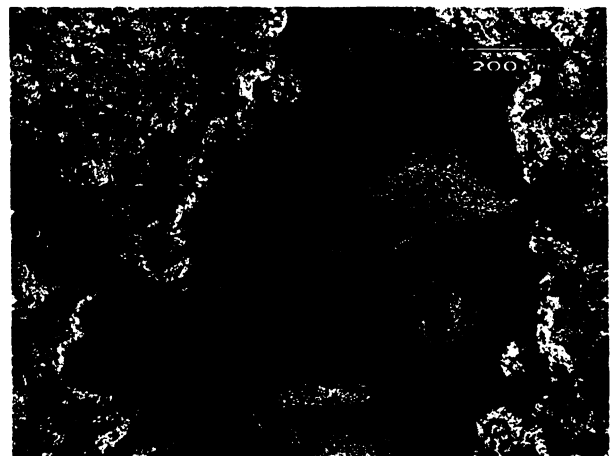


Obr. S.8.3. Výbrus č. 8 – OM: rozhraní mezi centrální dutinou s parenchymatickou dřeví (levá polovina snímku) a oblastí metaxylému, kde začíná růst sekundární xylém (srov. s obr. B.2). Žlutá tečkovaná linie kopíruje hranu centrifugálního metaxylému, s klasickým uspořádáním do písmene V. Žlutá tečkovaná kolečka jsou zachované karinální kanály. Od nich směrem doprava rostou v řadách tracheidy tvořící dřevo, jehož paprsky (červeně) vybíhají jak z dřevě, tak i přímo z xylému; transverzální řez.

si zachovala nejen okrouhlý tvar, ale i obrysy některých svých parenchymatických buněk (např. obr. S.8.3, S.8.4, S.8.14). Je vyplněna zejména mikrokrytalickým křemenem, místy se však objevují velké hnědé agregáty sférolitického chalcedonu (obr. S.8.4; připomínají vějíře), který v PM typicky paprskovitě zháší (obr. S.8.5). Chalcedon někde vyrůstal z nahodile rozmístěných krystalizačních jader radiálně do všech stran a vytvořil jakési „hvězdičky“ (podobný obr. S.8.11), jindy rostl od okrajů dutin či prasklin směrem do středu a jeho vlákna se setkávají v protisměru, kde se vzájemně omezují v růstu (obr. S.8.4., S.8.5). Vnější okraj dutiny přetíná výrazná bílá prasklina, která dutinu obloukovitě obchází (obr. S.8.6). Je vyplněna čirým makrokrytalickým křemenem. Na dutinu nasedá centrifugální metaxylém, který se oddělil z endarchního protoxylému, po kterém se místy zachovaly i karinální kanály. Ty většinou u jiných podobných vzorků podlehly destrukci a nezachovaly se. Hranice xylému vytváří na okraji dutiny typicky



Obr. S.8.4. Výbrus č. 8 – OM: centrální dřeví složená z oblých parenchymatických buněk, v dřevěné dutině se nacházejí výrazné sférolity chalcedonu, rostoucí symetricky z obou okrajů dutiny proti sobě; transverzální řez.



Obr. S.8.5. Výbrus č. 8 – PM: sférolity chalcedonu s typickým zhášením po paprscích, uspořádané proti sobě v centrální dřeví, lemované bílou žilkou mikrokrytalického křemenem; transverzální řez.

tvár do písmene V (obr. S.8.3, srov. s obr. B.2). Od metaxylému směrem k okraji vedou řady tracheid tvořících sekundární dřevo. Jeho mocnost je zde v porovnání s dutinou mnohem větší. Dřevní parenchymatické paprsky vybíhají jednak přímo z dutiny a lemují svazky sekundárního xylému, jednak se objevují i v segmentech dřeva (obr. S.8.3). Pozorování nábrusu tangenciálního řezu v odraženém světle potvrdilo velký poměr parenchymu ku tracheidám ve dřevě *Arthropitys*.

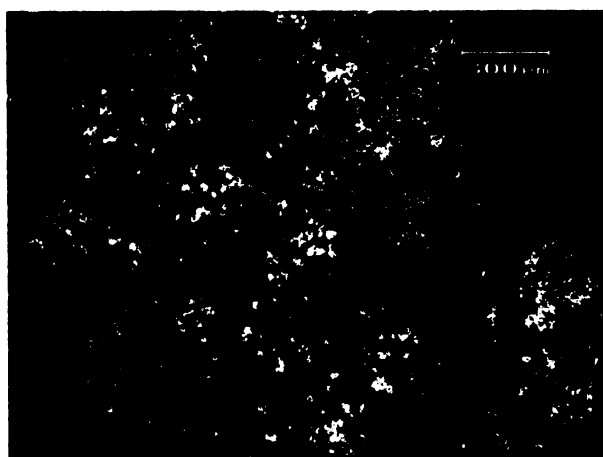


Obr. S.8.6. Výbrus č. 8 – OM: rozhraní centrální dřeňové dutiny (na snímku nahoře vpravo) a sekundárního xylému vybíhající na snímku JZ směrem, oddělené silnou bíle lemovanou prasklinou. Primární struktura dřeva je rozrušena nepravidelně rozmístěnými tmavě hnědými sférolity chalcedonu; transverzální řez.

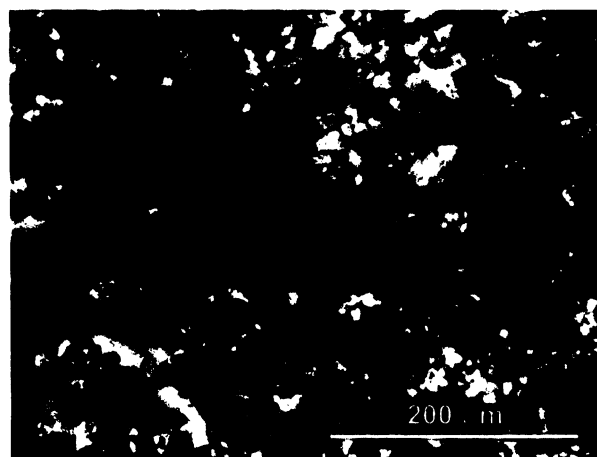


Obr. S.8.7. Výbrus č. 8 – PM: oblast sekundárního xylému bohatě rekrystalizované chalcedonem. Místy jsou řady tracheid i paprsků zvlněny, jak je chalcedon při své krystalizaci odtlačoval. Zhruba uprostřed vpravo je jedno z míst, kde je dřevo lokálně odbarveno; transverzální řez.

Xylém je mineralizován zejména mikrokrystalickým křemenem, místy i makrokrystalickým, který často vyplňuje praskliny a dutiny. Nejvíce nápadný je zde ale chalcedon, který vytváří radiálně uspořádané, v OM tmavě hnědé, v PM oranžovohnědé vláknité sférolity ve tvaru „hvězdiček“ (obr. S.8.8, S.8.9, S.8.10, S.8.11). Rekrystalizoval původní hmotu a značně ji porušil, někde naprosto zničil strukturu dřeva. Na některých místech se také ve dřevě objevují odlišně zbarvené, nepravidelné rekrystalizované oblasti (obr. S.8.7). V jednom případě byla také nalezena výrazná řada tracheid, lemovaná velice tmavými parenchymatickými paprsky (obr. S.8.8, S.8.9).

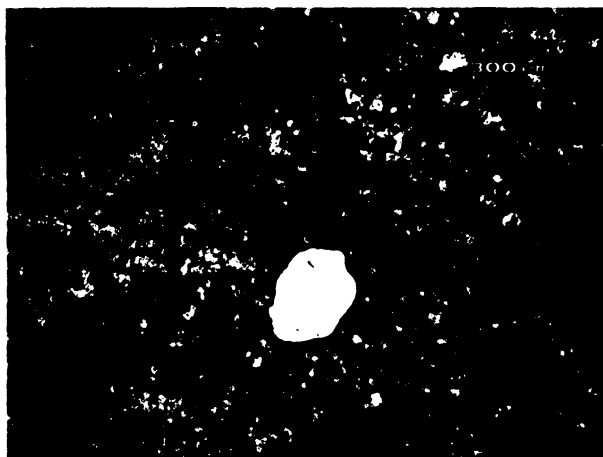


Obr. S.8.8. Výbrus č. 8 – OM: oblast sekundárního dřeva, silně rekrystalizovaná chalcedonem a makrokrystalickým křemenem, diagonálně se táhne tmavě lemovaná řada tracheid, výrazně prolomená rekrystalizací; transverzální řez.

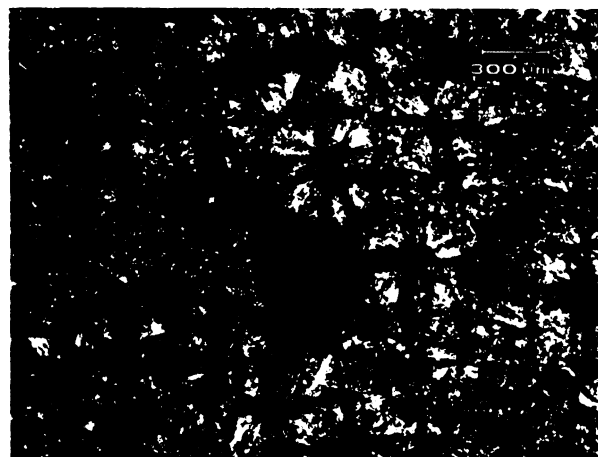


Obr. S.8.9. Výbrus č. 8 – PM: řada tracheid lemovaná tmavě zbarvenými dřevními paprsky v sekundárním xylému, zbarvení nejspíše způsobují nahromaděné oxidy železa. Chalcedonové sférolity jsou v PM oranžovohnědé, díky velké tloušťce výbrusu; transverzální řez.

V blízkosti se hojně objevují praskliny, které jsou často rezavě lemované. I na jiných místech, a to zejména při vnějším okraji stonku, paralelně sledují průběh dřevních paprsků. Pigmentem zbarvujícím silicifikovanou hmotu jsou oxidy železa, nepravidelně dispergované v celém vzorku. Vnější okraj sekundárního dřeva (a celého stonku) je silně vybělen a odděluje ho místy narezavělá část porušeného dřeva (obr. S.8.2, S.8.12).



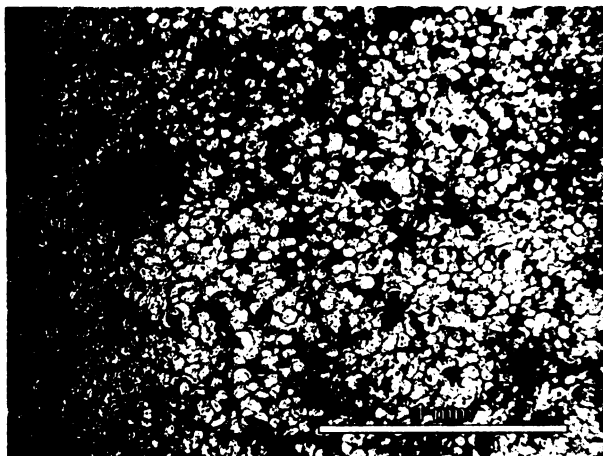
Obr. S.8.10. Výbrus č. 8 – OM: oblast sekundárního xylému s nevyplněnou dutinou, silně rozrušená sférolity chalcedonu a místy tmavě rezavě pigmentovaná; transverzální řez.



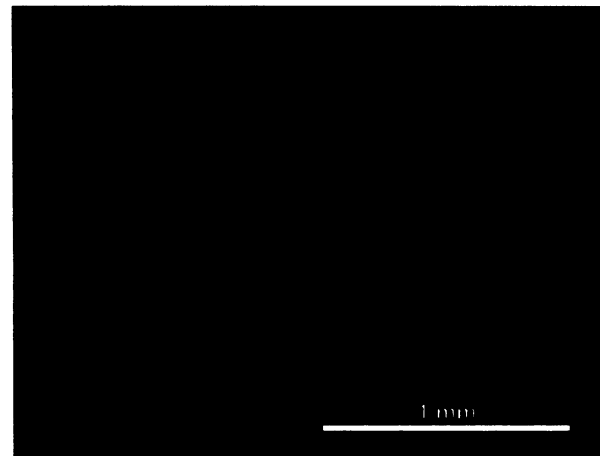
Obr. S.8.11. Výbrus č. 8 – PM: popis snímku jako u obr. vlevo, chalcedon vytváří oranžovohnědé sférolity ve tvaru „hvězdiček“ obklopené šedivým mikrokrytalickým křemenem; transverzální řez.

XRD (ÚACH): Rentgenová difrakce dokázala přítomnost křemene. Jediná difrakce, která křemenu neodpovídá, je na $d = 7,10 \text{ \AA}$, nejspíš jde o kaolinit v množství do několika %.

KATODOLUMINISCENCE: Ve výbrusu č. 7 pozorujeme dva odlišné typy (krátce žijící a dlouhodobá) a zároveň tři barevné odstíny luminiscence. Křemenná hmota centrální parenchymatické dutiny (obr. S.8.12) a sekundárního xylému (obr. S.8.16 na snímku vpravo nahoře) mění cca po 15 s luminiscenci z krátce-žijící modré na červenou (obr. S.8.13, S.8.17 na snímku vpravo nahoře). Obzvláště v případě krátce-žijící CL si musíme dát pozor na celkovou dobu expozice, na které velice záleží při interpretaci výsledků (viz kap. 2.4.2). Na obr. S.8.15, který byl zhotoven v zápětí po obr. S.8.13, se podařilo zachytit



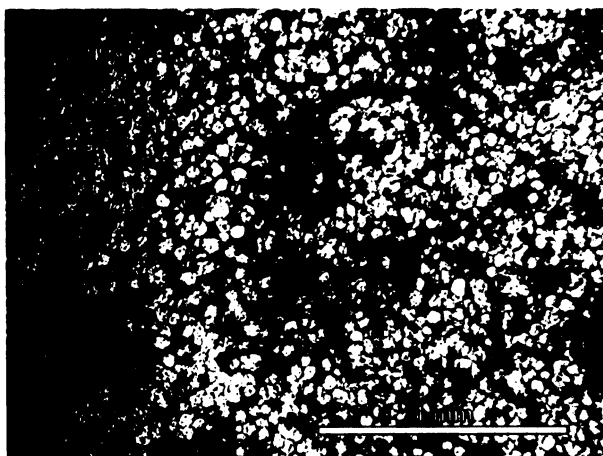
Obr. S.8.12. Výbrus č. 8 – OM: centrální dřeňová dutina se zachovanou strukturou některých eliptických parenchymatických buněk, tvořenou mikrokrytalickým křemenem a sférolity chalcedonu.



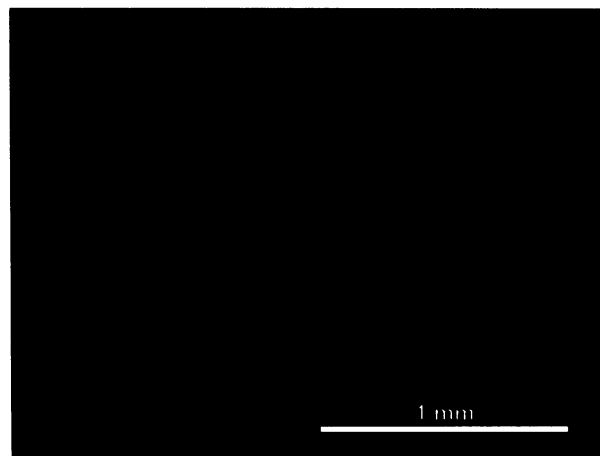
Obr. S.8.13. Výbrus č. 8 – CL: centrální parenchymatická dřeňová dutina, měnící luminiscenci po asi 15 s z krátce-žijící modré na dlouhodobou červenou, barva tedy záleží na délce expozice.

obě dvě barvy, jak krátce-žijící modrou, tak i červenou CL. Zorná pole se totiž v těchto dvou po sobě jdoucích experimentech navzájem z části překrývala, a druhý snímek (S.8.15) byl zhotoven při jen 8 s krátké expozici. Část snímku, která byla už při předchozím experimentu vystavena proudu urychlených elektronů po delší dobu (na obr. S.8.15 cca spodní 2/3 plochy), má již jen dlouhodobou červenou CL, zatímco část poprvé exponovaná vyzařuje krátce-žijící modrou CL.

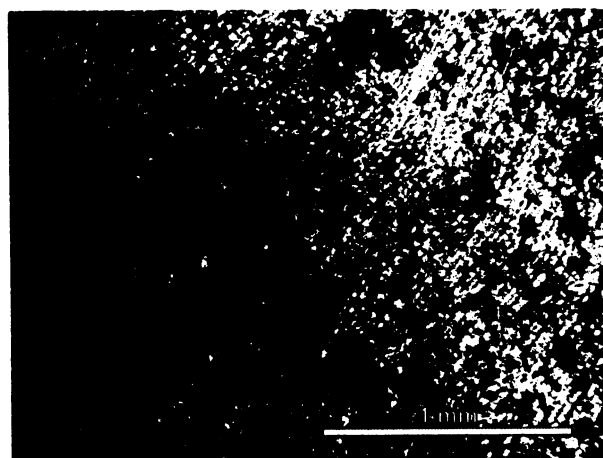
Na okraji výbrusu ve vnější zóně sekundárního xylému (vybledlá část na obr. S.8.2 a S.8.16) se navíc setkáváme s odlišnou, dlouhodobou jasně modrou luminiscencí. Rozhraní modré CL (z okraje) a červené CL (převažující v celém výbrusu) se podařilo zachytit na obr. S.8.17, a to jen díky dlouhé expozici, která nezachytila krátce-žijící modrou CL dřeva, ale pouze dlouze žijící červenou CL. Dvě odlišné barvy, modrá a červená, jsou připisovány procesu rekystalizace nebo dvěma generacím křemenné hmoty (Witke et al. 2004). Může jít ovšem jen o vliv koncentrace Fe, která má na barvu luminiscence také vliv. V této souvislosti je zajímavé, že rozhraní barev je lemováno nepravidelnými skvrnami oxidů železa, které vytvářejí jakousi oddělující linii indikující chemický proces.



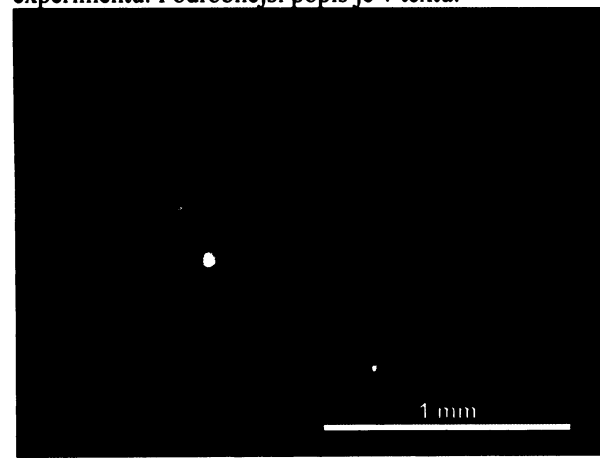
Obr. S.8.14. Výbrus č. 8 – OM: centrální parenchymatická dřevňová dutina jako na obr. S.8.12. Zorné pole bylo při dalším experimentu posunuto cca o 2/3 směrem nahoru, což je rozeznatelné podle tmavé oblasti při levé části snímku.



Obr. S.8.15. Výbrus č. 8 – CL: zachycené rozhraní dvou odlišných typů CL v centrální parenchymatické dutině při expozici trvající cca 8 s. Krátce-žijící modrá CL (v horní části snímku) je poprvé exponované místo, oblast s červenou CL byla exponována už v předchozím experimentu. Podrobnější popis je v textu.



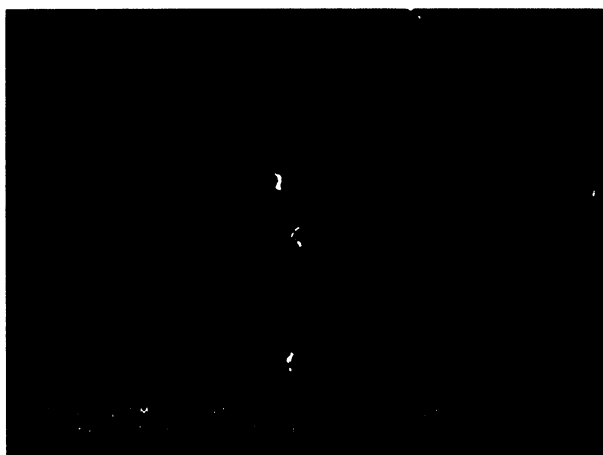
Obr. S.8.16. Výbrus č. 8 – OM: oblast sekundárního xylému při vnějším okraji výbrusu. Diagonálně prochází hranice tmavých až rezavých skvrn oxidů železa, které oddělují silně narušené dřevo z okraje výbrusu (vlevo dole) od zachovalého dřeva se sférolity chalcedonu.



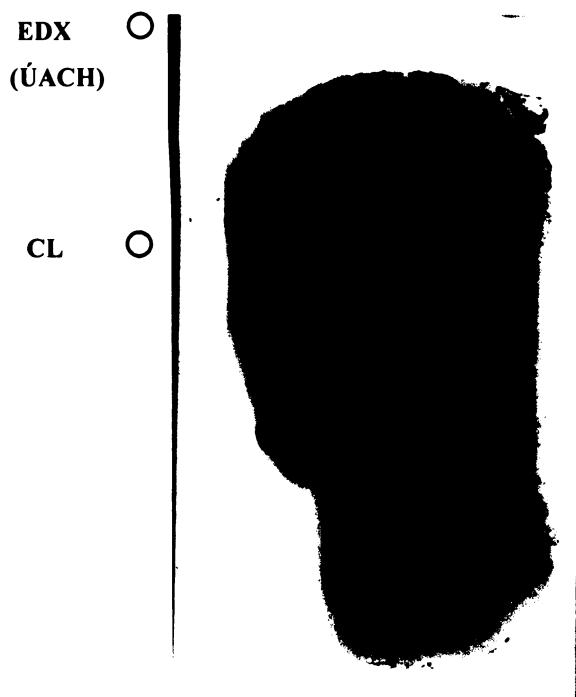
Obr. S.8.17. Výbrus č. 8 – CL: na kraji výbrusu má křemenná hmota při dlouhé expozici dvě odlišné barvy CL – dlouhodobou modrou a červenou. Tyto barvy zřejmě indikují dvě odlišné zóny jinak uspořádané či narušené SiO₂ hmoty. Podrobnější popis je v textu.

EDX (ÚACH): Bodovou analýzou napříč výbrusem č. 7 bylo dokázáno, že je kompletně silicifikovaný a převažuje zde hmota SiO_2 s příměsí oxidů železa, které stonek zbarvují různými odstíny rezavé a hnědé. Výbrus byl dále analyzován ve 3 oblastech A, B, C (viz obr. S.8.16), v místech kde se nacházejí praskliny nebo rezavé, tmavohnědé až černé skvrny. Tyto oblasti asi obsahovaly křehký materiál, který se při broušení vzorku částečně vydrolil, takže k analýze byly k dispozici jen záhyby a okraje dutin se zbytky materiálu.

Výsledky prvkové analýzy vybraných bodů jsou uvedeny v tabulkách (tab. S.8.1, S.8.2, S.8.3) v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%). Z výsledků vyplývá že materiál obsahuje jen O, C, Si a Fe s trochou P v dutinách. Chemický kontrast je jinak dost malý a neukazuje žádnou jinou kontaminaci těžšími prvky. V oblasti C bylo za stejných podmínek dosaženo velmi podobných výsledků jako v oblasti B, včetně *mappingu*.



Obr. S.8.17. Výbrus č. 8 – SEM/EDX - oblast A: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS v místě měření vybraných bodů (1 a 2) v rezavohnědé oblasti při středu levého okraje výbrusu (viz obr. S.8.16), výsledky měření viz tabulka vpravo. Vpravo dole rychlý *mapping* FeK čar v oblasti A (Fe – červená).

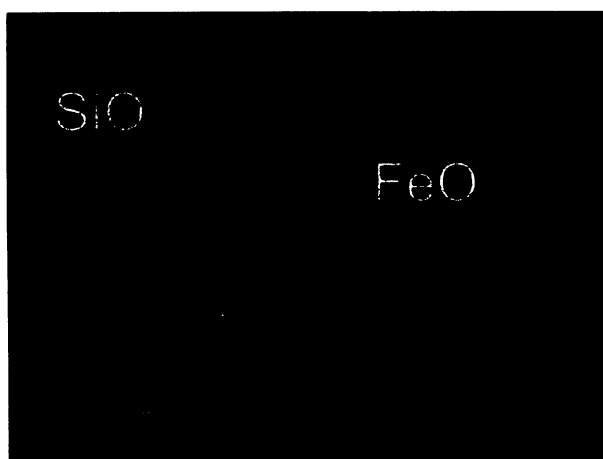


Obr. S.8.16. Výbrus č. 8: Lokalizace vybraných oblastí analyzovaných jednotlivými metodami.

oblast A	Bod 1	Bod 2
O	58,46	55,45
Si	30,39	18,42
Al	0,75	0,94
Ca	0,12	0,36
P	2,12	5,27
Fe	8,17	19,15
As	-	0,41
Interpretace	oxidy nebo fosforečnany Fe	oxidy nebo fosforečnany Fe

Tab.S.8.1: Výsledky analýz EDX z oblasti A v bodě 1 a 2 s fotodokumentací a *mappingem*.

Kombinace a poměr prvků ve výplních dutin SiO_2 hmoty jsou těžko interpretovatelné. Je možné, že jde o oxidy Fe s nasorbovanými ionty jako PO_4^{3-} a Zn^{2+} , případně s dalším detritickým anorganickým materiálem.



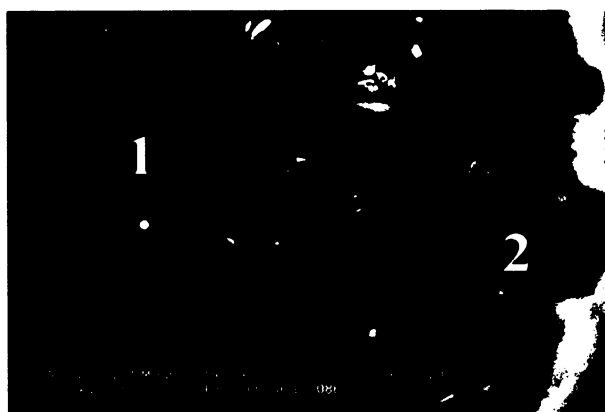
oblast B	průměr
C	22,64
O	50,93
Si	26,31
Al	0,13
Interpretace	SiO ₂



■
■
Si

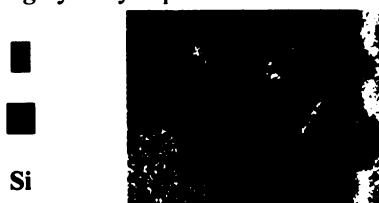
Výbrus č. 18 – SEM/EDX -oblast B: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a průměrné výsledky z měření v oblasti B (viz tabulka vpravo). Vpravo dole rychlý *mapping* vybraných prvků z této oblasti. Žlutý rámeček představuje vybranou oblast, která byla podrobena další analýze, viz tab. S.8.3 níže.

Tab. S.8.2. Výsledky průměrné analýzy EDX z oblasti B s fotodokumentací a *mappingem*.



oblast B (žlutý rámeček)	Bod 1	Bod 2
C	22,22	40,97
O	38,30	31,39
Si	24,73	28,20
Al	2,78	1,61
Ca	0,64	0,72
K	0,48	0,44
Fe	9,31	2,75
Mg	0,85	0,88
Na	0,38	0,94
Cl	0,09	0,14
Zn	0,22	1,03
Ti	-	0,12

Výbrus č. 18 – SEM/EDX -oblast B: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a výsledky měření vybraných bodů (1 a 2) z oblasti žlutého rámečku (viz tab. S.8.2) v tabulce vpravo. Dole rychlý *mapping* vybraných prvků z této oblasti.

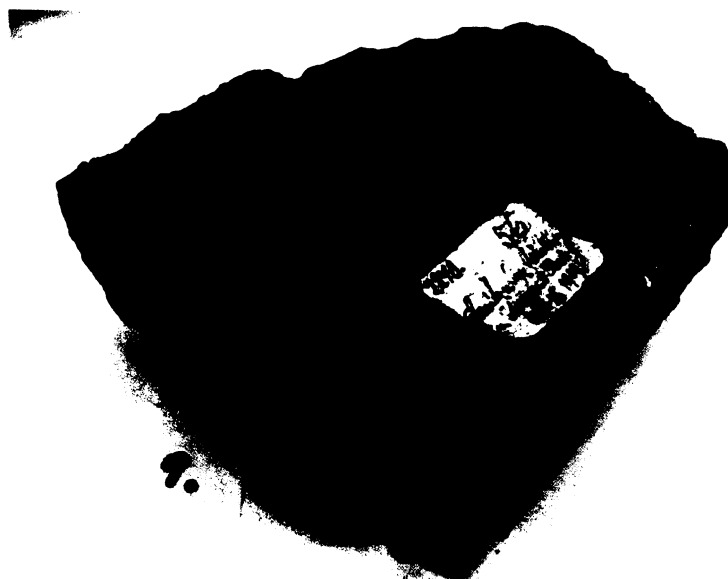


■
■
Si

Interpretace *Fe oxid nebo uhličitan,* ?
SiO₂

Tab. S.8.3: Výsledky analýz EDX z oblasti B, bodu 1 a 2, s fotodokumentací a *mappingem*.

9

Dadoxylon ENDL. (?*Dadoxylon* sp.)♣ Typ *DADOXYLON* /EObr. S.9.1. Vzorek č. 9, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.9.1)**Inventární
číslo
vzorku26240, 56,
2240.Velikost
[mm]

35 x 80 x 100

Lokalita

Stupná (u Pecky), lesní úvoz k sv. Máří Magdaléně
--

Pánev

PKP

Popis

Zploštělý silicifikovaný kmen dřeva dadoxylonového typu, povrch vypadá jako by měl vrstevnatou stavbu, na průřezu jsou vidět zvlněné, chaoticky uspořádané značně narušené segmenty dřeva

Tvar

Obdélníkový průřez

Zbarvení

Rezavě hnědé, se světlejšími červenavými žilkami

Řez

Transverzální

Výbrus

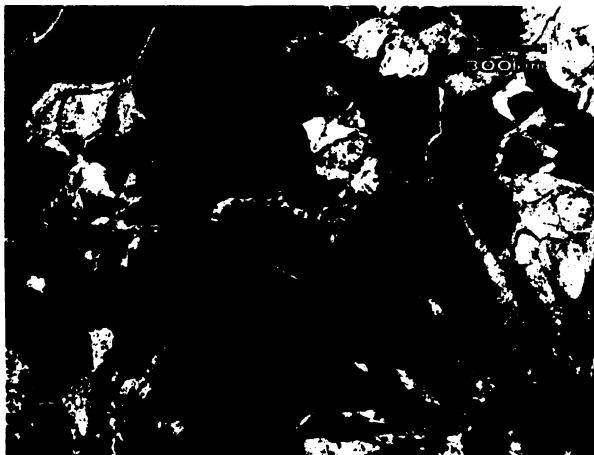
Pokrývá asi jednu polovinu průřezu kmene

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Výbrus č. 9 (obr. S.9.2) představuje silně rekrystalizované dřevo dadoxylonového typu, jehož jemné struktury rostlinných pletiv se téměř nedochovaly. V OM je většina hmoty výbrusu čiré barvy, sem tam se nacházejí nahnědlé či narezlé úseky, zbarvené oxidy železa. Ve výbrusu nacházíme pouze zlomky zachovaných buněk tracheid sekundárního xylému, nepravidelně roztroušené v křemenné hmotě (obr. S.9.4, S.9.8). V transverzálním řezu pozorujeme na některých místech vedle řad tracheid i reliktů dřevních paprsků, nevíme však zda byly krátké (což je typické pro *Dadoxylon*) či dlouhé, což by ukazovalo na silně porušený sekundární xylém jiného taxonu (např. *Artropitys*, *Calamitea*; viz kap. B).

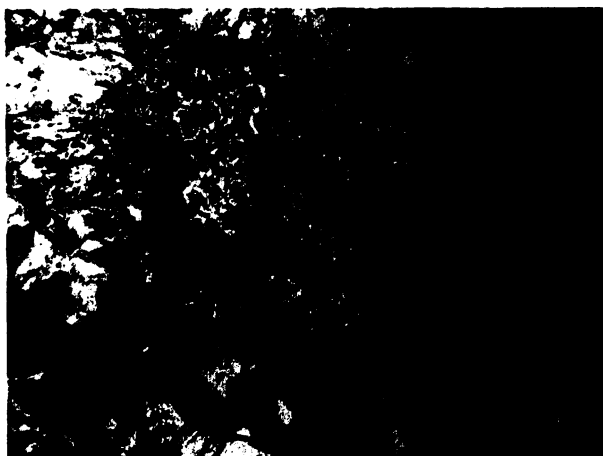


Obr. S.9.2. Výbrus č. 9 (vlevo): transverzální řez dřevem rodu *Dadoxylon* ENDL.: sekundární xylém se téměř nedochoval, celý výbrus je silně rekrystalizovaný krystaly křemene o různé velikosti a tvaru. Celý vzorek je roztrhán velkým množstvím prasklin, některé z nich jsou tmavě hnědé až rezavě lemované. Velikost podložního skla 5 x 2,7 cm.

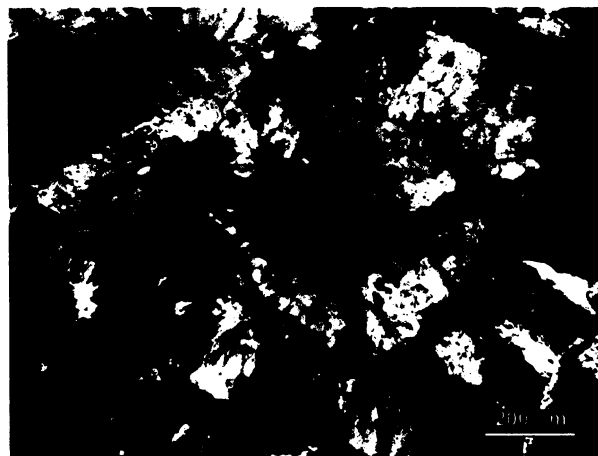


Obr. S.9.3. Výbrus č. 9 – PM: téměř všechna původní pletiva byla silně rekrystalizována. Na snímku jsou vidět různě orientované krystaly křemene s výraznými interferenčními barvami, což je způsobeno velkou tloušťkou výbrusu cca 0,08 mm. Transverzální řez.

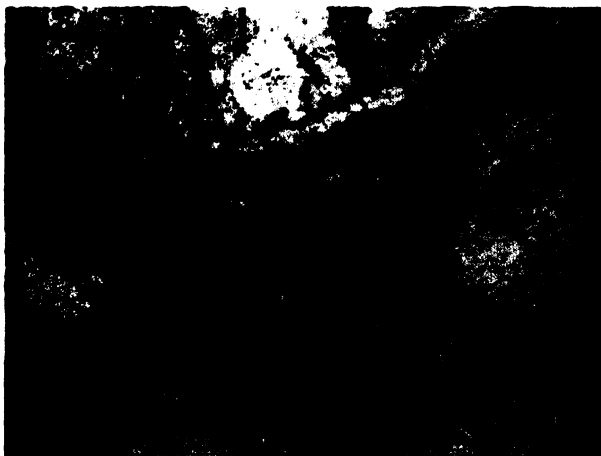
Z nábrusu tangenciálního ani radiálního řezu, který byl k dispozici se bohužel díky velké rekrystalizaci nedá s jistotou tvrdit, že se skutečně jedná o *Dadoxylon*. V nábrusu jsou patrné náznaky dvojteček na radiální stěně segmentů tracheid. K přesnému určení by bylo potřeba porovnat více řezů. V horizontálním i vertikálním směru se totiž zachovaly jen krátké úseky z řad tracheid, paprsky jsou téměř nečitelné. V PM pozorujeme většinou krystaly makrokrytalického křemene rozličných tvarů i velikostí (např. obr. S.9.3). Často jsou koncentricky sféroliticky uspořádané do tvaru jakýchsi „kytiček“, v jejichž středu právě vidíme zbytky zachovaných neporušených buněk. Tyto reliktů dřeva pravděpodobně sloužily jako krystalizační jádra velkým krystalům křemene (obr. S.9.4, S.9.8). V polarizovaném světle se i poslední zbytky buněčné struktury ztrácí a jsou zastřeny výraznými interferenčními barvami křemene, za což také může tloušťka výbrusu cca 0,07 mm (obr. S.9.3, S.9.5, S.9.9). Na některých místech vypadá silikátová hmota jemnozrně rozrušená, jakoby nepravidelně „rozdrobená“, a je rekrystalizována mikrokrystalickým, v PM šedivým křemenem (S.9.6, S.9.7, S.9.10, S.9.12). Celý výbrus je značně popraskán. Některé dutiny jsou lemované tenkou zónou zbarvenou oxidy Fe do rezava až tmavohněda.



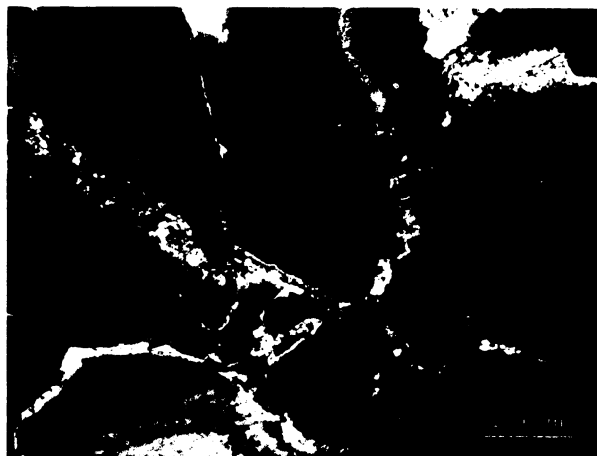
Obr. S.9.4. Výbrus č. 9 – OM: nahnědlé reliktů buněk sekundárního xylému v centru radiálně rostlého křemene; transverzální řez.



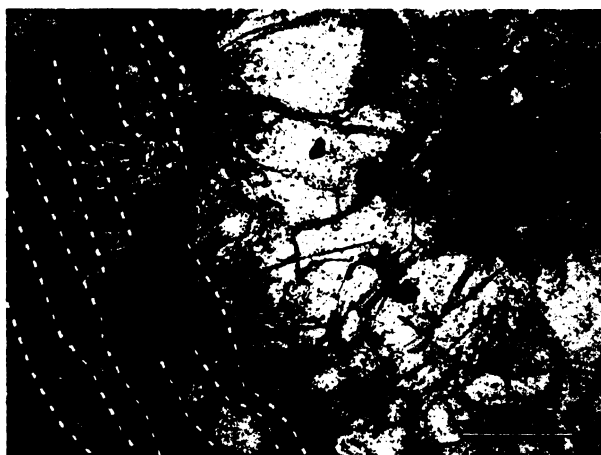
Obr. S.9.5. Výbrus č. 9 – PM: buňky sekundárního xylému jsou ve středu radiálně rostlých krystalů křemene, díky okolním výrazným interferenčním barvám křemene téměř nerozeznatelné; transverzální řez.



Obr. S.9.6. Výbrus č. 9 – OM: nepravidelná, jakoby „rozdobená“ struktura porušené křemenné hmoty, v OM čiré barvy; transversální řez.



Obr. S.9.7. Výbrus č. 9 – PM: popis snímku jako u obr. vlevo, v polarizovaném světle lze vidět jen výrazné barevné krystaly křemene a jemný šedivý mikrokrytalický křemen (diagonála cca z levého horního rohu); transversální řez.



Obr. S.9.8. Výbrus č. 9 – OM: zbytky zachovaných buněk tracheid dřívě tvořících řady sekundárního xylému (značené žlutými přerušovanými čarami), silně narušené masivními krystaly křemene; transversální řez.



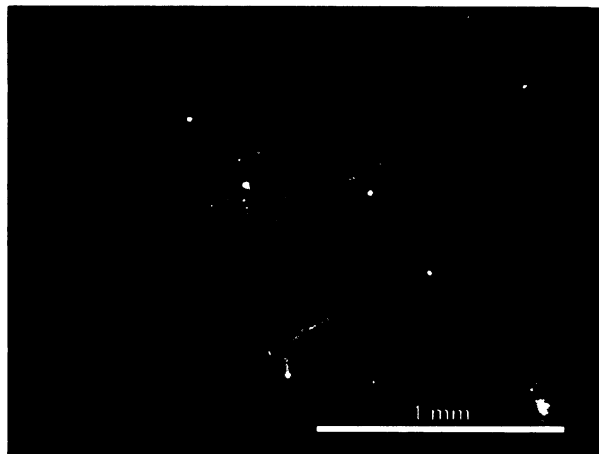
Obr. S.9.9. Výbrus č. 9 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Struktury buněk se ztrácí ve výrazných interferenčních barvách krystalů křemene; transversální řez.

KATODOLUMINISCENCE: Ve výbrusu č. 9 se objevují dva odlišné luminiscenční odstíny podobného typu jako u výbrusu č. 5., a to krátce-žijící modrá a dlouhotrvající červenofialová CL. Projevují se zde tedy dvě odlišné generace křemene, což pravděpodobně ukazuje na dvě po sobě jdoucí fáze silicifikace. Velké krystaly křemene, značně převažující v celé hmotě výbrusu, mají červenofialovou CL. Mikrokrytalický křemen, který se nepravidelně objevuje v jakoby „rozdrobených“ úsecích (v PM šedivý), vyzařuje krátce-žijící modrou CL. Na dvojicích obrázků S.9.10., S.9.11 a S.9.12, S.9.13 můžeme pozorovat oba dva odlišné odstíny CL v kontaktu. Vidíme, jak hmota s krátce-žijící modrou CL proniká mezi hmotu s červenofialovou CL a tu silně koroduje a na kontaktu narušuje jednotlivé krystaly křemene. U některých krystalů je v CL dokonce viditelná zonálnost (obr. S.9.11, S.9.13), která není patrná ani v PM (obr. S.9.10., S.9.12). Bezvýrazný červenofialový až hnědočervený odstín CL v centru korodovaných krystalů křemene je podle Richtera et al. (2003) typický pro autigenní sedimentární SiO₂. Můžeme předpokládat, že krátce-žijící modrá CL patří rekrystalizované silikátové hmotě, která vznikla následkem průniku hydrotermálního roztoku odlišných vlastností, či roztoku o vyšší teplotě, prasklinami do kmene. Velmi podobný proces zřejmě proběhl i u vzorku č. 5, kde se objevují barvy CL stejného

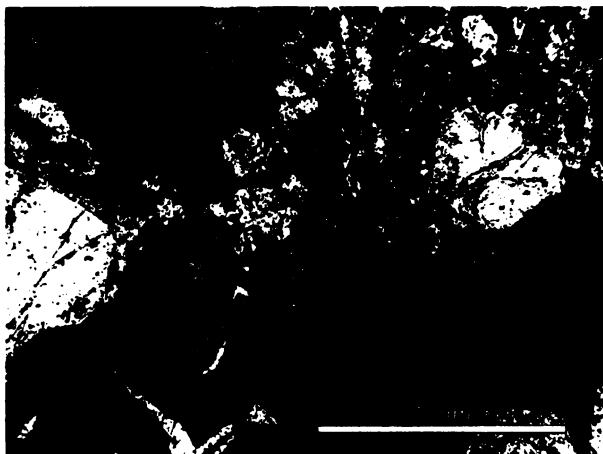
charakteru. Ve vzorku č. 9 vzorku byly také analýzou detekovány v některých prasklinách nahlučené oxidy zinku (viz níže), což podporuje hypotézu o hydrotermálním roztoku.



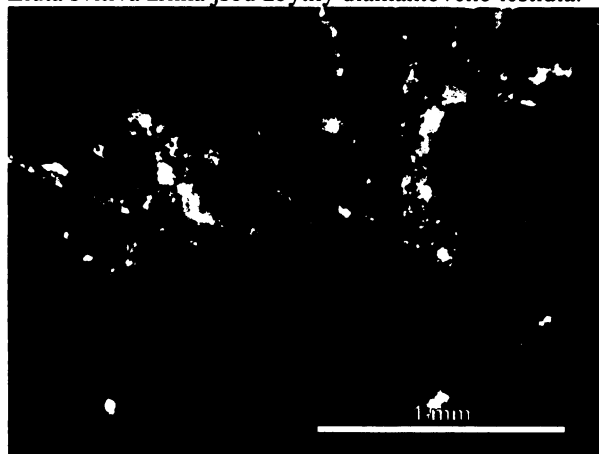
Obr. S.9.10. Výbrus č. 9 – PM: silikátová hmota výbrusu tvořená velkými krystaly křemene s výraznými interferenčními barvami, v okolí je vidět šedivý mikrokrystalický křemen.



Obr. S.9.11. Výbrus č. 9 – CL: velké krystaly křemene mají červenofialovou CL a projevuje se na nich zonalita, a to ze strany kde byly v kontaktu s hydrotermálním roztokem. Mikrokrystalický křemen má krátce-žijící modrou CL a vznikl pravděpodobně v druhé fázi silicifikace po průniku hydrotermálního roztoku. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.



Obr. S.9.12. Výbrus č. 9 – PM: popis snímku jako u obr. S.9.10; odlišné místo ve výbrusu..



Obr. S.9.13. Výbrus č. 9 – CL: popis snímku jako u obr. S.9.11; odlišné místo ve výbrusu.

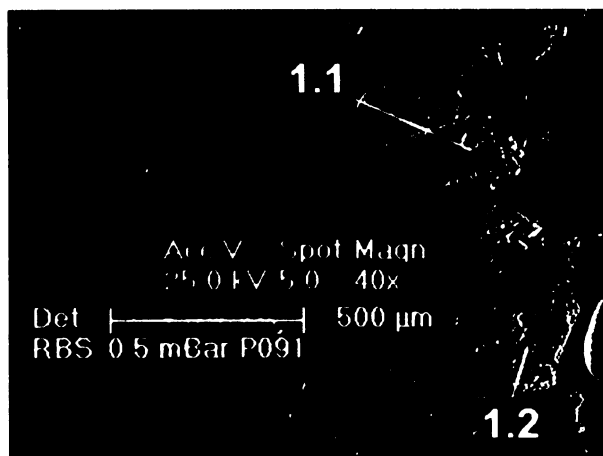
EDX (ÚACH): Analýzy EDX v oblastech 1 a 2 (obr. S.9.14) odhalily v některých prasklinách ve výbrusu č. 9 přítomnost oxidů železa a zinku. Výsledky prvkové analýzy vybraných bodů ve zvolených oblastech jsou uvedeny v tabulkách S.9.1 a S.9.2 v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%). V celém výbrusu se hojně vyskytují oxidy železa, které zbarvují některé oblasti dohněda a které se



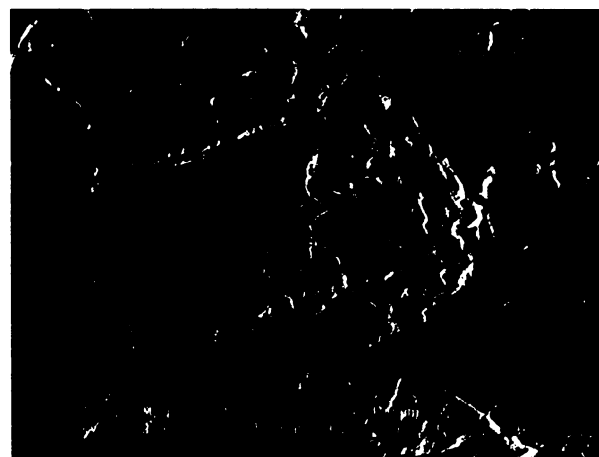
Obr. S.9.14. Výbrus č. 9: lokalizace vybraných oblastí analyzovaných metodou EDX.

místy vyskytují v dutinách v podobě jasně ohraničených krystalů (obr. S.9.15, S.9.16, S.9.17). V případě oxidů zinku, zjištěných v oblasti č. 2, by se mohlo jednat o minerál zincit, který krystalizuje z neutrálního

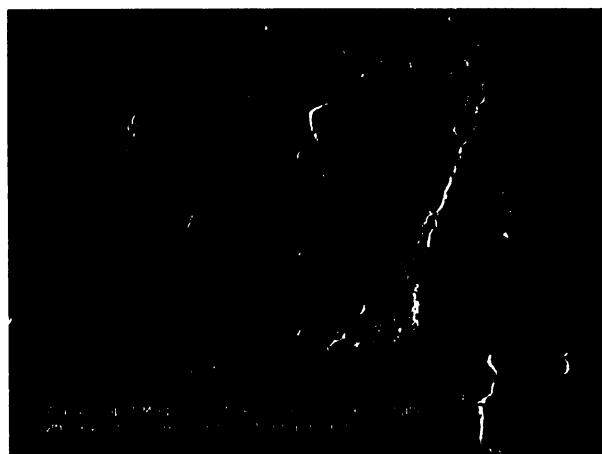
vodného roztoku nad 80 °C. Jeho přítomnost tedy podporuje hypotézu zjištěnou katodoluminiscencí, a to že silicifikace proběhla ve více než jedné fázi, a že do materiálu natekl roztok o vyšší teplotě. V bodě 2.2 byl detekován větší poměr Si/Zn, tudíž by se mohlo jednat i o křemičitan zinku, willemit (Zn_2SiO_4) nebo uhličitan zinku, smithsonit ($ZnCO_3$). Zajímavé je, že v PKP nebylo žádné Zn zrudnění popsáno (Prouza & Tásler in Pešek et al. 2001).



Obr. S.9.15. Výbrus č. 9 – SEM/EDX – oblast 1: zobrazení chemického kontrastu vybrané oblasti 1 ve střední části výbrusu detektorem RBS a lokalizace měřených bodů (1.1 a 1.2).



Obr. S.9.16. Výbrus č. 9 – SEM/EDX – bod 1.1: zobrazení chemického kontrastu erodovaného krystalu (zhruba ve středu pole) detektorem RBS; EDX analýza světlých ploch: Fe, O >> Si, Al.

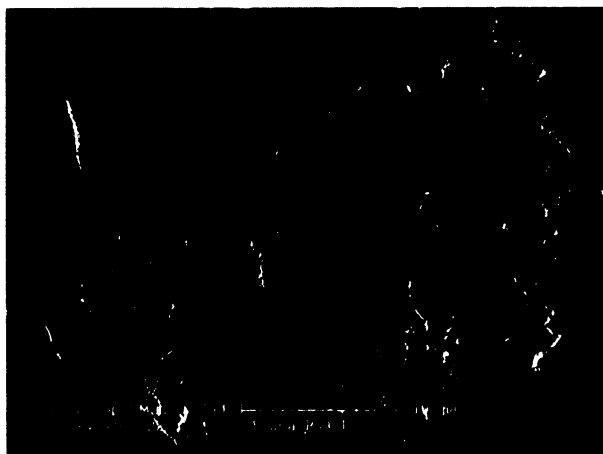


Oblast 1	Bod 1.2
C	3,76
O	57,67
Al	0,89
Si	4,39
Fe	33,28

Interpretace *hematit nebo magnetit?*

Obr. S.9.17. Výbrus č. 9 – SEM/EDX – bod 1.2: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a výsledky měření viz tabulka nahoře.

Tab. S.9.1. Výsledky EDX a lokalizace měřených bodů v oblasti 1.



Obr. S.9.18. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - bod 2.1 (nahore): chemický kontrast krystalů zincitu v okolní křemenné hmotě zobrazený detektorem RBS, výsledky analýzy v tabulce vpravo nahore.

Obr. S.9.19. Výbrus č. 9 – SEM/EDX - bod 2.2 (vpravo): zobrazení chemického kontrastu oxidů zinku detektorem RBS, výsledky analýzy EDX v tabulce vpravo nahore.

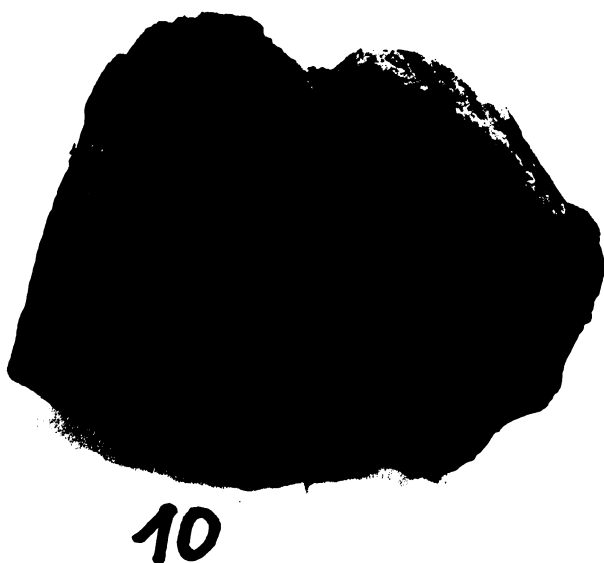
Oblast 2	Oblast 2 (průměr)	Bod 2.1	Bod 2.2
C	19,31	-	44.56
O	50,76	24,31	26.80
Si	28,34	10,86	6.24
Al	0,45	-	-
Fe	0,13	-	-
Zn	1,02	64,83	22.40
Interpretace	$SiO_2 + ZnO$	ZnO (zincit)	zincit, willemit nebo smithsonit?

Tab. S.9.2. Výsledky EDX a lokalizace měřených bodů v oblasti 2.



Tab. S.9.2. Výsledky EDX a lokalizace měřených bodů v oblasti 2.

10

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp., Voltziales)♣ Typ *DADOXYLON* /EObr. S.10.1. Vzorek č. 10, *Dadoxylon* sp.Obr. S.10.2. Vzorek č. 10, *Dadoxylon* sp.

MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU (obr. S.10.1., S.10.2)

Inventární
číslo
vzorku2218,
26240Velikost
[mm]

45 x 70 x 55

Lokalita

Stará
Paka,
pole při
"Příčnici"

Páneve

PKP

Popis

Silicifikované dřevo typu *Dadoxylon*, silně rozpukané, na příčném průřezu uprostřed s velkou puklinou obdélníkovitého tvaru, vyplněnou porézni hmotou

Tvar

Nepravidelný krátký špalek

Zbarvení

Navzájem se prolínající šedá, hnědá a rezavá barva s puklinou uvnitř vzorku, lemovanou bílým křemenem a vysypanou rezavou hmotou

Řez

Transverzální

Výbrus

Vyříznutý diagonálně ze středu

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

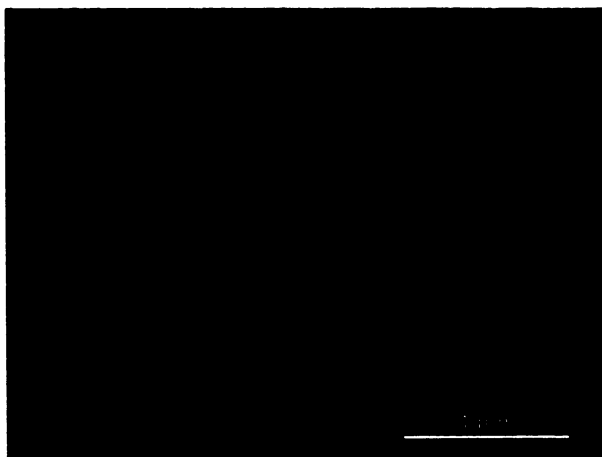
OM, PM: Na výbrusu č. 10 (obr. S.10.3) najdeme rekrystalizovanou tkáň sekundárního xylému, která pravděpodobně náleží dřevu *dadoxylonového* typu. Narozdíl od vzorku č. 9 však není postižena destrukcí v tak vysoké míře. Při mikroskopickém pozorování můžeme ve výbrusu sledovat řady různě velikých, různě probarvených, a zároveň na příčném průřezu nepravidelně zprohýbaných tracheid (obr. S.10.4). Dřevní paprsky, které lemují tyto řady nestejných tracheid, se zdají být v transverzálním řezu poměrně dlouhé, což je spíše typický znak sekundárního xylému rodu *Arthropitya* (viz kap. B). V nábrusu je však v tangenciálním řezu je vidět pouze malý podíl parenchymu ku dřevu a v radiálním tečkování tracheid pouze s jednou řadou dvojteček, což značí příslušnost ke skupině primitivních konifer (tab. E.1, kap.

2.1.7). Pryskyřičné kanálky se ve dřevě nevyskytují, ve vzorku není obsažena dutina, kde by mohly být přítomny (Stewart & Rothwell 1993).

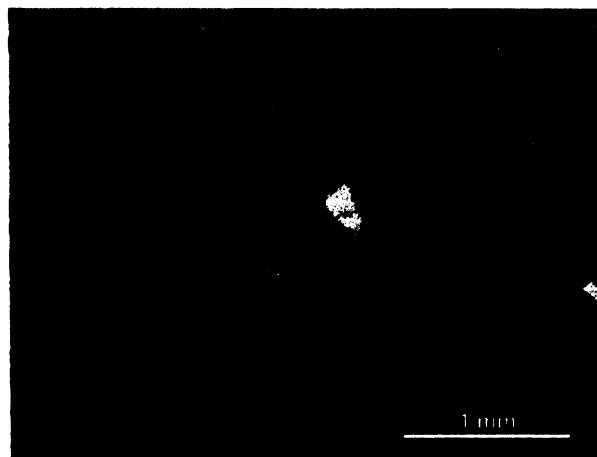
Velice zvláštní také je, že některé buňky v řadách jsou nepravidelně zvětšené a jiné mají zase do tmavohněda až dočerna probarvené buněčné stěny či vnitřky buněk (obr. S.10.4, S.10.6). Při pozorování v PM zjistíme, že buňky dřeva jsou

vyplněny makrokrytalickým či mikrokrytalickým křemenem. Mikrokrytalický křemen dále vyplňuje řadu struktur bizarních tvarů, které jsou nepravidelně rozesety ve výbrusu (obr. S.10.7, S.10.9). Některé z nich připomínají anorganický achát s hnědobílým páskováním, a pravděpodobně vznikly jako výplně dutin a dlouhých nepravidelných prasklin či úplně nahradily úseky původních rostlinných pletiv, náchylných k destrukci. Achátové výplně silicifikovaných kmenů araukárií, tvořené pásy chalcedonu i křemene, byly již dříve mnohokrát popisovány (Dernbach et al. 2002). Horní polovina výbrusu je podstatně tmavší, zbarvená oxidy železa do nejrůznějších odstínů hnědé až rezavé. Dolní polovina je ve výbrusu čirá a nachází se v ní řada drobných tmavých pigmentových bodů (obr. S.10.3).

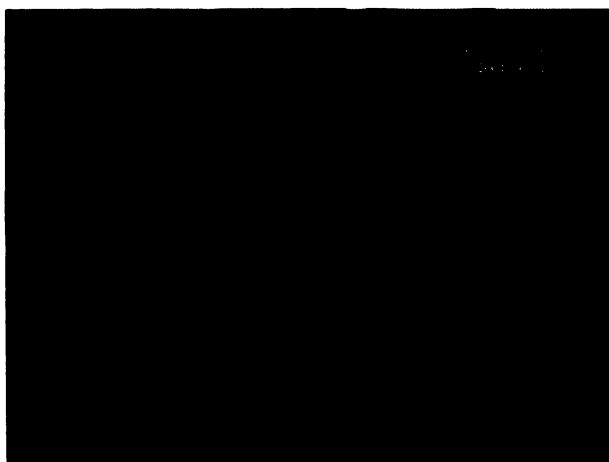
Obr. S.10.3. Výbrus č. 10: transversální řez dřevem rodu *Dadoxylon* ENDL.: sekundární xylém je místy silně rekrystalizovaný, z původně paralelně uspořádaných tracheid a dřevních paprsků se dochovala stěží polovina. Zbytek hmoty vyplňuje rekrystalizovaný křemen o různé velikosti krystalů. V horní polovině výbrusu se vyskytují zvláštní zprohýbané kruhovitě, tmavě lemované útvary. Výbrus je také protkán řadou prasklin a dutin, některé zůstaly i nevyplněny. Oxidy železa cca ve dvou třetinách přítomnou hmotu (zejména v horní části výbrusu) zbarvují do hnědé až rezavého nádechu. Velikost podložního skla je 4,8 x 2,8 cm.



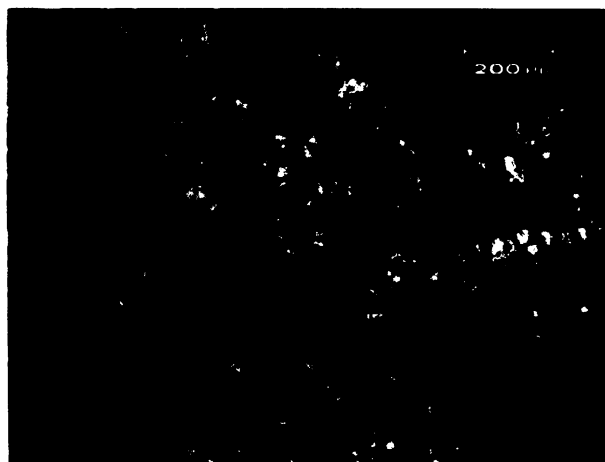
Obr. S.10.4. Výbrus č. 10 – OM: část zachovaného sekundárního xylému s řadami různě probarvených tracheid a dlouhých paprsků. Uprostřed se nachází struktura vzniklá rekrystalizací. Řady buněk jí jakoby obíhají, zároveň lze nalézt jejich relikty i uvnitř; transversální řez.



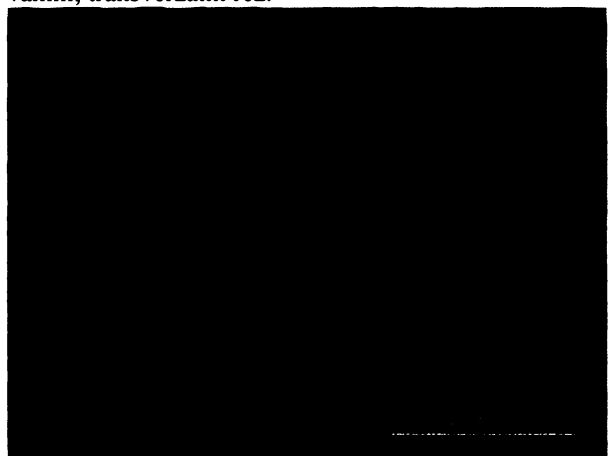
Obr. S.10.5. Výbrus č. 10 – OM: zvláštní struktura (v levé horní části snímku) obklopená masou sekundárního xylému. Vznikla pravděpodobně v průběhu rekrystalizace. Dutiny jsou často tmavě olemovány; transversální řez.



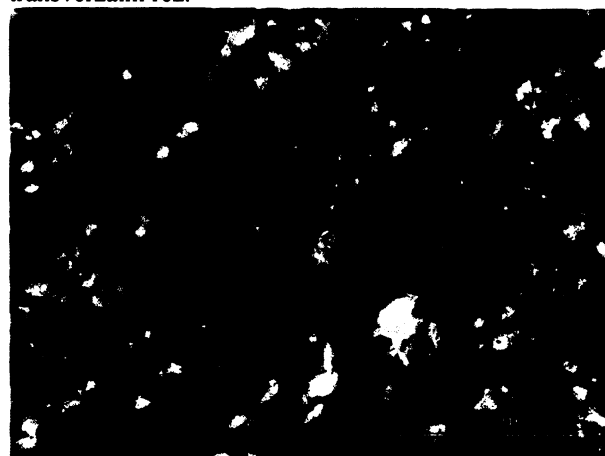
Obr. S.10.6. Výbrus č. 10 – OM: izolované segmenty zachovaných řad sekundárního xylému při horním okraji výbrusu, oddělené bizarním uspořádáním křemene do struktur připomínajících acháty s hnědobílým páskováním; transversální řez.



Obr. S.10.7. Výbrus č. 10 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo, buňky dřeva jsou vyplněny makrokrytalickým či mikrokrystalickým křemenem, který lemují i tmavě zbarvené linie struktur připomínajících achát; transversální řez.



Obr. S.10.8. Výbrus č. 10 – OM: achát připomínající struktura vyplňující dutinu, která prochází napříč sekundárním xylémem; transversální řez.

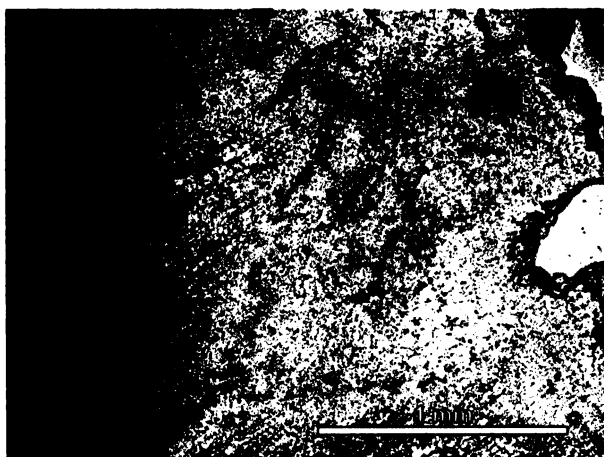


Obr. S.10.9. Výbrus č. 10 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo, buňky dřeva tvoří makrokrytalický nebo mikrokrystalický a mikrokrystalický křemen, který páskovitě vyplňuje dutinu vzniklou napříč sekundárním xylémem; transversální řez.

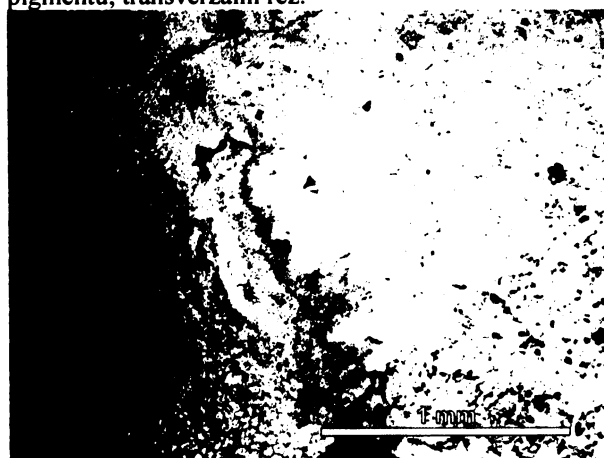
XRD (ÚACH, PĚF UK): Pomocí rentgenové práškové difrakce byl ve vzorku identifikován čistý křemen.

KATODOLUMINISCENCE: U výbrusu č.10 se opět, podobně jako např. u výbrusů č. 4, 6 či 7, potvrdila hypotéza, že odstín CL závisí na krystalické formě křemenné hmoty a úzce souvisí s prostorem, který byl k dispozici při silicifikaci. Ze získaných výsledků v těchto vzorcích nelze říct, že by se jednalo o více generací SiO_2 , spíše je vidět konečná forma silikátové hmoty rozmanitých organických a anorganických struktur, které poskytují odlišnou CL. Dále budou uvedeny rozdíly získané při měření jednotlivých bodů v rámci výbrusu (viz obr. S.10.18). V bodu 1 nebyla při měření zaznamenána žádná CL. V bodu 2 (obr. S.10.10, S.10.11) se objevuje krátce-žijící modrá CL, která cca po 15 s přechází na dlouhodobou červenou CL, obě barvy se vyskytují ve dvou rozdílných odstínech. S velice podobnou situací barev CL se setkáváme v bodu 3 (obr. S.10.12, S.10.13), kde navíc výrazně vyniklo specifické uspořádání struktur. V levé polovině snímku pozorujeme řady sekundárního xylému ukončené hákovitým zahnutím, a v pravé části jakoby anorganické mozaikové uspořádání křemenné hmoty. Vzájemné rozhraní

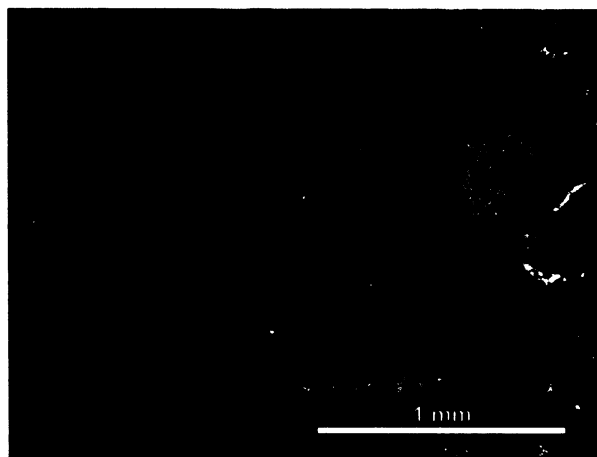
obou částí je zvýrazněno širším světlým bradavčitě ohraničeným lemem z mikrokrytalického křemene. V bodu 4 (obr. S.10.14, S.10.15) lze opět pozorovat podobné rozhraní jako na obr. S.10.13. V levé polovině těchto CL snímků jsou vidět achátové obrazce s koncentrickou zonální stavbou. Centrální části těchto struktur mají tmavší CL, za nimi následuje světlý lem a ten je ukončen vnější zónou, opět s tmavou CL. Silně připomínají anorganickou stavbu, jako např. u achátů z Podkrkonoší (Marek 2004). Vpravo se táhnou řady tracheid sekundárního xylému. Křemenná hmota uvnitř buněk má světlou CL a v buněčných stěnách je CL naopak tmavší. Mohlo by to tedy znamenat, že vnitřky buněk byly silicifikovány jinak než jejich buněčné stěny, což může být v úzkém vztahu i s jejich odlišnou anatomickou stavbou a chemickým složením. Obrázky S.10.16 a S.10.17 z bodu 5 zachycují zvláštní bradavičnatou strukturu s malým množstvím zachovaných kulatých buněk. Projevují se zde dvě odlišné barvy CL silikátové hmoty, a to tmavošedá v základní hmotě a světlešedá v buněčných stěnách mineralizovaných mikrokrytalickým křemenem. Celá horní polovina výbrusu je navíc velmi hustě poseta shluky pigmentu (nahloučené oxidy železa – Fe^{3+}), které mají tmavě karmínovou barvu CL (viz na všech CL snímcích). Podle OM, PM a CL se zdá, že karmínová CL odpovídá vnitřkům buněk. Možná se oxidy Fe^{3+} přímo podílely na silicifikaci.



Obr. S.10.10. Výbrus č. 10 – OM/(CL) – Bod 2: v levé části snímku lze rozeznat řady začínajících tracheid a paprsků sekundárního xylému. Blízko dutiny (vpravo) se nacházejí dvě výrazné skvrny tmavého železitého pigmentu; transverzální řez.



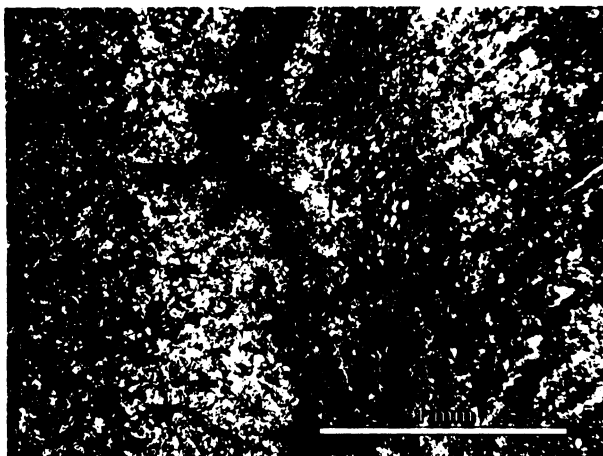
Obr. S.10.12. Výbrus č. 10 – OM/(CL) – Bod 3: hákovitě ukončené řady sekundárního xylému (vlevo), oddělené širším zubatým lemem od světlé hmoty bez jakékoli výrazné struktury; oblast z centra výbrusu (viz obr. S.10.18); transverzální řez.



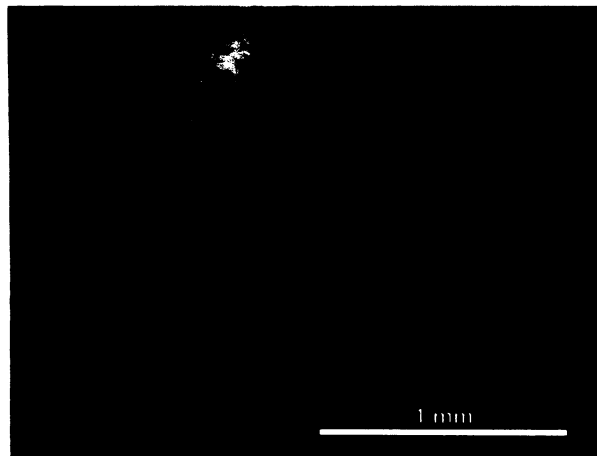
Obr. S.10.11. Výbrus č. 10 – CL – Bod 2: popis snímku jako na obr. vlevo, CL křemenné hmoty se mění z modré na červenou, tmavě karmínové skvrny jsou oxidy železa, tyrkysová barva vpravo je CL podložního skla v místě dutiny; transverzální řez.



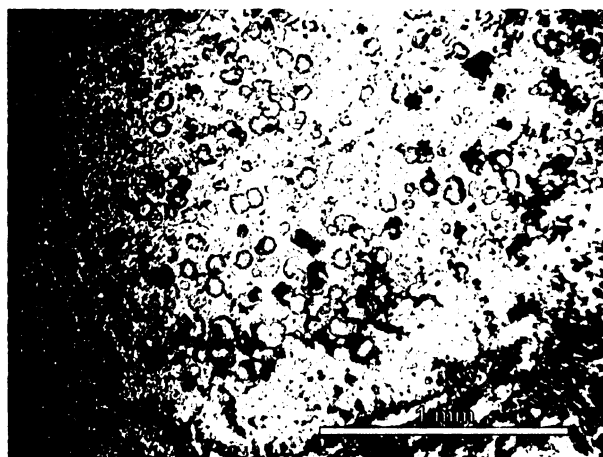
Obr. S.10.13. Výbrus č. 10 – CL – Bod 3: popis snímku jako na obr. vlevo. CL barvy jsou zde stejného charakteru jako na obr. S.10.11, zde však vynikly zvláštní struktury uspořádání křemenné hmoty, bližší popis v textu; transverzální řez.



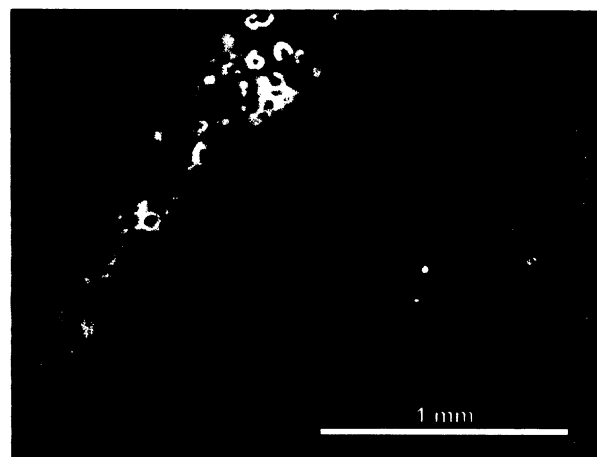
Obr. S.10.14. Výbrus č. 10 – PM/(CL) – Bod 4: rozhraní chalcedonových struktur (vlevo) a mikrokrystalickým křemenem vyplněných tracheid (vpravo), hnědý pigment (oxidy železa) je nepravidelně rozptýlen; transverzální řez.



Obr. S.10.15. Výbrus č. 10 – CL – Bod 4: rozhraní dvou odlišných struktur, podobně jako na obr. S.10.13. (vlevo struktura anorganického původu tvořená chalcedonem, vpravo řady tracheid sekundárního xylému), výrazná pigmentace oxidy železa (tmavě karmínová CL).



Obr. S.10.16. Vzorek č. 10 – OM/(CL) – Bod 5: bradavičnatá struktura v horní části výbrusu, s relikty zachovaných parenchymatických buněk, místy hnědě probarvených; transverzální řez.



Obr. S.10.17. Výbrus č. 10 – CL – Bod 5: popis snímku jako na obr. vlevo. CL je tmavošedá v základní hmotě a světlešedá v buněčných stěnách. Tmavě karmínové skvrny jsou oxidy železa; transverzální řez.

EDX (ÚACH): Výbrus je poměrně chemicky homogenní a je složen pouze z hmoty SiO_2 a v ní rozptýlených oxidů Fe. Praskliny a dutiny zde nejsou vyplněny žádnou cizorodou minerální hmotou či sedimentem. Lokalizace měřených bodů je uvedena na obr. S.10.18. V bodě 1 nebyl žádný chemický kontrast. Výsledky prvkové analýzy bodů 2 a 3, jsou uvedeny v tabulce S.10.1, a to v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100 %).

EDX	Bod 2	Bod 3
C	9,81	5,33
O	54,55	58,59
Si	17,09	26,37
Fe	18,55	9,71
Interpretace	oxidy Fe	oxidy Fe

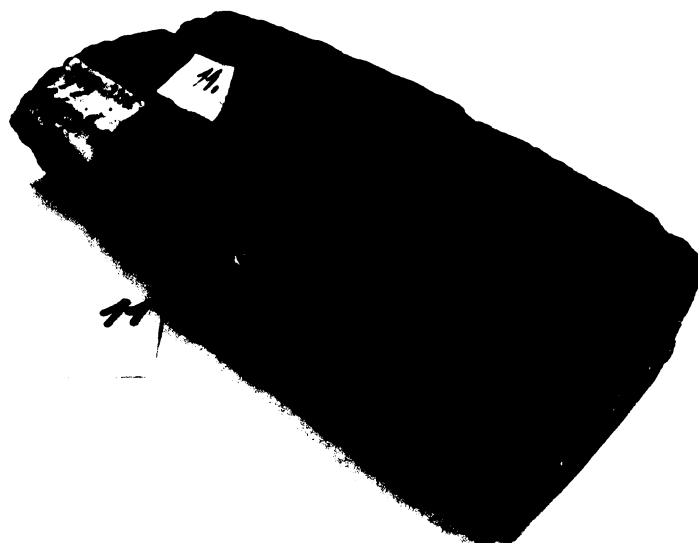
Tab. S.10.1. Výsledky EDX v bodu 2 a 3.

EDX ○
(ÚACH)
CL ○



Obr. S.10.18. Lokalizace vybraných bodů analyzovaných jednotlivými metodami.

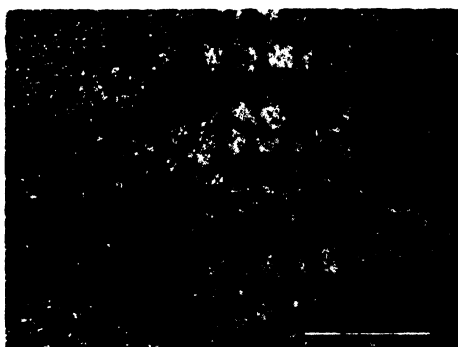
11

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp., Voltziales)♣ Typ **DADOXYLON /E**Obr. S.11.1. Vzorek č. 11, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.11.1)

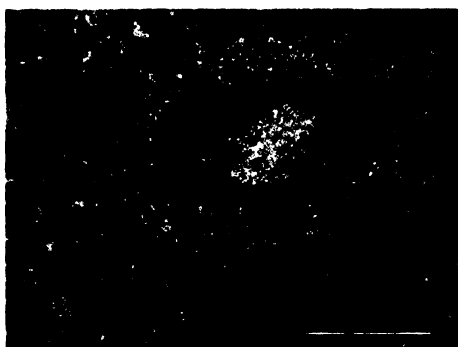
<i>Inventární číslo vzorku</i>	26240, 3/59, 2246	<i>Velikost [mm]</i>	28 x 47 x 140	<i>Lokalita</i>	Žaltmanský hřeben u Radvanic, Brenda	<i>Pánev</i>	VSP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný zploštělý kmínek s vertikální laminací, na průřezu je makroskopicky viditelná zvlněné paralelně jdoucí linie dřeva						
<i>Tvar</i>	Obdélníkový						
<i>Zbarvení</i>	Tmavohnědé až černé, místy s nádechem do ruda						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	Pokrývá většinou část průměru kmene				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Na výbrusu č. 11 (obr. S.11.2) pozorujeme zachovaný sekundární xylém, pravděpodobně dadoxylonového typu, jehož paralelně uspořádané řady tracheid i paprsků jsou silně zvlněné. Vzorek je v některých částech silně rekrystalizovaný, proto je jeho taxonomické určení velice obtížné, a to i z tangenciálního řezu, tak jako např. u vzorku č. 9 a 10. Zvlněné linie buněk vznikly pravděpodobně ještě když bylo dřevo mokré a měkké působením vyššího tlaku, např. v ranných fázích diagenese. Celý vzorek se makroskopicky jeví poměrně kompaktní, ale s vrstevnatou strukturou. Dřevní paprsky jsou rozeznatelné jen místy a vypadají spíše kratší. Nelze však s jistotou na první pohled říct, zda je to výsledek rekrystalizace či se jedná o původní znak rostliny.

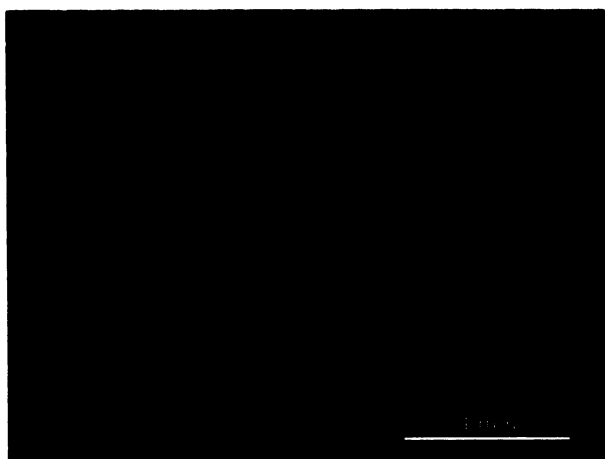


Obr. S.11.2. Výbrus č. 11 (vpravo): transverzální řez sekundárním xylémem rodu *Dadoxylon* ENDL., jehož zvlněné paralelně uspořádané řady tracheid a paprsků ukazují na působení tlaku v raném stadiu diagenese. Křemenná hmota je výrazně zbarvena dohněda, přičemž místy je rekrystalizována čirým makrokrytalickým křemenem. V četných prasklinách nenajdeme stopy ani po sedimentu ani po jiném detritickém materiálu. Velikost podložního skla je 5 x 2,7 cm.

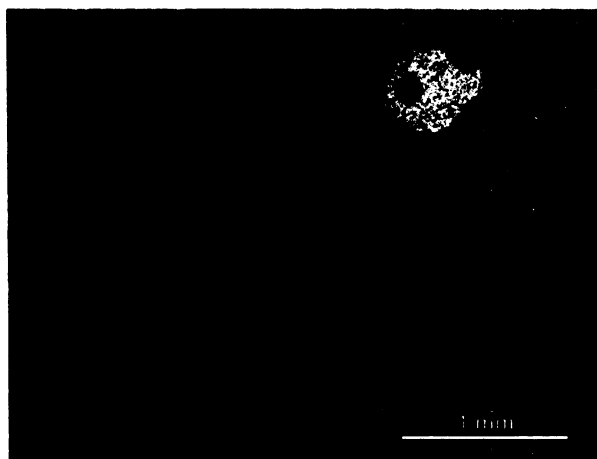


Obr. S.11.3. Výbrus č. 11 (vlevo): transverzální řezy zachovaným sekundárním xylémem (nahore) a strukturou vzniklou rekrystalizací (dole).

Krátké dřevní parenchymatické paprsky jsou totiž typickým znakem *Dadoxylonu* (R. Rößler ústní sdělení, kap. E). V radiálním a tangenciálním řezu lze ale identifikovat husté pyknoxylické dřevo s tečkovaním tracheid v jedné až dvou řadách. Jedná se tedy pravděpodobně o zástupce řádu Voltziales (primitivních konifer). Sekundární xylém je na příčném řezu protkán nepravidelnými strukturami, které vznikly pravděpodobně rekrystalizací, podobně jako u vzorku č. 10 (obr. S.11.3B, S.11.4, S.11.5). Jsou obklopeny zprohýbanými řadami sekundárního xylému a v jejich okrajích se nacházejí zachované buňky. Ve výbrusu jsou rozptýleny nahodile. Centrální oblasti těchto struktur zůstaly duté, vnější okraje jsou naopak ztlustlé a tvořené jednolitou křemennou hmotou. Buněčné stěny tracheid sekundárního xylému, a někdy také jejich vnitřky, jsou tvořeny mikrokrytalickým křemenem. Makrokrytalický křemen vyplňuje větší buňky, ale hlavně prostory silně rekrystalizovaných úseků. Ve vzorku je velké množství prasklin, které sledují průběh zvlněných vrstev (obr. S.11.6, S.11.11).

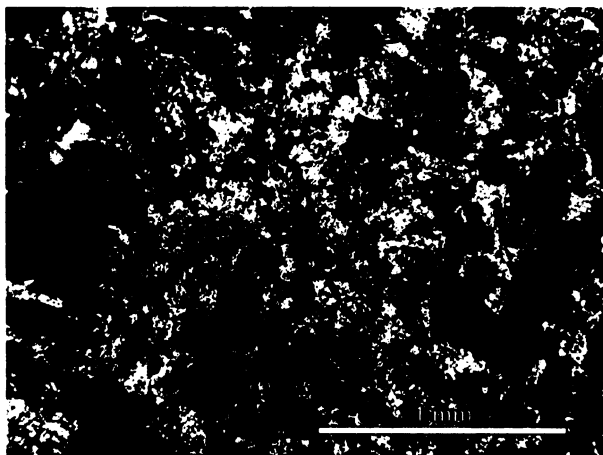


Obr. S.11.4. Výbrus č. 11 – OM: bizardní struktury vzniklé rekrystalizací, ohraničené silným lemem a obemknuté řadami buněk sekundárního xylému, jejich střed často zůstal v podobě nevyplněné dutiny; transverzální řez.

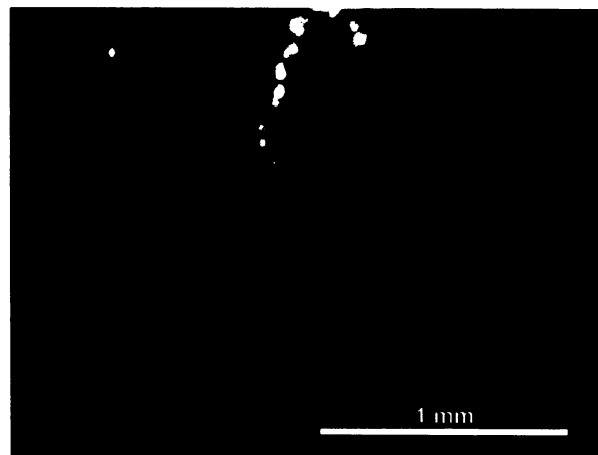


Obr. S.11.5. Výbrus č. 11 – OM: bizardní struktury vzniklé rekrystalizací (podobně jako na obr. vlevo) jsou obemknuté silně zvlněnými řadami buněk sekundárního xylému, opět mají ve svém středu nevyplněnou dutinu; transverzální řez.

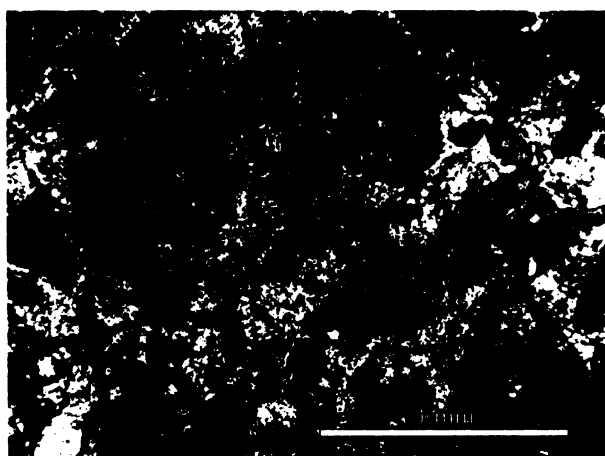
KATODOLUMINISCENCE: CL ve výbrusu č. 11 byla poměrně slabá v porovnání s ostatními výbrusy a nebylo snadné ji zachytit. V křemenné hmotě, která se v OM i PM jeví velice jednoduše se najednou objevuje dvojí odlišná CL. V převažující silikátové hmotě sekundárního xylému je to dlouhotrvající tmavě fialová CL, která je místy obklopena jasně modrou barvou krátce-žijící křemité hmoty lemující praskliny a dutiny, a zejména výše zmíněné nepravidelné struktury vzniklé pravděpodobně rekrystalizací (obr. S.11.7, S.11.9). Modrá CL zdůrazňuje širokým lemem veškeré poruchy diagenéz stlačeného materiálu. Modrá barva krátce-žijící CL by mohla indikovat přítomnost epitermálního roztoku odlišného složení, podobně jako u vzorku č. 5a.



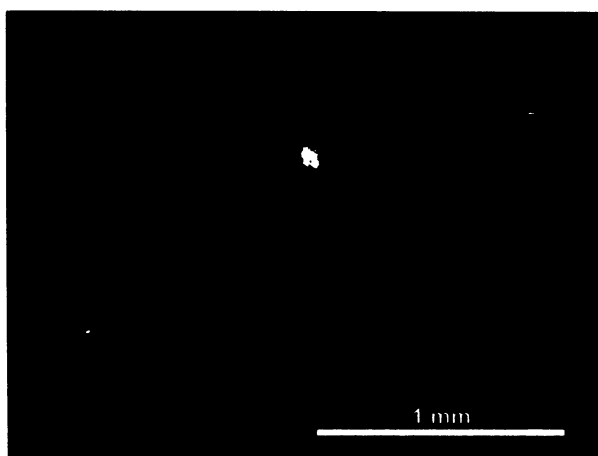
Obr. S.11.6. Výbrus č. 11 – PM: silně rekrystalizovaná hmota sekundárního xylému blízko paralelní praskliny, velké krystaly křemene mají uniformní vzezření; transversální řez.



Obr. S.11.7. Výbrus č. 11 – CL: tmavě fialovou CL má hmota permineralizující zbytky sekundárního xylému, modrou CL doslova září všechny objekty obklopující dutiny a praskliny. Jasně svítivá drobná zrnka jsou nahromaděny v prasklině, jedná se o zbytky diamantového leštidla; transversální řez.

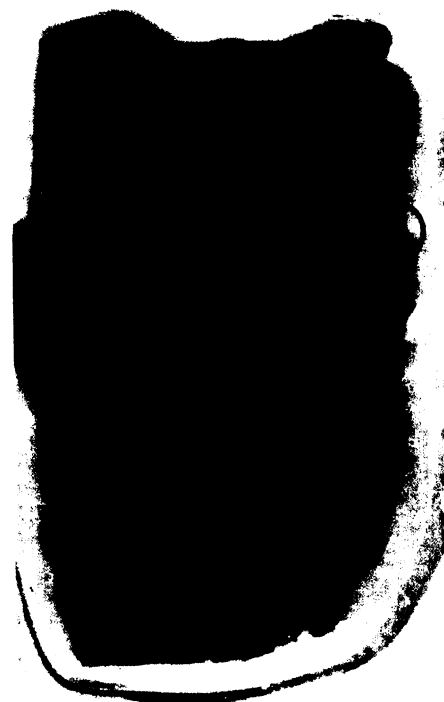


Obr. S.11.8. Výbrus č. 11 – PM: úsek silně rekrystalizovaný makrokrytalickým křemenem, cca trojice dutin uprostřed snímku je lemována koncentricky uspořádanými krystaly; transversální řez. Řady sekundárního xylému vedou na snímku diagonálně

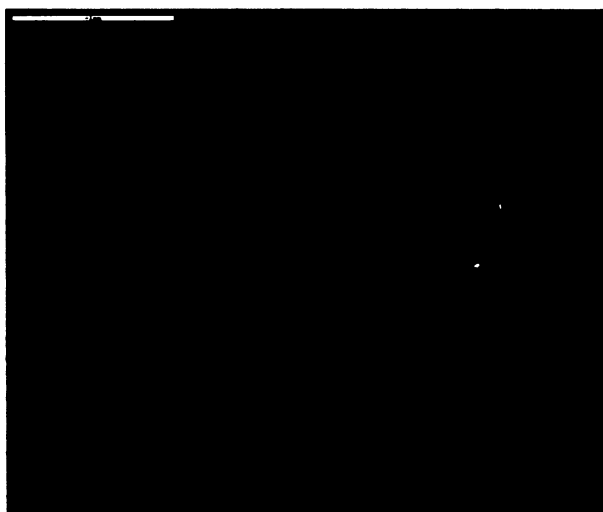


Obr. S.11.9. Výbrus č. 11 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo, modrá CL široce lemují dutiny a struktury pravděpodobně vzniklé rekrystalizací. Řady sekundárního xylému mají tmavě fialovou CL. Jasně svítivá drobná zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

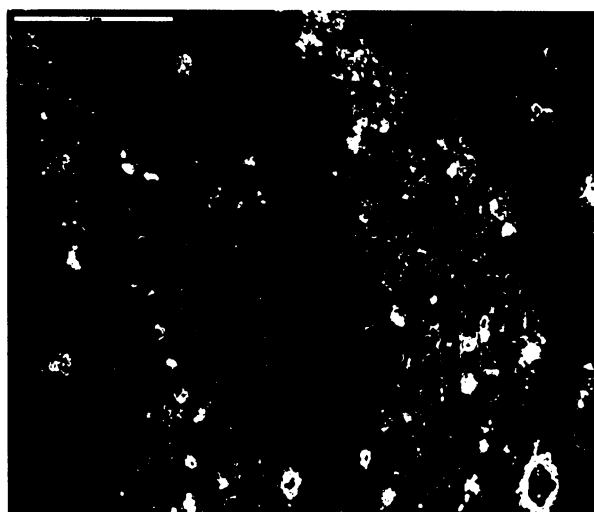
EDX (PřF UK): Výsledky bodových analýz (obr. S.11.10) dokázaly, že hmota celého výbrusu je homogenní a je tvořena pouze křemitou hmotou, která je zbarvena oxidy železa do tmavě hnědých odstínů. V některých místech se objevují shluky železitého pigmentu, které jsou na chemickém kontrastu viditelné jako drobné bílé tečky (obr. S.11.11). Sediment není přítomen ani v trhlinách, ani při okrajích výbrusu. Uhlík byl detekován mezi paralelně se vlnícími pásy dřeva, tyto zachovalé zbytky by bylo vhodné dále analyzovat Ramanovou mikrospektroskopií, také by to mohly být diamanty z leštění. V prasklině na obr. S.11.11 bylo nalezeno zrno se zvýšenou koncentrací Zn, které je vidět jako bílý bod, narušující od obrázku S.11.12, kde je téměř nerozeznatelné.



Obr. S.11.10. Výbrus č. 11 (vpravo): lokalizace oblastí měřených CL.



Obr. S.11.11. Výbrus č. 11 – SEM/EDX: zobrazení chemického kontrastu detektorem BSE. Převažující šedivá hmota je SiO_2 . Dvě bílé tečky v černé puklině v pravé části snímku představují Zn. Měřítko 1 mm; transverzální řez.



Obr. S.11.12. Výbrus č. 11 – SEM/EDX: zobrazení povrchu detektorem SE, na snímku vyniká zejména morfologie trhlín ve výbrusu, která je podobná v celém vzorku. Měřítko 1 mm; transverzální řez.

12

Arthropitys GOEPP. (*Arthropitys* sp.)♣ Typ *ARTHROPITYS* /BObr. S.12.1. Vzorek č. 12, *Arthropitys* sp.Obr. S.12.2. Vzorek č. 12, *Arthropitys* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.12.1, S.12.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	1.1.1974	<i>Velikost [mm]</i>	32 x 42 x 55	<i>Lokalita</i>	Stará Paka, les Lísek	<i>Páneve</i>	PKP
--------------------------------	----------	----------------------	--------------	-----------------	-----------------------	---------------	-----

Popis Silicifikovaný kmínek přesličky *Arthropitys* GOEPP. o délce necelého jednoho článku, na příčném řezu je dobře vidět koncentrické uspořádání biologických struktur, chybí oblast nodu i komisurální linie, která odděluje sousední články. Vzorek je protkán množstvím prasklin a žilek vyplněných bílou křemitou hmotou.

Tvar Malý špalek s oválným průřezem

Zbarvení Bílošedé s různými odstíny šedi

Řez Transverzální

Výbrus Celý průřez stonkem na podložním sklíčku

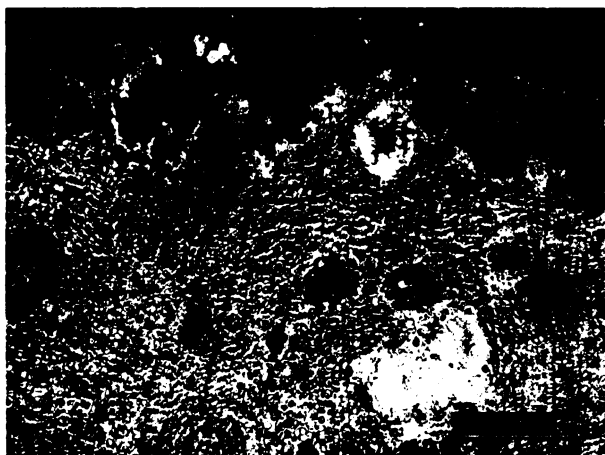
MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 12 (obr. S.12.1, S.12.2) je silicifikovaný stoněk patřící zástupci kalamitů. Je to typický *Arthropitys* s radiální stavbou arthrostélé, kdy jsou od sebe jasně rozlišitelné dřevě, pruh metaxylému s karinálními kanály a sekundární xylém, který je pestře zbarven (obr. S.12.4., S.12.6). Tento vzorek je velice podobný vzorku č. 8, a to nejen anatomii a charakterem permineralizace, nýbrž i bohatým obsahem sedimentárních zrn v prasklinách. Je to pravděpodobně podmíněno i shodnou lokalitou nálezů obou uvedených vzorků. Velmi zajímavá je také linie obvodových, tmavě zbarvených dutin, které jsou vyplněny zrny polymiktního sedimentu (viz analýzy CL a EDX uvedené níže).

Při mikroskopickém studiu výbrusu (obr. S.12.3) lze v OM pozorovat dlouhé dřevní parenchymatické paprsky, které jsou typickým znakem rodu *Arthropitys* (viz kap. 2.1.2). Všechny ostatní anatomické znaky zmíněné již u vzorku 8 naznačují příslušnost vzorku k tomuto taxonu. V PM lze pozorovat základní SiO₂ hmotu tvořenou převážně mikrokrytalickým křemenem, která je silně rekrystalizována četnými hyperblastickými sférolity chalcedonu (obr. S.12.5), které silně rozrušily průběh buněčných struktur. Na některých místech se objevuje makrokrytalický křemen, který má díky tloušťce výbrusu cca 0,07 mm místy vysoké interferenční barvy. Zajímavý je průběh trhlin ve vzorku. Některé jsou rozmístěny nahodile, jiné tvoří tmavě lemované liniové prvky po obvodu radiálních struktur. Vzorek je výrazně hnědě zbarven oxidy Fe.



Obr. S.12.3. Výbrus č. 12 (vpravo nahore): transverzální řez kalamitovým stonkem *Arthropitys* GOEPP. Již na první pohled je jasně patrná radiální stavba arthrostélé a také silná rekrystalizace s různě zbarvenými oblastmi dřeva.



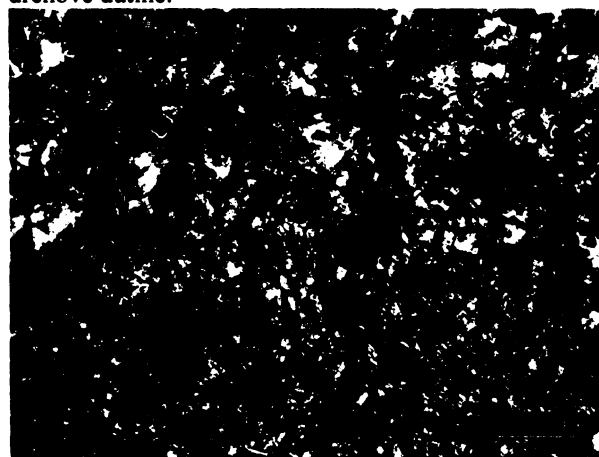
Obr. S.12.4. Výbrus č. 12 – OM: transverzální řez řadami sekundárního xylému. Pletivo je silně rekrystalizované a nepravidelně probarvené, takže působí velmi atypicky a mohlo by zavádět ke špatné interpretaci. Buňky dřeva jsou zachovány, ale jejich průběh je hůře čitelný právě díky různému zbarvení.



Obr. S.12.6. Výbrus č. 12 – OM: detail oblasti sekundárního xylému z obr. S.12.4 při větším zvětšení.

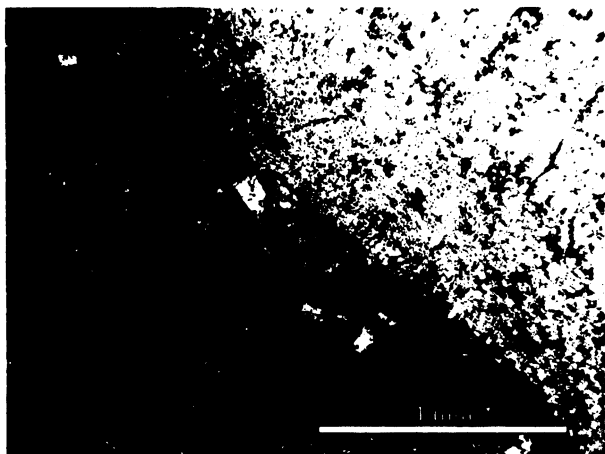


Obr. S.12.5. Výbrus č. 12 – PM: podobná situace jako na obrázku vlevo, základní hmotu sekundárního dřeva tvoří mikrokrytalický křemen (šedý), sférolity chalcedonu (v horní polovině snímku vpravo, velká bílá struktura vlevo) a makrokrytalický křemen v centrální dřevěné dutině.

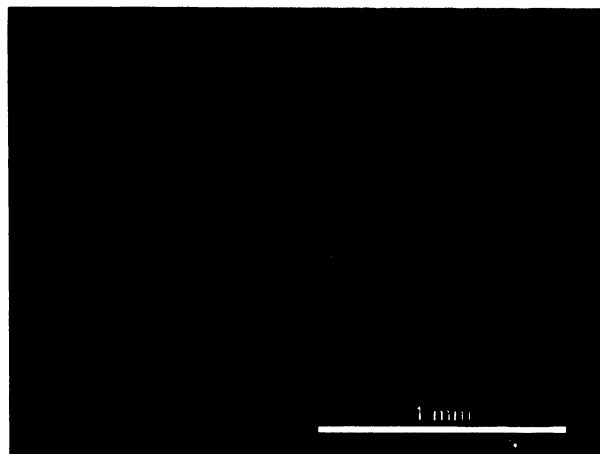


Obr. S.12.7. Výbrus č. 12 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo, je patrná silná rekrystalizace vzorku.

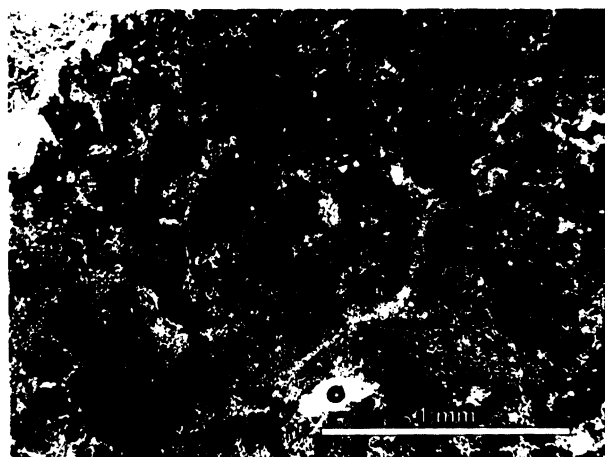
KATODOLUMINISCENCE: CL tohoto vzorku je poměrně slabá a velmi uniformní, celá základní hmota výbrusu tvořená mikrokrytalickým křemenem a chalcedonem má modrofialovou luminiscenci, místy s hnědočervenými strukturami (obr. S.12.9, S.12.11), při dolní hraně výbrusu byla také detekována „mozaiková“ rekrystalizovaná struktura původní tkáně (obr. S.12.10). CL však v tomto případě výborně odhalila trhlinu (S.12.8), ve které jsou zachována různě velká zrna polymiktního sedimentárního materiálu. Na obrázku S.12.9 lze pozorovat jasně modrá zrna K-živců, ostatní zrna nemají luminiscenci a nelze s jistotou říci čemu patří. Tato minerální příměs byla dále analyzována metodou EDX (viz níže).



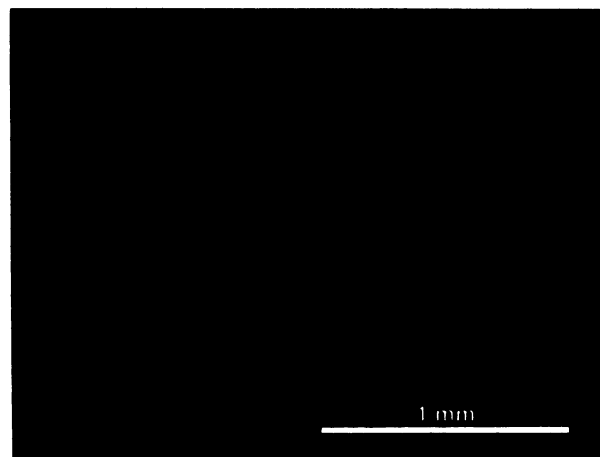
Obr. S.12.8. Výbrus č. 12 – OM – oblast 1: transverzální řez dutinou vyplněnou sedimentem, která od sebe odděluje sekundární xylém; transverzální řez.



Obr. S.12.9. Výbrus č. 12 – CL – oblast 1: SiO₂ hmota sekundárního xylému se v CL jeví uniformní, CL zde výborně zobrazuje zachované buněčné struktury a hlavně dutinu vyplněnou minerálními zrny (K-živec - jasně modrá CL). Další popis v textu; transverzální řez.

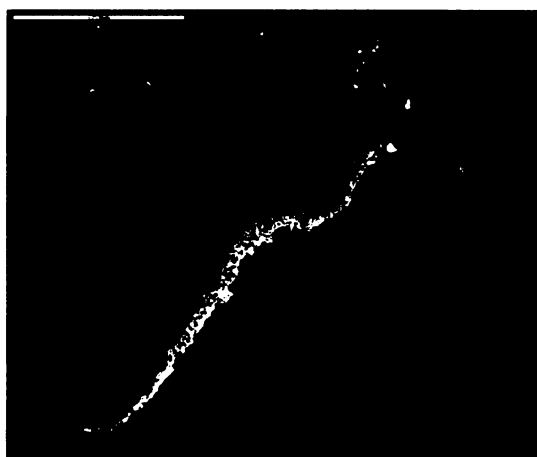


Obr. S.12.10. Výbrus č. 12 – OM – oblast 4: silně rekrystalizovaná oblast sekundárního xylému v dolní polovině výbrusu, struktura pletiva se v těchto místech téměř nedochovala; transverzální řez.



Obr. S.12.11. Výbrus č. 12 – CL – oblast 4: jakousi „mozaiku“ připomínající rozvržení světlých a tmavých odstínů CL v silně rekrystalizované oblasti; transverzální řez.

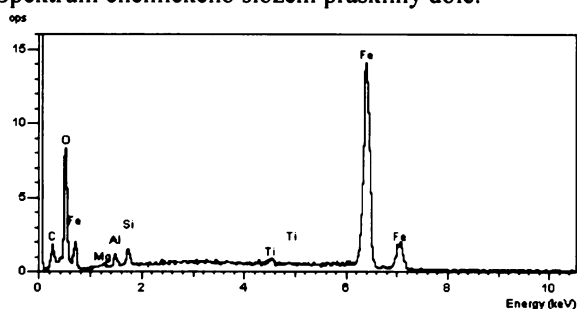
EDX (PřF UK): Namátkou zhotovené analýzy EDX ve výbrusu potvrdily převahu SiO₂ s příměsí Fe v celé základní hmotě. Fe místy vzorek zbarvuje do různých odstínů oranžové a hnědé. V některých oblastech jsou oxidy Fe silně nahloucheny v prasklinách, jak je vidět na obr. S.12.12., lokalizace měření na obr. S.12.13.

EDX ○
(PřF UK)

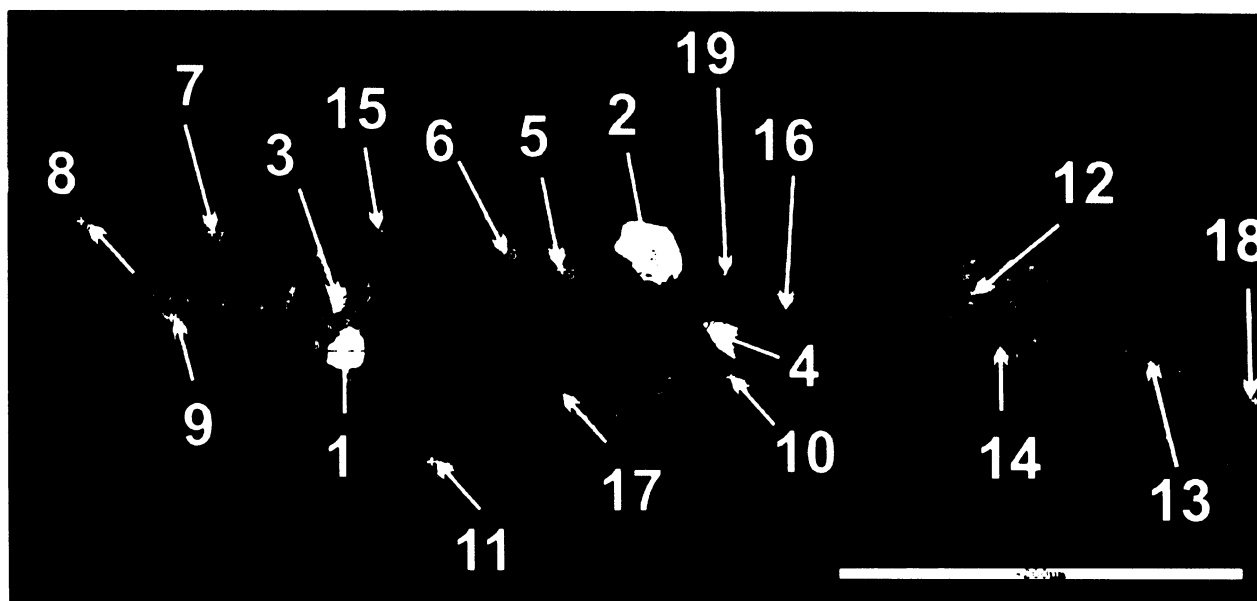
CL ○



Obr. S.12.12. Výbrus č. 12 – SEM/EDX – oblast 1: prasklina v horní části výbrusu zobrazená detektorem BSE, vyplněná oxidy Fe s příměsí Ti; měřítko 200 μm ; transverzální řez. Spektrum chemického složení praskliny dole.



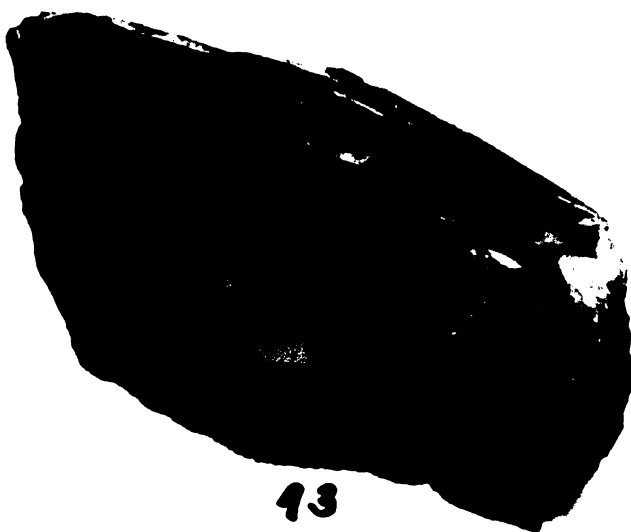
Obr. S.12.13. Výbrus č. 12: lokalizace vybraných oblastí analyzovaných odlišnými metodami.



Obr. S.12.14. Výbrus č. 12 – SEM/EDX – oblast 2: zobrazení chemického kontrastu sedimentární výplně praskliny detektorem BSE a lokalizace měřených bodů (1 až 19), výsledky měření EDX uvedeny v tabulce S.12.1. Měřítka 200 μm .

Body	Interpretace	Body	Interpretace
1 a 2	<i>monazit</i>	13,14,15	<i>K-živce</i>
3 a 4	<i>zirkon</i>	16,17	<i>biotit</i>
5, 6, 7 a 8	<i>ilmenit (5 s Mn)</i>	18	<i>rutil</i>
9,10,11,12	<i>oxidy Fe</i>	19	<i>Al,Si,O snad andalusit</i>

Tab. S.12.1. Výsledky bodové analýzy EDX (body 1 až 19) v oblasti 2.

13 *Calamites* SUCKOW (*Calamites* sp.)♣ Typ **ARTHROPITYS /B**Obr. S.13.1. Vzorek č. 13, *Calamites* sp.Obr. S.13.2. Vzorek č. 13, *Calamites* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.13.1, S.13.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	1	<i>Velikost [mm]</i>	40 x 90 x 60	<i>Lokalita</i>	Podkrkonoší	<i>Pánev</i>	PKP
--------------------------------	---	----------------------	--------------	-----------------	-------------	--------------	-----

Popis

Silicifikovaný výlitek vnitřní dutiny přesličky *Calamites* SUCKOW o délce necelého jednoho článku. Je to vzorek z oblasti stonku mezi dvěma nody, z jedné strany je na povrchu dobře viditelné žebrování, které tvoří soustavu podélných, rovných až mírně prohnutých rýh a žeber. Druhá strana povrchu je rovná a hladká, a lemuje křemitou hmotu uvnitř vzorku.

Tvar

Podélně zploštělý ovál

Zbarvení

Rezavé až červenohnědé, bělavě šedý lem při rovném okraji (opál)

Řez

Transverzální

Výbrus

Prochází napříč celým průřezem vzorku

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 13 (obr. S.13.1, S.13.2) je výjimkou mezi ostatními vzorky zejména v tom, že se jedná o tzv. **nepravou fosílii**, v tomto případě výlitek centrální dutiny kalamitové rostliny. Rýhy představují otisky vnitřních hran dílčích cévních svazků. Tak jak popisuje Němejc (1963) anatomické znaky *Calamites*, není zde viditelné dělení rýhy na dvě větvičky na konci článku, chybí oblast nodu i komisurální linie, která odděluje sousední články, a proto možnost určit přesněji druh přesličky můžeme zcela vyloučit. Jednotlivá vystouplá žebra představují prohlubně vzniklé resorpcí dřene nad jednotlivými dřevnými paprsky, jsou jemně podélně rýžkována. Jelikož vzorek neobsahuje konec článku (nodu),

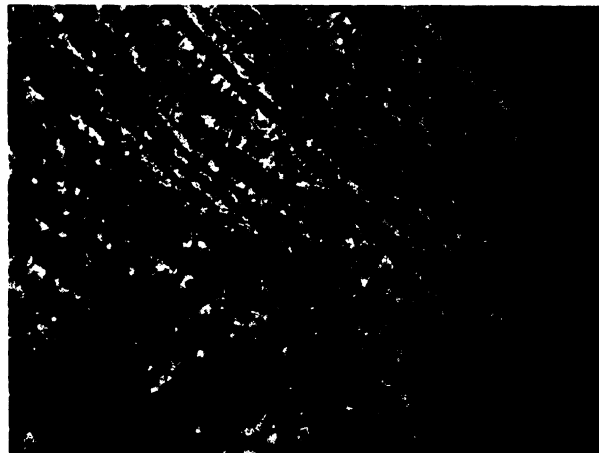
postrádá většinu důležitých morfologických znaků, podle kterých by ho bylo možné přesněji taxonomicky zařadit.

Při mikroskopickém studiu nenajdeme ve výbrusu (obr. S.13.3) ani náznaky biologických struktur. V OM je vzorek zbarven bělošedými odstíny, s oranžovými skvrnami či proužky (obr. S.13.4, S.13.6.), patřícími oxidům Fe. Existence těchto anorganických struktur připomínajících achátové výplně indikuje absenci rostlinné tkáně. Ve zkřížených nikolech se odhalí úžasná složitá struktura SiO₂ hmoty. Ta je tvořena převážně mikrokrytalickým křemenem, obr. S.13.5, S.13.7, často uspořádaným do pásků a oranžovohnědým chalcedonem.

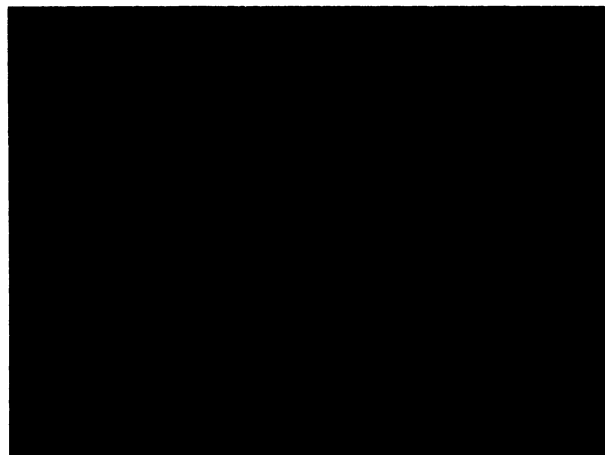
Obr. S.13.3. Výbrus č. 13 (vpravo nahoře): transversální řez výlitkem centrální dutiny *Calamites* SUCKOW. Vzorek je zbarven různými odstíny oranžové a šedé, místy se vyskytují hnědé pásky. Při horním okraji se táhne neprůhledný bílý lem. Velikost podložního skla je 4,8 x 2,8 cm.



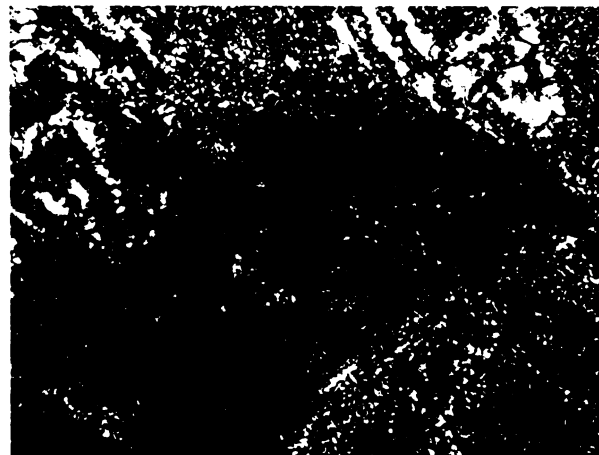
Obr. S.13.4. Výbrus č. 13 – OM: transversální řez anorganickou strukturou *Calamites* sp. Lze vidět výrazné oranžové páskování zvýrazněné oxidy železa. Pásky jsou místy paralelní, místy je jejich vzájemně uspořádání chaotické.



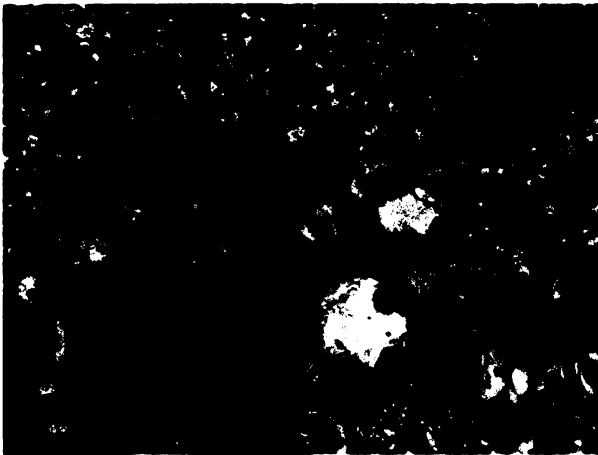
Obr. S.13.5. Výbrus č. 13 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Základní hmota výlitku je tvořena krystaly mikrokrytalického křemene, uspořádanými do tenkých pásků, místy pigmentovaných oxidy železa a chalcedonem. Ve větších prostorách a dutinách jsou krystaly makrokrytalického křemene s vysokými interferenčními barvami.



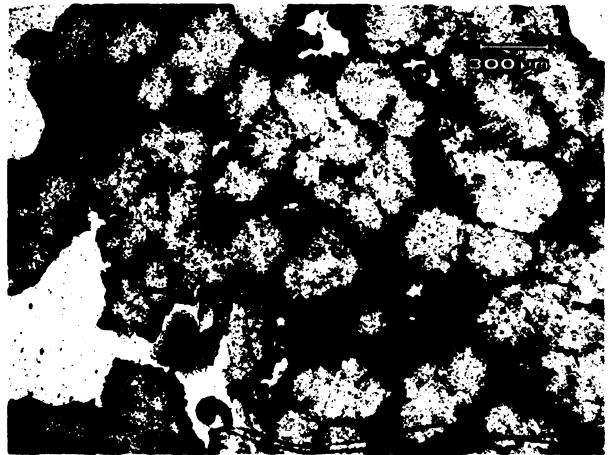
Obr. S.13.6. Výbrus č. 13 – OM: hnědé skvrny tvořené nahlučenými oxidy Fe. Transverzální řez.



Obr. S.13.7. Výbrus č. 13 – PM: oxidy Fe (hnědé) jsou obklopeny základní hmotou z šedého mikrokrytalického křemene. Místy vykrytalizoval i makrokrytalický křemen (širší světlé pásky v horní polovině snímku).



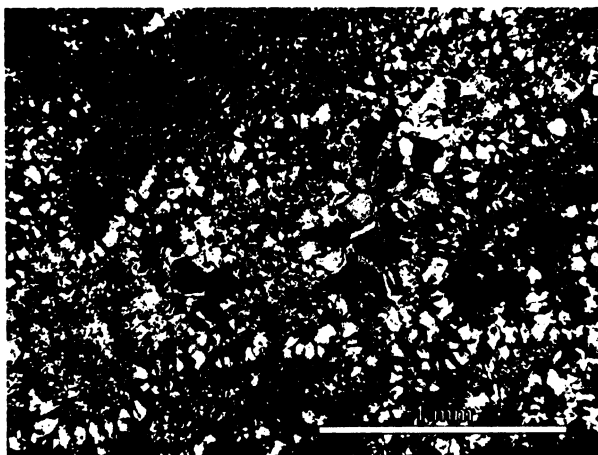
Obr. S.13.8. Výbrus č. 13 – PM: v šedé základní hmotě mikrokrytalického křemene se místy nacházejí obrovské krystaly hypidiomorfní makrokrytalického křemene, s vysokými interferenčními barvami.



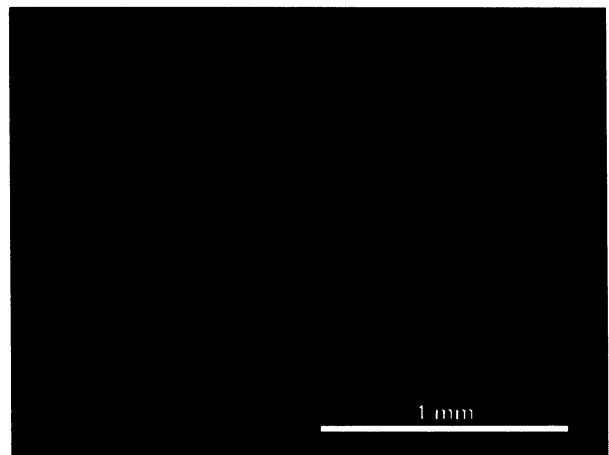
Obr. S.13.9. Výbrus č. 13 – OM: při dolním okraji výbrusu se nacházejí sférolity vláknitého chalcedonu, taktéž zbarvené oxidy Fe do oranžova.

Místy jsou v prasklinách a dutinách přítomny i xenomorfní až idiomorfní krystaly makrokrytalického křemene (S.13.8, S.13.10), které mají v tlustém výbruse (cca 0,07 mm) vysoké interferenční barvy (oranžová, červená, modrá, zelená), obr. S.13.8. Při dolním okraji výbrusu se vyskytují jakési chuchvalce, tvořené vláknitým chalcedonem (obr. S.13.9).

KATODOLUMINISCENCE: Většina základní hmoty SiO_2 ve vzorku č. 13 luminiskuje červeně, jako v mnoha jiných případech. Šedozeleňá CL idiomorfních krystalů křemene na obr. S.13.11 je velice atypická a v jiných vzorcích se nevyskytovala. Götze & Zimmerle (2000) připisují krátce-žijící zelenou nebo modrou CL hydrotermálnímu křemenu. Mohlo by se jednat o tento případ. Tyto vyrostlice jsou obklopeny modrofialovým lemem chalcedonu. Horní kraj výbrusu nemá luminiscenci, jedná se pravděpodobně o opál. Shluky oxidů Fe jsou v CL tmavě karmínové. Cizorodá zrna detritu či sedimentu nebyla detekována.

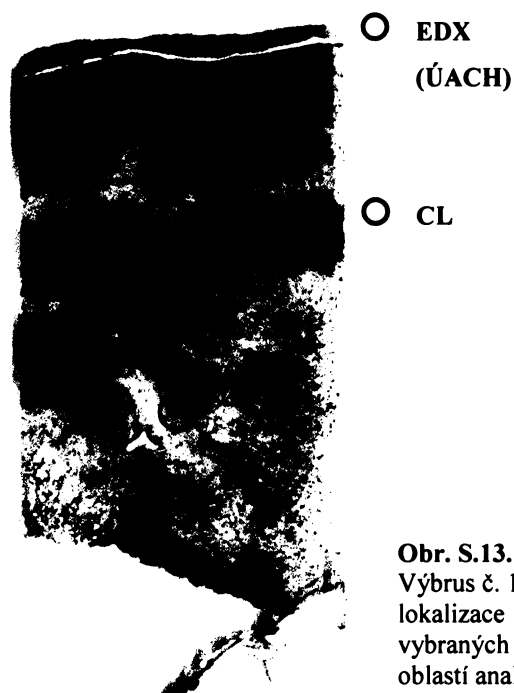


Obr. S.13.10. Výbrus č. 13 – PM: mikrokrytalický křemen (šedý), chalcedon (oranžovohnědý) a makrokrytalický křemen (vysoké interferenční barvy uprostřed snímku) v základní SiO_2 hmotě výbrusu.



Obr. S.13.11. Výbrus č. 13 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo. Základní hmota má červenou CL, chalcedon modrofialovou a idiomorfní krystaly makrokrytalického křemene šedozeleňou CL.

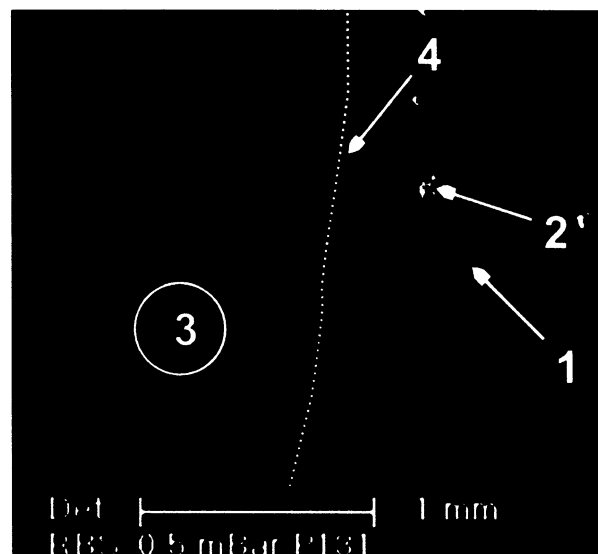
EDX (ÚACH): Analýza EDX dokázala v základní hmotě pouze přítomnost SiO_2 s příměsí Fe, které zbarvuje vzorek rezavě. Cizorodý materiál nebyl detekován. Výsledky bodové analýzy ve vybrané oblasti 1 (obr. S.13.12) jsou uvedeny v tabulce S.13.1 v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%), přičemž přesná lokalizace bodů je na obrázku S.13.13.



○ EDX
(ÚACH)

○ CL

Obr. S.13.12. Výbrus č. 13: lokalizace vybraných oblastí analyzovaných jednotlivými metodami.



Obr. S.13.13. Výbrus č. 13 – SEM/EDX – oblast 1: zobrazení chemického kontrastu SiO_2 hmoty v horní části snímku detektorem RBS a lokalizace vybraných bodů 1 až 4 analyzovaných EDX.

Oblast 1	Bod 1	Bod 2	Bod 3	Bod 4
C	26.47	28.25	14.26	7.66
O	44.33	45.13	53.50	58.99
Al	0.76	0.64	1.06	0.97
Si	18.89	16.66	30.46	32.14
K	-	-	0.26	0.24
Fe	9.35	9.15	0.47	-
Ti	0.21	0.17	-	-
Interpretace	SiO_2 s oxidy Fe	SiO_2 s oxidy Fe	SiO_2	SiO_2

Tab. S.13.1. Výsledky analýzy EDX u měřených bodů 1 až 4 v oblasti 1.

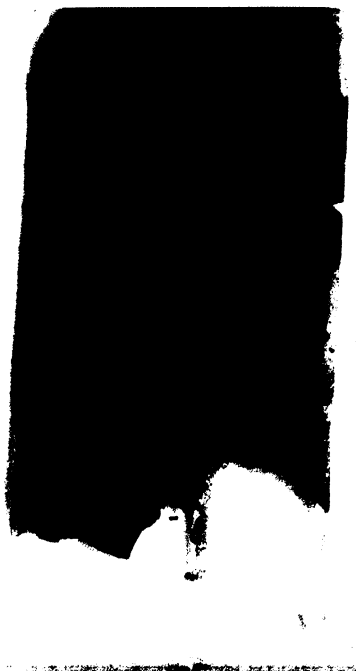
14

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp.)♣ Typ *DADOXYLON* /EObr. S.14.1. Vzorek č. 14, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.14.1)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	26240, 3/69. 2224	<i>Velikost [mm]</i>	45 x 50 x 70	<i>Lokalita</i>	Studenec, Černý les, směrem k Nedaříži Jezdin. Skála	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Fragment silicifikovaného kmene dřeva typu <i>Dadoxylon</i> ENDL., průřez pokrývá cca polovinu kmene, viditelné přírůstkové linie, podélná lineace a praskliny						
<i>Tvar</i>	Ostrohranný trojúhelníkový průřez						
<i>Zbarvení</i>	Šedohnědé na okrajích, v centru tmavě hnědé až černé přírůstkové linie, které při jejich okraji lemují silný bílý letokruh, bílá barva také prochází dvěma příčnými „žilami“ orientovanými kolmo na ostatní letokruhy						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	Ze střední části (asi jedna třetina průřezu) s dvěma bílými „žilami“ na okrajích				

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 14 (obr. S.14.1) neměl na etiketě z Národního Muzea uvedené taxonomické zařazení. Na první pohled celý fragment vypadá jako cca čtvrtinová výšeč druhotného dřeva z kmene zástupce rodu *Dadoxylon* ENDL. Struktura dřevní tkáně je silicifikací poměrně dobře zachována, vyskytuje se však ve třech odlišných barvách. Krajiní hranice jednotlivých barev téměř respektují biologickou texturu dřevního pletiva. Nejzajímavější je potom jakési „vybělení“, které postihlo celou jednu z vnějších přírůstkových linií. Vychází jakoby ze středu stonku podél řad dvou od sebe vzdálených paprsků, které tak vzájemně ohraničují tmavé segmenty sekundárního xylému. Makroskopicky jsou také znatelné



Obr. S.14.2. Výbrus č. 14 (vlevo): transverzální řez sekundárním xylémem rodu *Dadoxylon* ENDL. Řady tracheid vedou od spodního směrem k hornímu okraji výbrusu, postupně zesvětlují od tmavě rezavé, přes světle rezavou až k bělošedé barvě, přičemž vytvářejí makroskopicky viditelné přírůstkové linie, mocné cca 2 mm. Vnější šedohnědá linie dřeva je na výbrusu obsažena pouze v tenké vrstvě při horní hraně. Výbrusem prochází několik prasklin a v levém nahoře je vidět tmavě pigmentovaná oblast. Velikost podložního skla 4,8 x 2,8 mm.

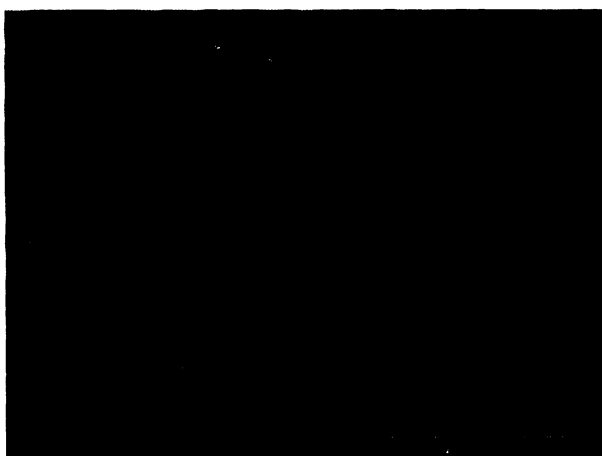
Obr. S.14.3. Detail okrově zbarvené části sekundárního xylému z pravé horní poloviny výbrusu č. 14 (vpravo). Dřevo je porušeno prasklinami, které bývají vyplněny čirou nebo hnědou křemennou hmotou, přičemž v okolních buňkách dřeva je viditelná pigmentace oxidu Fe.



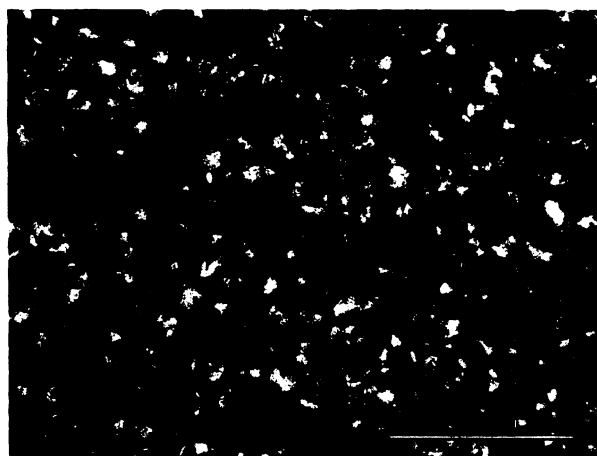
přírůstkové linie (letokruhy), typický znak druhotného tloušťnutí.

Při mikroskopickém studiu výbrusu (obr. S.14.2) však můžeme pozorovat poměrně dlouhé dřevní paprsky (i přes více než 10 okolních buněk), což je zavádějící znak, který směřuje k rodu *Arthropitys*. Studium tangenciálního řezu však bylo potvrzeno, že tracheidy jsou ve hmotě sekundárního xylému převažující elementy, a že se zcela jistě jedná o husté dřevo pyknoxylického typu. Z nábrusů radiálních stěn tracheid nebylo možno přesně rozeznat tečky, tudíž nelze s jistotou říci jestli se jedná o kordait či primitivní koniferu.

Sekundární xylém tvoří řady ztlustlých tracheid lemované dlouhými úzkými paprsky (např. obr. S.14.4, S.14.6, S.14.9). Na některých místech je dřevo s polyblastickou texturou (viz kap. 2.3.4) porušeno dlouhými tenkými prasklinami, které bývají vyplněny čirým či dohněda zbarveným mikrokrytalickým křemenem (obr. S.14.3). Buněčné stěny dřevních buněk jsou mineralizovány



Obr. S.14.4. Výbrus č. 14 – OM: oblast sekundárního xylému ze světlé části. Řady tracheid lemované dřevními paprsky, buněčné stěny výrazně tmavě pigmentované zbytky uhlíku; transverzální řez.

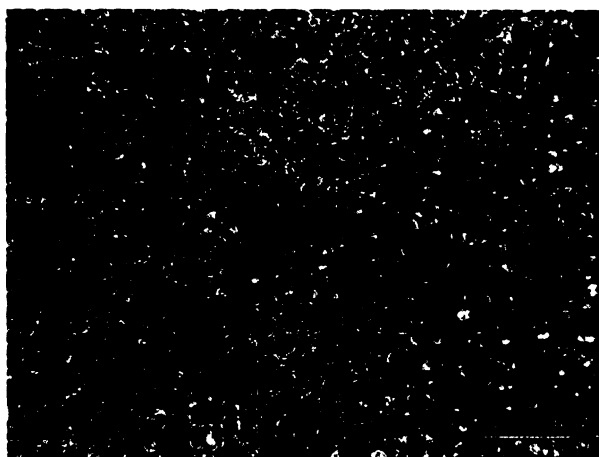


Obr. S.14.5. Výbrus č. 14 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo, vnitřky dřevních buněk s polyblastickou texturou vyplňuje mikrokrytalický křemen nebo chalcedon (oranžový), buněčné stěny tvoří mikrokrytalický křemen a zbytky uhlíku; transverzální řez.

mikrokrystalickým křemenem a ve většině výbrusu jsou tmavě pigmentované (obr. S.14.4), s výjimkou již výše zmíněných „vybělených“ oblastí. Vnitřky buněk jsou buď vyplněny xenomorfními krystaly makrokrystalického křemene nebo medově okrovým chalcedonem nebo křemenem (S.14.5, S.14.7, S.14.10), který je ve zkřížených nikolech výrazně oranžový, což je také způsobeno tloušťkou výbrusu cca 0,07 mm. Na snímcích S.14.3 a S.14.6 je zřejmé, že dvojí barevné vyznění petrifikovaného dřeva je dáno jak oxidy Fe, tak uhlíkem. V modrošedé části (obr. S.14.6 vpravo) mají tracheidy modrošedé vnitřky, přičemž jejich stěny obsahují zbytky uhlíku a jsou tmavé. Naopak světlejší okrová část dřeva (vlevo), je tvořena tracheidami s duhovými vnitřky a čirými buněčnými stěnami bez pigmentu. Kromě těchto prasklin a odlišností ve zbarvení pletiv se jinak struktura výbrusu jeví poměrně homogenní.



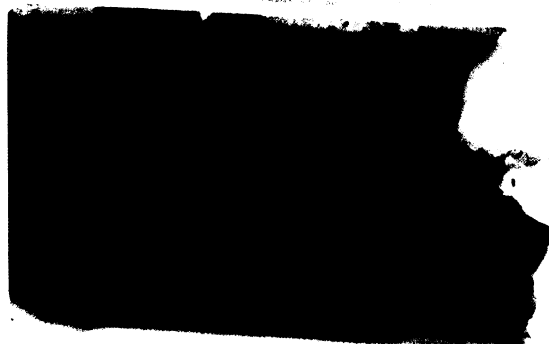
Obr. S.14.6. Výbrus č. 14 – OM: sekundární xylém dvojího zbarvení přetíná prasklina, která je vyplněna rezavým chalcedonem; transversální řez.



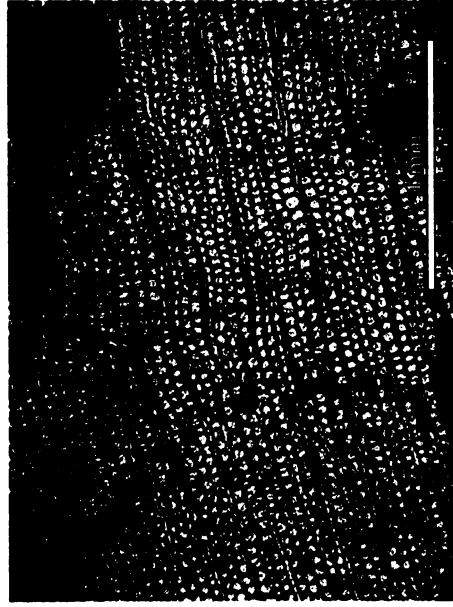
Obr. S.14.7. Výbrus č. 14 – PM: popis snímku jako na obr. S.14.5. Chalcedon je v prasklině výrazně oranžovo-hnědý; transversální řez.

KATODOLUMINISCENCE: U výbrusu č. 14 se setkáváme s dlouhotrvající modrou a červenou CL, které jsou ve výbrusu velmi zajímavě, ale hlavně nečekaně prostorově rozloženy v poměrně homogenní struktuře dřeva (obr. S.14.11, S.14.14). V oblastech s okrovým pigmentem je červená CL, přičemž aktivátorem je pravděpodobně Fe^{3+} (na obr. S.14.8 jsou to tmavé, hnědé oblasti; na OM snímcích jsou světlé, bez zbarvených buněčných stěn). Modrá CL je nejspíše sekundární a zatlačuje původní červenou CL. Vyskytuje se v tzv. „vybělené“ oblasti pletiva s C v buněčných stěnách (na OM snímcích tmavě lemované buňky, jeví se v mikroskopu tmavší než ty z hnědé oblasti). Na sérii dvou trojic fotografií (obr. S.14.9 až S.8.14) vidíme vždy oblast sekundárního xylému z rozhraní okrově zbarvené a vybělené části dřeva. Ze samotných snímků je velmi obtížné odhadnout, která CL byla prvotní. Důležité je vidět výsledek v celkovém obrazu.

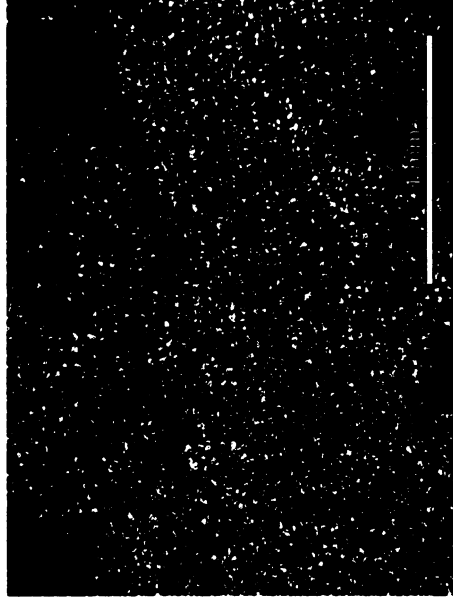
EDX (ÚACH): Výsledky analýzy EDX potvrdily, že vzorek je kompletně složen z SiO_2 , přičemž příměs oxidů Fe je přítomna jak v buňkách, tak i v prasklinách.



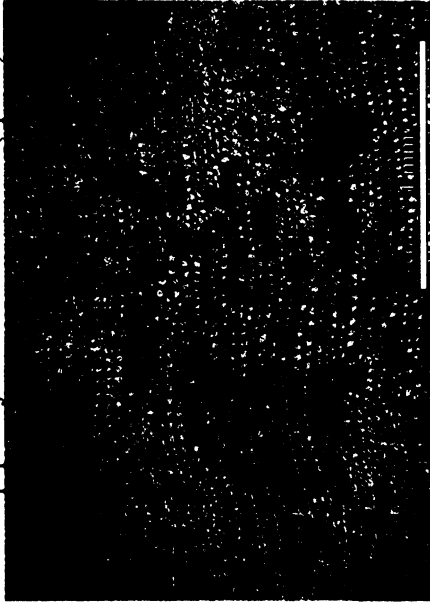
Obr. S.14.8. Výbrus č. 14: lokalizace oblastí měřených katodovou luminiscencí (CL).



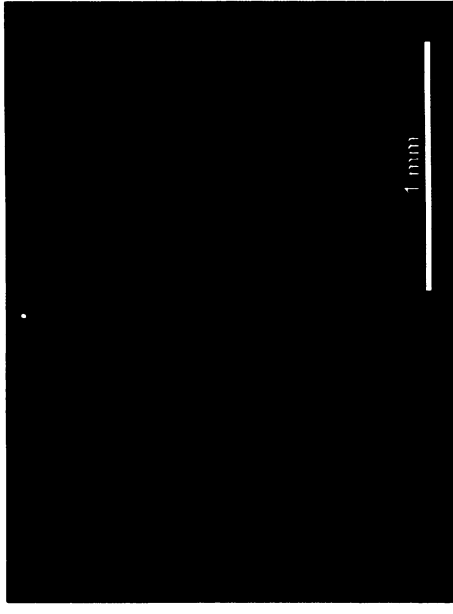
Obr. S.14.9. Výbrus č. 14 – OM – oblast 1: transverzální řez sekundárním xylémem na rozhraní tmavé a světlé oblasti, ve které jsou buněčné stěny tracheid i paprsků jsou tmavě lemované C (vpravo).



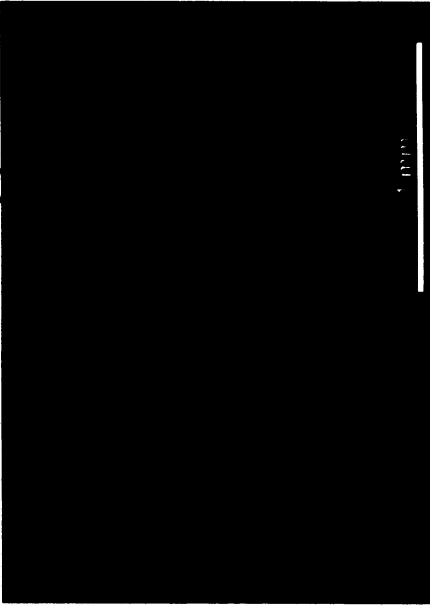
Obr. S.14.10. Výbrus č. 14 – PM – oblast 1: popis snímku jako na obr. vlevo, dřevní hmota je vyplněna převážně krystaly mikrokystalického křemene a chalcodonem, rozhraní barev je zde téměř nerozeznatelné.



Obr. S.14.12. Výbrus č. 14 – OM – oblast 2: popis jako u obr. S.14.9. „Vybělená“ (na snímku tmavá) oblast sekundárního xylému je při levém okraji výbrusu rozmístěna nepravdělně.



Obr. S.14.11. Výbrus č. 14 – CL – oblast 1: popis snímku jako na obr. vlevo, světlá část dřeva má jasně modrou CL, narozdíl od Fe pigmentované oblasti, která má CL červenou, hranice obou barev je poměrně ostrá.



Obr. S.14.14. Výbrus č. 14 – CL – oblast 2: popis snímku jako na obr. vlevo, situace podobná jako na obr. S.14.9. Z distribuce barev na snímku lze jen těžko odhadnout, která CL byla prvotní.

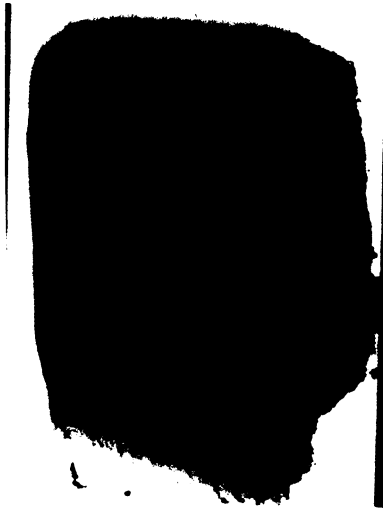
15

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp., ?*Voltziales*)♣ Typ **DADOXYLON /E**Obr. S.15.1. Vzorek č. 15, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.15.1)

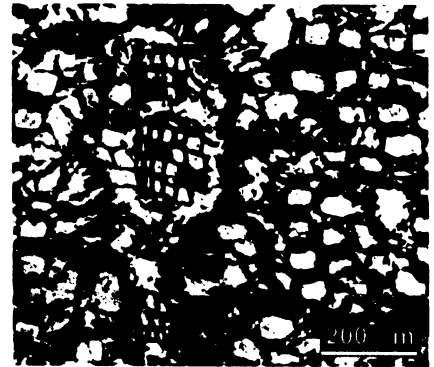
<i>Inventární číslo vzorku</i>	26240	<i>Velikost [mm]</i>	37 x 50 x 115	<i>Lokalita</i>	Radvanice, halda po uhelném dolu	<i>Pánev</i>	VSP
<i>Popis</i>	Fragment sideritizovaného kmene dřeva typu <i>Dadoxylon</i> ENDL. s poměrně jednotnou stavbou, řady druhotného dřeva jsou paralelně uspořádány a pravidelně se opakují, kolmo na svůj průběh vytvářejí viditelné tmavší přírůstkové linie (letokruhy). Vzorek byl nalezený na uhelné haldě v Radvanicích.						
<i>Tvar</i>	Téměř obdélníkový průřez kmene						
<i>Zbarvení</i>	Černý až tmavě hnědý, drolí se a rezavě barví						
<i>Řez</i>	Transverzální			<i>Výbrus</i>	Napříč celým průřezem kmene		

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 15 (obr. S.15.1) má naprosto jiný charakter než ostatní vzorky. Je to vcelku velice homogenně se jevící kmen, s texturou pravidelně procházejících přírůstkových linií buněk, které vytvářejí paralelní rovné pásy. V OM ale vidíme, že jsou buňky původního pletiva poškozené. Řady tracheid střídají řady paprsků a jsou paralelně hustě uspořádané, jak je obvyklé u dřeva *dadoxylonového* typu. Při mikroskopickém studiu také rozpoznáme řady dvojích sezónních tracheid. Buněčné stěny velkých tracheid (rezavě pigmentované, např. na obr. S.15.3) ve výbrusu převládají. Vypadají dosti roztrhané a jsou jakoby „roztřepené“. Malé tracheidy (s tmavě pigmentovanými buněčnými stěnami, na obr. S.15.3

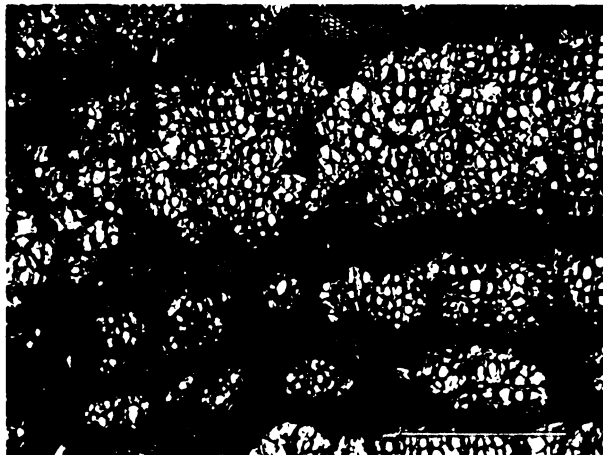


Obr. S.15.2. Vzorek č. 15 (vlevo): transverzální průřez sekundárním xylémem rodu *Dadoxylon* ENDL, pravděpodobně patřící do skupiny primitivních konifer. Vzorek je sideritizovaný, hnědé až rezavé barvy, přičemž přírůstkové linie letního dřeva jsou tmavě zbarvené a dřevo vypadá jako páskované. V nábrusu jsou v něm na radiální stěně tmavších menších tracheid vidět dvojtečky, bylo by ale potřeba více nábrusů k přesnému určení. Šířka podložního skla je 2,8 cm.

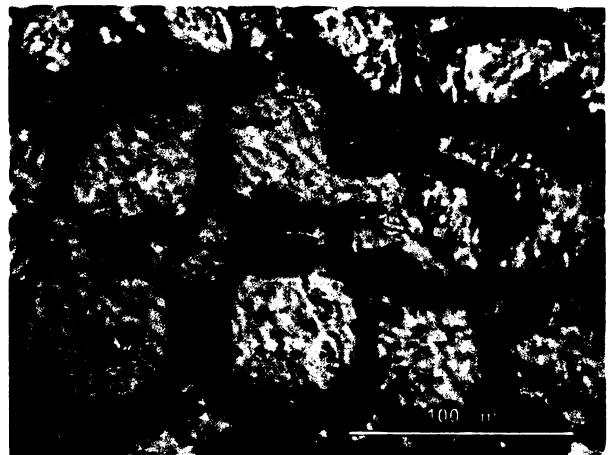


Obr. S.15.3. Detail přírůstkové linie (vpravo nahoře): transverzální průřez sekundárním xylémem jarního (velké, rezavě hnědé tracheidy) a letního (drobné, černé tracheidy) dřeva. Letní dřevo je silně narušené a ohraničené černým lemem, některé buňky se nedochovaly.

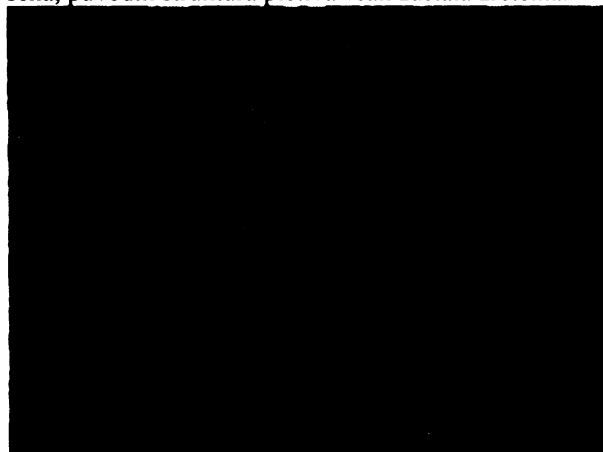
černé) jsou izolovány v páscech tmavým lemem, zbyly z nich jen fragmenty a jejich návaznost na velké tracheidy je téměř na všech místech přerušena. Makroskopické praskliny se přitom ve vzorku téměř nevyskytují. Chybí zbytky sedimentu, který nebyl nalezen ani při okraji, ani uvnitř vzorku.



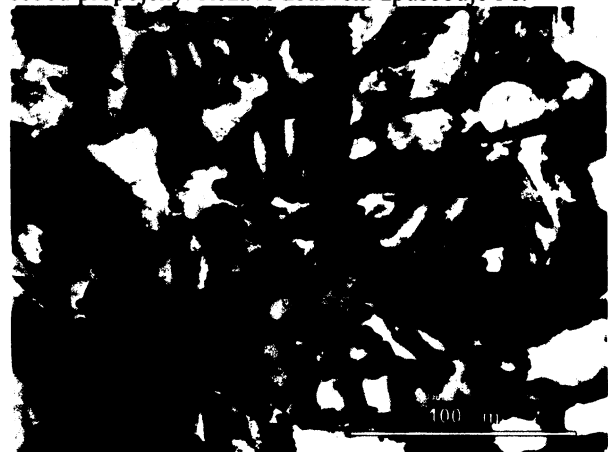
Obr. S.15.4. Výbrus č. 15 – OM: transverzální řez sekundárním xylémem. Řady velkých tracheid (příhodné klimatické podmínky) jsou odděleny od malých tracheid (nepříznivé období) silným tmavým pásem. Buňky jsou poškozené a potřhané, jejich návaznost je porušena, původní struktura pletiva však zůstala zřetelná.



Obr. S.15.5. Výbrus č. 15 – OM: transverzální řez velkými tracheidami dřeva ze sezóny s příhodnými podmínkami. Buněčné stěny jsou silně potřhané, místy jsou ale velmi dobře vidět tečkovité ztlustliny, tedy komunikační místa, kterými byly jednotlivé buňky mezi sebou propojeny. Rezavé zbarvení způsobuje Fe.



Obr. S.15.6. Výbrus č. 15 – OM: přičný řez letokruhem. Přírůstky velkých tracheid střídají tracheidy malé, jejich průběh je však přetržen a izolován tmavým lemem. V PM se v některých místech objevuje křemen a opál.

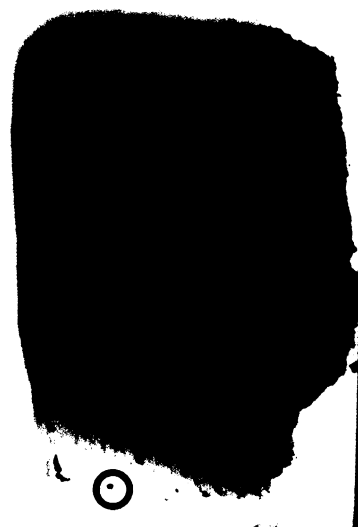


Obr. S.15.7. Výbrus č. 15 – PM: detail malými tracheidami z nepříznivého období. Buněčné stěny jsou úplně černé a při velkém zvětšení lze vidět i dvůrky na radiálních stěnách; transverzální řez.

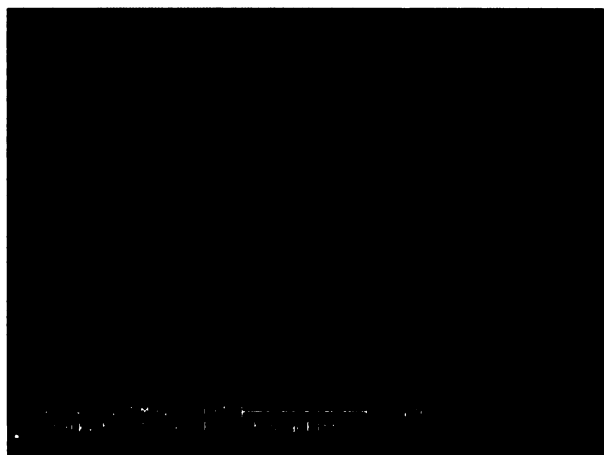
Ve sbírkách N. M. byl tento exemplář zařazen mezi dřevy z VSP. Již na první pohled však bylo patrné, že se liší od ostatních silicifikovaných vzorků nejen barvou, ale i charakterem hmoty. Vzorek je při povrchu velmi drolivý a jeho vryp je sytě oranžovohnědě zbarven.

XRD (ÚACH): Rentgenovou práškovou difrakcí byly detekovány špatně krystalické fáze. Na difraktogramu je patrný siderit a hematit, plocha jejich difrakcí je ale velmi malá, protože většina vzorku je rtg amorfni a dává velkou difúzní linii na $d \sim 3,9 \text{ \AA}$ a menší s $d \sim 2,5 \text{ \AA}$. Patří pravděpodobně opálu, který lze pozorovat v PM.

Obr. S.15.8. Výbrus č. 15 (vpravo): lokalizace vybraných oblastí měřených metodou EDX.



EDX (ÚACH): Vzorek je sideritizovaný, petrifikace nastala pomocí FeCO_3 , což potvrdila i analýza EDX, která v základní hmotě detekovala hlavně C, O a Fe, s menším množstvím Si, Ca a Mg. Ze sideritu může při zvětrávání vznikat FeOOH , a to zejména při okrajích vzorku. Výsledky prvkové analýzy EDX jednotlivých bodů z vybraných oblastí jsou uvedeny v tabulce S.15.1 v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%).



Obr. S.15.9. Výbrus č. 15 – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení chemického kontrastu v místě jarních tracheid detektorem RBS, kříž uprostřed jsou buněčné stěny na rozhraní čtyř buněk; transversální řez.

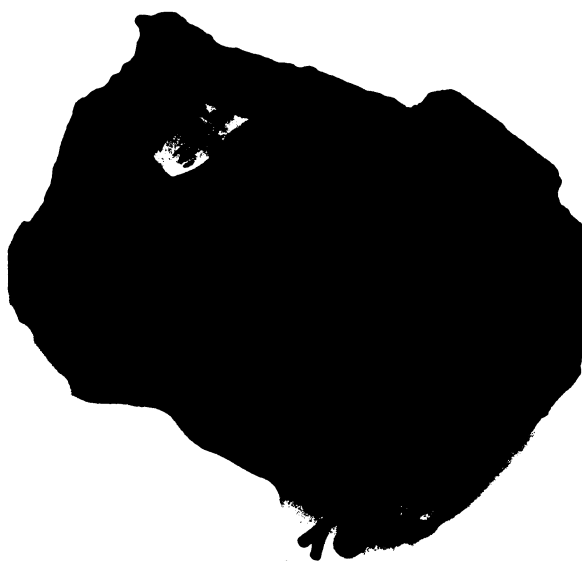


Obr. S.15.10. Výbrus č. 15 – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení chemického kontrastu v místě přírůstkové linie letního dřeva (táhne se prostředkem snímku) detektorem RBS, bílá při dolní hraně snímku je hematit.

Oblast	1		2		3		4	
Bod	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2		
C	35.43	23.03	23.45	65.16	45.02	56.84		
O	35.43	56.21	56.44	30.95	28.09	35.51		
Al	-	-	-	0.30	0.70	0.50		
Si	0.32	-	-	0.22	16.87	0.76		
Ca	1.26	1.90	1.98	0.70	2.03	1.00		
Fe	13.04	17.59	16.79	1.73	-	4.14		
Na	-	-	-	-	5.30	-		
Mg	1.01	1.28	1.34	0.55	1.73	0.73		
Cl	-	-	-	0.18	0.10	0.26		
S	-	-	-	0.22	0.16	0.25		
Interpretace	<i>siderit</i>	<i>siderit</i>	<i>siderit</i>	<i>organická hmota</i>	SiO_2 , <i>organická hmota</i>	<i>organická hmota</i>		

Tab. S.15.1. Výsledky analýzy EDX u měřených bodů ve vybraných oblastech 1 až 4.

16

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp., ?*Voltziales*)♣ Typ *DADOXYLON* /EObr. S.16.1. Vzorek č. 16, *Dadoxylon* sp.Obr. S.16.2. Vzorek č. 16, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.16.1, S.16.2)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	26240, 3/60, 2246.	<i>Velikost [mm]</i>	40 x 70 x 130	<i>Lokalita</i>	Žaltmanský hřeben u Radvanic	<i>Pánev</i>	VSP
--------------------------------	-----------------------------------	----------------------	----------------------	-----------------	---	--------------	------------

Popis **Silicifikovaný špalek dřeva dadoxylonového typu, na příčném řezu s velice kompaktní stavbou, porušený jemnými ostrohrannými trhlinami, z nichž jedna větší klikatě prochází napříč vzorkem**

Tvar **Nepravidelný**

Zbarvení **Na příčném řezu tmavě šedivý, místy doběla zbarvený mléčným křemenem, na povrchu rezivý**

Řez **Transverzální** *Výbrus* **Cca z poloviny průřezu kmene**

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Dřevo dadoxylonového typu, které pozorujeme na výbrusu č. 16 (obr. S.16.4) si díky silicifikaci velice dobře zachovalo svou původní strukturu, i když jsou řady tracheid a paprsků na některých místech velice zvlňené (obr. S.16.3, S.16.11) a v okolí prasklin místy silně pigmentované. Pouze při pravém okraji výbrusu najdeme stopy po sedimentu, jinak se dřevo jeví jako poměrně kompaktní fosilní struktura s paralelně se střídajícími řadami tracheid a parenchymatických buněk dřevních paprsků. Ty jsou často tmavší než sousední tracheidy a v příčném řezu vytvářejí jakési linie a zvlňené pásy (obr. S.16.3).



Obr. S.16.3. Výbrus č. 16 (nahore): silně zprohýbané řady buněk sekundárního xylému. Dřevní paprsky jsou tmavěji probarveny než tracheidy a opticky se jeví jako oddělené pásy. Na snímku je pletivo přerušeno prasklinou, která vznikla mezi vrstvami buněk dřeva a sleduje jejich směr. Okraje praskliny včetně nejbližších buněk na styčných plochách jsou prosyceny oxidy železa a zbarveny dočerna.



Obr. S.16.4. Výbrus č. 16 (vpravo): transversální řez dřevem rodu *Dadoxylon* ENDL. Silicifikovaná hmota se na výbrusu jeví jako velice kompaktní zachovaný sekundární xylém hnědé barvy, který je místy zvlněný, a jen zřídka je porušen prasklinami či rekrystalizován mléčně bílým křemenem. V dolní polovině výbrusu klikatě prochází velká, tmavě lemovaná prasklina, která příčně přetíná řady tracheid a paprsků dřeva. Stejně tak tmavě lemovaný je i dolní okraj výbrusu. Velikost podložního skla je 5 x 2,7 cm.

Ve dřevě se neobjevují žádné zvláštní rekrystalizované struktury jako např. u vzorku č. 10 a 11. Zachované pletivo tohoto výbrusu představuje pouze sekundární xylém druhotně tloušťnoucí dřeviny, u kterého nenajdeme ani stopu po dutině, metaxylému či povrchové kůře. Pro přesné určení *dadoxylonového* dřeva je potřeba nábrusu tangenciálního či radiálního řezu. V tomto případě se na radiálních stěnách tracheid objevují náznaky dvojteček, uspořádaných v jedné řadě, jedná se tedy asi o dřevo primitivních konifer (*Voltziales*) (viz tab. E.1, obr. E.3, kap. 2.1.7), k přesnému určení by ale bylo potřeba pro srovnání více nábrusů z různých míst dřevního pletiva.

Dřevo je hnědě zbarvené a až na občasné defekty ve struktuře je silicifikováno mikrokrystalickým křemenem, který se v PM zobrazuje jako oranžově-šedivá drobnozrná mozaika (např. obr. S.16.6., S.16.12, S.16.14., S.16.17). Také jím prochází množství podlouhlých trhlin o různé velikosti i délce. Ta nejmarkantnější se nachází v dolní polovině výbrusu a sleduje vrstvy dřeva (obr. S.16.3, S.16.4). Je z obou stran tmavohnědě až černě lemována (obr. S.16.11, S.16.12) a její barva se shoduje s barvou nejbližšího okraje výbrusu (na obr. S.16.4 spodní hrana). Prasklina, včetně dolního okraje vzorku, je po krajích lemována oxidy železa a v jejím středu se nachází makrokrystalický křemen čiré barvy, který se při pozorování v polarizovaném světle jeví, v porovnání s jemnými zrnky mikrokrystalického křemene v okolním sekundárním xylému, poměrně masivní (obr. S.16.6, S.16.10, S.16.12). Poznáme ho podle výrazných interferenčních barev na rozhraní I. a II. řádu (oranžově žlutá, červeně oranžová, atd.), které jsou způsobeny velkou tloušťkou výbrusu cca 0,07 mm. Ve výbrusu se křemenné žíly nacházejí i na jiných místech, jako např. na dvojici obrázků S.16.7 a S.16.8, kde je navíc tato čirá žíla křemene opět doprovázena výraznou hnědou žilkou železitého pigmentu. Okolní pletivo sekundárního xylému je silně rekrystalizované a šedě zbarvené v OM i PM. Tam, kde jsou při hranách a okrajích velkých prasklin

nahromaděné oxidy železa (někdy s nepatrnou příměsí titanu; viz analýza EDX níže), jsou i buňky okolní pletiva prosyceny železem, a to tak silně, že se na některých místech jejich buněčné stěny (obr. S.16.5, S.16.11) či někdy i vnitřky buněk jeví úplně černé (obr. S.16.9, S.16.10).



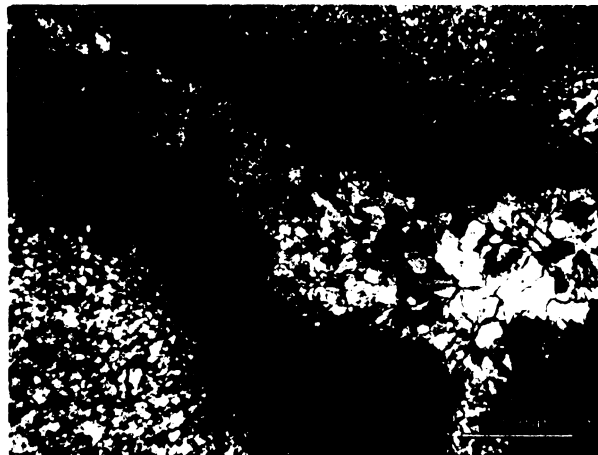
Obr. S.16.5. Výbrus č. 16 - OM: řady buněk sekundárního xylému porušené širokou tmavě lemovanou prasklinou (oxidy železa), která je zčásti vyplněna makrokrytalickým křemenem číré barvy. Nejbližší řady buněk jsou též prosyceny železem; transversální řez.



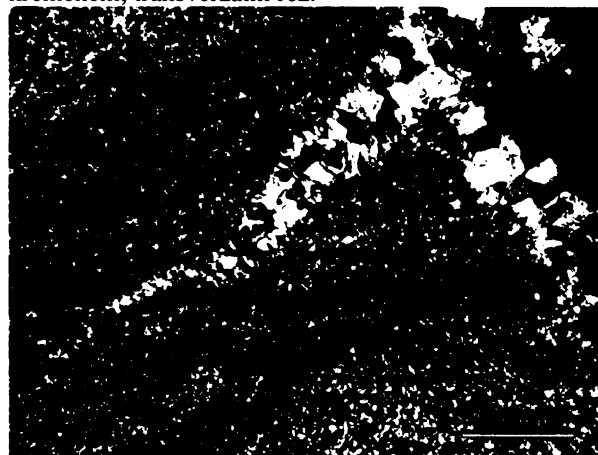
Obr. S.16.7. Výbrus č. 16 - OM: sekundární xylém silně narušený rekrystalizací, nařadnými řadami buněk prochází žilka mléčného křemene, a hned pod ní žilka železitého pigmentu; transversální řez.



Obr. S.16.9. Výbrus č. 16 - OM: sekundární xylém na kontaktu s prasklinou, vnitřky buněk a místy i buněčné stěny jsou silně kontaminovány oxidy železa (černé); transversální řez.



Obr. S.16.6. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo, buňky sekundárního xylému perminalizuje mikrokrystalický křemen, prasklinu v jejím středu vyplňuje makrokrytalickým mozaikovitým křemenem; transversální řez.



Obr. S.16.8. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo, dobře rozeznatelné krystaly makrokrytalického mozaikovitého křemene, železitý pigment zůstává v polarizovaném světle hnědý; transversální řez.



Obr. S.16.10. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo, makrokrytalický křemen v centru praskliny je při dolním okraji snímku, při horním okraji se nachází silně rekrystalizované buňky dřeva.



Obr. S.16.11. Výbrus č. 16 - OM: čtyřcípá prasklina s největší akumulací železitých oxidů ve výbrusu (při měření uvedeném níže – Bod 1), kolem sekundárního xylému; transverzální řez.



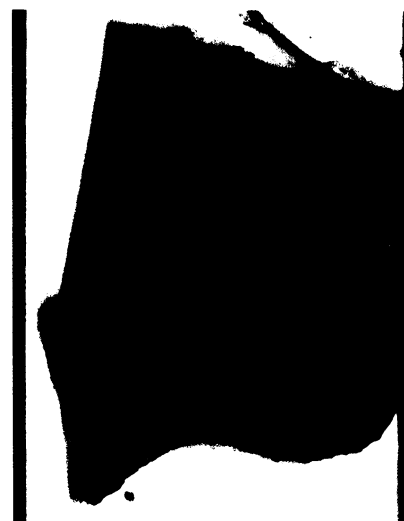
Obr. S.16.12. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo, snadné porovnání makrokystalického křemene v centru praskliny versus mikrokystalický křemen v buňkách sekundárního xylému (okolo).

KATODOLUMINISCENCE: V souladu s velice homogenní strukturou sekundárního xylému, která převažuje v celém výbrusu, se také objevuje poměrně jednoduchá CL této jednoduté fosilní hmoty. Silicifikované pletivo dřeva vyzařuje krátce-žijící modrou luminiscenci, která po cca 15 s přechází v dlouhodobou červenou CL. Podobně jako u vzorku č. 6 se i zde jednotlivé anatomické znaky dřeva a morfologie buněk lépe zobrazují v krátce-žijící modré CL a v červené již nejsou tak dobře patrné. Materiál v oblasti velkých trhlin neměl luminiscenci, což pravděpodobně souvisí s akumulací masivního hematitu, který luminiscenci nemá (Marek 2004) nebo je ve hmotě přítomné Fe^{2+} , které působí jako tzv. *quencher* a výrazně tlumí CL (viz kap. 2.3.2). Na následující stránce jsou zobrazeny dvě trojice fotografií sekundárního xylému, a to v OM, PM a následně v CL barvách (viz obr. S.16.13 až S.16.18 na další straně). Komentáře k fotografiím jsou uvedeny u obrázků.

EDX (ÚACH): Ve výbrusu č. 16 jsou z hlediska chemické analýzy nejzajímavější dvě široké příčné praskliny, které jeví při zobrazení SEM detektorem RBS vysoký chemický kontrast. Výsledky EDX v tomto případě odhalily v okolí trhlin impregnaci oxidy železa a v jednom případě zjistily minerální složení zrn při povrchu vzorku. Lokalizace vybraných analyzovaných oblastí je uvedena na obr. S.16.19. Z provedených analýz v oblasti 1 (body 1.1 a 1.2 v tabulce S.16.1 a zároveň *mapping* vybraných prvků) situované v nejdlejší prasklině napříč výbrusem bylo zjištěno, že je lemována oxidy železa, spolu s oxidy železa detekována i nepatrná příměs titanu (obr. S.16.21).

EDX ○
(ÚACH)

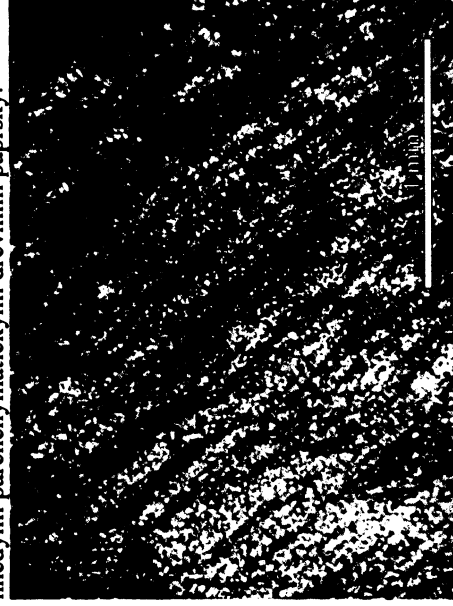
CL ○



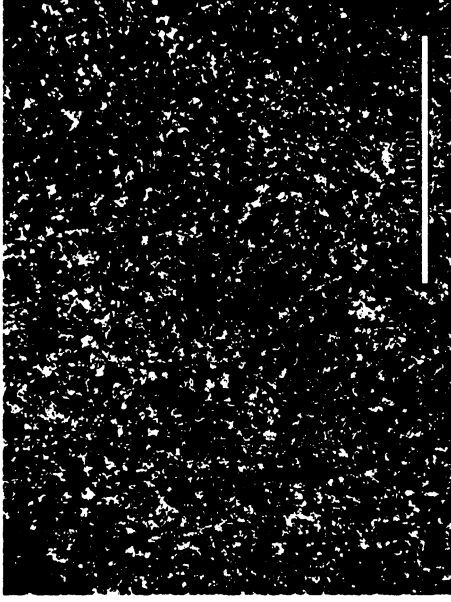
Obr. S.16.19. Výbrus č. 16: lokalizace vybraných oblastí měřených jednotlivými metodami.



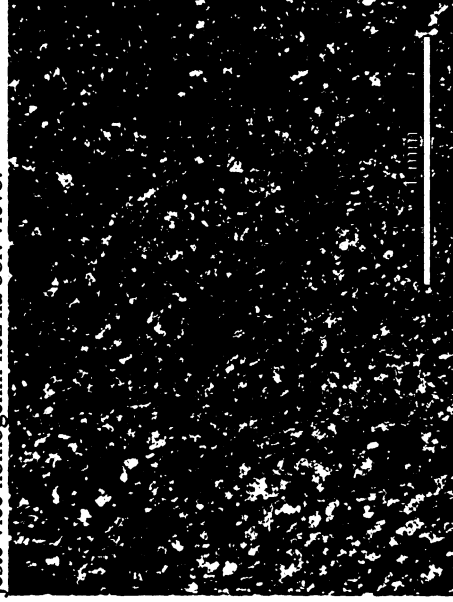
Obr. S.16.13. Výbrus č. 16 - OM: transverzální řez mírně prohnutými řadami tracheid sekundárního xylému (světle hnědé), které jsou lemovány tmavě hnědými parenchymatickými dřevními paprsky.



Obr. S.16.16. Výbrus č. 16 - OM: transverzální řez sekundárním xylémem podobně jako na obr. S.16.13, ale z jiného místa ve výbrusu. Řady dřeva jsou výrazně zprohýbané, paprsky se jeví opět tmavší a jsou zbarveny oxidy Fe.



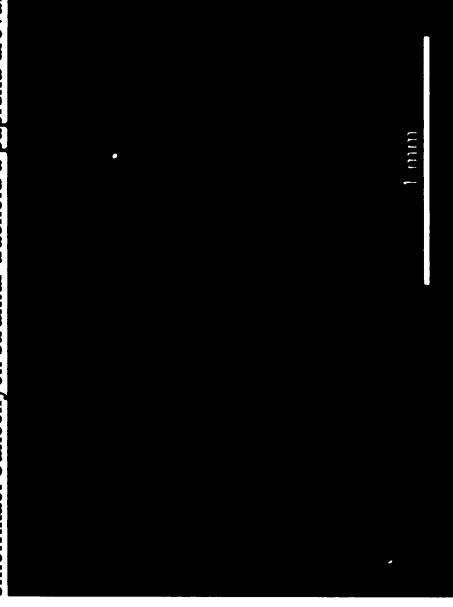
Obr. S.16.14. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Veškerou hmotu buněk vyplňuje mikrokrytalický křemen. Struktura dřeva se tak jeví ještě více homogenní než na obr. vlevo.



Obr. S.16.17. Výbrus č. 16 - PM: popis snímku jako na obr. vlevo a nahofé. Ve zkřížených nikolech se jednotlivé linie dřeva téměř ztrácí, převažuje pouze obraz jemných krystalů mikrokrytalického křemene. Vysoké interferenční barvy způsobila tloušťka výbrusu.



Obr. S.16.15. Výbrus č. 16 - CL: popis snímku jako na obrázcích vlevo. Jednotlivé odstíny dlouhodobě červené CL barvy jsou způsobeny jemnými rozdíly při silicifikaci buněčných struktur tracheid a paprsků dřeva.

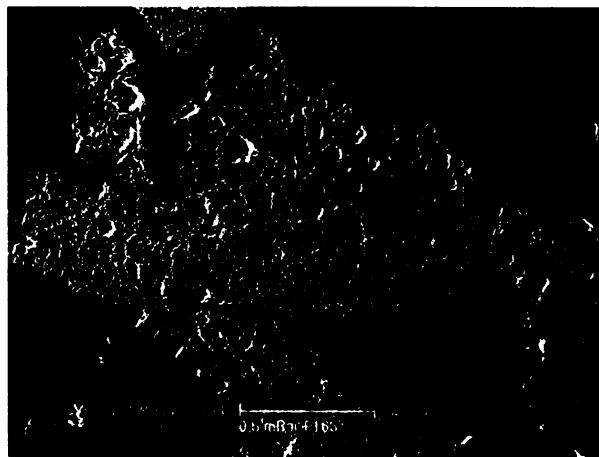


Obr. S.16.18. Výbrus č. 16 - CL: popis snímku jako na obrázcích vlevo. V levé polovině snímku je zachycena krátce-žijící modrá CL, která zobrazuje morfologii struktur mnohem lépe. Žlutá svítivá zrnka jsou zbytky diamantového leštidla.

Podobné výsledky byly získány i z pravého tmavého okraje výbrusu, tak jak ho vidíme na obr. S.16.19, str. 147). Ve vybrané 3. oblasti při pravém okraji výbrusu byly analýzou zjištěny jílové minerály. Mimo tato výše zmíněná měření bylo zhotoveno také několik bodových analýz v uniformní silicifikované hmotě sekundárního xylému. Všechny potvrdily, že hlavní složku hmoty tvoří SiO_2 s příměsí železitého pigmentu, který zbarvuje dřevo dohněda. Výsledky prvkové analýzy jednotlivých bodů jsou uvedeny v tabulce (tab. S.16.1), a to v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%).



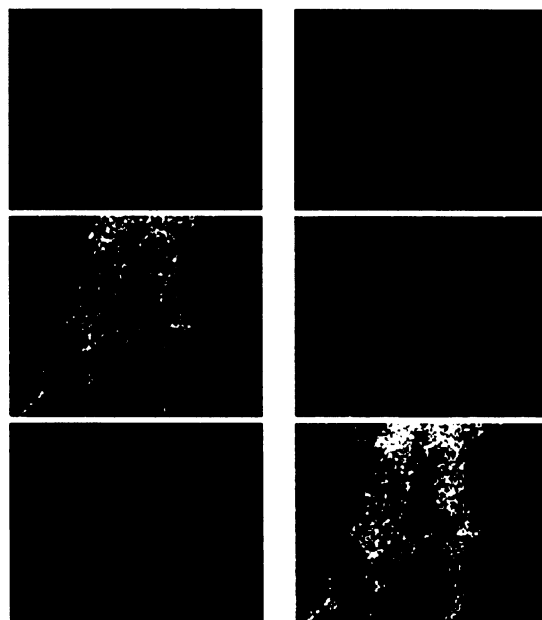
Obr. S.16.20. Výbrus č. 16 – SEM/EDX - oblast 1: zobrazení chemického kontrastu oxidů železa ve velké trhlině detektorem RBS, některé nejbližší buňky byly nasyceny Fe akumulujícím se v prasklině, výsledky analýz dvou bodových měření v bodu 1.1 a 1.2 (na snímku v bílé oblasti) jsou uvedeny v tabulce S.16.1, výsledky rychlého *mappingu* v tabulce S.16.2.



Obr. S.16.21. Výbrus č. 16 – SEM/EDX – oblast 2: zobrazení chemického kontrastu oxidů železa s příměsí titanu v černé trhlině při dolním okraji výbrusu detektorem RBS; výsledky analýzy oblasti 2 v tabulce dole (tab. S.16.1).

EDX	Bod 1.1	Bod 1.2	Oblast 2	Oblast 3
C	4.46	5.02	6.76	23.48
O	57.05	49.66	52.83	45.07
Si	13.37	9.72	4.99	12.13
Al	-	-	-	3.80
Fe	25.13	35.60	35.10	14.02
Ti	-	-	0.31	0.23
K	-	-	-	0.66
Mg	-	-	-	0.39
Mn	-	-	-	0.23

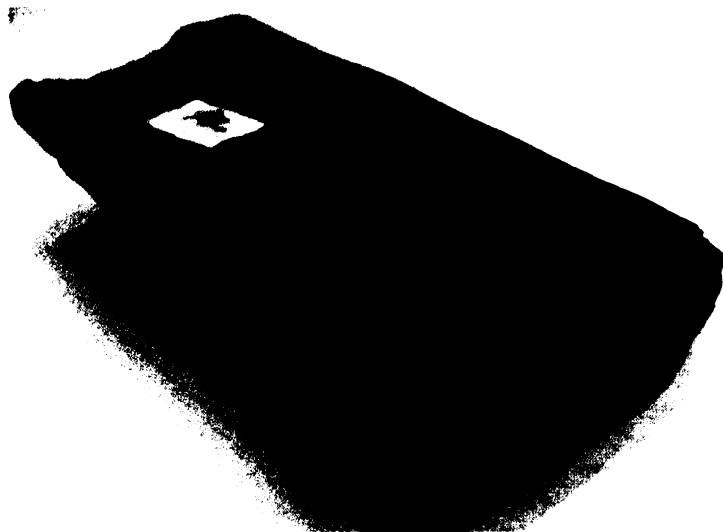
Interpre- tace	<i>oxidy Fe</i>	<i>oxidy Fe</i>	<i>oxidy Fe</i>	<i>oxidy Fe s příměsí jílových minerálů</i>
-------------------	-----------------	-----------------	-----------------	---



Tab. S.16.1. Výsledky bodových měření EDX v oblastech 1 až 3 a rychlý *mapping* vybraných prvků v oblasti 1 (vpravo).

Jak plyne z *mappingu* (tab. S.16.1) vnitřek dutiny se buď vydrolil při přípravě výbrusu nebo dutina nebyla oxidy Fe zcela vyplněna. „Dno“ trhliny na obr. S.16.20 má při *mappingu* signál C, což může být lepidlo, kterým je výbrus připevněn k podložnímu sklu.

17

Dadoxylon ENDL. (*Dadoxylon* sp., ?Voztiales)♣ Typ *DADOXYLON* /EObr. S.17.1. Vzorek č. 17, *Dadoxylon* sp.Obr. S.17.2. Vzorek č. 17, *Dadoxylon* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.17.1)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	32033	<i>Velikost [mm]</i>	35 x 59 x 120	<i>Lokalita</i>	Nová Paka	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Silicifikovaný špalíček dadoxylonového dřeva s kompaktní strukturou jen místy přerušenou jemnými trhlinami; velmi zploštělý, poměrně dobře zachovalý kmínek, na povrchu je mírně vroubkovaný, povrch je velmi dobře zachovaný						
<i>Tvar</i>	Obdélníkový průřez						
<i>Zbarvení</i>	Tmavé, načernalé						
<i>Řez</i>	Transverzální			<i>Výbrus</i>	Cca z jedné poloviny průřezu		

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 17 (obr. S.17.1, S.17.2) se na první pohled jeví jako velice kompaktní kus kmene silicifikovaného dřeva dadoxylonového typu. Hmota je velmi homogenní, nenacházejí se v ní žádné příměsi či zbytky okolního sedimentu, pouze je uniformní hmota v některých místech napříč přetrhána prasklinami. Vzorek je probarven oxidy železa do různých hnědých odstínů. Při mikroskopickém studiu výbrusu (obr. S.17.3) je velmi dobře patrná rekrystalizace dřevního pletiva, které je často roztrháno do nepravidelné mozaiky zachovaných segmentů (obr. S.17.5). Tento jev je vidět v blízkosti zlomových ploch prasklin, které jsou nepravidelně uspořádané v celém výbrusu. Tam, kde je původní průběh sekundárního xylému dostatečně zachován, můžeme pozorovat velmi dlouhé paprsky, které jsou spíše typické pro rod *Arthropitys* (obr. S.17.4). Tracheidové buňky jsou nestejně veliké, což je ve dřevě znak netypický a můžeme ho opět přisoudit deformaci díky silné rekrystalizaci.

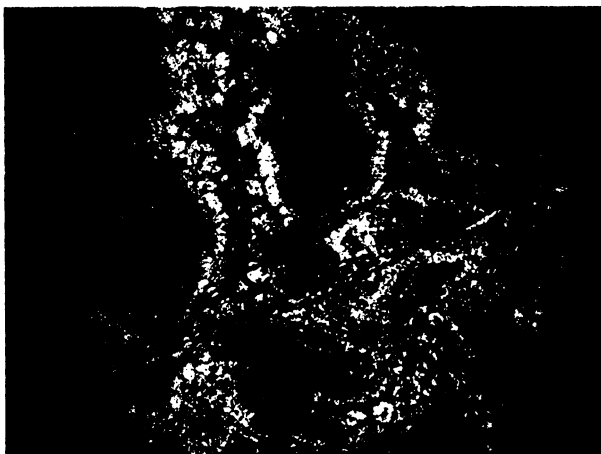


Obr. S.17.3. Výbrus č. 17: transverzální řez sekundárním xylémem rodu *Dadoxylon* ENDL. Pouhým okem lze pozorovat zvlněné řady dřeva, nepravidelně zbarvené různými odstíny hnědé, místy je dřevo napříč průběhu paprsků potřhané prasklinami. Vzorek je místy silně postižen rekrytalizací. Velikost podložního skla 4,8 x 2,8 cm.

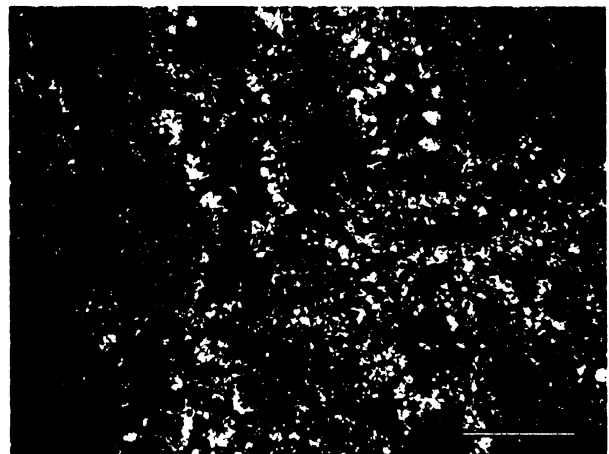
Obr. S.17.4. Detail průběhu řad tracheid, které jsou lemovány poměrně dlouhými paprsky. V dolní části snímku je patrná silná rekrytalizace a poškození struktury pletiva. Tracheidy jsou variabilní velikosti. Transverzální řez.



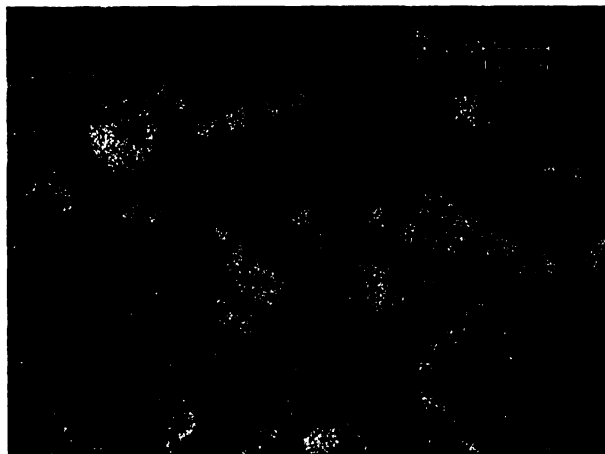
Přiskyřičné kanálky se ve výbrusu nevyskytují. Z nábrusu tangenciálního řezu se zdá, že tracheidy jsou ztlustlé dvojtečkami uspořádanými v jedné řadě. Jedná se tedy asi o dřevo patřící zástupci primitivních konifer (kap. 2.1.7). Při pozorování ve zkřížených nikolech (XPL; PM) vidíme, že buněčné stěny a někde i vnitřky zachovaných buněk sekundárního xylému jsou permineralizované mikrokrystalickým křemenem (na snímcích šedivý). Jedna buňka je přitom vždy tvořena více krystaly křemene, tudíž se jedná o texturu polyblastického typu (kap. 2.3.4). Zbytek SiO_2 hmoty ale často tvoří makrokrystalický křemen o různé velikosti krystalů (obr. S.17.6, S.17.9, S.17.11), které mají opět díky tlustému výbrusu cca 0,07 mm vysoké interferenční barvy (oranžová, červená, fialová, modrá). Nejvíce se vyskytuje podél trhlin a v rekrytalizovaných oblastech. Místy se nacházejí druhotné struktury ohraničené makrokrystalickým křemenem (obr. S.17.7), v jejichž centru se nachází idiomorfni krystaly (obr. S.17.8). Tmavý pigment (Fe_xO_y) je přítomen v ploše celého výbrusu a bývá v některých místech nahloučen v několika sousedních buňkách tracheid dřeva (obr. S.17.5).



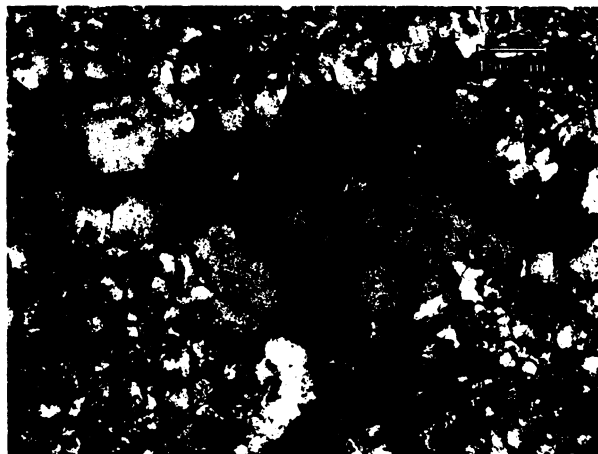
Obr. S.17.5. Výbrus č. 17 – OM: sekundární xylém dadoxylonového typu, silně porušený rekrytalizací. Pigmentované dřevo je roztrháno na samostatné segmenty, které jsou často ukloněny v blízkosti zlomových ploch až o desítky stupňů; transverzální řez.



Obr. S.17.6. Výbrus č. 17 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Dřevo je tvořeno mikrokrystalickým křemenem, v rekrytalizovaných úsecích převažují různé veliké krystaly makrokrystalického křemene (vysoké interferenční barvy); transverzální řez.



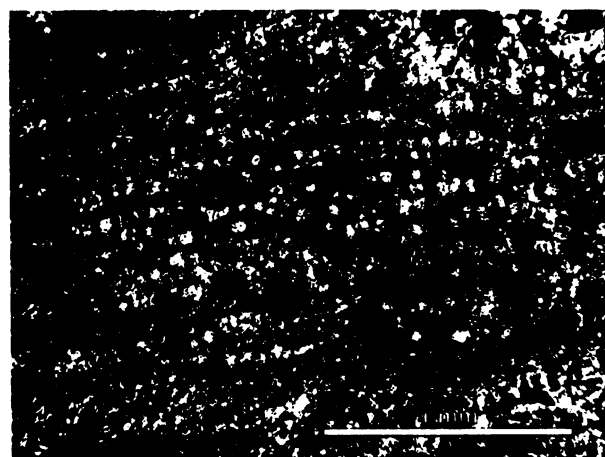
Obr. S.17.7. Výbrus č. 17 – OM: rekrystalizovaný úsek ve struktuře sekundárního xylému, jehož průběh byl nenávratně porušen. V centru oblasti se nacházejí idiomorfní krystaly; transverzální řez.



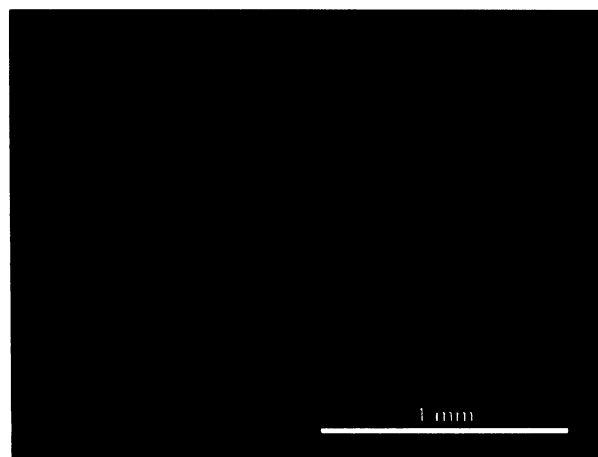
Obr. S.17.8. Výbrus č. 17 – PM: popis snímku jako na obr. vlevo. Rekrystalizovanou strukturu lemují krystaly makrokystalického křemene, ve zkřížených nikolech s vysokými interferenčními barvami.

XRD (PřF UK): Pomocí rentgenové práškové difrakce byl ve vzorku identifikován jen křemen.

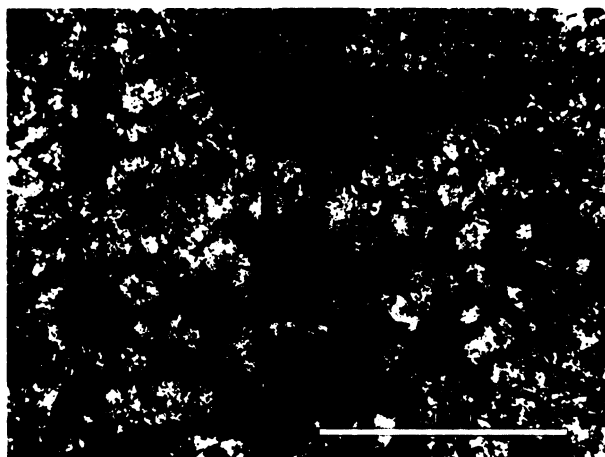
KATODOLUMINISCENCE: CL je v celém výbrusu poměrně uniformní a má celkově červenofialový nádech. V závislosti na tvaru a typu krystalů SiO_2 má hmota ve výbrusu odlišnou CL. Červenou CL emituje mikrokrystalický křemen v buněčných stěnách a uvnitř buněk sekundárního xylému. Hnědofialovou má makrokystalický křemen, který se vyskytuje podél trhlin a v rekrystalizovaných úsecích, ve kterých se ale také objevuje modrá CL (obr. S.17.10, S.17.12). V místech, kde jsou nahloučeny oxidy železa (Fe^{3+}) se v CL objevují tmavě karmínové skvrny.



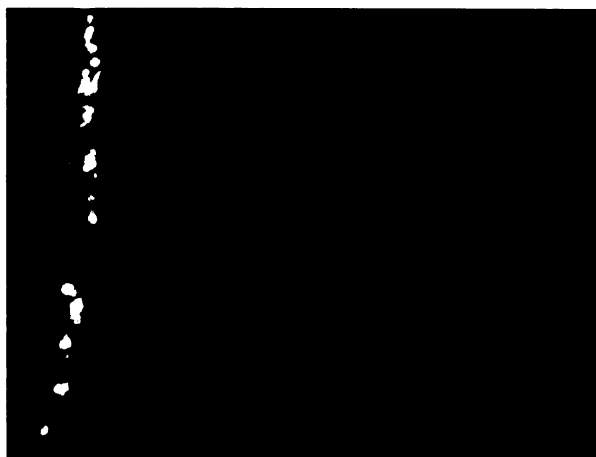
Obr. S.17.9. Výbrus č. 17 – PM: transverzální řez rekrystalizovaným sekundárním xylémem. Tracheidy a paprsky zachovaných dřevních buněk jsou mineralizovány mikrokrystalickým křemenem, v tracheidách jsou často nahloučeny oxidy Fe.



Obr. S.17.10. Výbrus č. 17 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo. Červená CL mikrokrystalického křemene, se prolíná s modrofialovou CL a dává celému snímku červenofialový nádech, tmavě karmínové skvrny jsou oxidy železa; transverzální řez.



Obr. S.17.11. Výbrus č. 17 – PM: kolmo na prasklinu (tmavá svislá rozdvojená linie táhnoucí se podél levé hrany snímku) se rozkládá silně rekrystalizovaný úsek, který nenávratně porušil strukturu dřeva. Tvoří ho zejména makrokrytalický křemen; transversální řez.



Obr. S.17.12. Výbrus č. 17 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo. Mikrokrystalický křemen v tracheidách dřeva má červenou CL, makrokrytalický křemenem hnědofialovou. Modrá CL zvýrazňuje rekrystalizovanou oblast. Drobná žlutá svítivá zrnka v prasklině jsou zbytky diamantového leštidla, také prosvítá podložní sklo (tyrkysová); transversální řez.

EDX (ÚACH): Bodová analýza napříč vzorkem v celém výbrusu dokázala pouze přítomnost SiO_2 hmoty s příměsí Fe, které zbarvuje dřevo do různých odstínů hnědé. Výbrus je chemicky velice homogenní, nebyly nalezeny žádné zbytky sedimentu či jiných cizorodých minerálních příměsí. Výsledky průměrných analýz EDX z vybraných oblastí 1 a 2 jsou uvedeny v tabulce S.17.1, a to v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%).

Prvek	Oblast 1	Oblast 2
C	10,87	7,26
O	53,67	54,75
Si	24,45	37,99
Fe	3,06	-
Ti	0,26	-
Al	6,29	-
Mg	0,51	-
Ca	0,21	-
K	0,48	-
Cl	0,21	-
Interpretace	<i>hlinitokřemičitan či směs více fází</i>	<i>křemen</i>

Tab. S.17.1. Výsledky průměrné prvkové analýzy v oblastech 1 a 2 metodou EDX.

EDX ○
(ÚACH)

CL ○



Obr. S.17.13. Lokalizace vybraných oblastí měřených jednotlivými metodami.

18***Arthropitys* GOEPP.** (?*Arthropitys* sp.)**♣ Typ *ARTHROPITYS* /B**Obr. S.18.1. Vzorek č. 18, *Arthropitys* sp.**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.18.1)

<i>Inventární číslo vzorku</i>	3/41 2108.B	<i>Velikost [mm]</i>	35 x 42 x 28	<i>Lokalita</i>	Kozinec u Jilemnice	<i>Pánev</i>	PKP
<i>Popis</i>	Drobný kalcifikovaný stonek přesličky o průměru 1,5 cm s velmi rekrystalizovanou radiální stavbou, obalený odlišnými vrstvami kalcitu, celek má stromatolitickou strukturu						
<i>Tvar</i>	Přibližně válcovitý s koncentrickou heterogenní strukturou						
<i>Zbarvení</i>	Šedé v různých odstínech, kolem přesličky (uprostřed) je světlešedý límec, u okraje vzorku a v dutinách narezlé						
<i>Řez</i>	Transverzální		<i>Výbrus</i>	Na výbrusu celý průřez stonku			

MIKROSKOPICKÝ POPIS VÝBRUSU A TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

OM, PM: Vzorek č. 18 (obr. S.18.1) byl nejprve považován za silicifikovanou přesličkovitou rostlinu rodu *Arthropitys*, a to zejména díky jeho koncentrické stavbě. Na štítku z Národního muzea nebylo jméno taxonu uvedeno. Permineralizovaný materiál (obr. S.18.2) má sice koncentrickou stavbu přesně tak, jak je pro kalamity typické (viz obr. B.2), dlouho však nebylo jasné, co jsou reliktové pletivo a co jsou jejich rekrystalizované či zcela nahrazené části, neboť vzorek jako celek se pod mikroskopem jevil značně odlišně od popisovaných anatomických znaků kalamitů uváděných Němejcem (1963) či Dernbachem et al. (2002). Jelikož je vzorek velice heterogenní a svým obsahem zajímavý, byl podroben detailní analýze (viz níže) a výsledky byly neočekávané. Ukázalo se, že jde nejspíš o kalcitovou konkreci, možná o stromatolitickou strukturu, v jejíž nepravidelných, koncentricky uspořádaných vrstvách a mezivrstvách

je uzavřena spousta klastického materiálu (obr. S.18.8, S.18.16). Valero Garcés et al. (1997) se zmiňuje o stromatolitech a onkolitech v jezerech Apalačské pánve (USA) ve středním pennsylvanu, a Gand et al. (1993) v jezerních faciích v pánvi Blanzý-Le Creusot (Francie) ze saxonu, čili z podobného prostředí.

Při podrobnějším mikroskopickém studiu, konzultacemi s R. Rößlerem (Museum für Naturkunde v Chemnitz), a dále po provedení instrumentálních analýz bylo zjištěno, že stoněk přesličkovité rostliny o průměru cca 1,5 cm tvoří jen střed konkrce. Tedy asi vlastně „krystalizační“ jádro celé struktury. Je rozpoznatelný pouze podle zachovaných reliktnů kalcifikovaného sekundárního xylému (obr. S.18.4, S.18.5, S.18.14), který je tvořen řadami tracheid a paprsků. Z nábrusu ale dřevo nebylo určitelné.

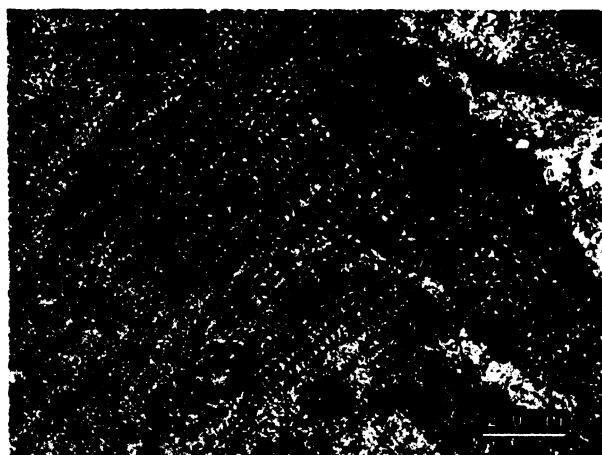


Obr. S.18.2. Výbrus č. 18 (vpravo nahore): výrazně koncentrická heterogenní struktura na transverzálním řezu na první pohled připomíná stoněk přesličky, ten je však ukryt pouze v jejím centru (vnitřní dvouvrstevný kroužek z obou stran hnědě lemovaný; uvnitř červené elipsy). Okolní materiál tvoří zhruba radiálně uspořádané vrstvy kalcitu, které v sobě uzavírají značné množství klastického materiálu a obsahují minerální inkluze. Velikost podložního skla 4,8 x 2,8 cm.

Poněkud hůře čitelné se zdají karinální kanály. Centrální dutina přesličky chybí a byla nahrazena převážně hypidiomorfními kalcitovými krystaly, jež jsou velmi dobře patrné zejména v okolních vrstvách (obr. S.18.10 až S.18.15). V kalcitových zrnech byly na některých místech také nalezeny minerální inkluze. Makroskopicky šedivý vzorek se při mikroskopickém pozorování jeví nahnědlý s čirou vrstvou kalcitu okolo přesličky a jemně zakalenou centrální dutinou uvnitř stonku. Vnitřní obal vnější kalcitové vrstvy se v jednom místě odlupuje směrem do centra vzorku (obr. S.18.2). Ve vnější obalové vrstvě jsou místy tmavě rezavé skvrny a mnoho jemnějších bochníkovitých a lalokovitých struktur s koncentrickou stavbou (obr. S.18.8). Je také možné, že kalcifikace toto vzorku je druhotná, což ale v přírodních podmínkách nastává velice zřídka. Spíše by se mohlo jednat o stromatolitickou organosedimentární

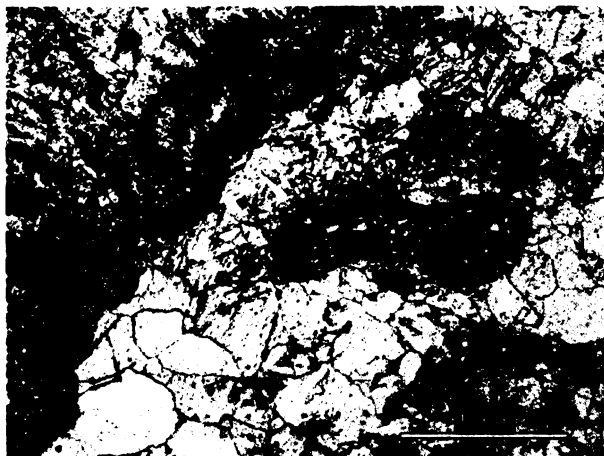


Obr. S.18.4. Výbrus č. 18 – OM: zachované řady buněk sekundárního xylému ve vnitřní části vzorku, uprostřed narušené rekrystalizací. Ve vzniklé dutině jsou přítomny minerální inkluze. Napravo kalcitová zrna vyplňující centrální dutinu; transverzální řez.

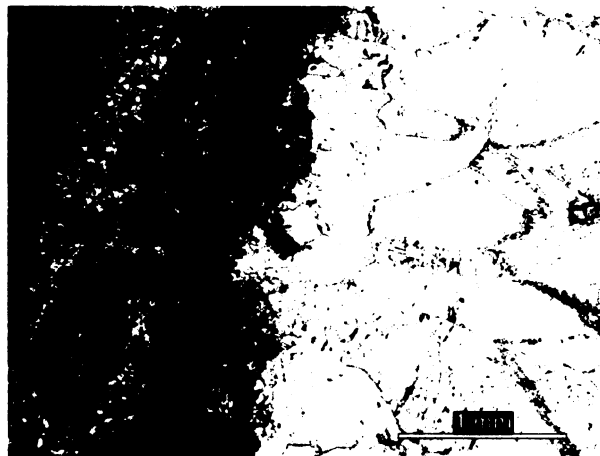


Obr. S.18.5. Výbrus č. 18 – OM: řady tracheid a paprsků sekundárního xylému z vnější vrstvy zachovaného stonku přesličky; transverzální řez.

strukturu koncentrické stavby, tzv. algolit, o jehož vznik se přičinily sinice (Cyanophyta) (Ivanov et al. 2001). Tato úvaha je slučitelná i s výsledky měření EDX, které potvrdily vysoké procento mědi, a dále potom železo ve vzorku (viz níže).



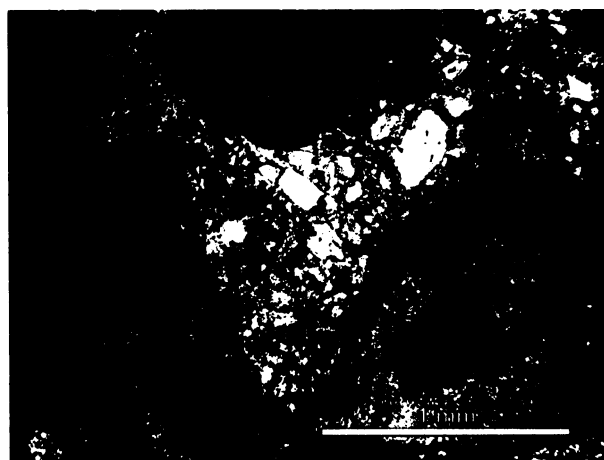
Obr. S.18.6. Výbrus č. 18 – OM: rozhraní centrální dutiny stonku přesličky a oblasti karinálních kanálů s metaxylémem a relikty vyběhajícího sekundárního xylému (v levé části snímku), uprostřed a vpravo centrální dutina vyplněná hypidiomorfními kalcitovými zrnky uzavírajícími detrit; transverzální řez.



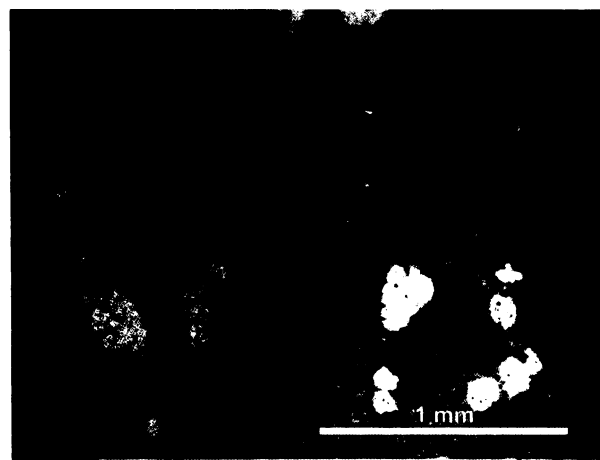
Obr. S.18.7. Výbrus č. 18 – OM: rozhraní čiré (vlevo) a tmavě hrubě laločnaté kalcitové vrstvy (vlevo) v horní polovině výbrusu. Napravo je vidět hypidiomorfně omezené čiré krystaly kalcitu; transverzální řez.

XRD (ÚACH): Rentgenovou difrakcí bylo detekováno 2% křemene a 98% kalcitu s mřížkovými parametry $a=4,98 \text{ \AA}$ a $c=17,03 \text{ \AA}$, které svědčí o žádné nebo jen velmi nízké substituci Ca. Vzorek byl tedy kvalifikován jako kalcifikovaný.

KATODOLUMINISCENCE: Ve výbrusu zcela převažuje typická oranžová CL kalcitu (srov. s výbrusem č. 7). Ta má v tomto případě širokou škálu odstínů, které podrobně zobrazují zonalitu jednotlivých kalcitových krystalů. Krystaly mají převážně hypidiomorfní tvar (obr. S.18.10, S.18.11, S.18.12, S.18.13), což svědčí pro volnou krystalizaci z roztoku. Zachovaná tkáň sekundárního xylému uprostřed výbrusu je taktéž kalcifikována a opět luminiskuje oranžově (obr. S.18.15). Pomocí CL lze



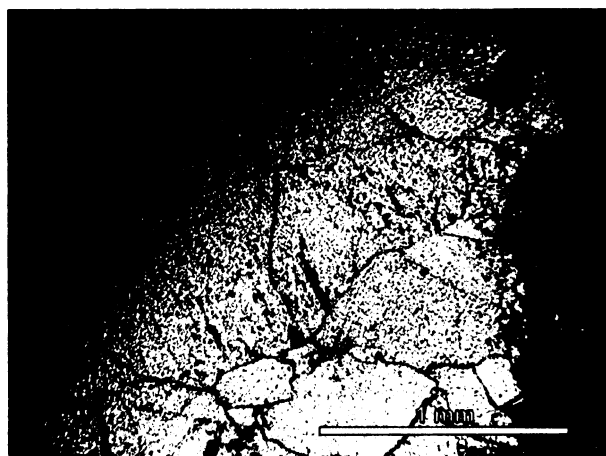
Obr. S.18.8. Výbrus č. 18 – OM: heterogenní detritický materiál uzavřený v prohlubni mezi lalokovitými a bochníkovitými strukturami; transverzální řez.



Obr. S.18.9. Výbrus č. 18 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo. V detritickém materiálu jsou patrné K-živce (modrá CL) a plagioklasy (zelená CL), v karbonátových lalokovitých útvarech se objevuje zonalita (světlé oranžové skvrny); transverzální řez.

velice snadno pozorovat struktury buněčných stěn a taktéž světleji oranžové přírůstkové linie, které z nich vycházejí směrem dovnitř stonku (obr. S.18.15). Cizorodé výplně detritickým materiálem jsou snadno lokalizovatelné, neboť mají tmavší odstín oranžové CL a odlišně v nich luminiscují minerální zrna o jiném než kalcitovém složení, jako např. plagioklasy (zelená CL) či draselné žilce (modrá CL) (viz obr. S.18.9, S.18.17). Některá zrna jsou tmavá a nevykazují žádnou CL. Základní hmota je složená z kalcitu (také oranžová CL, ale tmavší), jak potvrdila i analýza pomocí EDX (viz níže).

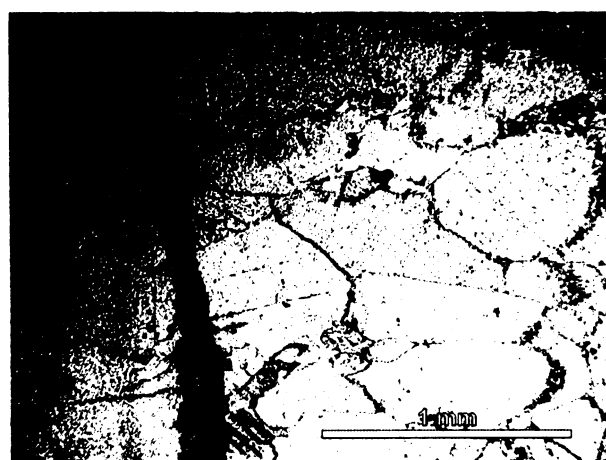
Jelikož je oranžová CL kalcitu velice silná, přebíjí slabší luminiscenci jiných minerálů, tudíž naše představa o cizorodém materiálu s odlišnou CL může být poměrně zkreslená a je tedy vhodné použít jiné metody na stanovení jejich prvkového složení. Na některých kalcitových zrnech je velice dobře patrná zonalita (obr. S.18.11, S.18.13), která svědčí o postupných změnách složení matečného minerálního roztoku. Uvnitř kalcitových poloh lze najít i fluidní inkluze, které by si zasloužily podrobnější studium v budoucnosti. Mohly by více vypovědět o teplotních a tlakových podmínkách, které panovaly při průběhu kalcifikace.



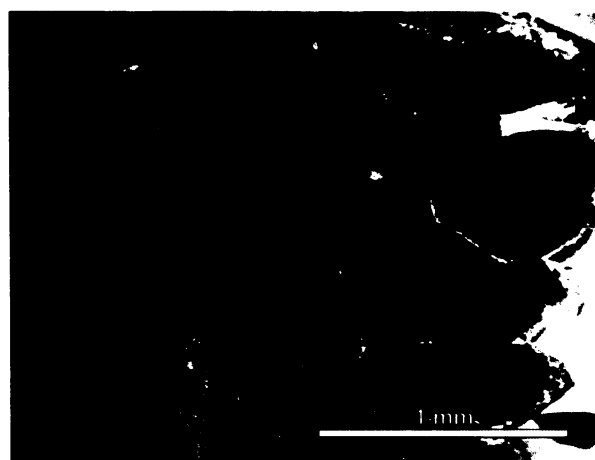
Obr. S.18.10. Výbrus č. 18 – OM: velké hypidiomorfní krystaly kalcitu vyplňující střední část konkrce; transverzální řez.



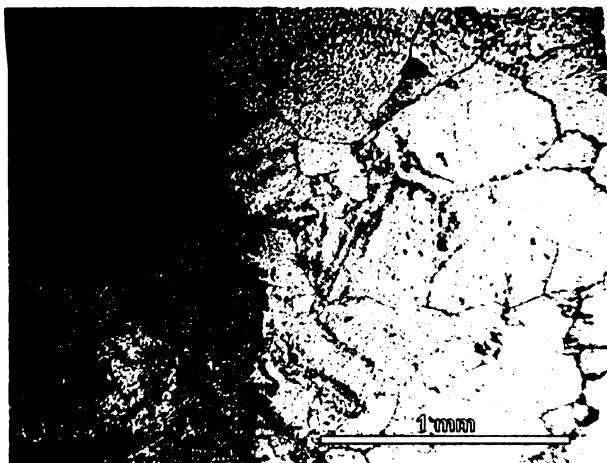
Obr. S.18.11. Výbrus č. 18 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo, typická oranžová CL karbonátových krystalů, na kterých je patrná výrazná zonalita; transverzální řez.



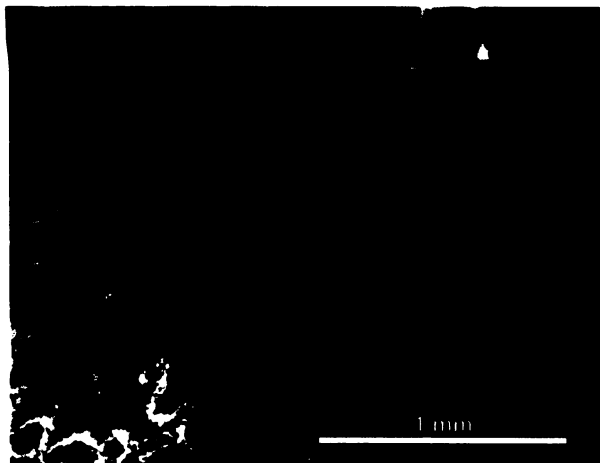
Obr. S.18.12. Výbrus č. 18 – OM: popis snímku jako na obr. S.18.10, oblast čirých karbonátových zrn, mezi kterými je vymezená tmavě pigmentovaná karbonátová vrstva; transverzální řez.



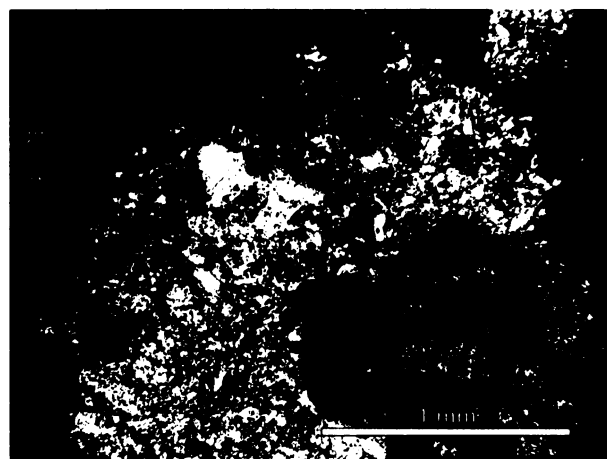
Obr. S.18.13. Výbrus č. 18 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo. Vymezený pásek karbonátu má úplně jiný odstín oranžové barvy, což ukazuje na jeho odlišnou genezi; transverzální řez.



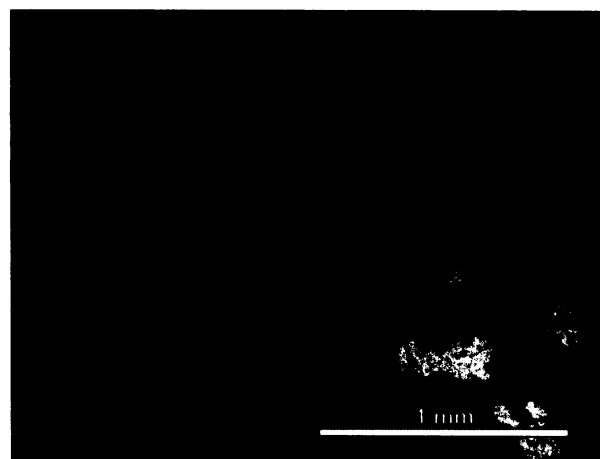
Obr. S.18.14. Výbrus č. 18 – OM: rozhraní zachovaného pletiva vnějšího sekundárního xylému přesličky (na snímku vlevo) a hypidiomorfních krystalů kalcitu (vpravo), obě vrstvy mají poměrně jasnou hranici; transverzální řez.



Obr. S.18.15. Výbrus č. 18 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo, odlišné odstíny oranžové luminescence vyjadřují postupnou genezi krystalů a zonalitu jednotlivých struktur; transverzální řez.



Obr. S.18.16. Výbrus č. 18 – OM: detritický heterogenní materiál uzavřený mezi lalokovitými výrůstky koncentricky uspořádaného karbonátu (podobné foto na obr. S.18.8); transverzální řez.



Obr. S.18.17. Výbrus č. 18 – CL: v prohlubních mezi karbonátovými lalokovitými útvary s patrnou zonalitou (světle oranžové skvrny) se hojně nachází detritický materiál spojený karbonátovým tmelem, jsou v něm patrné K-živce (modrá CL) a plagioklasy (zelená CL). (podobné foto na obr. S.18.9); transverzální řez.

EDX (ÚACH): Ve výbrusu bylo nalezeno mnoho detritického heterogenního materiálu, a to zejména v prohlubních mezi lalokovitými strukturami při vnějším okraji karbonátové struktury. Jde patrně o chlorit, biotit, jílové minerály, křemeny, ortoklasy i plagioklasy, a také minerály mědi (viz tab. S.18.1, S.18.3). Byly provedeny analýzy v osmi oblastech A až H (viz obr. S.18.18) V oblasti A bylo analyzováno 11 bodů, v oblasti B 10 bodů, v oblasti C 5 bodů, v oblasti D, E, F, G po jednom bodu a v oblasti H 2 body. Výsledky prvkové analýzy jednotlivých bodů, včetně SEM fotografií zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS oblastí A a B jsou shrnuty v tabulkách. S.18.1, S.18.2, S.18.3 a S.18.4, a to v atomárních procentech (od C výše; normalizováno na 100%). Výsledky EDX zde umožňují odhadnout složení jednotlivých detritických součástí výbrusu, ať už jde o základní hmotu, cizorodá minerální zrna či přítomnost kovů.

Akumulace mědi ve vzorku působí na první pohled jako kontaminace, ale ukázalo se, že nejde o neobvyklý artefakt. Zejména v severní části PKP se totiž vyskytuje několik míst s Cu zrudněním, včetně

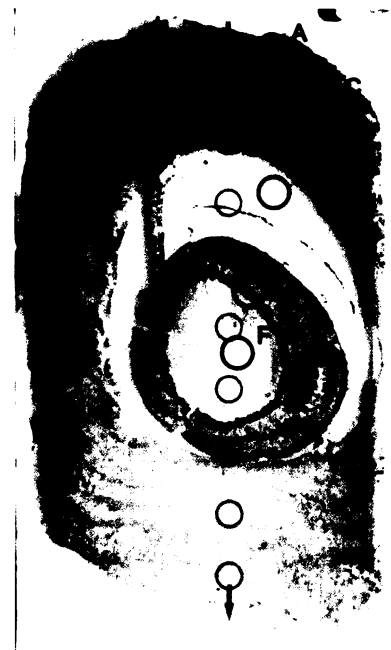
malých ložisek. Prouza & Tásler (in Pešek et al. 2001) z nich na prvním místě uvádějí právě tuto lokalitu, Kozinec u Jilemnice. Březinová (1970) také popisuje uhličitany Cu (azurit a malachit) ve fosilních dřevěch z Kozince. Možná by také chemismus vzorku mohl souviset s hydrotermálními roztoky, ve kterých mohly žít bakterie a fotosyntetické sinice s modrozeleným asimilačním barvivem (Cyanophyta), které srážely karbonát a mohly přispět i k akumulaci Cu a Fe. Podrobnější studium tohoto jevu by ale přesahovalo rámec této práce.

Detritický materiál obsahoval hlavně jílové minerály, křemen, živce, ale i těžké minerály (tab. 18.1 až 18.4), a např. apatit (tab. S.18.2, bod 27). Nejasná je forma výskytu mědi. Analýzy 5 a 22 odpovídají oxidům, v analýzách 30 a 33 je poměrně dost uhlíku, pravděpodobně jde o uhličitany, ovšem analýza C pomocí EDX není nijak spolehlivá. Velmi překvapivá je asociace

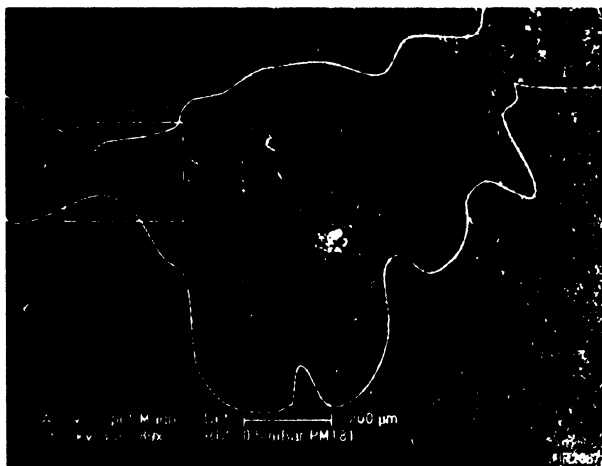
Cu-Fe-Mn v bodech 19 a 34, která by mohla svědčit o sorpci Cu^{2+} na oxidy Mn^{4+} a Fe^{3+} v oxidačním vodném prostředí. Dále jsou přesná lokalizace a *imaging* z jednotlivých měření uvedeny jen u některých vybraných bodů.

EDX ○
(ÚACH)

CL ○



Obr. S.18.18. Výbrus č. 18: lokalizace měřených bodů jednotlivými metodami.



Obr. S.18.19. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblast A: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a lokalizace vybraných analyzovaných bodů (3 – 7) v kapse vyplněné detritickým materiálem (bílý obrys) (viz obr. S.18.9), výsledky měření viz tabulka vpravo. Další analýza při větším zvětšení byla provedena v oblasti žlutého obdélníku (viz níže).

HR26672	Bod 3	Bod 4	Bod 5	Bod 6	Bod 7
C	-	1.90	4.48	-	6.65
O	57.02	64.19	58.05	56.31	52.32
Na	7.91	-	-	6.27	1.42
Al	9.03	1.80	1.90	11.02	9.55
Si	24.99	3.99	3.82	23.76	20.93
Ca	0.87	26.44	1.98	2.65	2.56
Mg	-	0.79	1.21	-	2.88
K	-	0.30	0.22	-	1.72
Mn	-	0.31	-	-	-
Fe	-	0.27	0.32	-	1.52
Cu	-	-	28.02	-	0.27
Ti	-	-	-	-	0.17

Interpre- tace	<i>plg</i> (albit)	<i>calcit</i>	<i>oxid</i> <i>Cu</i>	<i>plg</i> (albit)	<i>jílové</i> <i>min.</i>
-------------------	-----------------------	---------------	--------------------------	-----------------------	------------------------------

Tab.S.18.1. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti A a výsledky EDX v bodech 3 - 7 (HR26672).



Obr. S.18.20. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblast A: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a lokalizace vybraných analyzovaných bodů (8-10) při větším zvětšení (žlutý obdélník 7 z obr. S.18.19; měřítko je 20 μm) v kapse vyplněné detritickým materiálem (viz obr. S.18.9). Výsledky měření viz tabulka vpravo.

HR26673	Bod 8	Bod 9	Bod 10
C	1.53	3.15	4.71
O	54.09	51.67	52.84
Na	-	1.80	1.43
Al	11.50	11.21	10.09
Si	19.23	19.55	22.03
Ca	1.65	1.78	2.13
Mg	4.82	4.92	3.07
K	0.93	2.46	1.79
Mn	-	-	-
Fe	6.03	2.83	1.52
Cu	0.23	-	0.28
Ti	0.19	0.43	0.12

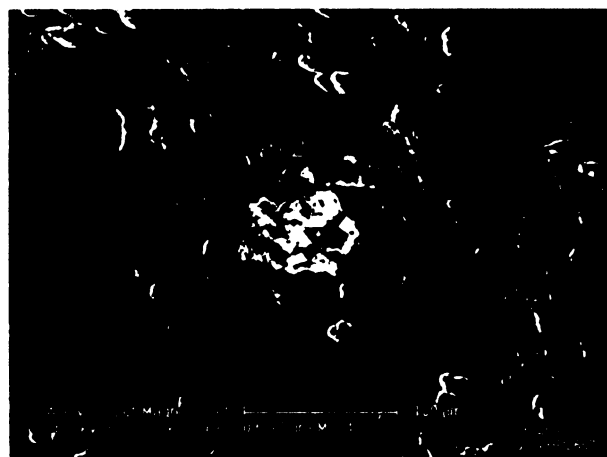
Možná
interpretace

chlorit

*biotit,
jilové min.*

*jilové min,
směs jilu
a karbonátu*

Tab. S.18.2. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti A a výsledky EDX v bodech 8 - 10 (HR26673).



Obr. S.18.21. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblast A - bod 5: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a lokalizace vybraných analyzovaných bodů (21 – 23) při větším zvětšení (z obr. S.18.19). Výsledky měření viz tabulka vpravo.

HR26675	Bod 5.1	Bod 5.2	Bod 5.3
C	4.11	1.41	4.53
O	54.47	59.03	57.07
Na	0.24	-	-
Mg	6.84	-	1.54
Al	8.57	1.65	3.33
Si	14.31	3.90	28.58
Ca	1.75	2.09	2.08
K	0.73	0.29	0.48
Fe	3.58	0.29	0.56
Cu	5.39	31.33	1.81

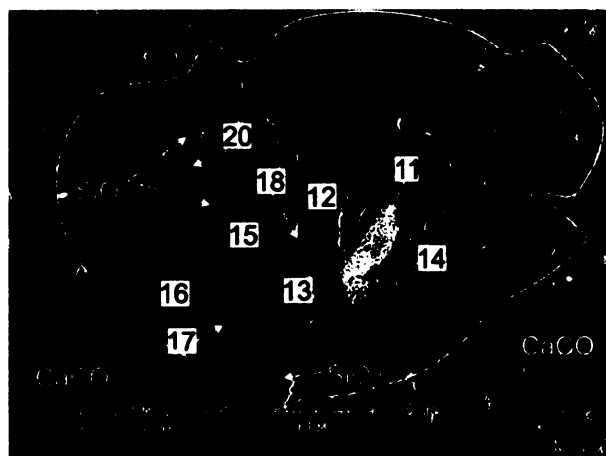
Interpretace

*jilové
minerály,
Fe a Cu
oxidy n.
uhličitany*

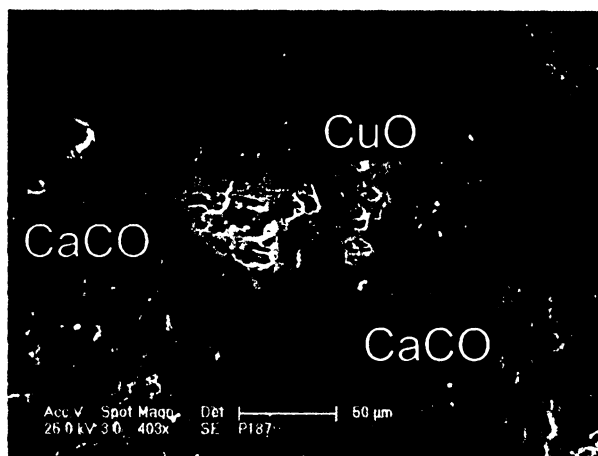
oxid Cu

*křemen,
jilové
minerály*

Tab. S.18.3. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti A, bodu 5 a výsledky EDX v bodech 5.1 – 5.3 (HR26675).



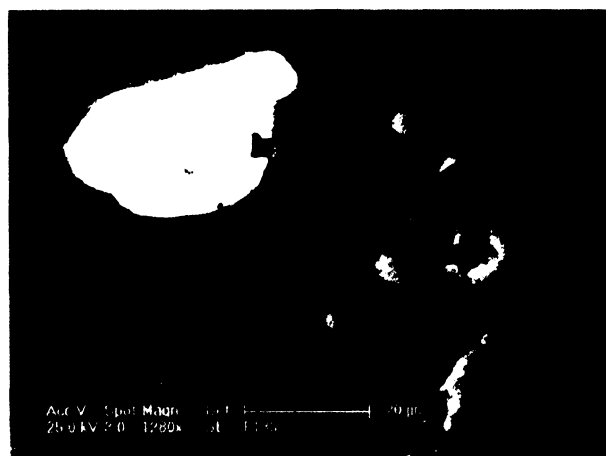
Obr. S.18.22. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblast B: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a lokalizace vybraných analyzovaných bodů (11 – 20) v další kapse vyplněné detritickým materiálem, výsledky měření viz tabulka níže.



Obr. S.18.23. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblasti E: zobrazení chemického kontrastu karbonátu a oxidů mědi v bodě 30 detektorem RBS, výsledky analýz viz tab. S.18.6 (níže).

HR26674	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
O	61.76	56.03	54.91	55.95	56.05	61.46	57.15	52.89	44.39	57.77
Al	2.05	9.10	9.31	16.04	9.34	0.56	14.50	9.92	3.16	16.00
Si	3.53	25.65	26.30	18.16	25.48	36.96	21.41	25.93	7.28	18.49
P	0.38	-	-	-	-	-	-	-	0.47	-
Ca	1.73	0.98	1.16	1.22	1.05	1.03	1.42	1.24	5.60	1.07
Ti	15.46	0.07	-	0.40	0.25	-	-	-	0.09	0.21
Fe	13.17	0.14	-	1.36	0.26	-	0.37	0.28	3.54	0.42
Cu	1.39	-	-	-	-	-	-	-	4.36	-
As	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	7.88	1.11	0.55	7.44	-	-	6.81	0.46	0.62
K	-	0.16	7.21	4.15	0.13	-	3.69	0.61	0.30	4.57
Mg	-	-	-	2.16	-	-	1.46	-	0.65	0.84
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	5.30	-
Cl	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50	-
Možná interpretace	<i>ilmenit</i>	<i>albit</i>	<i>K-živec</i>	<i>slída (msk)</i>	<i>albit</i>	<i>křemen</i>	<i>jilové min.</i>	<i>albit</i>	?	<i>muskovit</i>

Tab. S.18.4. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti B a výsledky EDX v bodech 11 - 20 (HR26674).



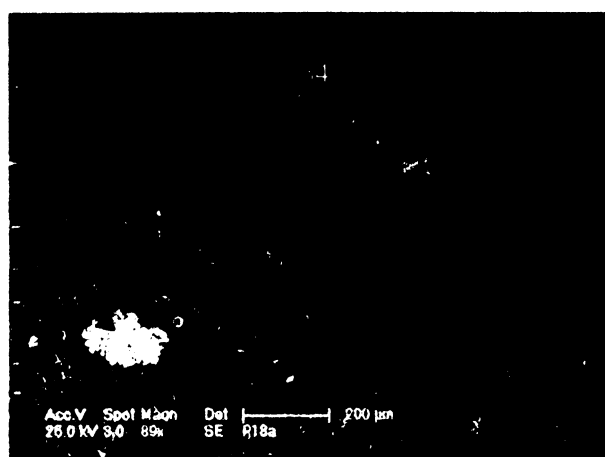
Obr. S.18.24. Výbrus č. 18 – SEM/EDX - oblast C: zobrazení chemického kontrastu vybraných bodů 24 - 28 detektorem RBS, výsledky analýz v tabulce vpravo.

obl. C	24	25	26	27	28
C	29.50	17.41	35.18	24.07	26.95
O	47.06	52.63	38.14	52.30	49.47
Na	0.48	-	-	-	1.19
Al	1.74	1.45	-	5.55	1.29
Si	4.95	1.84	15.15	2.46	2.40
Ca	14.74	2.37	0.20	10.77	17.39
Mg	0.61	-	-	1.00	0.76
K	0.39	0.13	-	0.16	-
Mn	0.14	-	-	-	0.18
Fe	0.25	1.20	-	0.27	-
S	0.05	-	-	0.19	0.13
Ti	0.07	22.89	-	-	-
La	-	-	-	0.21	-
Ce, Nd	-	-	-	0.44,0.13	-
P	-	-	-	2.44	0.25
Interpretace	<i>kalcit</i>	<i>oxidy Ti</i>	<i>qtz</i>	<i>fosforečnan</i>	<i>kalcit</i>

Tab.S.18.5. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti C a výsledky EDX v bodech 24 – 28.

Prvek/Oblast	D/Bod 29	E/Bod 30	F/Bod 31	G/Bod 32
C	23.44	34.56	24.78	31.01
O	53.89	42.91	52.41	47.78
Al	0.35	0.82	0.72	2.05
Si	0.56	0.94	2.05	5.21
Ca	20.03	2.60	18.01	11.21
Na	-	-	-	0.46
Fe	0.30	0.38	0.39	0.49
K	-	-	0.18	0.36
Cl	-	0.20	-	0.04
Cu	-	16.98	-	-
Mg	0.60	0.61	0.63	0.81
Mn	0.23	-	0.30	0.15
Y	0.24	-	0.22	0.29
Yb	0.36	-	0.29	0.15
Interpretace	<i>kalcit</i>	<i>oxidy n. uhličitany Cu</i>	<i>kalcit</i>	<i>kalcit a jílové minerály</i>

Tab.S.18.6. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti D,E,F,G a výsledky EDX v bodech 29 – 32.



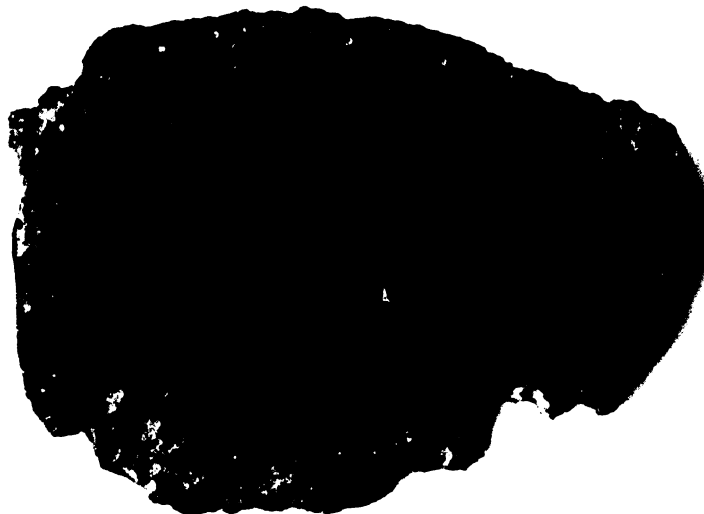
Obr. S.18.25. Výbrus č. 18 – EDX - oblasti H: zobrazení chemického kontrastu detektorem RBS a výsledky měření vybraných bodů (33 a 34) viz tabulka vpravo.

oblast H	Bod 33	Bod 34
C	18.10	28.21
O	57.90	49.65
Al	0.95	1.31
Si	2.05	4.88
Ca	0.20	1.89
K	0.21	-
Fe	0.14	2.95
S	0.27	-
P	-	0.27
Mn	-	5.60
Pb	-	0.26
Ag	0.22	-
Cu	19.95	4.99
Interpretace	<i>oxidy n. uhličitany Cu</i>	?

Tab. S.18.7. Lokalizace analyzovaných bodů v oblasti H a výsledky EDX v bodech 33 a 34.

19

***Medullosa* COTTA**
(*Medullosa stellata* var. *typica* WEBER et STERZEL)

♣ Typ **MEDULLOSA** /DObr. S.19.1. Vzorek E 6218, *Medullosa stellata* COTTA**MAKROSKOPICKÝ POPIS VZORKU** (obr. S.19.1)

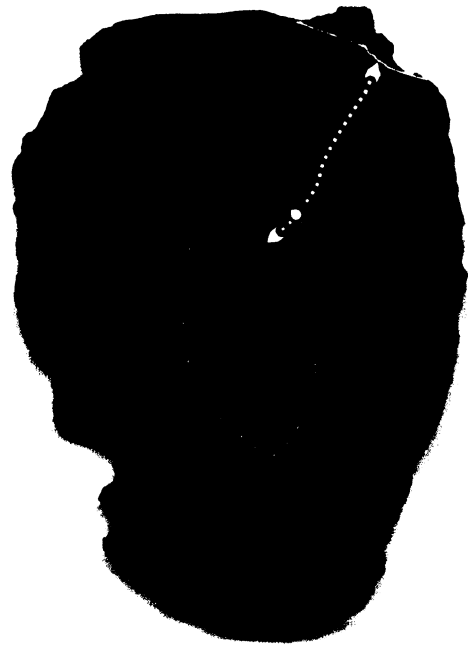
<i>Inventární číslo vzorku</i>	E 6218	<i>Velikost [mm]</i>	48 x 66 x 9	<i>Lokalita</i>	?	<i>Pánev</i>	?
<i>Popis</i>	Tenký příčný řez silicifikovaným stonkem progresivního typu medulózy s typickým monostélé vícesegmentárního typu, ve středu se třemi dílčími cévními svazky; hlavní cévní svazek který je obklopuje, je spojen v souvislý válec s mohutně vyvinutým sekundárním xylémem, na jehož okrajích jsou kruhovitě „krátery“; celý vzorek silně porušen prasklinami						
<i>Tvar</i>	Nepravidelný ovál						
<i>Zbarvení</i>	Vnitřní struktury a vnitřní část dřeva černé, vnější dřevo mohutného souvislého válce hnědé						
<i>Řez</i>	Transverzální	<i>Výbrus</i>	Zhotovení Národní muzeum nepovolilo				

TAXONOMICKÉ ZAŘAZENÍ

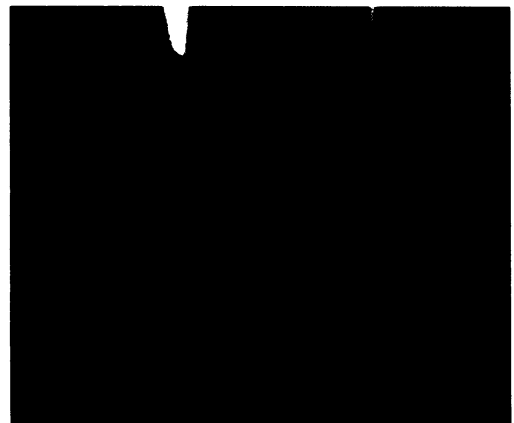
Vzorek č. 19 (obr. S.19.1) je typická ukázka příčného řezu medulózou progresivního typu. Lokalita sběru bohužel nebyla při výpůjčce z Národního muzea u tohoto kusu popsána, byl pouze zařazen v depozitáři jako sběr z Podkrkonoší. Silicifikovaný vzorek byl poměrně dobře vyleštěn a vzhledem k tomu, že nebylo povoleno z něj zhotovit výbrus, bylo rozhodnuto, že se na něm provede alespoň nedestruktivní analýza pomocí EDX. Transmisní OM a PM, XRD a katodoluminiscence nemohly být použity.

Tato medulóza byla původně taxonomicky určena jako typicky permský druh *Medullosa stellata* COTTA, což se po ověření anatomických a morfologických znaků, které uvádí Němejce (1968), ukázalo jako správné (viz kap. 2.1, typ D). Podle sestavených údajů v tabulce D.2 v kap. 2.1. může být tato medulóza dále s jistotou určena jako varieta *typica* WEBER et STERZEL (obr. S.19.2), protože hlavní cévní svazky splývají v souvislý válec s mohutně vyvinutým sekundárním xylémem a ve svém centru uzavírají soustavu tenkých vedlejších svazků, v tomto případě to jsou tři. Na obrázku S.19.2 jsou tyto dílčí svazky (tzv. *star rings*), které obklopuje základní pletivo, znázorněny červenými ovály a jejich detail je zobrazen na obr. S.19.3. Jejich anatomická struktura je makroskopicky velmi špatně čitelná. Žlutá čárkovaná linie potom znázorňuje kambium, z kterého se oddělují směrem dovnitř i ven pruhy sekundárního xylému (bílé tečkované čáry na obr. S.19.2), směr růstu dřeva je naznačen šipkami, které vycházejí ze žlutě vyznačeného bodu. Jelikož je tento válcovitý cévní svazek nerovnoměrně vyvinutý a jeho dřevo vznikající při druhotném tloušťnutí je mnohem mocnější na vnější straně (od kambia) než na vnitřní, označuje se tento typ stonku medulózy podle Němejce (1968) jako exocentrický typ (viz tab. D.1 v kap.2.1). Tenké bílé linie schematicky vyznačují konečnou hranici růstu dřeva. Celý střed a vnitřní válec druhotného dřeva je černě zbarven, pravděpodobně zbytky uhlíku. Ve vnějším válci jsou vidět koncentrické linie, odlišené různými odstíny hnědé barvy. Na první pohled připomínají letokruhy. Jedná se zejména o místa, kde se paprsky dřeva zmnožují do šířky (viz obr. D.4). Makroskopicky jsou také dobře viditelné paralelní řady dřeva střídající se s parenchymem, což vytváří jakési světlé a tmavé pásy, které jsou na některých místech blízko kambiální linie od sebe mírně odchlípeny. Druhotná kůra (periderm) se nedochovala. Vzorek je protkán množstvím různě velkých a dlouhých trhlin a při vnějším okraji je lemován drobnými „krátery“. Podobné znaky nenesl žádný jiný vzorek dřev ze zkoumaného souboru.

EDX (PřF UK): Kvalitativní analýza EDX, provedená ve čtyřech oblastech (obr. S.19.4) potvrdila, že celá fosilie je jednotně složena z SiO_2 , který je zbarven oxidy Fe a pravděpodobně uhlíkem. V prasklinách a dutinách byly nalezeny těžké minerály. Kvantitativní analýza bohužel nemohla být provedena vzhledem k velikosti vzorku.



Obr. S.19.2. Vzorek č. 19: barevně znázorněné anatomické znaky u druhu *Medullosa stellata* var. *typica* WEBER et STERZEL; mírně zvětšeno, popis k obrázku v textu.

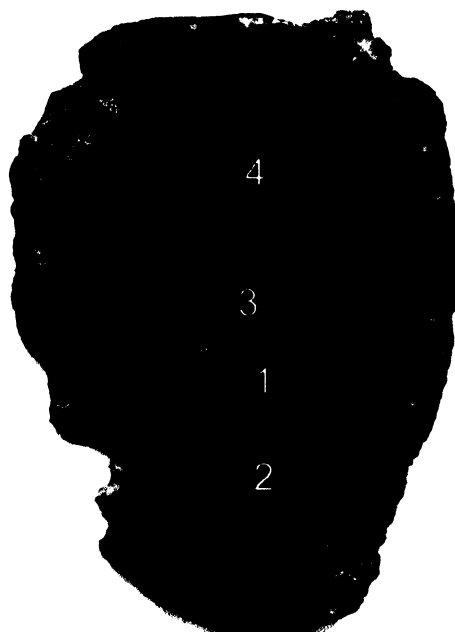


Obr. S.19.3. Vzorek č. 19: detail tří dílčích cévních svazků v základním pletivu v centru stonku, silně potrhány prasklinami; příčný řez.

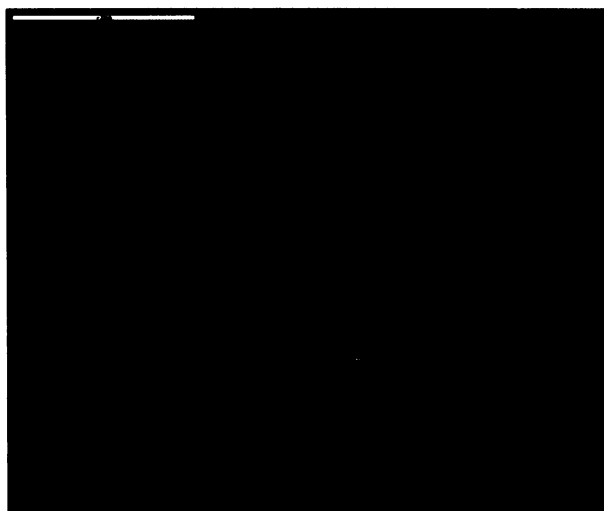
Na fotografiích SEM vidíme dobře zachovanou strukturu sekundárního xylému (obr. S.19.5, S.19.10 a S.19.11). Obr. S.19.5 z měření v oblasti 4 (obr. S.19.4) ukazuje jen slabý chemický kontrast krystalické hmoty SiO_2 v pletivu dřeva.

V bílé prasklině byly nalezeny idiomorfni krystaly křemene, povlečené oxidy železa (obr. S.19.6). V sekundárním xylému jsou patrné černé díry, ve kterých se místy nalézají těžké minerály. Uprostřed obrázku S.19.7 je zrno spinelu s vysokou odrazností $[\text{Mg}, \text{Mn}^{\text{II}}, \text{Fe}^{\text{II}}][\text{Al}, \text{Fe}^{\text{III}}]_2\text{O}_4$, a to konkrétně nejspíše pleonastu (tuhý roztok hercynitu FeAl_2O_4 a spinelu MgAl_2O_4). Výsledky semikvantitativní analýzy jsou uvedeny vedle obrázku S.19.7 napravo nahoře a byly normalizovány na 100 atomových procent.

Na obr. S.19.8 byly v oblasti sekundárního xylému analyzovány 4 body, přičemž v bodě 1 a 3 byl nalezen xenotim YPO_4 obsahující HREE (Dy, Sm, Nd) a dále potom As a Ca. V bodu 2 (obr. S.19.9) bylo detekováno Fe, Ca a SiO_2 z okolí a v bodu 4 byl nalezen fluorit (CaF_2). Podobné výsledky analýzy u dřev z Chemnitz uvádí Dietrich et al. (2000). Na obr. S.19.10. je zobrazen chemický kontrast středové oblasti stonku s xylémem jednoho z dílčích svazků. V bodě 1, mezi pruhy tracheid (obr. S.19.11), byl detekován opět fluorit (CaF_2) a ve dvou větších bílých místech napravo od praskliny kromě SiO_2 také Ca, S, Fe a Al, což by mohlo ukazovat na sádrovec.



Obr. S.19.4. Vzorek č. 19: lokalizace vybraných oblastí analyzovaných metodou EDX.



Obr. S.19.5. Vzorek č. 19 – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení chemického kontrastu struktury sekundárního xylému detektorem BSE, v horní části snímku se vzorek nabíjel v důsledku končícího pokovení. Měřítka 2 mm.

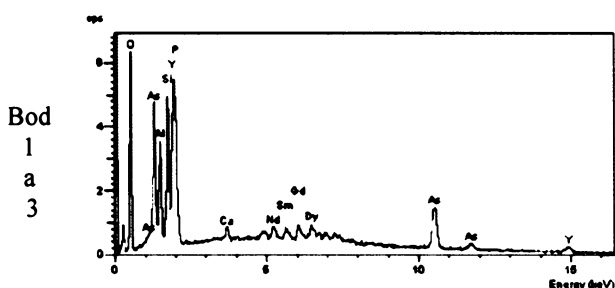
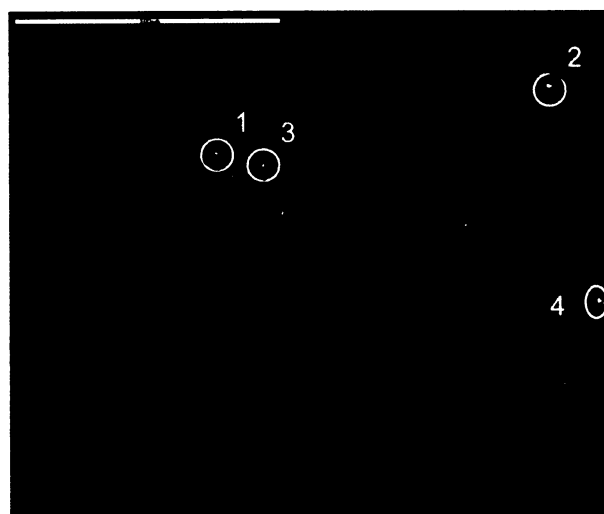


Obr. S.19.6. Vzorek č. 19 – SEM/EDX – oblast 4: Zobrazení obsahu trhliny (na obr. S.19.5 uprostřed s bílou oblastí) detektorem SE, která je vyplněna idiomorfními krystaly křemene pokrytými povlaky Fe oxidů. Měřítka 50 μm .

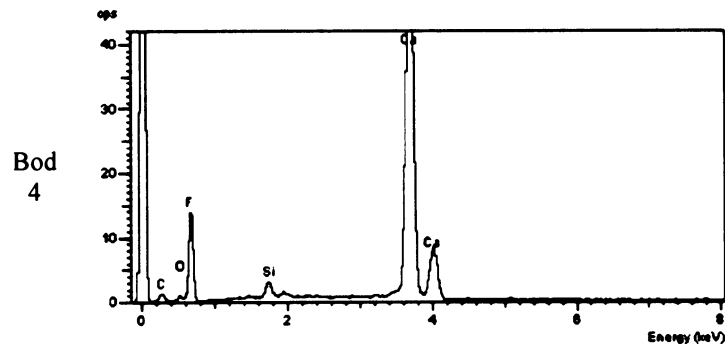
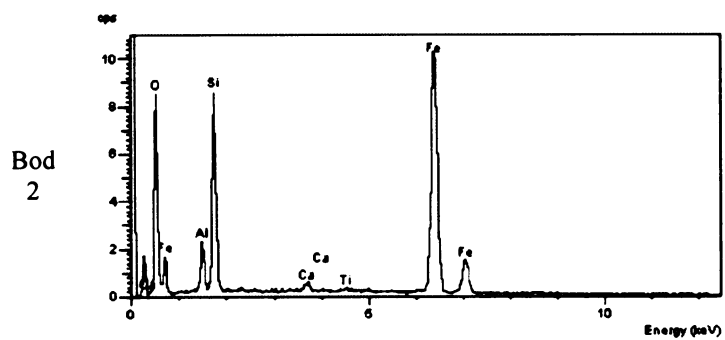


	Bílý bod
Mg	6,7
Al	27,2
Mn	0,2
Fe	9,2
O	56,7
Interpretace <i>spinel (pleonast)</i>	

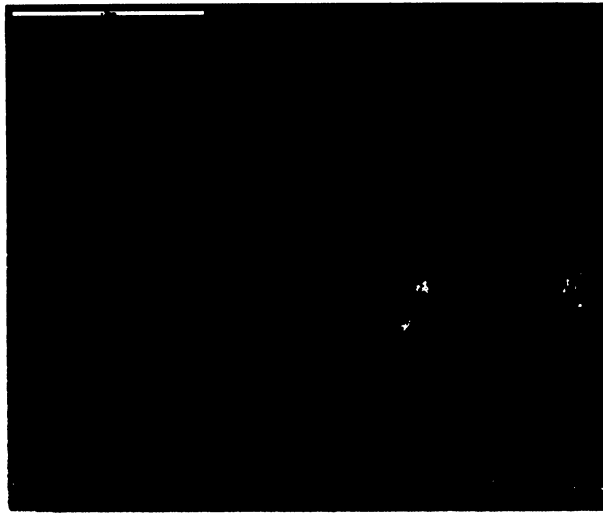
Obr. S.19.7. Vzorek č. 19 – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení krystalu spinelu detektorem BSE, v trhlině. Okolní hmota je silicifikovaná struktura sekundárního xylému; měřítko 20 μm . Výsledky semikvantitativní analýzy jsou uvedeny v tabulce výše v atomárních procentech, přepočítány na 100%.



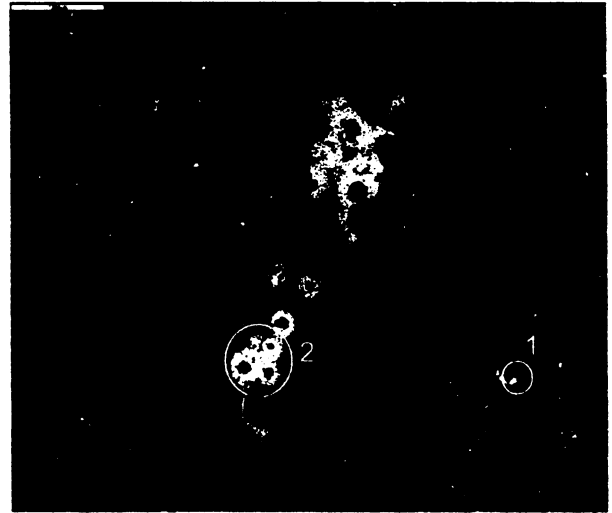
Obr. S.19.8. Vzorek č. 19 – SEM/EDX – oblast 4: zobrazení chemického kontrastu v oblasti sekundárního xylému detektorem BSE a lokalizace vybraných bodů, jejichž spektra jsou uvedena nahoře a na následující straně; měřítko 200 μm .



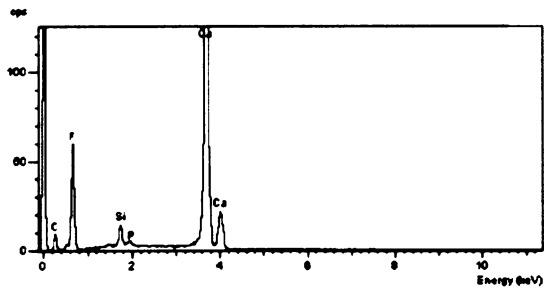
Obr. S.19.9. Vzorek č. 19 - SEM/EDX - oblast 4: spektra analyzovaných bodů 2 a 4 (vlevo) k obr. S.19.8.



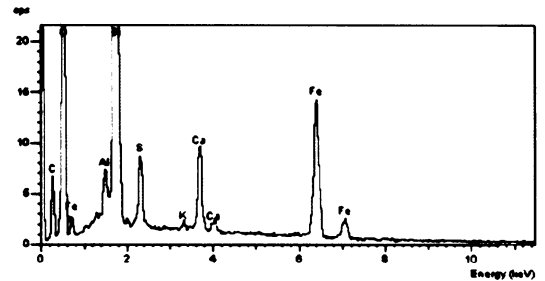
Obr. S.19.10. Vzorek 19 – SEM/EDX – oblast 3: zobrazení chemického kontrastu xylému dílčího cévního svazku ze středu kmene detektorem BSE; měřítko 2 mm. Detail bílých oblastí vpravo na obr. S.19.12.



Obr. S.19.11. Vzorek 19 – SEM/EDX – oblast 3: detail oblastí s bílými body na obr. S.19.10. Lokalizace měřených bodů 3.1 a 3.2, spektra z bodů dole; měřítko 200 μ m.



Bod 3.1



Bod 3.2

6. Diskuze

Z 28 vzorků dřev vypůjčených z depozitáře silicifikovaných fosilií z Podkrkonoší (Národní muzeum, Praha) bylo povoleno smlouvou o vypůjčce prakticky studovat 19 vzorků; ty jsou dále značeny #. Při bližším mikroskopickém studiu a instrumentálních analýzách (CL, XRD, EDX) se prokázalo, že kromě většiny silicifikovaných kousků je jeden sideritizovaný (#15), jeden kalcifikovaný (#18) a jeden částečně kalcifikovaný (#7), kde byla prvotní kalcifikace následována silicifikací a CaCO_3 se nachází jen jako relikt v malých úsecích pletiva. Jedním z prvních úkolů bylo všechny vzorky zrevidovat a co nejpřesněji systematicky zařadit. Podařilo se odhalit kusy, které nesplňovaly kritéria zadání této DP (#3, 13, 15 a 18), a tím se základna vyhovujících vzorků snížila na 15 ks. V tabulce 5 je

Číslo #	Původní označení	(Revidované) systematické zařazení vzorku (<i>genus</i>)	Anatomická část, z které pochází fragment #	Typ	Permineralizace	Pánev
1	<i>Arthropitys</i> sp.	<i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek	B	SiO_2	PKP
2	<i>Psaronius</i> sp.	<i>Psaronius</i> COTTA	plášť vzdušných kořenů	C	SiO_2	PKP
3	<i>Arthropitys</i> sp.	<i>Myeloxylon</i> BRONGN.	listový řapík v laminovaném sedimentu	D	SiO_2	PKP
4	<i>Psaronius asophilloides</i>	<i>Psaronius</i> COTTA	stonek s kořenovým obalem	C	SiO_2	PKP
5	<i>Psaronius</i> sp.	<i>Psaronius</i> COTTA	stonek s kořenovým obalem	C	SiO_2	PKP
6	? Přeslička	<i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek	B	SiO_2	PKP
7	? Přeslička	<i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek	B	SiO_2 (+ CaCO_3)	PKP
8	? Přeslička	<i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek	B	SiO_2	PKP
9	? <i>Dadoxylon</i>	? <i>Dadoxylon</i> ENDL.	stonek	E	SiO_2	PKP
10	?	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (Voltziales)	stonek	E	SiO_2	PKP
11	? <i>Dadoxylon</i>	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (Voltziales)	stonek	E	SiO_2	VSP
12	? Přeslička	<i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek	B	SiO_2	PKP
13	<i>Calamites</i>	<i>Calamites</i> SUCKOW	výlitek vnitřní dřevové dutiny	B	SiO_2	PKP
14	?	<i>Dadoxylon</i> ENDL.	stonek	E	SiO_2	PKP
15	? <i>Dadoxylon</i>	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)	stonek	E	FeCO_3 (+ SiO_2)	VSP
16	? <i>Dadoxylon</i>	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)	stonek	E	SiO_2	VSP
17	?	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)	stonek	E	SiO_2	PKP
18	?	? <i>Arthropitys</i> GOEPP.	stonek v jádru kalcitové konkrce	E	CaCO_3	PKP
19	<i>Medullosa stellata</i>	<i>Medullosa stellata</i> var. <i>typica</i> WEBER et STERZEL	stonek	D	SiO_2	? *

Tab. 5. Seznam vypůjčených vzorků z Národního muzea s revidovaným taxonem, oranžový rámeček označuje kalcifikovaný (čárkovaný částečně kalcifikovaný) a hnědý sideritizovaný vzorek, neoznačené vzorky jsou silicifikované; * patrně jiná provenience.

uveden revidovaný seznam vzorků z původní tabulky 4 (str. 59) s jejich nově zjištěnými údaji, ostatní zůstává stejné.

Paleobotanický pohled na silicifikovaná dřeva

Veškeré vzorky určené k nařezání byly zpracovány podle zadání (kap. 1). Systematické zařazení do úrovně rodového taxonu (*genus*), což v tomto případě také znamenalo přiřazení k jedné ze čtyř uměle vytvořených pracovních skupin, typu B až E (kap. 2.1), se nakonec podařilo u všech vzorků s výjimkou vzorku 18. Vzorek č. 13 nepatří mezi pravé zkameněliny, jedná se pouze o anorganický výlitek centrální dřeňové dutiny kalamitu, *Calamites* SUCKOW. Není v něm ani stopa po rostlinné tkáni, pouze z jedné strany se na povrchu vzorku zachoval otisk cévních svazků původně procházejících stonkem podél vnějšího okraje vnitřní dutiny. Jelikož chybí otisk vodivých elementů z oblasti nodu, je bližší taxonomické zařazení kalamitu nemožné (Němejc 1963). Některé z ostatních vzorků se podařilo určit velmi snadno, a to zejména typ C - *Psaronius* (#2, 4 a 5) a typ D – *Medullosa* (#19), neboť mají mnoho velmi osobitých anatomických znaků, často jasně rozlišitelných již při prvním makroskopickém ohledání. Pomineme-li zatím nepublikovaná nejnovější zjištění o taxonomii medulóz (viz kap. 2.1.4), vzorek č. 19 (*Medullosa stellata* COTTA) byl podle stále dosud platné nomenklatury (Němejc 1968, Stewart & Rothwell 1993, Dernbach et al. 2002) dobře určen již v evidenci Národního muzea, neboť je to kompletní průřez dobře zachovaným vícesegmentárním monostélé s exocentrickým typem dřeva. Podle morfologie souvislého válce sekundárního xylému tedy byla fosilie detailněji určena jako *M. s. var. typica* WEBER et STERZEL.

Více diskutabilní se naopak ukázali zástupci kalamitů (typ B) a dadoxylonů (typ E), k jejichž správnému rodovému zařazení byl nezbytný radiální či tangenciální řez (nejlépe oba). Z vhodných odřezků, které zbyly při zhotovování výbrusů, byly proto připraveny nábrusy a pozorovány v odraženém světle. Většina vzorků je silně rekrystalizovaných, ale i přesto se ve výbrusech i nábrusech dala při troše trpělivosti najít souvislá místa zachovaných pletiv, na základě jejichž anatomických znaků byl vzorek po vzorku určen. Nejhorší situace nastala u vzorku č. 9, kde se dochovaly jen izolované segmenty sekundárního xylému (obr. S.9.4, S.9.8). U dadoxylonů je někdy uveden i řád (*Cordaites*, *Voltziales*), a to pokud bylo čitelné tečkování tracheid. Někde zůstaly otazníky, protože pro nedostatečnou velikost nábrusu nelze tvrdit s úplnou jistotou, že se jedná o kordait či koniferu. Tak např. vzorek č. 12 se z nábrusu přesně určit nepodařilo, avšak anatomické znaky viditelné na výbrusu v OM, PM i CL, dlouhé paprsky v transverzálním řezu, koncentrická stavba a karinální kanály, svědčí o příslušnosti k rodu *Arthropitys* GOEPP. Velmi neobvyklý byl vzorek č. 3, původně označený jako *Arthropitys* sp., který se podařilo identifikovat až po odborné konzultaci s R. Rößlerem. Byl zařazen do skupiny medulóz (typ D), i když se nejedná přímo o stonek medulózy, nýbrž pravděpodobně o její silicifikovaný listový řapík *Myeloxylon* BRONGN. s typickou sparganovou strukturou, uzavřený v silicifikovaném laminovaném sedimentu (obr. S.3.3). Taxonomické určení až do úrovně druhu (*species*) bylo naprosto vyloučeno u všech vzorků, a to zejména díky výše zmíněnému vysokému stupni rekrystalizace pletiv, a dále potom díky nedostatečné velikosti celých vzorků, které často tvoří jen neúplné fragmenty, neznámo přesně

z jaké části rostlinného stonku. I pouhé umělé zařazení psaronií (#2, 4 a 5) do skupiny distichického či polystichického typu (Němejc 1963) je z těchto důvodů nemožné. Zcela výjimečný je také vzorek č. 18, jehož přesná identifikace je díky silné rekrystalizaci kalcitem vyloučena. Ve středu této karbonátové konkrce nalezneme pouze relikty radiálně uspořádaného sekundárního xylému (obr. S.18.2), který by mohl patřit rodu *Arthropitys*. Centrální parenchymatická dutina je vyplněna kalcitem a při jejím okraji lze pozorovat struktury podobné karinálním kanálům. Kalcifikované fosílie bývají často velmi kvalitním materiálem k podrobnému systematickému studiu, neboť kalcifikace v mnoha případech velmi dobře zachovává původní strukturu pletiv včetně jemných detailů, jak je známo např. u již několikrát zmíněných kalcitových konkracích *coal balls* (Dernbach et al. 2002) či přímo u dadoxylonových a jiných kmenů (Falcon-Lang & Scott 2000, Falcon-Lang 2003, Falcon-Lang & Bashforth 2004). Vzorek č. 18 se ale bohužel takto použít nedá.

Dokonalé zhodnocení exemplářů je ještě ztíženo tím, že materiál byl vypůjčen z muzejních sbírek, což znamená, že je nenávratně vytržen z kontextu geologické a paleontologické souvislosti lokality, kde byl původně nalezen. Kdyby např. ve stratigraficky identické vrstvě s dadoxylonovým kusem dřeva ležela petrifikovaná dutina typu *Artisia* STERNB. (Němejc 1963, Falcon-Lang 2003), nebylo by pochyb o tom, že se jedná o kordaitové dřevo. U některých vzorků lokalita nálezů nebyla poznamenána vůbec (#19), tudíž nebylo možno při identifikaci použít žádného vodítka. U vzorků (#4 a 17) byla uvedena lokalita Nová Paka, což je nedostatečné vzhledem k tomu, že kolem Nové Paky jsou výchozy několika stratigrafických vrstev.

Obecně lze říct, že rostlinná pletiva jsou ve vzorcích poměrně dobře zachována, i když samozřejmě v různé míře, v různém poměru a mezi vzorky jsou značné rozdíly. Největší odolnost vůči rekrystalizaci a poničení má zcela jistě tlustostěnné pletivo sklerenchymatických buněk, které je mechanicky velmi odolné a najdeme ho proto i ve velmi špatně dochovaných vzorcích, např. v psaroniích (#2 a 5). Vyskytuje se zejména ve střední korové zóně psaroniových kořínků (tzv. sklerenchymatické pochvy) a jako podpurná výztuž jednotlivých plátů diktyostélé, nebo též ve sparganové struktuře řapíku *Myeloxylon* (#3). Občas se dochovává i parenchym v podobě řídké rozptýlených kulatých buněk v dřeňových dutinách (zejm. u rodu *Arthropitys*, #7, 8 a 12). Většinou se však tenkostěnná pletiva vyplňující dutiny či tvořící základní hmotu, která obklopuje cévní svazky atd., nedochovávají. Jsou asi příliš náchylná k rozkladu (oxidaci) či jsou snadno zničena při permineralizaci. Je to veškerý parenchym a potom zejména parenchym a aerenchym, pletivo obsahující vzduch, ve vnitřní korové zóně psaroniových kořínků (#2, 4 a 5), na jejichž místě zůstane buď nevyplněná dutina, nebo spíše dojde k jejímu prostému vyplnění SiO_2 hmotou. Uprostřed kořínků se v případech silné rekrystalizace nedochovává ani cévní svazek (#2) nebo se dochovává jen v některých kořincích (#4 a 5; obr. S.4.6, S.5.7). Cévní svazky jsou přeci jen odolnější než parenchym, protože jsou tvořeny hlavně xylémem (tracheidami).

Tracheidy (cévice) jsou specializované vodivé elementy dřeva vedoucí z kořenů vzestupný transpirační proud; zajišťují v rostlinách transport na větší vzdálenosti a také tvoří mechanickou oporu těla. Jednak druhotně tloustnou lokálním ukládáním sekundární buněčné stěny (internetový zdroj č. 2), a dále

bývají pro tyto účely různým způsobem vyztužené ligninem. A právě díky těmto silným buněčným stěnám a ligninu, což je složitý, chemicky dosti odolný vysokomolekulární fenylypropanový heteropolymer, se tracheidy při permineralizaci poměrně často zachovávají (Sigleo 1978, Weibel 1996). Tyto protáhlé vřetenovité buňky tvoří podstatnou část sekundárního xylému, který převažoval téměř ve všech výbrusech a často byl velmi dobře zachován (např. #6,16). Ligninové ztlustěliny byly v některých případech vidět na radiálních stěnách tracheid při studiu nábrusů, což je důležité pro určení rodového taxonu.

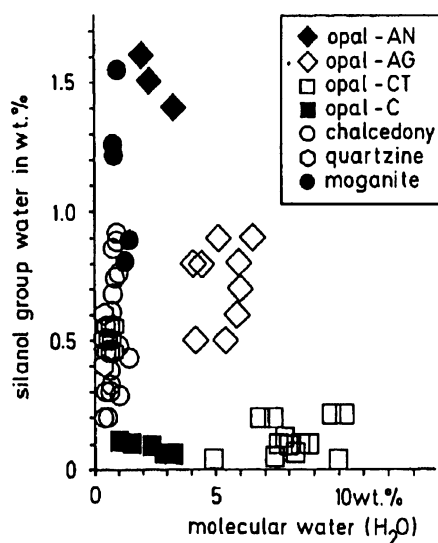
U vzorku č. 6 se setkáváme s velmi zajímavým jevem tzv. falešných letokruhů, které asi vznikly lokalizovaným stlačením a deformací či rozdrčením sekundárního xylému v pruzích, pravděpodobně jako odezva na působení orientovaného tlaku. Podobný jev nedávno popsal u kordaitového dřeva Falcon-Lang & Scott (2000). Ostatně tlakové deformace se ve vzorcích objevují často, většinou jako zvlněné linie pletiv, výrazné zejména ve vzorcích 6, 16 a 17. Nejspíše vznikaly krátce po odumření rostliny v době zavalení např. náplavem, když bylo pletivo ještě v měkkém a hydratovaném stavu.

Vztah mezi petrografií silicifikace a systematikou dřev

Všechny ze silicifikovaných vzorků jsou jednotně permineralizované SiO_2 s výjimkou vzorku č. 7, kde byl pomocí CL identifikován relict pravděpodobně prvotní kalcifikace (CaCO_3). Ve výbrusech jinak jednoznačně převažují krystalické formy SiO_2 . Pro jejich popis se velmi osvědčila obecná nomenklatura založená na velikosti a morfologii SiO_2 krystalů navržená Flörkem et al. (1991), praktické poznatky se silicifikací v sedimentech podle Hesseho (1989) a Umedy (2003), a co se týče přímo petrografie SiO_2 krystalitů v rostlinných pletivech, poznatky Weibela (1996) (viz kap. 2.3.4). Petrografický popis je velmi výhodný především proto, že není náročný na instrumentální vybavení a vystačí s dobrým petrografickým mikroskopem.

V silicifikovaném materiálu výbrusů byly hojně zaznamenány mikro- a makrokrystalický křemen různých velikostí a sférolitický chalcedon. Předpokládáme tedy, že ve všech výbrusech převažují bezvodé krystalické fáze, nebo fáze s jen nepatrným obsahem H_2O (do 2 %), jak vyplývá z obrázku 23.

K přesnému určení podílu krystalických či amorfních fází s obsahem vody by bylo zapotřebí velmi přesných analýz získaných např. na mikrosondě s WDS detektorem. Rozdíly mezi jednotlivými fázemi jsou totiž velmi nepatrné a obtížně kvantifikovatelné, ale přitom dostupné právě petrografickým studiem. Navíc je známo, že amorfni hydratované fáze SiO_2 , jako např. opál-A a opál-CT, se hojně vyskytují zejména v mladších fosiliích např. terciárního (Březinová et al. 1994) či mezozoického stáří (Dernbach



Obr. 23. Koncentrace molekulární vody $\text{H}_2\text{O}_{(\text{mol})}$ a vody v silanolové skupině $\text{H}_2\text{O}_{(\text{SiOH})}$ v mikrokrystalických a amorfních minerálech SiO_2 , určených NIR a IR spektroskopii. Na osách x a y jsou odlišná měřítka. Převzato z Flörkeho et al. (1991).

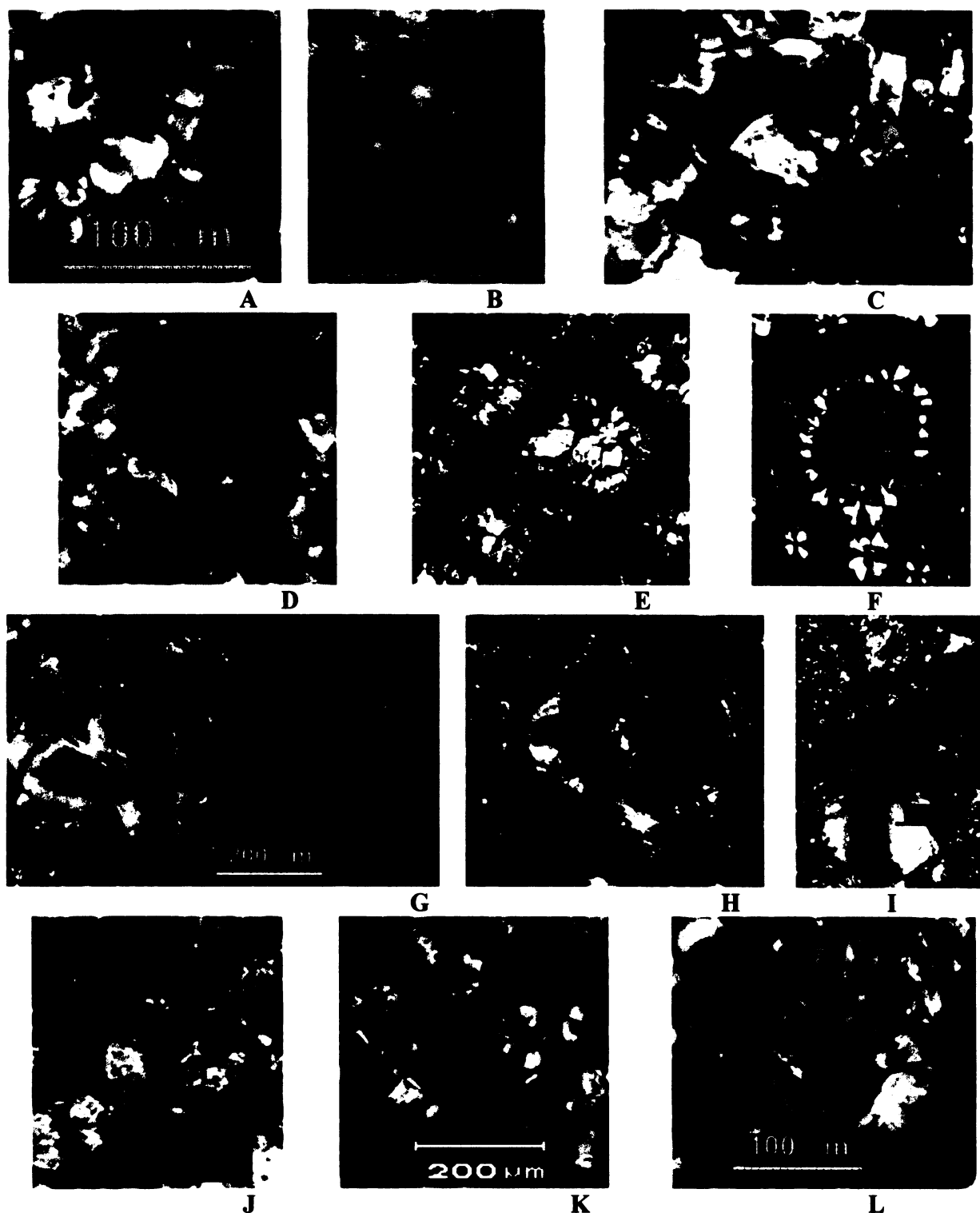
et al. 2002), přičemž s prodlužujícím se časem od počátku permineralizace se zvyšuje krystalinita materiálu (Hesse 1989, Weibel 1996). Opál se pravděpodobně místy vyskytuje pouze u sideritizovaného vzorku č. 15, byl ale určen pouze při XPL pozorování. Studované permokarbonské preparáty podle rentgenové práškové difrakce tyto amorfní nebo nanokrystalické fáze neobsahovaly (právě kromě #15).

Zjednodušený přehled výsledků krystalinity pletiv ve stoncích permokarbonských rostlin je uveden v tabulce 6. Velmi dobře zachované fosílie jsou permineralizované zejména mikrokrytalickým křemenem, a to především buněčné stěny sklerenchymatických buněk (tab. 6F) a tracheid (tab. 6A, B, D, E, H, I), a dále je tento velice jemnozrný materiál často přítomen v samotných jednotlivých buňkách (tab. 6A, D, J) či v základní hmotě. Jeví se ve výbrusech jako šedivá droboučká zrníčka. Někdy také lemují strukturní prvky a různé okraje prostorových rozhraní (tab. 6G). Velice hojný je také drobnější makrokrytalický křemen o velikosti krystalů v rozmezí 20 až 50 μm (Umeda 2003) (tab. 6E). Krystaly těchto velikostí jsou asi většinou xenomorfní, omezené buněčnými stěnami rostlinných struktur. Ve velkém množství případů je více krystalů SiO_2 v jedné buňce, častá jsou tedy pletiva s polyblastickou texturou (např. #6 a 16) (tab. 6A, D, E), najdeme ale i případy kdy buňku vyplňuje jen jeden krystal (oligoblastická textura) (tab. 6B, L).

V hůře dochovaných a silně rekrystalizovaných vzorcích, které obsahují dutiny, hrubší trhliny a podlouhlé praskliny (tab. 6C), se vyskytuje hrubší makrokrytalický křemen (50 až 2000 μm). Někdy vytváří polyblastickou texturu, typickou mozaiku s euhedrálně omezenými zrny, jejichž velikost se zvětšuje směrem do středu buňky (tab. 6E); taková morfologie vzniká podle Hesseho (1989) při vyplňování volných prostorů. Jinak je většinou xeno- či hypidiomorfní, výjimečně se ve větších volných prostorech dají najít zrna idiomorfně omezená. Praskliny vyplněné tímto hrubozrným křemenem se často táhnou i podél hranic biologických struktur, např. na rozhraní dutin a xylémových oblastí, např. u rodu *Arthropitys* (#7, 12). Je to asi způsobeno odlišnou mechanickou odolností různých pletiv.

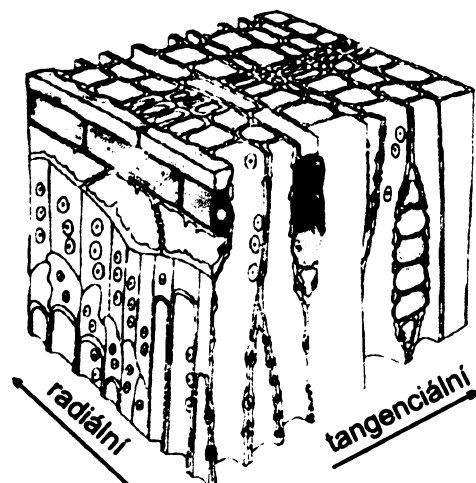
Všechny tyto typy křemene mívají buď čirou nebo nahnědlou barvu a undulózně zháší. Často také postupně jeden typ přechází v druhý a jejich hranice je špatně určitelná, přičemž ostré skoky ve velikostech jsou časté pouze na rozhraních různě velkých biologických či deformačních struktur. Tento kontrast pak výborně prokresluje třeba i zcela zkřemenělé části, kde se snad ani nedochovala organická hmota (tab. 6.E). Makrokrytalický křemen rostlinné struktury zachovává velmi špatně, pokud tedy vůbec (#9, 10). Všechny zjištěné výsledky ohledně morfologie křemene se velmi shodují s výzkumem, který provedl Umeda (2003). Jelikož jsou všechny výbrusy od evidenčního čísla 7 velmi tlusté (cca 0,07 mm), mají krystaly křemene ve zkřížených nikolech vysoké interferenční barvy, sahající až do oblasti červených, modrých a fialových odstínů (tab. 6.C).

Morfologie křemenných struktur je zcela atypická v nepřítomnosti pletiva, jak je patrné u výlitku #13. Na první pohled uniformní anorganická struktura má ve zkřížených nikolech achátovitou stavbu (obr. S.13.5). Pravděpodobně ji tvoří mikrokrytalický křemen vláknitého charakteru, tj. chalcedon, palisádovitě lemující křivky silně pigmentovaného materiálu. Podobná vrstevnatá uspořádání ale můžeme pozorovat i v jiných vzorcích (tab. 6K, L), a to v místech velkých dutin, které byly ze všech stran obklo-

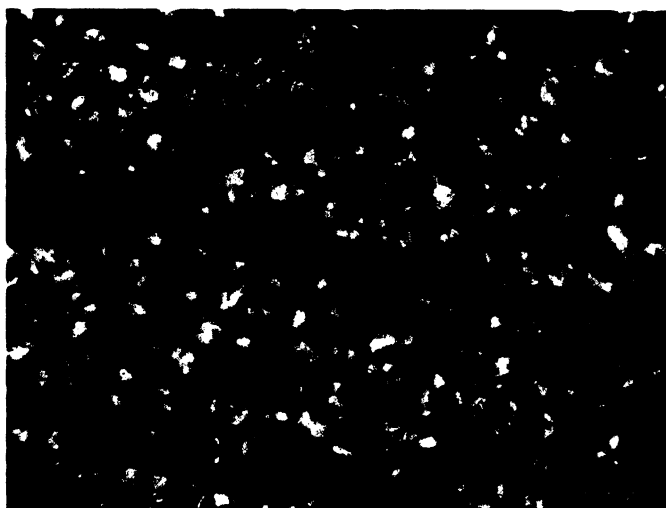


Tab. 6. K obrázkům: A – mikrokryst. qtz vyplňující parenchymatické buňky v centrální dutině, polyblastická textura (#8), B – drobnější makrokryst. qtz v tracheidách sekundárního xylému (oligoblastická textura), buněčné stěny vyplněny mikrokryst. qtz (#14), C – makrokryst. qtz vyplňující prasklinu (#16), D – mikrokryst. qtz vyplňující tracheidy ve „vybělených“ místech dřeva, polyblastická textura (#7), E – mikrokryst. až makrokryst. qtz s mozaikovou strukturou v tracheidách sekundárního xylému, polyblastická textura (#6), F – vějířovité sférolity chalcedonu ve vnitřní korové zóně psaroniovém kořínku, krystalizační jádra vycházejí z vnitřní strany sklerenchymatické pochvy, sférolit chalcedonu roztušil i oblast sklerenchymu, makrokryst. qtz v pochvě kořínku i základní hmotě (#4a), G – vějířovité sférolity chalcedonu, na koncích jejich vláken narůstá vrstva mikrokryst. qtz (#8), H - chalcedon uzavřený uvnitř tracheidových buněk, mikrokryst. qtz vyplňuje buněčnou stěnu (#4b), I – podobné jako H, ale buněčné stěny jsou impregnovány oxidy Fe (#4b), J – tracheidy v základní hmotě mikrokryst. qtz, různě impregnované oxidy Fe (#17), K, L – achátovité struktury vyplněné mikrokryst. a makrokryst. SiO_2 , u L lze pozorovat ve velkých krystalech trigonální krystalinitu (#10). Sestaveno z výsledků.

peny nějakým fyzikálním rozhraním (např. #10). Chalcedon ovšem kromě mikrokrytalické podoby najdeme mnohem častěji v podobě různě velkých sférolitů oranžovohnědé barvy, které jsou ve zkrřížených nikolech téměř vždy sytě oranžové a typicky „paprskovitě“ zháší (tab. 6G). Při pozorování v OM se jeví jako velké hvězdičky barvou většinou odpovídající okolnímu pletivu či trochu tmavší a mohly by být nesprávně pokládány za nějaké rostlinné struktury. Stávalo se tak v minulosti často (Dernbach et al. 2002), např. když achátovité výplně v hustém dadoxylonovém dřevu rodu *Araucarites* z masívu Kyffhäuser v Německu byly samotným Cottou mylně považovány za kořínky psaroniových kapradin. Podobné bizarní struktury lze pozorovat i u vzorků č. 9 a 10 (obr. S.9.2, S.10.3).



Obr. 24. Prostorový diagram pyknoxylického koniferového dřeva, šipkami je znázorněn radiální a tangenciální řez sekundárním xylémem, přičemž transverzální řez je horní plocha obrázku. Červeně jsou zvýrazněny průřezy dřevními parenchymatickými paprsky vedoucími v horizontálním směru, žlutě vybarvena jedna z mnoha vertikálně jdoucích tracheid, na jejich radiálních stěnách jsou vidět dvojtečky; upraveno z internetového zdroje č. 2.



Obr. 25. Výbrus č. 14 – PM: transverzální řez sekundárním xylémem dadoxylonového dřeva (typ E). Buňky dvůrkaté ztlustlých tracheid i parenchymatických paprsků jsou perminalizovány mikrokrytalickým či drobnějším makrokrytalickým křemenem, jejich stěny jsou probarveny zbytky uhlíku. Jedná se o dřevo husté, tzv. pyknoxylického typu s nepatrným poměrem parenchymu ku tracheidám. Po sférolitech chalcedonu zde není ani památka, stejně jako u jiných vzorků dadoxylonového dřeva (#9, 10, 11, 16, 17).

Často jsou chalcedonové sférolity na průřezu stonků vidět i makroskopicky, např. v pletivu sekundárního xylému rodu *Arthropitys* (#7, 12). Vždy jsou uspořádány radiálně a společné sousedící paprsky vyrůstají z jednoho bodu, tzv. krystalizačního jádra (Hesse 1989, Flörke et al. 1991, Umeda 2003). Mohly by jim být např. relikty buněčných struktur, zbytky uhlíku či shluky oxidů železa.

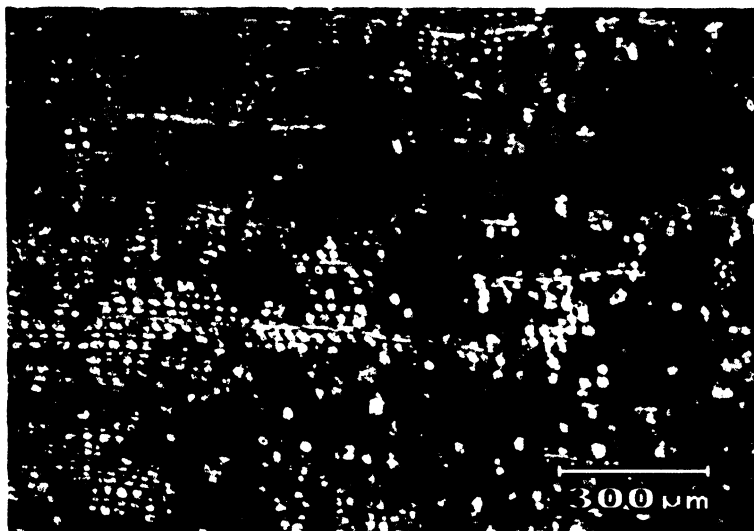
Chalcedonové sférolity mají podobu různě mocných rozevřených izolovaných vějířů (tab. 6F, G) nebo bývají jednotlivé vějíře často uspořádány proti sobě do kruhu (tab. 6F). Velmi často tyto sférolity rostou uvnitř vnitřní zóny korového pletiva vzdušných kořínků psaronií, kde nahrazují původní parenchym či aerenchym; rostou z vnitřní strany a zevnitř tak lemují sklerenchymatické pochvy (tab. 6F), někdy dokonce rostou i přímo v jejich tlustostěnné kůře a porušují její celistvost. Tento jev je těžko vysvětlitelný. Někdy bývají sférolity chalcedonu lemovány mikrokrytalickým křemenem, který narůstá na koncích jejich paprsků (tab. 6G). V naprosté většině případů sférolity nerespektují strukturu pletiv (buněčných stěn) a prorůstají skrz více buněk, čímž původní rostlinnou tkáň devastují. Vytvářejí typické hyperblastické textury, tak jak je popsal Weibel (1996). Jen výjimečně jsou případy, kdy vláknitý chalcedon jednoduše vyplňuje vnitřky buněk (tab. 6H, I), přičemž je omezen v růstu jejich buněčnými

stěnami, mineralizovanými mikrokrystalickým křemenem či někdy impregnovanými oxidy Fe. Co tento chalcedon zadrželo v růstu nebo proč „neprotrhl“ stěnu a neprorůstal dál svými vlákny do jiných buněk nebylo v literatuře dosud popsáno. Je nanejvýš pravděpodobné, že buněčná stěna byla už před růstem sférolitu permineralizována opálem nebo mikrokrystalickým křemenem, takže se o ni růst chalcedonových vláken zastavil. Zajímavé je, že ani jeden vzorek dadoxylonového dřeva, typu E (#9, 10, 11, 14, 16 a 17), neobsahuje sférolity chalcedonu (obr. 25). Naopak u rodu *Arthropitys*, typu B (#7, 8 a 12), jsou v sekundárním xylému velmi časté (obr. 26 a 27). Nejspíš to souvisí s celkovým uspořádáním dřevní tkáně, kdy u dadoxylonu je dřevo pyknoxylického typu, kompaktní a husté (obr. 24), řady tracheid silně převažují nad parenchymem paprsků a chalcedon by neměl dost prostoru k růstu. Z výsledků mikroskopie dřev (OM, PM, CL) je totiž patrné, že sférolity chalcedonu skutečně přednostně rostou v původně parenchymatických tkáních, např. v centrálních dutinách kalamitů (obr. S.8.5), v parenchymu diktyostélé psaronií (obr. S.4.9) a v již výše zmíněných vnitřních korových zónách kořínků (obr. S.5.8).

Naopak u kalamitů je dřevo velmi řídké (obr. 26), a i když se na transverzálním řezu jeví velmi podobné dadoxylonu (srovnej např. obrázky S.7.19 a S.14.9), obsahuje dlouhé paprsky a tedy i velký podíl parenchymu ku tracheidám, což je nejlépe patrné zejména z tangenciálního řezu (viz obr. B.5 a 26). Z těchto skutečností a získaných výsledků mikroskopického pozorování by mohlo vyplývat, že dřevové paprsky tvořené tenkostěnnými parenchymatickými buňkami mezi tracheidami jsou více náchylné k rozkladu a nejsou tak odolné jako ztlustlé tracheidy, a chalcedonové sférolity jimi snadno prorůstají. Tato hypotéza je graficky znázorněna na obr. 26. Proto se tedy sférolity v sekundárním xylému (druhotném dřevu) vyskytují u typu B a nejsou u typu E. Typ C (*Psaronius*) je atypický a sekundární xylém nemá. Typ D (*Medullosa*) má taktéž řídké dřevo, tzv. manoxylického typu, s vysokým podílem



Obr. 26. Řídké dřevo kalamitů (*Arthropitys*) v tangenciálním řezu (jeho směr vyznačen na obr. 24), kde je poměr parenchymu ku dřevu téměř 1:1. Červená kolečka zvýrazňují lumény parenchymatických paprsků, žluté čáry potom vertikálně jdoucí vřetenovité tracheidy. Sférolity chalcedonu prorůstají z parenchymu do okolních buněk (oranžovohnědé) a v transverzálním řezu se projevují v dřevě jako „hvězdičky“ (viz obr. 27); upraven obrázek B.5 ze zdrojů R. Rößlera.



Obr. 27. Výbrus č. 8 – OM: transverzální řez sekundárním xylémem stonku rodu *Arthropitys* (typ B). Řady tracheidových buněk lemované dlouhými parenchymatickými paprsky jsou silně rozrušeny sférolity chalcedonu, které se na průřezu jeví jako tmavě hnědé, nepravidelné, různě velké hvězdy. Původní pletivo je tak silně rozrušeno a v některých místech zcela pozbývá své původní struktury. Podobný jev je pozorovatelný i u jiných vzorků typu B (# 7 a 12).

parenchymu (podobně jako typ B), avšak pro nedostatek vzorků zde nemohl být hodnocen. Tento znak **absence chalcedonu** by se tedy skutečně mohl spojovat přímo s **dadoxylonovým dřevem**, a to i v souladu s poznatky uvedenými v literatuře, kdy sférolity chalcedonu nebyly v dadoxylonovém dřevu popisovány (Weibel 1996, Březinová et al. 1994, atd.), na rozdíl od častých achátovitých struktur (Dernbach et al. 2002). Nepřehlédnutelné ovšem je, že tyto chalcedonové sférolity jsou velmi dobře vyvinuty u vzorků (typu B) pouze u čísel 7, 8, a 12, zatímco u vzorků č. 1 a 6 zcela chybí a sekundární xylém je velmi dobře zachován.

Minerální signatury silicifikovaných dřev

V tabulce 7 jsou uvedena naleziště jednotlivých exemplářů včetně zastoupených stratigrafických jednotek v lokalitě, přičemž při porovnání dat zjistíme zajímavou souvislost mezi konkrétní lokalitou a mírou zachování rostlinného pletiva. Lokalita Balka (#1, 6) u Nové Paky leží v oblasti, kde vystupuje ploužnický obzor, který je spojován s vulkanismem a jemnými pelitovými vložkami jezerní sedimentace (Pešek et al. 2001). Vzorky s excelentně zachovanou strukturou pletiv, uváděné hojně v literatuře, téměř výhradně pocházejí z vulkanických oblastí (Ash 1998, Ash & Creber 2000, Dernbach et al. 2002, další viz kap. 2.2.5). Tato zkřemenělá dřeva bývají nádherně probarvena sytými odstíny nejrůznějších barev,

Lokalita (tučně zvýrazněny nejvýznamnější lokality)	Pánev (souvrství)	Čísla #	Revidované systematické zařazení (<i>genus</i>)
Balka, Nová Paka	PKP * (se – s.n.)	1, 2, 3, 5, 6	<i>Arthropitys</i> GOEPP. (1, 6), <i>Psaronius</i> COTTA (2, 5), <i>Myeloxylon</i> BRONGN. (3)
Nová Paka	PKP (?)	4, 17	<i>Psaronius</i> COTTA (4), <i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales) (17)
Les Lísek, Stará Paka	PKP (vr)	7 _{rk} , 8, 12	<i>Arthropitys</i> GOEPP. (7, 8, 12)
Pole při "Přičnici", Stará Paka	PKP (vr)	10	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)
Stupná (u Pecky), lesní úvoz k sv. Máří Magdaléně	PKP (ku)	9	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)
Studenec, Černý les, (směrem k Nedaříži)	PKP ** (vr)	14	<i>Dadoxylon</i> ENDL.
Kozinec u Jilemnice	PKP ** (vr)	18 _k	? <i>Arthropitys</i> GOEPP.
Podkrkonoší (bez bližšího upřesnění)	PKP (?)	13	<i>Calamites</i> SUCKOW
Halda po uhelném dolu, Radvanice	VSP (od _s)	15 _s	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales)
Žaltmanský hřeben u Radvanic, Brenda	VSP (od)	11, 16	<i>Dadoxylon</i> ENDL. (?Voltziales) (11,16)
?	?	19	<i>Medullosa stellata</i> var. <i>typica</i> WEBER et STERZEL

Tab. 7. Lokality nálezů studovaných v této práci. Vysvětlivky: se – semilské souvrství, ku – kumburské souvrství (štikovské arkózy), vr – vrchlabské souvrství (staropacké pískovce), od – odolovské souvrství (žaltmanské arkózy), s.n. – sekundární náplavy, * pravděpodobná asociace s vulkanismem ploužnického obzoru, ** permský vulkanismus. Dolní indexy u #: rk – relikty kalcifikace, k – kalcifikovaný, ? – jívecké vrstvy, radvanické souslojí, s – sideritizovaný vzorek.

čímž jsou také velmi atraktivní pro sběratele. Vzniká tak neblahá situace, kdy unikátně dochovaná dřeva s jemnými detaily struktur pletiv by mohla mít obrovský význam pro paleobotanické a systematické studium, ale právě ta jsou už po staletí vyhledávanými trofejemi sběratelů po celém světě. Např. i v muzeu v Nové Pace si lze z lokality Balka (V Balkách) prohlédnout krásně probarvené a excelentně zachované vzorky.

Problém nastává u vzorků (#4 a 17), kde byla pouze uvedena lokalita Nová Paka bez bližšího upřesnění. Kolem Nové Paky se totiž setkávají odlišná souvrství a bez známých podrobností o místě nálezů tedy není jasná původní stratigrafická jednotka. Navíc oba vzorky obsahují velmi dobře zachované struktury pletiv, které by taktéž mohly souviset se silicifikací proběhlou za spoluúčasti vulkanického materiálu, takže je možné, že také pocházejí z Balky nebo ploužnického obzoru. Z Balky také pochází jediný zvláštní případ silicifikovaného sedimentu (#3) s výborně dochovaným detritickým materiálem (spory, atd.) a s uzavřeným prokřemenělým řapíkem *Myeloxylon* BROGN.

Vzorky č. 7, 8 a 12 však pocházejí z lokality Lísek, která je výrazně mladší než Balka a je spojována s pískovcovými uloženinami vrchlabského souvrství, s tzv. staropackými pískovci (viz kap. 2.5.1). Jak je tedy zřejmé, míra zachování pletiv je úzce spojena s lokalitou a specifickými podmínkami prostředí, které měly vliv na průběh silicifikace.

V míře zachování pletiv tedy nelze nalézt mezi vzorky žádný jednoduchý přírůstek, stonky jsou odlišné stavby, složeny z rozmanitých pletiv uspořádaných ve stonku různě a v různém poměru, silicifikace mohla proběhnout na více etap a lokality nálezů nejsou přesně určeny tak, aby se dalo přesně říct, z kterého místa a z které vrstvy vzorek pochází či zda jde o sekundární náplav. Podobně jako u rodu *Arthropytis* bývá i dadoxylonové dřevo kvalitně permineralizováno, aniž by se ztratily i velmi jemné detaily (#14, 16), nebo naopak bývá velmi poničené rekrytalizací makrokrytalickým křemenem. V takových vzorcích sotva najdeme reliktů původního pletiva (#9). To prakticky znemožňuje přesnější zařazení dřev z tangenciálních, radiálních a příčných řezů. Vzorky psaronií (typ C) v této práci (#2, 4, 5) jsou na některých místech poměrně poničené a rekrytalizované, pravděpodobně prodělaly transport a pocházejí ze sekundárních náplavů, přičemž hojně obsahují detritické příměsi, a to jak uvnitř tak na svém povrchu. V muzejních exponátech z Nové Paky bychom ale opět mohli najít excelentně zachované psaronie s dochovanými polyarchními cévními svazky uvnitř kořínků. Rozdíly v kvalitě zachování pletiv skutečně souvisí s typem pletiva (taxonu), lokalitou nálezů, průběhem silicifikace a konkrétními podmínkami prostředí, ve kterém dřevo vznikalo a popř. se i přemísťovalo.

Všechny vzorky (#1 až 19) jsou prostoupeny různým množstvím prasklin, často se v nich vyskytují i široké trhliny či dutiny. Jak již bylo zmíněno výše, bývají často vyplněny makrokrytalickým křemenem, ale mohou je vyplňovat i zrna křemene menších velikostí, v závislosti na mocnosti, síle a také lokalizaci těchto defektů v rámci stonku. Často také bývají vyplněny alochtonním detritickým a minerálním materiálem nebo oxidy železa, které se akumuluji především v delších a širších prasklinách. Např. silikátová hmota vzorků typu B (*Arthropytis*, #1, 6, 8, 12) se jeví celkově poměrně kompaktní, obsahuje však kromě menších různě rozptýlených bezvýznamných trhlinek často také široké, tmavě impregnované praskliny ve vnější části stonku (#8 a 12), které navíc atypicky probíhají rovnoběžně s jeho

obvodem a respektují tak koncentrické uspořádání stonku. U vzorku č. 12 bylo např. v takovéto obvodové prasklině nalezeno velké množství minerálních zrn, patřících zejména těžkým minerálům (viz kap. 5.12).

Sediment bývá ve vzorcích uvězněn uvnitř, přilepený při okrajích či nasypáný v prasklinách, může být jemný od prachovce k jílovcí, např. u vzorků z lokality Balka (#1, 3, 5) nebo naopak hrubší, od prachovce až po pískovec (#12). I ostatní vzorky rodu *Arthropitys* ze Staré Paky (#7, 8) obsahují minerální příměsi, zejména však ve „velkých a širokých“ prasklinách při okraji stonku. Ve vzorcích dadoxylonů z arkózových vrstev se minerální zbytky moc často nevyskytují, což je asi způsobeno hrubostí sedimentu, který do malých trhlin nepronikne, a také dadoxylonovým typem dřeva, které je poměrně husté. Zajímavou situaci pozorujeme u psaronie č. 5, kde je ve střední části vzorku uvnitř vzdušných kořínků či mezi pláty diktyostélé uzavřen mnohem hrubozrnnější (a navíc ostrohranný) sedimentární materiál než přímo uvnitř či na povrchu vzorku, kde je sediment jemnozrnný a se zaoblenými zrny. Díky této heterogenitě allochtonního detritického materiálu v rámci jednoho exempláře je možné odhadnout tafonomii dřeva. Kořínky, ve kterých se nachází cizorodý materiál, mají porušené sklerenchymatické pochvy, přičemž tyto přívodní dráhy nejsou zcela zalaty silikátovou hmotou. Mohlo by se z hlediska charakteru zrn v nich obsažených jednat o detritický materiál s biotitem, který se tam dostal ještě za života rostliny a zarostl v ní, přičemž po jejím odumření mohl být stonek následně (možná i ve více etapách) transportován do místa, kde se dovnitř dostal jemnozrnnější materiál bez biotitu a kde pak proběhla silicifikace, nebo její další stadium. Možná, že tak zároveň se vzorkem držíme v ruce i důkaz skutečného sedimentárního prostředí, ve kterém daná rostlina v permokarbonu rostla. Její část (stonek, řapík, kořenový obal, atd.) potom následně prodělala transport, a nakonec ji obklopil sediment s vytříděnými angulárními zrny. Jako výborná metoda, která naznačila tuto možnost se ukázala CL (viz kap. 5.5).

Obecně se dá říct, že nejvíce širokých trhlin a prasklin, často vyplněných detritickým materiálem, mají stonky s velmi heterogenní koncentrickou stavbou, kde se střídají kompaktní struktury dřeva s parenchymatickými strukturami (dutinami) jako např. u rodu *Arthropitys* či *Psaronius*. Tato a podobná biologická a fyzikální rozhraní jsou málo odolná proti tlaku a snadno se deformují, trhají a praskají, což může platit i o sezónním střídání různě kvalitních přírůstkových linií sekundárního xylému v případě kmenů primitivních konifer (#15). Mezi nejvíce náchylné zřejmě také patří vzorky psaronií, jejichž diktyostélé složené z cévních svazků, sklerenchymatických plátů a jemného parenchymu se často rozpadá a snadno ztrácí svoji soudržnost. Navíc je zde ještě různě mohutný plášť vzdušných kořínků, který je (zejména jeho vnější část) naprosto bezkonkurenčním sběračem sedimentárního materiálu (#2, 5).

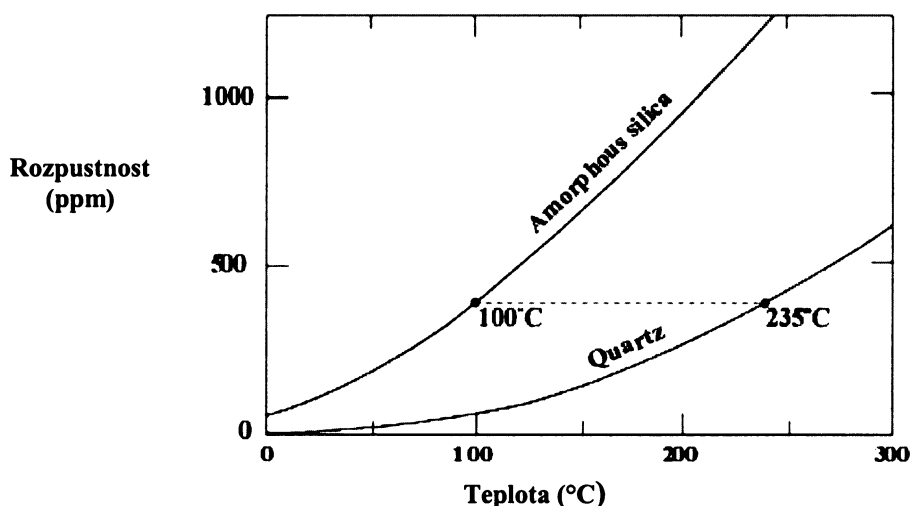
Železo je velmi častý doprovodný prvek, který se objevuje v prasklinách (#16), dutinách (#8, 9), často impregnuje i buněčné stěny (#4) a barví buněčné prostory, a to pravděpodobně ve formě Fe_2O_3 nebo FeOOH . Pokud spojíme výsledky získané z katodoluminiscenčních fotografií a analýz EDX, dojdeme k závěru, že převládající forma železa je oxidovaná (Fe^{3+}). V analýzách EDX není Fe nikdy doprovázeno sírou a často jen malým množstvím uhlíku, tzn. že se nevyskytuje ve formě pyritu či markazitu (FeS_2) ani sideritu (FeCO_3), které jsou typické pro trvale redukční prostředí. Podle CL jde často o jemné shluky oxidů Fe^{3+} , čemuž na všech fotografiích CL odpovídají karmínové skvrny jemně dispergovaných oxidů

železitých i karmínový odstín CL křemité hmoty. Křemitá hmota sama má v normálním světle oranžové, okrové, nahnědlé až tmavě hnědé odstíny, což rovněž ukazuje na hematitový pigment nebo FeOOH . Fe^{2+} působí na CL jako zhášec (viz kap. 2.4), takže v případě převládajícího výskytu Fe v redukovaném stavu bychom patrně nenaměřili žádnou CL. Z výsledků vyplývá, že přinejmenším závěrečné fáze silicifikace probíhaly v oxidačním prostředí, tedy nad hladinou podzemní vody (viz dále v textu).

U některých vzorků se setkáváme s dosud nepublikovaným jevem jakéhosi „vybělení“ v oblastech sekundárního xylému (#7, 14), které je velmi výrazné již při makroskopickém pozorování. Buňky dřeva (tracheidy i paprsky) v těchto nepravidelně rozmístěných oblastech vůbec neobsahují Fe, naopak jsou jejich buněčné stěny černě probarveny zbytky uhlíku (C). Materiál tedy musel být v době permineralizace zpočátku v redukčním prostředí, jinak by organické látky za přístupu kyslíku snadno podlehly rozkladu. To by ale znamenalo, že by ve vzorcích dodnes měly být přítomny redukované formy Fe (sulfidy, siderit, atd.), jenže tomu tak není (viz výše). Silicifikované dřevo, možná prvotně impregnované opálovými formami SiO_2 , se potom muselo dostat do styku s kyslíkem, např. rozpuštěným ve srážkové nebo proudící povrchové vodě, takže místy je uhlík pryč a Fe je hojně ve formě Fe^{3+} , o čemž svědčí nejen narezlé a hnědavé barvy pletiva, nýbrž i výsledky CL měření.

Zdrojem Fe v silicifikovaném dřevu mohlo být zejména zvětrávání tmavých slíd (biotitu) a tmavých minerálů, které jsou dnes ve fosiliferních arkózách velmi málo zastoupené nebo jsou chloritizované (Valín 1960), ale které byly s největší pravděpodobností součástí granitoidů a dalších krystalických hornin, z jejichž zvětrávání hlavně pocházel sedimentární materiál v pánvích.

Silicifikace výše uvedených vzorků pravděpodobně neměla jednotný ráz a probíhala v různých stupních, v přímé souvislosti s lokalitou, geologií oblasti a klimatickými podmínkami. Nelze ani vyloučit proudění teplých roztoků, z nichž po ochlazení vykrytalizovaly amorfni či přímo krystalické fáze SiO_2



Obr. 28. SiO_2 geotermometr je široce používán pro hydrotermální systémy (Rimstidt & Cole 1983). Rozpustnost amorfniho SiO_2 (opálu-A) a krystalického křemene je funkcí teploty. Jako příklad je uveden hydrotermální roztok opálu-A při 100°C (s obsahem 370 ppm rozpuštěného křemíku), v rovnováze s křemenem (rezervoár o teplotě 235°C).

Jak vyplývá z grafu na obr. 28, o tom, jestli z roztoku vypadne křemen či amorfni fáze (opál), rozhoduje zejména koncentrace rozpuštěného H_4SiO_4 a teplota. Pokud je roztok „podsycen“ vůči amorfni formám SiO_2 , vypadává rovnou krystalický křemen (viz kap. 2.2.3, 2.2.4). Jak vyplývá z charakteristik stratigrafických jednotek PKP a VSP, ve kterých byla permokarbonská silicifikovaná dřeva nalézána, silicifikace pravděpodobně ve většině případů probíhala v silně porézních psamitických sedimentech aluviálního původu, kde koncentrace H_4SiO_4 asi nebyla nijak závratná.

Na výsledný průběh silicifikace, a to zejména v případě roztoků podsycených vůči opálu, má také velký vliv dostupnost krystalizačních zárodků nebo míst, na kterých by mohly růst krystaly. U vzorků můžeme pozorovat, že silicifikace často velmi detailně respektovala původní strukturu pletiva. Jeden základní motiv buněčného uspořádání se silicifikoval jedním typem křemene, což ještě více pomohlo zviditelnit anatomii rostlinného stonku i po samotné permineralizaci. Je to velmi dobře vidět např. při zobrazeních PM nebo CL, pokud se tedy různými typy SiO_2 liší vnitřek a vnějšek buněk a vzniká tak dostatečný kontrast ve velikostech a morfologii materiálu. Možná přednostní silicifikace buněčných stěn, což je vlastně podmínka zafixování struktury rostlinných pletiv, byla podmíněna jen snadnou nukleací křemene na pevných organických polymerech.

Přínos použití katodoluminiscence a její interpretace

Instrumentální analýzy všech vzorků, které byly provedeny následně po detailním pozorování výbrusů v procházejícím světle (OM a PM), přinesly téměř ve všech studovaných případech velmi hodnotné a zajímavé výsledky. **Katodoluminiscence** se při těchto měřeních osvědčila jako naprosto bezkonkurenčně rychlá *imagingová* metoda, která zobrazuje jednak odlišné generace křemenné hmoty (vnitřní defekty ve struktuře), přírůstkové zóny minerálních zrn a cizorodé příměsi ve vzorcích (např. případnou přítomnost moganitu, fluoritu a REE prvků), ale navíc ještě v některých případech dokáže rozlišit rozhraní velice jemných biologických struktur, a ukázat tak detaily anatomických znaků původních pletiv, které nebyly viditelné jinými metodami včetně optické a polarizační mikroskopie. CL se tedy, jakožto zcela nedestruktivní analýza, uplatnila při studiu výbrusů jak z petrografického, tak i paleobotanického hlediska.

V literatuře se běžně objevuje snaha interpretovat CL křemene v termínech provenience, tj. rozlišovat různě metamorfované matečné horniny a autigenní křemen (viz kap. 2.4). Ve dřevěch tento přístup nemá smysl, protože teploty silicifikace nemohly být příliš vysoké, jinak by se totiž zničila organická matrice a vznikaly by nejvýš jen achátovité výlitky. Přesto jsou CL snímky dřev velmi pestrobarevné (až na výjimky - #11, 12). Obvyklé vysvětlení takovýchto pestrých odstínů CL dřev bylo v literatuře spojováno s více generacemi SiO_2 hmoty, hydrotermálním křemenem atd. (Götze et al. 2001, Dernbach et al. 2002, Witke et al. 2004). Toto má však oprávnění snad jen v případech, kdy k fosilizaci docházelo ve vulkanicky aktivním prostředí, jako tomu bylo právě v oblasti Chemnitz v Německu (Dietrich et al. 2001, Götze et al. 2001, Nestler et al. 2003, Witke et al. 2004). Většina dřev z PKP a VSP ale poskytuje poměrně pestrou CL, ačkoli v karbonu byl v této oblasti vulkanismus v porovnání s Chemnitz podstatně méně významný. SiO_2 se asi uvolňoval při zvětrávání biotitu a živců, a možná až na přelomu karbonu

a permu při zvětrávání vulkanitů, a to především asi na lokalitě Balka. Spíš by se dal tedy v případě těchto dřev očekávat vliv substituce Si^{4+} v křemenu, a to ionty Fe^{3+} a Al^{3+} , a to zejména při přímé krystalizaci křemítkých krystalů z roztoku bez stadia s amorfním opálem. Substituce Al^{3+} vede ke krátce žijící modré při 380 – 390 a 500 nm (v různých odstínech) a substituce Fe^{3+} jednoznačně k červené CL při 705 nm (Götze et al. 2001, Richter et al. 2003), taktéž v různých odstínech. Základní a nejčastější odstíny CL křemenné hmoty v měřených vzorcích jsou modrý a červený.

Křemítký materiál výbrusů (dřev) je ve většině případů hojně zbarven železem, které se v CL projevuje nebo ji naopak tlumí v závislosti na svém mocenství v oxidech (viz kap. 2.4.1). Marek (2004) při studiu achátů z Podkrkonoší narazil na jemné inkluze Fe^{3+} , které poskytovaly červenou CL, což se v našem případě také potvrdilo. Jen odstín CL se na všech fotografiích dřev, kde jsou oxidy Fe^{3+} zachyceny, jeví spíše jako tmavě karmínový, zejména porovnáme-li ho s převládajícím červeným CL odstínem silicifikovaných pletiv. Protože rozmanitá buněčná struktura různých pletiv má vliv na specifický průběh silicifikace a výslednou podobu křemenných krystalitů, má díky tomu také vliv na konečné zbarvení CL. Odstín CL je tedy přímo podmíněn konkrétní stavbou buněk pletiv a podmínkami, za kterých probíhala silicifikace. Konkrétní rod (typ) rostlin tedy nemá vliv na jednotlivé odstíny CL přímo, ale přes specifickou krystalinitu SiO_2 v zachovaných rostlinných pletivech, podmíněnou podmínkami silicifikace a dispozicemi rostlinného pletiva k růstu jednotlivých forem křemítké hmoty. Tato hypotéza se potvrdila u všech fotografovaných vzorků, které poskytovaly jasnou luminiscenci.

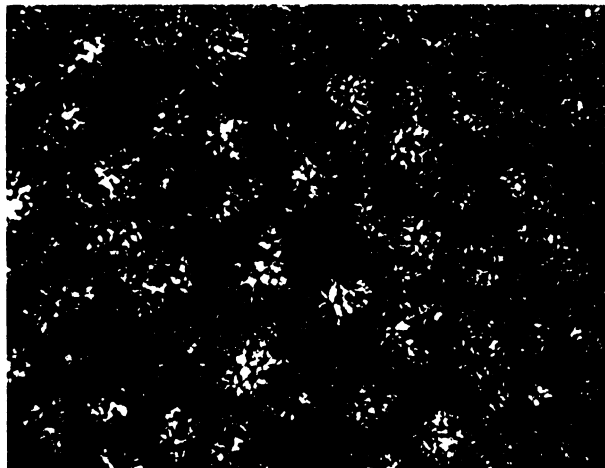
Na základě výsledků získaných z měření vzorků, které poskytovaly zcela zřetelnou katodoluminiscenci, lze pro její objevující se odstíny sestavit dva odlišné interpretační modely. První model zahrnuje vliv morfologického typu SiO_2 (viz tab. 8). U vzorku č. 15 a 19 nebylo CL měření provedeno, v prvním případě z důvodu přítomnosti sideritu, ve kterém je železo ve formě Fe^{2+} (zhášeč CL) a příměs opálu je jakožto amorfní látka pravděpodobně také bez luminiscence, a ve druhém případě protože zhotovení výbrusu nebylo povoleno.

Typ minerálu	Odstín katodoluminiscence (CL)	Evidenční čísla vzorků #
mikrokrystalický křemen	červený	
makrokrystalický křemen	hnědočervený	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
chalcedon	růžovofialový či modrofialový	16, 17
oxidy železa (Fe^{3+})	tmavě karmínové skvrny	
kalцит	oranžový	7, 18

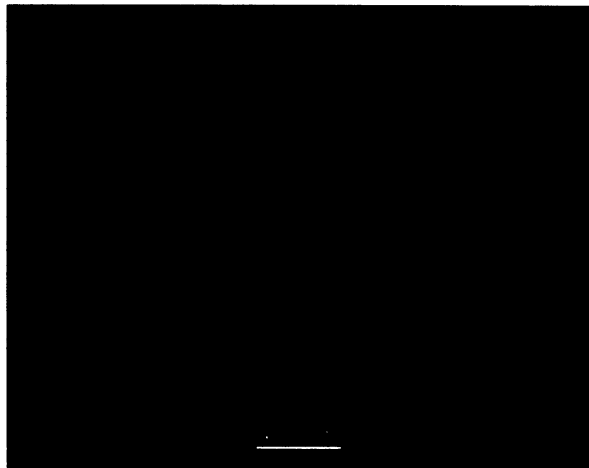
Tab. 8. Obecně platné schéma získané na základě měření CL u výše uvedených vzorků, které k určitému morfologickému typu SiO_2 přiřazuje konkrétní odstín CL.

Na obrázcích 29 a 30 je zobrazena část sekundárního xylému přesličkovité rostliny rodu *Arthropitys* v transverzálním řezu, jejíž detail byl vyfotografován nejprve ve zkřížených nikolech (PM, obr. 29) a následně byla v tomto úseku zhotovena odpovídající CL fotografie (obr. 30). V polarizovaném světle (obr. 29) vidíme heterogenitu křemenné hmoty, která se projevuje v morfologii a velikosti krystalů, jejichž uspořádání se dokonale podřídilo základní struktuře původního rostlinného pletiva. Na CL snímku (obr. 30) potom můžeme pozorovat jemné růžové, červené až fialové odstíny CL, které odpovídají

různým typům křemene z obr. 29. Získaný kontrast těchto CL odstínů potom vytváří obraz, který téměř kopíruje anatomickou strukturu rostliny a některé její jemné detaily dokonce zvýrazňuje více, než je schopná ukázat běžná optická (OM) či elektronová mikroskopie (SEM). U některých vzorků (#7, 8 a 16) se navíc objevuje v základní silikátové hmotě krátce-žijící modrá CL, která po krátké době (několik sekund) přechází v dlouhotrvající červenou CL.



Obr. 29. Výbrus č. 6 – PM: buněčné stěny tracheid a paprsků jsou permineralizovány mikrokrytalickým křemenem, jejich vnitřky drobným a hrubším makrokrytalickým křemenem. Struktura pletiva je mnohem hůře rozlišitelná než v OM i CL. Transverzální řez dřevem rodu *Arthropytis*.



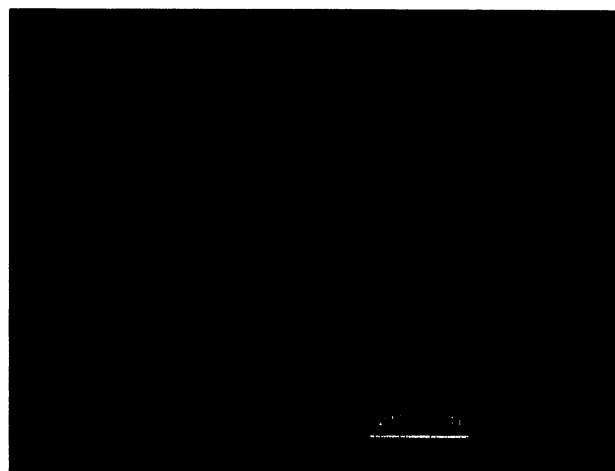
Obr. 30. Výbrus č. 6 – CL: popis snímku jako na obr. vlevo, každý typ krystalů SiO_2 poskytuje jinou CL. V buňkách je hnědočervená CL makrokrytalického křemene, v základní hmotě převažují různé odstíny červené CL mikrokrytalického křemene, kopírující původní strukturu pletiva, zde zejména tracheid.

Zvláštní jev pozorujeme u vzorku č. 14, kdy „vybělené“ úseky v pletivu sekundárního xylému poskytují jasně modrou CL, přičemž buněčné stěny těchto buněk asi obsahují zbytky uhlíkatých látek. Protože se tato černá pigmentace objevuje jakoby vně buněk na vnější straně buněčných stěn, jedná se pravděpodobně o relikty ligninových ztlustlin, u dadoxylonového dřeva o relikty kulatých a poměrně velkých dvojteček na radiálních stěnách tracheid, u jiných dřev např. o šroubovitě či schodovitě ztlustliny. Paradoxně tyto úseky, které se jeví jako „vybělené“ v odraženém světle, se v procházejícím světle zdají tmavé (obr. 31); jediné rozumné vysvětlení je, že se světlo rozptyluje na mikroskopických překážkách cca do 1 μm . Na druhé straně buňky dřeva, které makroskopicky (v odraženém světle) vypadají jako hnědé, mají stěny průhledné a vnitřky jemně zbarveny oxidy železa. Tyto úseky se v CL projevují sytě červeným odstínem. Je to zajímavá ukázka projevu CL ve vztahu k pigmentaci (C, Fe), těžko však ze snímků odhadneme, která barva CL byla prvotní. Z toho plyne interpretace podle chemismu silicifikované hmoty: oblasti s C v buněčných stěnách a bez oxidů Fe^{3+} v buňkách (křemitá hmota v „redukovaném stavu“) potom asi představují pozůstatky prvotních stadií silicifikace. Dnes se sice jeví kus silicifikovaného dřeva jako kompaktní a pronikání různých roztoků takhle "doprostřed" vzorku a ještě v takových mozaikovitých útvarech jako na obr. 31 a 32 vypadá nepochopitelně. Je ale třeba si uvědomit, že v transverzálním řezu vidíme původně vodivé tracheidy, které po prvotní silicifikaci buněčných stěn mohly ještě po nějakou dobu zprostředkovávat průtok roztoků ve směru kolmém na rovinu obrázků. Podobný jev se objevil i při okraji výbrusu č. 7 a 8 (obr. S.8.17), kde je zdánlivě ještě hůře vysvětlitelný z hlediska své lokalizace: tam je v odraze světlejší (méně červená, okrová nebo bělavá) hmota v úzkém a dobře ohraničeném prstenci kolem vnějšího obvodu. Podobný světlý prstenec je vidět v publikaci Dernbacha

et al. (2002) na mnoha transverzálním řezech silicifikovanými dřevy z nejrůznějších lokalit, většinou s vulkanogenním zdrojem SiO_2 .



Obr. 31. Výbrus č. 14 – OM – oblast 2: rozhraní tmavé a „vybělené“ části sekundárního xylému v transverzálním řezu, buněčné stěny tracheid i paprsků jsou ve „vybělených“ úsecích tmavě lemované C (jeví se na snímku tmavé). V pletivu vytváří nepravidelné obrazce; detail z obrázku S.14.12.



Obr. 32. Výbrus č. 14 – CL – oblast 2: popis snímku jako na obr. vlevo, světlá část dřeva má jasně modrou CL, narozdíl od Fe pigmentované oblasti, která má CL červenou, hranice obou barev je poměrně ostrá. Z distribuce barev na snímku lze jen těžko odhadnout, která CL byla prvotní; detail z obrázku S.14.14.

Druhý model interpretace odstínů CL je v souladu s trendy interpretace CL dřev nalezených v Chemnitz (Witke et al. 2004), a ten je založen na hypotéze dvou generací křemene, s dlouhodobou červenou CL takřka hotové silicifikace, do které potom druhotně invadovala hmota s krátce-žijící modrou CL. V některých našich vzorcích je vidět, jak podél trhlin a nepravidelných prasklin, vznikajících v důsledku heterogenit materiálu na rozhraních odlišných biologických struktur nebo v místech mechanických poškození, pronikal pravděpodobně do stonků odlišný silicifikační roztok, což vypadá jako nápadný „střet“ odstínů CL u vzorků č. 3, 5, 6 a 9. Unikátními ukázkami tohoto jevu jsou z uvedených vzorků případy výbrusů č. 5b a 9, kde se do psaroniového stonku (#5b) obaleného pláštěm vzdušných kořenů dostalo hrubými prasklinami nějaké cizorodé fluidum, které pravděpodobně změnilo chemismus v oblasti rozhraní diktyostélé a kořenového pláště (obr. S.5.22). Vyplňuje zde dutiny bez zachovaných pletiv (obr. S.5.16). U výbrusu č. 9 se v silně poničených a velmi pokročile rekrystalizovaných úsecích dadoxylonového dřeva mezi neobyčejně masívními krystaly křemene s červenou CL objevují jemnozrné nepravidelné úseky, které v CL připomínají modrou řeku, výrazně odlišitelnou od základní matrice. Tato řeka vždy působí dojmem, že natékala do defektů v už existující hmotě (obr. S.9.11, S. 9.13).

U vzorku č. 6 se podařilo na fotografii S.6.12 zachytit modrý proužek luminiskující odlišně od okolní hmoty. Lemuje trhlínu, která prochází podélně mezi řadami tracheid, až naráží do tlakem zdeformované struktury „falešného letokruhu“, takže esovitě uhýbá a postupně se vytrácí (viz obr. S.6.12). Jeho CL je krátce-žijící, tudíž by se mohlo opět jednat o podobný případ druhotné silicifikace. S podobným charakterem výskytu odlišné CL se setkáváme u vzorku č. 3. V tomto případě se však jedná o silicifikovaný laminovaný sediment, mezi jehož vrstvami probíhají odlišně modře krátkodobě luminiskující proužky SiO_2 hmoty. Mohlo by to ukazovat na vliv Al^{3+} v krystalové mřížce křemene, který možná pochází z chemického zvětrávání, které by ale muselo probíhat ve velmi kyselém prostředí

(pH<3). Stojí za zmínku, že vzorky č. 3, 5 a 6 pocházejí ze stejné lokality (Balka). Vzorky č. 11 a 12 měly velmi slabou luminiscenci, včetně základní hmoty sedimentu ve vzorku č. 5.

U vzorku č. 7 se navíc setkáváme v jednom místě výbrusu s oranžovou CL (viz obr. S.7.16, S.7.18), která je prozatím stále nerozluštěnou záhadou. Možná představuje jakési relikty prvotní karbonatizace, která byla v další fázi nahrazena silikátovou hmotou. Anebo jde o křemen nezvyklých vlastností. U některých vzorků silicifikovaného dřeva z Chemnitz v Německu byla totiž popsána i žlutá luminiscence (Witke et al. 2004, Richter et al. 2003, Götze et al. 2001), která je jinak pro křemen zcela neobvyklá a byla přisouzena křemenu hydrotermálního původu.

Z nově získaných praktických zkušeností vyplynulo, že pokud byla katodoluminiscence předřazena před ostatní analýzy (jako např. EDX), odhalila často neobvyklé a naprosto neočekávané skutečnosti, jako například relikty kalcifikace ve vzorku č. 7, pomohla pochopit souvislosti mezi získanými výsledky z ostatních měření, a navíc zlepšila orientaci ve struktuře vzorku, např. umožnila najít přítomný nahromaděný detritický materiál (#5, 18), který potom byl cíleně a mnohem detailněji analyzován EDX.

Dále se ukázalo, že při jakékoli podrobnější analýze by bylo naprosto ideální znát místo naleziště, nebo dokonce jeho polohu v regionální stratigrafii, aby se z kusu petrifikovaného dřeva vytěžilo maximum informací, zejména s ohledem na jeho genezi. Bohužel toto lze u muzejních vzorků, často bez uvedené nebo s nejednoznačně popsanou lokalitou, zřídka dohledat. Úplně nejlepší by bylo analyzovat pro srovnání i okolní sediment, ve kterém byl vzorek uložen či jím byl obklopen, jak doporučoval např. Weibel (1996; viz kap. 2.1.1). Katodoluminiscence byla ke studiu převážně křemitého materiálu různě hrubých sedimentů v nedávné době mnohokrát úspěšně použita (Götze & Zimmerle 2000, Götze et al. 2001), takže by nebyl problém se srovnáváním a interpretací výsledků. Bohužel dřívější (muzejní) i dnešní sběratelské nálezy často pocházejí z recentních aluvií, koryt potoků, oranišť nebo lesních půd, takže fosilní dřeva jsou často nenávratně vytržena z jejich geologické souvislosti. Pro příští práci by bylo vhodnější použít vlastních sběrů, popř. sběrů u kterých majitel vzorku potvrdí přesnou lokalizaci v rámci naleziště, a zaměřit se i na případné další pozůstatky fosiliferních poloh.

Rentgenová difrakční analýza (XRD) u všech měřených vzorků (#8, 9, 10, 11 a 17), s výjimkou vzorků č. 15 a 18, dokázala přítomnost čistého krystalického křemene a vyloučila tak přítomnost jakýchkoli hydratovaných fází SiO_2 . To potvrdilo vysoký stupeň krystalinity vzorků poměrně vysokého stáří (svrchní paleozoikum). Vzorek č. 8 navíc kromě křemene obsahoval nepatrnou příměs kaolinitu (několik málo %), která zřejmě představuje relikty okolního zvětralého sedimentu. Problémem je, že tato metoda zpracovává směsný vzorek z větší části rostlinné tkáně a navíc rozdíly v difrakci krystalové mřížky křemene, chalcedonu, lutecitu, kvarcinu či moganitu jsou velmi nepatrné, takže tyto fáze mohou být v zprůměrovaném vzorku pod mezí detekce. Mnohem vhodnější by zřejmě byla mikrodifrakce z vybraných oblastí a to i k analýze přítomných minerálních inkluzí. U nesilicifikovaných vzorků se v jednom případě (#15) podařilo naměřit difrakční linie sideritu a hematitu, spolu s širokou linií amorfní fáze, a prokázala se tak sideritizace vzorku vedle opálové příměsi, která byla pozorovatelná optickou mikroskopií ve zkřížených nikolech. 98% kalcitu spolu s 2% křemene byly detekovány u vzorku č.18.

Tento výsledek potvrdil kalcifikaci, která se ale již jako první velmi nezaměnitelně projevila při měření katodoluminiscence svojí velmi výraznou a intenzivní oranžovou CL.

Silicifikace dřev v kontextu stratigrafie pánví

Proces silicifikace je velice specifický děj, který je dílem souhry mnoha příhodných fyzikálních a chemických podmínek. Jak již bylo řečeno v kapitole 2.2.2, tento proces je stále nejasný a stává se předmětem neustálých dohadů. Jeho studiem se zabývala a stále zabývá řada vědců (viz kap. 2.2.5), je však jasné, že ho ovlivňuje kromě teploty, aktivity fluid, přítomnosti krystalizačních zárodků a oxidačně-redukčních podmínek také koncentrace rozpuštěné H_4SiO_4 . Jelikož SiO_2 je poměrně špatně rozpustný, do roztoku přechází jen za přesně definovaných podmínek (kap. 2.2.3), není lehké zjistit jeho zdroje, pokud neznáme environmentální podmínky v prostředí příslušných permokarbonských lugičských pánvích a jejich postupný vývoj. Nezbývá než odhadovat, vzhledem k limitovaným možnostem geochemického chování SiO_2 , co mohlo být zdrojem silicifikace. V následujícím textu jsou uvedeny možnosti, které přicházejí v permokarbonu PKP a VSP v úvahu.

Zcela na prvním místě je nutno uvést **facii říční sedimentace**, kterou představují nejvýnosnější „dřevonosné“ jednotky, a to žaltmanské arkózy odolovského souvrství (VSP), štikovské arkózy kumburského souvrství (PKP) a staropacké pískovce vrchlabského souvrství (PKP). Tyto stratigrafické jednotky jsou pravděpodobně výsledkem rychlého přínosu materiálu z krystalinika divočící řekou nebo říčním systémem a ukládání arkózového materiálu v nižších polohách pánví. Fosilní nálezy v nich hojně se týkají hlavně dřev dadoxylonového typu, a to kordaitů a primitivních konifer, které zjevně rostly buď v těsném sousedství řeky, např. na agradačních valech (Martín-Closas & Galtier 2005, Falcon-Lang 2003), aluviálních štěrcích (Falcon-Lang & Bashforth 2004) nebo dokonce v podhorských oblastech mnohem výš proti proudu (Falcon-Lang 2003). Arkózy těchto jednotek dnes obsahují kromě křemitých zrn zejména K-živce, mnohem vzácněji Na- a Ca-živce či biotit, který bývá často chloritizovaný (Valín 1960). Tento materiál asi zvětrával v klidnějších mezidobích mezi epizodami bouřlivé sedimentace, kdy docházelo i ke **kaolinitizaci živců a oxidační hydrolyze slíd** (viz kap. 2.2.3). Bohužel kordaity a konifery měly velmi husté dřevo pyknoxylického typu, a jak se potvrdilo u všech těchto výše uvedených vzorků typu E, ve výbrusech z jejich kmenů se nenašla žádná minerální rezidua. Výjimkou je rod *Arthropitys* ze Staré Paky (#12), kde se v trhlině na vnější straně stonku vyskytoval relativně hrubší ostrohranný sediment s těžkými minerály a biotitem, který byl zarostlý ve struktuře sekundárního xylému. Biotit tedy mohl být v původním sedimentu přítomen. V sedimentárních kapsách se často vyskytuje velké množství biotitových krystalů, které v arkózových pískovcích v oblasti skoro chybí. Možná, že byl tedy **biotit** zdrojem Si a Fe v procesu silicifikace. To by vysvětlovalo proč je pigment Fe tak hojný ve dřevěch, a proč se kolem kmenů „*in situ*“ nachází červené rozhraní dřevo vs. arkóza (hematit). V budoucnu by bylo potřeba provést více analýz výbrusů velkých kmenů, neboť hypotéza zní, že biotit, který dnes v sedimentu chybí, mohl být zdrojem H_4SiO_4 k silicifikaci dřev, a mohl by se dochovat právě uvězněný ve struktuře dřeva.

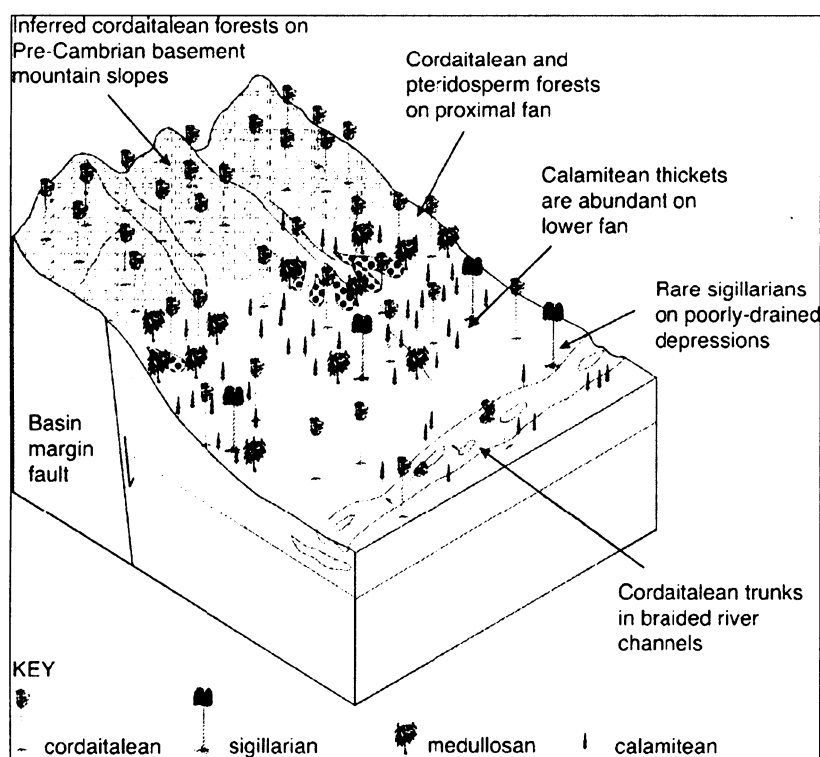
Druhou odlišnou facii s petrifikovanými dřevy je **recentní aluvium**, ze kterého pochází řada vzorků mnohem rozmanitějších dřev (typ B, C a D). Této facii odpovídá semilské souvrství, navíc se stratigrafickým markerem svrchnokarbonského vulkanismu, ploužnickým obzorem. Petrifikované vzorky byly často nalézány na polích, v náplavech řeky atd., tj. v mnohem mladších vrstvách křídových sedimentů či kvartérních uloženin. Jedná se tedy o nálezy bez přímého kontextu s původní stratografií. Typickou lokalitou je místo na sv. okraji Nové Paky, zvané Balka. Pocházejí z ní velmi rozmanité nálezy stonků, a to zejména rodů *Arthropitys* a *Psaronius*; odsud se ale v literatuře popisují i výskyty medulóz. Dadoxylonová dřeva v této lokalitě chybí, zjevně šlo o docela jiný ekotop, patrně říční nivu nebo břeh jezera (Martín-Closas & Galtier 2005). Relikty sedimentu z této lokality byly nalezeny na vzorku č. 1 (*Arthropitys*) a na povrchu vzorku č. 5 (*Psaronius*). Sediment má jemnost zrn odpovídající prachovci až jílovcí. Zajímavá je také přítomnost barytu (#5), apatitu (#5) a těžkých minerálů, a to zejména monazitu (#3,5), zirkonu (#5), granátu (#5) atd. Vzorek č. 3 je silicifikovaný řapík uzavřený v okolním, velmi jemném laminovaném sedimentu. Kromě křemene a jílových minerálů jsou v sedimentu hojné i těžké minerály, Na-živce a biotit, které se pravděpodobně mohly stát zdrojem SiO₂ pro silicifikaci. Je to jediný případ ze všech studovaných, kdy došlo i k silicifikaci sedimentu, což svědčí o masivním průběhu mineralizace. Tento vzorek s řapíkem *Myeloxylon* BROGN. (#3), zdánlivě nezajímavý a nehezský, silně připomíná silicit (rohovec) z jezerně-brakického prostředí popsaného Umedou (2003). V analogii se zjištěním tohoto autora by se při úvaze o zdroji silicifikace měl vzít blízký vulkanogenní ploužnický obzor, který vystupuje právě blízko Balky.

Vzorek č. 19 (typ D) bez známé lokality se svými výsledky z měření EDX naprosto vymyká od ostatních vzorků a zrna v něm obsažená patrně pochází z jiné provenience. Byly v něm detekovány těžké minerály, a to xenotim, což je poměrně vzácný minerál, který bývá často v granitických horninách, a spinel (pleonast), který bývá typický pro vysoce metamorfované horniny. Fluorit by mohl být hydrotermálního původu a spolupodílet se na silicifikaci dřeva. Mívá silnou CL, bohužel díky absenci výbrusu nebylo možno provést měření. Usuzovat z těchto nedostatečných výsledků na provenienci je téměř nemožné a ke správné interpretaci je zapotřebí dalších měření. Tento vzorek by také mohl pocházet z Chemnitz, kde byl hydrotermální křemen a fluorit ve dřevěch popsán (Witke et al. 2004).

Velmi atypický je také vzorek č. 18, kde zonalita kalcitu v konkreci může být přirozeným původním jevem růstu stromatolitů v karbonátovém jezeře s kolísající hladinou a tedy i koncentrací a složením solí. Toto kolísání právě vyvolává nutnost „stavby“ kolonií mikroorganismů a růst konkrece. Mohlo by se také jednat o hydrotermální podmínky prostředí, ve kterých konkrece vznikla. Vzorek měl výraznou oranžovou CL, přičemž CL opět velmi rychle a účelně lokalizovala přítomnost detritických kapes. Detritus je poměrně jemný a nejspíš odpovídá prachovci, byly v něm nalezeny Na-živce. Nejzajímavější jsou ale abnormální akumulace Cu, které by pravděpodobně mohly souviset s metabolismem bakterií.

Všechny výsledky získané mikroskopickým pozorováním a instrumentálním měřením vzorků 1 až 19 přinesly zajímavé a nové poznatky o lugických pánvích permokarbonu PKP a VSP. Na jejich základě lze v rámci možností integrovat poznatky ze systematiky, mineralogie, petrografie, geochemie geologie a klimatologie a pokusit se odhadnout tafonomii samotného kusu dřeva, které patřilo pradávným

předchůdcům moderní květeny. Ačkoli je interpretace výsledků ze vzorků pocházejících z nedostatečně evidovaných muzejních exemplářů pouze omezená, měla by postupně vést k možné rekonstrukci paleoenvironmentálních podmínek PKP a VSP jako celku. Abychom ale vytvořený model mohli považovat za věrohodnější, bude potřeba v budoucnu analyzovat mnohem více vzorků různých typů dřev, a zejména potom použít materiál s jasným místem naleziště. Výsledkem by potom mohla být živější rekonstrukce paleoprostředí, která jako prostorový model integruje geologické, geografické, klimatologické, hydrologické a ekologické poměry v lukické pánvi variského orogénu, podobně jako se jí pokusili vytvořit např. Izart et al. (2005) v pánvi Lorraine (Francie), Martín-Closas & Galtier (2005) v pánvi Graissessac-Lodève (Francie) a Falcon-Lang (2003, 2006) v oblasti New Brunswick (Kanada) (viz obr. 33).



Obr. 33. Ukázka 3D modelu paleoenvironmentálních podmínek s vegetačním společenstvem, složeným z nahosemenných stromů, medulóz, přesliček a plavuní. Zobrazuje jejich prostorové rozmístění v terestriálním prostředí horského úbočí s vyústěním říčního toku do pánve. Tento model sestavil Falcon-Lang (2006) pro oblast Tynemouth Creek Formation (jižní New Brunswick v Kanadě).

7. Závěr

Při podrobném studiu mikroskopické struktury silicifikovaných permokarbonských dřev se osvědčilo použití kombinace optické mikroskopie v normálním a polarizovaném světle, katodoluminiscence a elektronové mikroskopie. K rychlému zobrazení (*imagingu*) detritu a minerálních heterogenit, např. reliktní kalcifikace, se jako bezkonkurenční ukázalo předřazení katodové luminiscence před ostatní instrumentální metody, a to rentgenovou práškovou difrakci a analýzu EDX. Hlavní závěry této práce jsou shrnuty v následujících bodech:

1. Taxonomické zařazení dřev z PKP a VSP bylo díky časté pokročilé rekrystalizaci jejich pletiv podstatně obtížnější, než např. v podobně starých dřevěch silicifikovaných přímým pohřbením v tufu v oblastech Chemnitz (Německo), Autunu (Francie) či Araguaina (Brazílie) (Dernbach et al. 2002). Pro přesné systematické určení taxonu je naprosto nutné z každého kusu dřeva zhotovit transversální, radiální i tangenciální řez.
2. Rozdělení permokarbonských taxonů do typů B (*Arthropitys*), C (*Psaronius*), D (*Medullosa*) a E (*Dadoxylon*) na základě prostorového uspořádání základních anatomických znaků ve stonku se prakticky osvědčilo. S anatomickými charakteristikami každého typu stonku se pojí také odlišný způsob prokřemenění. Typ B je charakteristický přítomností chalcedonových sférolitů v parenchymu centrální dutiny i paprsků dřeva. Typ C se díky své složité heterogenní struktuře stonku a přítomností kořenového obalu vyznačuje vysokou náchylností k mechanickému poškození, čímž se zároveň často stává sběračem minerálního detritu. Typ E je díky kompaktní struktuře pyknoxylického dřeva velmi odolný proti mechanickému poškození včetně průniku sedimentárních zrn, naopak ale zase často podléhá silné rekrystalizaci makrokrystalickým křemenem, která vede k nečitelnosti a poškození původní stavby dřeva.
3. Lokality, ve kterých byla dřeva nalezena, lze rozdělit do dvou hlavních facií a s nimi svázaných biotopů. První z nich je facie říčních sedimentů, arkóz, arkózových pískovců a slepenců, ve kterých se dochovala dřeva prvních nahosemenných stromů, kordaitů a primitivních jehličnanů (*Dadoxylon*). Tato vegetace pravděpodobně rostla na sušších stanovištích ve vyšších polohách pánve a doposud nebyla studována úměrně svému významu. Druhou z nich je pravděpodobně facie jezerních sedimentů s pozůstatky hygrofilní vegetace přesličkovitých (*Arthropitys*), kapradinovitých (*Psaronius*) a kaprad'osemenných rostlin (*Medullosa*), dnes dochovaná v recentním aluviu.
4. V rostlinných pletivech byla podrobně popsána morfologie SiO_2 a specifická textura silicifikovaných pletiv. Mikrokrystalický křemen do 20 μm kromě častého výskytu v základní hmotě také tvoří buněčné stěny a sklerenchymatické struktury podpůrných mechanických pletiv, např. pláty v diktyostélé psaronií a obalové pochvy psaroniových kořínků, sparganové struktury řapíků medulóz. Makrokrystalický křemen s velikostí krystalů od 20 do 2000 μm často tvoří výplně větších prostor, dutin a prasklin, v pletivech potom výplně vnitřků buněk, zejména

velkých tracheid. V rozrušených místech rostlinných pletiv často vznikají krystalizační zárodky a prostor pro růst sférolitického chalcedonu, např. v dutinách psaroniových kořínků, parenchymatických výplních dutin a v řídkém dřevu přesliček.

5. Textury pletiv se mezi sebou liší počtem krystalů v buňce. Nejlépe zachovaná pletiva mají poly- nebo oligoblastickou texturu tvořenou mikrokrytalickým nebo drobným makrokrytalickým křemenem, které velmi dobře respektují původní strukturu buněk.
6. Byly navrženy nové interpretace odstínů katodoluminiscence křemičité hmoty v permokarbonských dřevěch, které jsou odlišné od v literatuře dostupných interpretací CL ve vyvřelých, metamorfovaných a sedimentárních horninách. Toto nové schéma dává do souvislosti odstín luminiscence s morfologickými typy krystalů křemene (červená, hnědočervená CL) a chalcedonu (růžovořialová nebo modrořialová CL), s obsahem železa (tmavě karmínové skvrny jemně dispergovaných oxidů železa) a strukturou zachovaných rostlinných pletiv. Navíc byla v některých vzorcích prokázána existence dvou generací křemenné hmoty, převažující prvotní s červenou CL a druhotná s krátce-žijící modrou CL.
7. Tafonomie dřeva se dá zpětně vystopovat z podrobné kvalitativní a kvantitativní mikroanalýzy minerálních kapes, tj. prasklin, výplní a jiných defektů ve struktuře stonků se zachyceným detritem. Převažující silicifikovaná hmota stonků má sama o sobě špatný chemický kontrast při zobrazení detektorem BSE, takže detritus je někdy obtížné odlišit.
8. Z nálezů kalcifikovaných či částečně kalcifikovaných dřev vyplývá, že v některých místech pánve pravděpodobně panovaly odlišné diagenetické podmínky.

Pro další práci do budoucna lze doporučit zpracovávat vlastní, případně jiné dobře dokumentované sběry s jasným vztahem ke stratigrafii pánvi, nejlépe se současnou analýzou okolního sedimentu v případě nálezů „*in situ*“. K hlubšímu pochopení paleoekologie pánvi je potřeba studovat co nejširší základnu vzorků, která bude zahrnovat různé typy dřev z různých facií a tedy i biotopů. Perspektivní se ukazuje podrobnější studium dadoxylonových dřev, které rostly ve vyšších polohách, nenalézaly se tedy v uhlí, ale i přesto tvořily významnou součást karbonské terestrické vegetace. K poznání mechanismu silicifikace by taktéž mohlo přispět studium fluidních inkluzí a izotopová analýza kyslíku ^{18}O v křemité hmotě. Diagenetické procesy v pánvích by pomohlo osvětlit studium vzájemných vztahů silicifikace a kalcifikace.

8. Seznam použité literatury

- Akahane, H., Furuno, T., Miyajima, H., Yoshikawa, T. & Yamamoto, S. (2004): Rapid wood silicification in hot spring water: an explanation of silicification of wood during the Earth's history. *Sedimentary Geology* 169: 219-228.
- Ash, R. S. (1998): Petrified Forest, The story behind the scenery. Tenth Printing, Petrified Forest Museum Association, Las Vegas.
- Ash, R. S. & Creber, T. G. (2000): The late triassic *Araucarioxylon arizonicum* trees of the Petrified Forest National Park, Arizona, USA. *Palaeontology* 43: 15-28.
- Balabán, K. (1955): Nauka o dřevě. První část. Anatomie dřeva. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. Praha.
- Bouška, V., Jakeš, P., Pačes, T. & Pokorný, J. (1980): Geochemie. Academia Praha. Praha.
- Březinová, D. (1970): Přehled dosavadních nálezů fosilních dřev na území Československa zpracovaných na základě literárních pramenů. Praha, 3 – 36.
- Březinová, D., Holý, F., Kužvartová, A. & Kvaček, Z. (1994): A silicified stem of *Podocarpoxylon helmstedtianum* Gottwald, 1966 from the Palaeogene site Kučlín (NW Bohemia). *Journal of the Czech Geological Society* 39: 221-234.
- Cecil, C. B. (1990): Paleoclimate controls on stratigraphic repetition of chemical and siliciclastic rocks. *Geology* 18: 533-536.
- Channing, A. & Edwards, D. (2004): Experimental taphonomy: silicification of plants in Yellowstone hot-spring environments. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 94: 503 -521.
- Cridland, A. A. (1964): *Amyelon* in American coal-balls. *Palaeontology*, 7: 186-209. (*non vidi*)
- Cúneo, N. R., Taylor, L. E., Taylor, N. T. & Krings, M. (2003): In situ fossil forest from the upper Fremouw Formation (Triassic) of Antarctica: paleoenvironmental setting and paleoclimate analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 197: 239-261.
- Dašková, J. & Libertín, M. (2005): Changing of the swamp forest associations due to the compression of the peat (Intrasudetic Basin, Czech Republic). Proceedings of the 16th International Plant Taphonomy Meeting: 16. September 16th – 18th. Pilsen.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. (1963): Rock-forming minerals. Longmans, Green and Co Ltd. London.
- Dernbach, U., Tidwell, D. W., Barthel, M., Galtier, J., Jung, W., Kerp, H., Noll, R., Rößler, R., Rothwell, W. G., Selmeier, A., Stockey, A. R., Wilde, V. & Wright, W. W. (2002): Secrets of Petrified Plants, Fascination from Millions of Years. D'ORO Publishers, Germany. Heppenheim
- Dietrich, D., Frosch, G., Rößler, R. & Marx, G. (2000): Analytical X-Ray Microscopy on *Psaronius* sp. – A contribution to Permineralization Process Studies. *Mikrochim. Acta* 133: 279-283.

- Dietrich, D., Witke, K., Rößler, R. & Marx, G. (2001): Raman spectroscopy on *Psaronius* sp.: a contribution to the understanding of the permineralization process. *Applied Surface Science* 179: 230-233.
- Drum, R. W. (1968): Silicification of *Betula* Woody Tissue *in vitro*. *Science*, 161: 175-176.
- Fairon-Demaret, M., Steurbaut, E., Damblon, F., Dupuis, C., Smith, T. & Gerrienne, P. (2003): The *in situ Glyptostroboxylon* forest of Hoegaarden (Belgium) at the Initial Eocene Thermal Maximum (55 Ma). *Review of Palaeobotany and Palynology* 126: 103-129.
- Falcon-Lang, H. J. (2003): Late Carboniferous Tropical Dryland Vegetation in an Alluvial-plain Setting, Joggins, Nova Scotia, Canada. *PALAIOS*, V. 18: 197-211.
- Falcon-Lang, H. J. (2004): Pennsylvanian tropical rain forests responded to glacial-interglacial rhythms. *Geology* 32: 689-692.
- Falcon-Lang, H. J. (2006): Vegetation ecology of Early Pennsylvanian alluvial fan and piedmont environments in southern New Brunswick, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 233: 34-50.
- Falcon-Lang, H. J. & Bashforth, A. R. (2004): Pennsylvanian uplands were forested by giant cordaitalean trees. *Geology* 32: 417-420.
- Falcon-Lang, H. J. & Scott, A. C. (2000): Upland ecology of some Late Carboniferous cordaitalean trees from Nova Scotia and England. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 156: 225-242.
- Falcon-Lang, H. J., Benton, M. J., Braddy, S. J. & Davies, S. J. (2006): The Pennsylvanian tropical biome reconstructed from the Joggins Formation of Nova Scotia, Canada. *Journal of the Geological Society, London*, 163: 561-576.
- Fengel, D. (1991): Aging and fossilization of wood and its components. *Wood Science and Technology* 25: 153-177.
- Flörke, O. W., Graetsch, H., Martin, B., Röller, K. & Wirth, R. (1991): Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure. *Neues Jahrbuch Miner. Abh.* 163: 19-42. Stuttgart, August 1991.
- Gand, G., Stapf, K. R., G., Broutin, J. & Debriette, P. (1993): The importance of silicified wood, stromatolites, and conifers for the paleoecology and the stratigraphy in the lower permian of the Northeastern Blanzky-Lecreusot bassin (Massif-Central, France). *Newsletters on Stratigraphy* 28: 1-32.
- Götze, J. (2000): Cathodoluminescence microscopy and spectroscopy in applied mineralogy. Technische Universität Bergakademie Freiberg: TU Bergakad.
- Götze, J. (2002): Potential of cathodoluminescence (CL) microscopy and spectroscopy for the analysis of minerals and materials. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 374: 703-708.
- Götze, J. & Zimmerle, W. (2000): Quartz and silica as guide to provenance in sediments and sedimentary rocks. *Contributions to Sedimentary Geology* 21. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.

- Götze, J., Plötze, M. & Trautmann, T. (2005): Structure and luminescence characteristics of quartz from pegmatites. *American Mineralogist* 90: 13-21.
- Götze, J., Rößler, R. & Dietrich, D. (2001): Cathodoluminescence studies of Permian silicified wood from Chemnitz, Germany. Cathodoluminescence in geosciences: new insights from CL in combination with other techniques, 46-47. Freiberg.
- Götze, J., Nasdala L., Kleeberg, R. & Wenzel, M. (1998): Occurrence and distribution of „moganite“ in agate/chalcedony: a combined micro-Raman, Rietveld, and cathodoluminescence study. *Contrib Mineral Petrol* 133: 96-105. Springer-Verlag.
- Götze, J., Plötze, M., Fuchs, H. & Habermann, D. (1999): Defect structure and luminescence behaviour of agate – results of electron paramagnetic resonance (EPR) and cathodoluminescence (CL) studies. *Mineralogical Magazine* 63: 149-163.
- Havlena, V. (1964): Geologie uhelných ložisek 2. ČSAV, Praha.
- Hesse, R. (1989): Silica diagenesis: Origin of inorganic and replacement cherts. *Earth-Science Reviews*, 26: 253-284.
- Heaney, J. P. (1993): A proposed mechanism for the growth of chalcedony. *Contrib Mineral Petrol* 115: 66-74.
- Holzhüter, G., Narayanan, K. & Gerber, T. (2003): Structure of silica in *Equisetum arvense*. *Analytical nad Bioanalytical Chemistry* 376: 512 - 517.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J. & Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. AVČR, Praha.
- Chvátal, M. (1999): Mineralogie pro první ročník krystalografie. Karolinum. UK Praha.
- Ivanov, M., Hrdličková, S. & Gregorová, R. (2001): Encyklopedie zkamenělin. Rebo Production CZ. Dobřejuvce.
- Izart, A., Palain, Ch., Malartre, F., Fleck, S. & Michels, R. (2005): Paleoenvironments, paleoclimates and sequences and of Westphalian deposits of Lorraine coal basin (Upper Carboniferous, NE France). *Bull. Soc. Géol. Fr.* 176: 301-315.
- Karowe, L. A. & Jefferson, H. T. (1987): Burial of trees by eruptions of Mount St Helens, Washington: implications for the interpretation of fossil forests. *Geol. Mag.* 124: 191-204.
- Kuczumow, A., Vekemans, B., Schalm, O., Dorriné, W., Chevallier, P., Dillmann, P. Ro Ch., Janssens, K. & Grieken, V. R. (1999): Analyses of petrified wood by electron, X-ray and optical microprobes. *J. Anal. At. Spectrom.* 14: 435-446.
- Kvaček, Z., Fatka, O., Fejfar, O., Holcová, K., Košťák, M., Kraft, P., Marek, J. & Pek, I. (2000): Základy systematické paleontologie I. Paleobotanika, paleozoologie bezobratlých. Karolinum, Praha.
- Leichmann, J. (2003): Katodová luminiscence – možnosti využití při studiu petrogenetických procesů. MS ÚGV PFF MU Brno. Habilitační práce. Brno.
- Leichmann, J. & Jelínek, F. (2005): Katodová luminiscence. *Vesmír* 84: 142 – 147.
- Leichmann, J., Marek, K., Zeman, J. & Klapetek, P. (*in print*): Carbonatization of agate nodules from Permian andesites, Krkonoše Piedmont basin. *Mineralogical Society of Poland*, special issue.

- Leo, R. F. & Barghoorn, E. S. (1976): Silicification of wood. Harvard University Botanical Museum Leaflets, 25: 1-47.
- Libertín, M. & Dašková, J. (2000): Příležitostný odkryv lampertických vrstev žacléřského souvrství (An occasional exposure of the Lampertice Member (Žacléř Formation) and its fossil flora). Zprávy o geologických výzkumech v roce 1999, 130-134. Praha.
- Libertín, M. & Dašková, J. (2005): Paleoekologický model prostředí ovlivněného říční sedimentací (Duckmant, Vnitrosudetská pánev). Zprávy o geologických výzkumech v roce 2004, 79 - 81.
- Marek, K. (2004): Katodová luminiscence achátů – uplatnění metody při studiu jejich vzniku a vývoje. Diplomová práce, PŘF MU, Brno.
- Martín-Closas, C. & Galtier, J. (2005): Plant Taphonomy and Paleocology of Late Pennsylvanian Intramontane Wetlands in the Graissessac-Lodève Basin (Languedoc, France). *Palaios* 20: 249–265.
- Matysová, P. (2004): Zkřemenělá permokarbonská dřeva v oblasti vnitrosudetské a podkrkonošské pánve. Bakalářská práce, PŘF UK, Praha.
- Moxon, T. (2002): Agate: a study of ageing, *European Journal of Mineralogy* 14: 1109-1118.
- Němejc, F. (1963): Paleobotanika II. ČSAV, Praha.
- Němejc, F. (1968): Paleobotanika III. ČSAV, Praha.
- Nestler, K., Dietrich, D., Witke, K., Rößler, R. & Marx, G. (2003): Thermogravimetric and Raman spectroscopic investigations on different coals in comparison to dispersed anthracite found in permineralized tree fern *Psaronius* sp. *Journal of Molecular Structure* 661-662: 357-362.
- Novák, F. A. (1961): Vyšší rostliny. ČSAV, Praha.
- Novák, F. A. (1972): Vyšší rostliny, Tracheophyta 1. ČSAV, 2. vydání, Praha.
- Nowak, J., Florek, M., Kwiatek, W., Lekki, J., Chevallier, P., Zięba, E., Mestres, N., Dutkiewicz, E. M. & Kuczumow, A. (2005): Composite structure of wood cells in petrified wood. *Materials Science and Engineering C* 25: 119-130.
- Opluštil, S. (2005): Peat-forming plant assemblages of volcanoclastics of the Radnice Basin. Proceedings of the 16th International Plant Taphonomy Meeting: 3 -13. September 16th – 18th. Pilsen.
- Pešek, J., Holub, V., Jaroš, J., Malý, L., Martínek, K., Prouza, V., Spudil, J. & Tásler, R. (2001): Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky. ČGS, Praha.
- Petránek, J. (1993): Malá encyklopedie geologie. JIH, České Budějovice.
- Petrascheck, W. (1922): Zur Entstehungsgeschichte der sudetischen Karbon – und Rothliegendablagerungen. *Z. Dtsch. Geol. Ges.* 74: 244 – 262. Berlin.
- Pokorný, V., Houša, V., Krhovský, J., Marek, J., Pacltová, B. & Špinar, Z. V. (1992): Všeobecná paleontologie. Karolinum, Praha.
- Procházka, Sv. J. (1912): Psaronie. Sborník klubu přírodovědeckého v Praze. Praha.
- Purkyně, C. (1927): O nalezišti zkřemenělých kmenů araukaritových v Čechách, zvláště v Podkrkonoší. *Čas. Národ. Muzea*, roč. CI: 113 – 131.

- Renger, K. (1863): O skameněném lese Radvanickém blíže Abrspachu a o způsobech skamenění vůbec. *Živa* 11 (IV): 362 – 375.
- Richter, D. K., Götze, Th., Götze, J. & Neuser, R. D. (2003): Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology. *Mineralogy and Petrology* 79: 127-166.
- Rimstidt, J. D. & Cole, D. R. (1983): Geothermal mineralization, I. The mechanism of formation of the Beowawe, Nevada, siliceous sinter deposit. *American Journal of Science* 283: 861-875.
- Röbber, R. (*in print*): New species of Calamitean wood...*Review of palaeobotany & Palynology*
- Röbber, R. & Noll, R. (2006): Sphenopsids of the Permian (I): The largest known anatomically preserved calamite, an exceptional find from the petrified forest of Chemnitz, Germany. *Review of Palaeobotany & Palynology* 140: 145 – 162.
- Sigleo, A. C. (1978): Organic geochemistry of silicified wood, Petrified Forest National Park, Arizona. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 1397-1405.
- Siurek, J., Chevallier, P. Ro Ch-U., Chun, H. Y., Youn, H. S., Zięba, E. & Kuczumow, A. (2004): Studies on the wood tissue substitution by silica and calcite during the preservation of fossil wood. *Journal of Alloys and Compounds* 362: 107-115.
- Stewart, N. W. & Rothwell, W. G. (1993): *Paleobotany and the Evolution of Plants*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Stollhofen, H., Frommherz, B. & Stanistreet, G. I. (1999): Volcanic rocks as discriminants in evaluating tectonic versus climatic control on depositional sequences, Permo-Carboniferous continental Saar-Nahe Basin. *Journal of the Geological Society, London* 156: 801-808.
- Šimůnek, Z. & Libertín, M. (2001): Fytopaleontologický výzkum na Žaclěřsku v lomech č. 2, 3, 4. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2000*: 48-49. Praha.
- Šreinová, B. & Šrein, V. (1997): Melafyry Levínské plošiny. *Bull. min. odd. NM v Praze* 4-5: 200-203. Praha.
- Tásler, R., Čadková, Z., Dvořák, Z., Fediuk, F., Chaloupský, J., Jetel, J., Kaiserová-Kalibová, M., Prouza, V., Schovánková-Hrdličková, D., Sředa, J., Strída, M. & Šetlík, J. (1979): *Geologie české části vnitrosudetské pánve. Ústřední ústav geologický, ČSAV, Praha.*
- Taylor, T. N. & Taylor, E. L. (1993): *The biology and evolution of fossil plants*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Umeda, M. (2003): Precipitation of silica and formation of chert-mudstone-peat association in Miocene coastal environments at the opening of the Sea of Japan. *Sedimentary Geology* 161: 249-268.
- Valero Garcés, B. L., Gierlowski-Kordesch, E. & Bragonier, A. W. (1997): Pennsylvanian continental cyclothem development: no evidence of direct climatic control in the Upper Freeport Formation (Allegheny Group) of Pennsylvania (northern Appalachian Basin). *Sedimentary Geology* 109: 305-319.
- Valín, F. (1960): Litologie souvrství žaltmanských arkóz. *Sborník ÚÚG XXVII*: 409-444.

- Watt, R. G., Wright, P., Galloway, S. & McLean, Ch. (1997): Cathodoluminescence and trace element zoning in quartz phenocrysts and xenocrysts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 4337-4348.
- Weibel, R. (1996): Petrified wood from an unconsolidated sediment, Voervadsbro, Denmark. *Sedimentary Geology* 101: 31-41.
- Wheeler, E. A., Baas, P. & Gasson, P. E. (editors) (1989): IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* 10: 219-332.
- Wheeler, E. A., Pearson, R. G., Lapasha, C. A., Zacck, T. & Hatley, W. (1986): Computer-aided wood identification. North Carolina Agricultural Research Service, Bulletin 474.
- Williams, L. A., Parks, G. A. & Crerar, D. A. (1985): Silica Diagenesis, I. Solubility controls. *Journal of Sedimentary Petrology* 55: 301-311.
- Witke, K., Götze, J., Rößler, R., Dietrich, D. & Marx, G. (2004): Raman and cathodoluminescence spectroscopic investigations on Permian fossil wood from Chemnitz - a contribution to the study of the permineralisation process. *Spectrochimica Acta A – Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 60: 2903-2912.

Internetové zdroje:

1. http://cestovani.idnes.cz/v-usa-ho-strezi-v-rezervaci-v-cesku-skoncil-na-dlazbe-f9a/igcechy.asp?c=A060323_112803_igcechy_tom, 12.6.2006
2. <http://botany.upol.cz/atlas/anatomie/index.html>, 1.6. 2006
3. http://virtual_paleobotany/www.ucmp.berkeley.edu/IB181/VPL/authors.html, 6.5. 2006
4. <http://www.webmineral.com/data/Quartz.shtml>, 9.8. 2006

