



1. *Alethopteris schneideri*, list medulóz. Snímek © Ronny Rößler.

# Co je pohřbeno v Chemnitz?

*Prales vyhynulých rostlin v trojrozměrné podobě*

**PETRA MATYSOVÁ  
RONNY RÖSSLER**

Představte si několik metrů hlubokou díru do země v obytné části města (obr. 2), paleontologický výkop o rozměrech 24×18 m v nikdy nezastavěném místě – sopečný (vulkanický) popel a v něm ohromné permineralizované „kmeny“ pradávných stromovitých přesliček, kapradin, kapradosemenných či prvních nahosemenných rostlin, kusy ulomených větví, otisky nejrůznějších listů či fertilních orgánů,

místa krásné fluoritové, většinou do fialova zbarvené nodule, křemeny a ojediněle nálezy bezobratlých či dokonce obratlovců (obojživlíků a plazů). Mezi tím vším pobíhají nadšenci. Měří, zapisují, fotí, sbírají nebo jen tak sledují, a to celé pod dohledem videokamery, která snímá postup prací... O čem bude řeč?

## **Chemnitzský zkamenělý les**

Nedaleko naší hranice s Německem, kousek od Drážďan, leží na severním úpatí Krušných hor město Chemnitz (Saská Kamenice, bývalý Karl-Marx-Stadt; obr. 3). Bylo vystavěno v místě, kde vulkanický materiál v raném permu navždy pohřbil pradávný prales. Mnohočetné nálezy fosilních kmenů při jakémkoliv hlubším rýpnutí do země během stavebních úprav v městské zástavbě jsou toho trvalým důkazem. V Chemnitz se tak svým způsobem navždy „zmrazil okamžik“ z konce prvohor. Toto významné paleontologické naleziště by se dalo přirovnat k náhodně vyfotografované momentce z dávné minulosti naší Země. Je to

**RNDr. Petra Matysová (\*1980)** vystudovala obor environmentální geochemie na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. V rámci doktorandského studia se v Ústavu geologie a paleontologie PŘF UK zabývá studiem zkamenělých a prouhelněných materiálů. Rodačku z Podkrkonoší vedla ke geologii klikatá cesta a snad i díky ní se na věci ráda dívá z různých úhlů. Nadchla se proto hlavně pro mezioborovou práci. V současné době je doma se dvěma dětmi na rodičovské dovolené a na malý úvazek pracuje v Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i. Aktivně se také zapojuje do dění kolem klubu Klíček ve Staré Boleslavi.

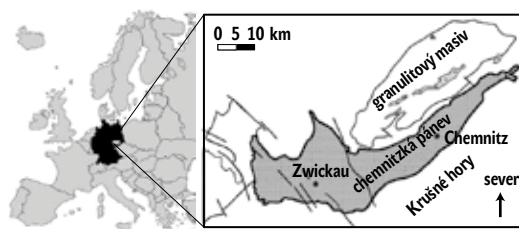
**Doc. Ronny Rößler, Ph.D., (\*1965)** žije v Německu. Vystudoval geologii na Technische Universität Bergakademie Freiberg. Během studií se zabýval biostratigií a faciální analýzou permokarbonických sedimentů severního Německa, nicméně postupně inklinoval víc k paleobotanice. Od roku 2001 působí jako šéfredaktor odborného periodika *Palaeontographica B* (Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart). Roku 2003 se habilitoval prací o permských fosilních kapradinách z Chemnitz (Německo) a Tocantins (Brazílie). Od roku 2005 je ředitelem Museum für Naturkunde v Chemnitz a na TU Freiberg učí paleobotaniku. Má rád české pivo a mělnické víno.



pro paleontology podobné místo jako antické Pompeje pro antropology. I tato katastrofická událost se odehrála relativně rychle. V raném permu vrcholil v širším okolí Chemnitz explozivní ryolitický vulkanismus. Jedna z větších erupcí nedalekého vulkánu Zeisigwald, nacházejícího se severovýchodně od Chemnitz, zakonzervovala pravděpodobně v několika minutách až dnech pradávňý ekosystém. Stěžejní fosiliferní jednotkou (a přímým důkazem této události) je vrstva zeisigwaldského tufu (sopečného popela obsahujícího různé zrnitostní frakce), který tvoří svrchní část souvrství Leukersdorf (obr. 4). Absolutní stáří bylo stanoveno přibližně na 290 milionů let, což odpovídá hranici mezi svrchním sakmarem a spodním artinskem.

Co se stalo? Předpokládá se, že aktivní vulkán Zeisigwald vybuchl (obr. 5) a vyslal směrem na Chemnitz sekvenci žhnoucích oblaků a tekoucích pyroklastik (horký a hustý netřídný materiál), pravděpodobně jako výsledek ohromných bočních explozí, na jejichž sílu a směr ukazuje nápadně paralelní uložení stromů, které byly uraženy u báze. Ohromné kmeny následkem tlakové vlny a dopadem horkých pyroklastik popadaly jako sirky, v okamžiku byly zbaveny větví a kůry a zůstaly ležet v bezprostřední blízkosti místa, kde ještě před chvílí hrdě rostly. Vše mohlo být doprovázeno bahnotokami a požáry – na straně přivrácené k erupci jsou kmeny většinou sežehnuté a fuzitizovány.<sup>1</sup> Vrcholky fosilních kmenů jsou vesměs orientovány k západu, tedy směrem, kudy se šířil devastující výbuch ze svého epicentra během prvních sekund po explozi. Následně vsudypřítomný padající vulkanický popel pohřbil a zakonzervoval ostatní zbytky unikátního ekosystému. Geneze této lokality je velmi zajímavá a při její rekonstrukci lze použít srovnání s efekty, které doprovázely erupci Mount St. Helens v květnu 1980 (Vesmír 67, 157, 1988/3 a 77, 136, 1998/3).

Z hlediska paleontologie jde o velmi hodnotné společenstvo T<sup>0</sup> (angl. *T<sup>0</sup> assemblage*),

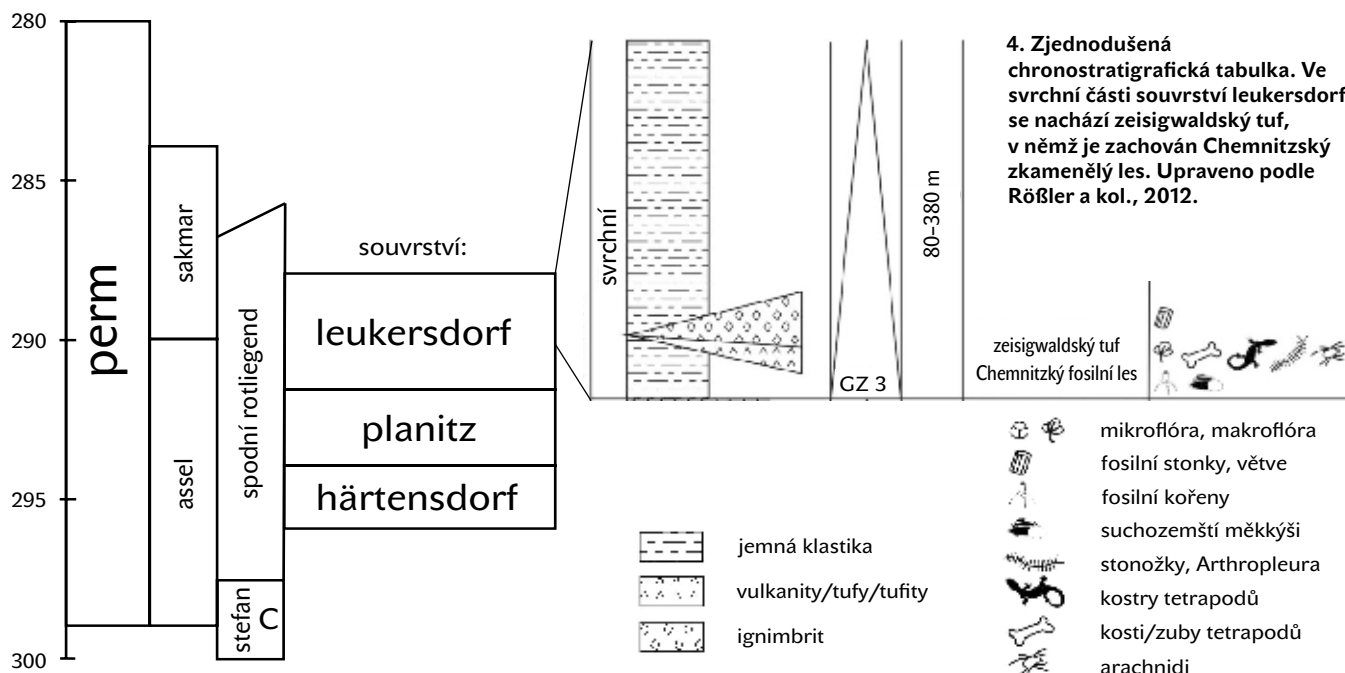


**2. Práce v paleontologickém výkopu v Chemnitz-Hilbersdorfu, srpen 2008. Snímek © Petra Matysová.**

**3. Mapa geologického okolí Chemnitz.**

jež v sobě skrývá neskutečný vědecký potenciál. Nálezy jsou autochtonního, popřípadě paraautochtonního typu, tzn., že fosilie jsou nalézány v místě svého původního růstu (pařezy či zbytky kmenů často v růstové pozici) nebo jsou jen minimálně ovlivněny transportem. T<sup>0</sup> mohou dopomoci k rozluštění některých paleoekologických otázek, např. k zjištění prostorového rozmístění rostlin, velikosti stromů, rozmístění pokryvu, interakce rostlin a hmyzu nebo vztahů mezi fosilními orgány (morfortaxony), jež byly dosud známy jen jako izolované nálezy bez spojení s mateřskou rostlinou.

1) Fuzitizace je přeměna dřevité hmoty ve fuzit, velmi křehkou vláknitou složku uhlí s vysokým obsahem uhlíku, která prodělala intenzivní oxidaci (např. požár - dřevěné uhlí).

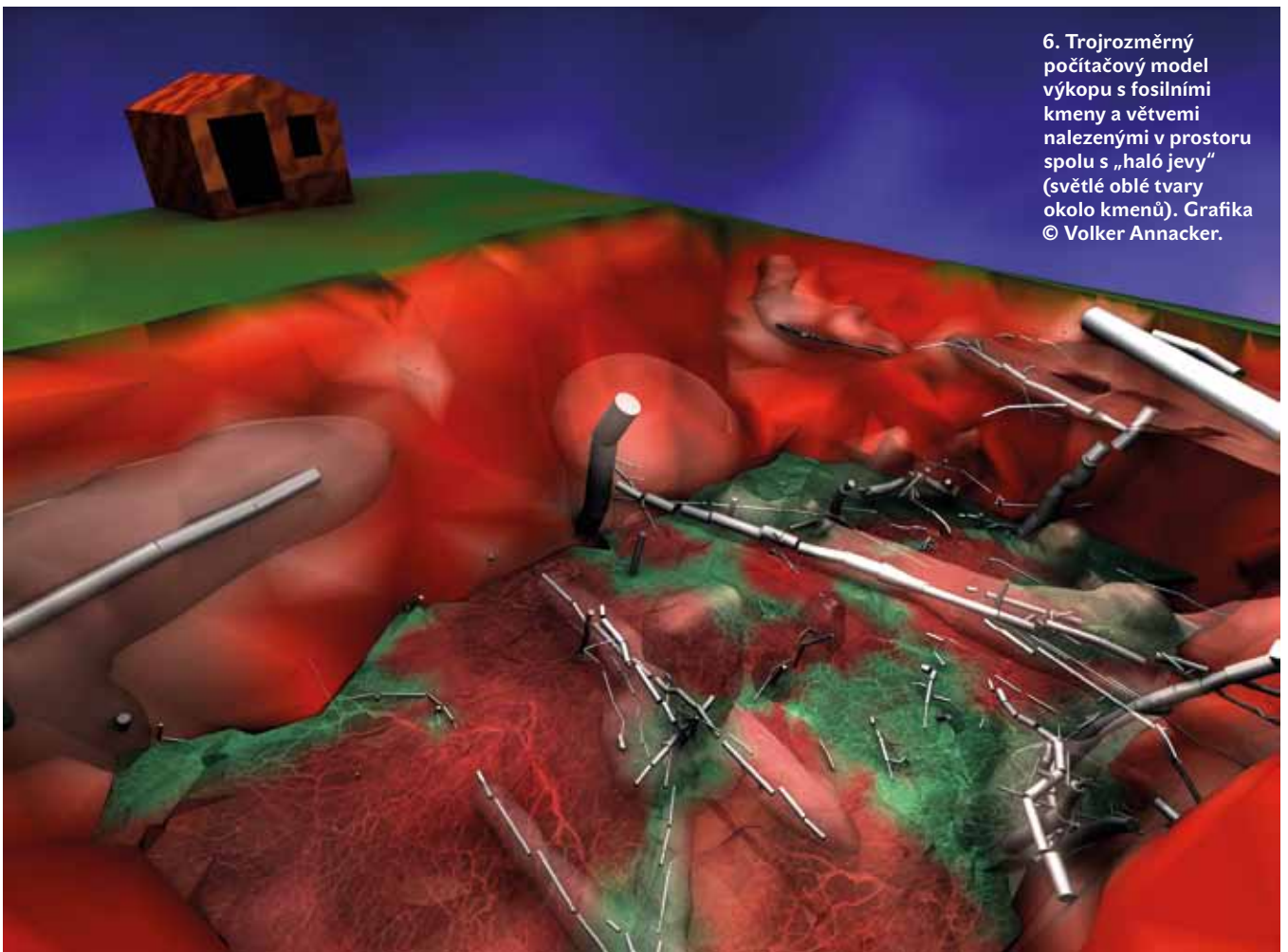


**4. Zjednodušená chronostratigrafická tabulka. Ve svrchní části souvrství leukersdorf se nachází zeisigwaldský tuf, v němž je zachován Chemnitzký zkamenělý les. Upraveno podle Rößler a kol., 2012.**

5. Rekonstrukce vulkanické erupce doprovázené spadem vulkanického popela, který v blízkém okolí Chemnitz pohřbil a zakonzervoval mokřadní ekosystém. Malba © Jiří Svoboda.



6. Trojrozměrný počítačový model výkopu s fosilními kmeny a větvemi nalezenými v prostoru spolu s „haló jevy“ (světlé oblé tvary okolo kmenů). Grafika © Volker Annacker.





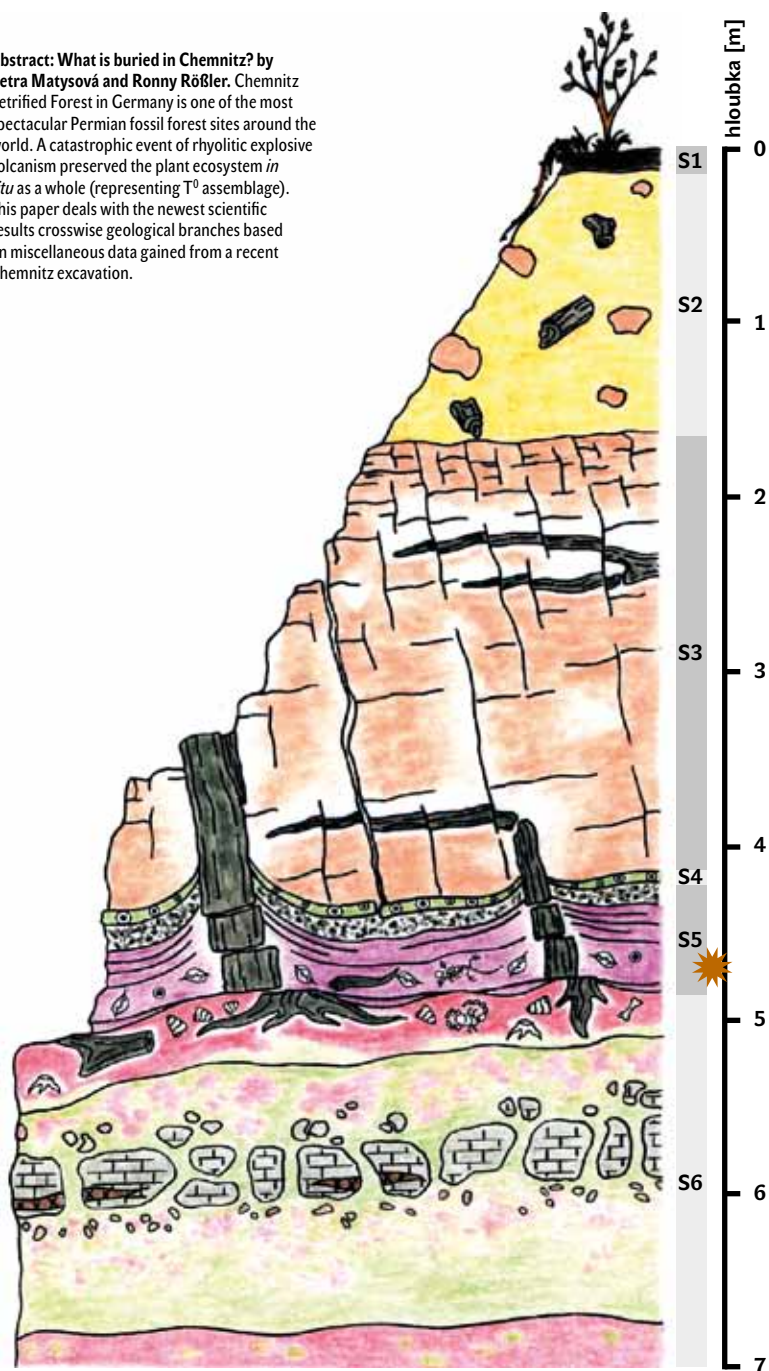
Je nutno si uvědomit, že nalezené fosilie většinou neukazují naprosto přesnou podobu původní vegetace. Každý fosilní zbytek je do jisté míry zkreslený vlastním způsobem zachování – ohořením, částečným hnitím, permineralizací, otisknutím či stlačením ap. Přesto společenstva T<sup>0</sup> umožňují přesnější a autentičtější rekonstrukci minulosti než jiné způsoby zachování fosilií (při nichž se např. následkem dlouhého transportu rozpadnou rostlinná těla). V Chemnitz se díky jedinečné vulkanické události a další řadě geologických a environmentálních faktorů zachoval jeden z nekompletnějších permských pralesních ekosystémů, který byl kdy na světě objeven.

### Je minulost klíčem k budoucnosti?

Nejstarší sběry v Chemnitz sahají do počátků 18. století. Od té doby nashromáždilo místní Museum für Naturkunde Chemnitz ohromné množství fosilií. Mnohé z nich sloužily jako základ paleobotanického výzkumu v době, kdy moderní paleobotanika vznikala, a nesou dodnes používaná taxonomická jména, např. *Psaronius*, *Tubicaulis*, *Calamitea* nebo *Medullosa*. Mnoho nálezů pochází z období, kdy se město rozrůstalo a při zakládání budov a inženýrských sítí byly příležitostně odkrývány fosilizované kmeny permských rostlin. Poslední desetiletí je ve znamení renesance výzkumu této lokality (nové nálezy, taxonomické revize, rozšíření výzkumu i na jiné než paleobotanické oblasti).

Pracovní skupina kolem Dr. Ronnyho Rößlera je nebývale aktivní a je si vědoma jedinečnosti lokality. Během tří a půl roku trvajícího výkopu (2008–2011), vedeného s typicky německou důkladností a přesností, se podařilo kromě nových paleontologických nálezů nashromádit i mnoho zajímavých a dnes již částečně publikovaných dat z dalších geovědních oborů. V publikaci z roku 2012 Rößler a jeho kolegové shrnují nová geochemická data a jsou zase o krok dále v porozumění místní geologii, stratigrafii, geochemii, vulkanismu a prostorovému rozmístění petrifikovaných fosilií ve výkopu. Chemnitzské společenstvo T<sup>0</sup> představuje bohatou lesní vegetaci (nejčastěji petrifikované stonky rodů *Psaronius*, *Arthropitys*, *Medullosa* a *Cor-daixylon*) složenou převážně z mokřadních rostlin s několika mezofilními elementy. Unikátní paleoekologické rysy, jako jsou např. kořenové systémy několika druhů rostlin zachovaných *in situ* v rámci jednoho půdního horizontu, olistění a reprodukční orgány spojené s petrifikovanými stonky a větvemi mateřské rostliny, ontogeneticky podmíněná variabilita architektury větvení či různé živočišné zbytky (např. obojživelníci, mnohonozky, zbytky obrovského členovce rodu *Arthrop-leura*, štíři a pavoukovci z vymřelé skupiny Trigonotarbida) nalezené spolu s rostlinami, byly popsány vůbec poprvé. Ve výkopu byla použita detailní dvojrozměrná a trojrozměrná síť k zaznamenání přesné polohy fosilií, podobně jako u českých lokalit obdobného typu (Vesmír 89, 436, 2010/7). Umožňuje po-

**Abstract: What is buried in Chemnitz?** by Petra Matysová and Ronny Rößler. Chemnitz Petrified Forest in Germany is one of the most spectacular Permian fossil forest sites around the world. A catastrophic event of rhyolitic explosive volcanism preserved the plant ecosystem *in situ* as a whole (representing T<sup>0</sup> assemblage). This paper deals with the newest scientific results crosswise geological branches based on miscellaneous data gained from a recent Chemnitz excavation.



7. Geologicko-sedimentární profil ve výkopu v Chemnitz-Hilbersdorfu. Vrstvy S1–S6 lze stručně charakterizovat takto:

- S1 a S2:** *Současný půdní horizont* sahající zhruba do 1,3 m. Z výkopu hromadně odstraněn jako první.
- S3:** *Hrubě zrnitý, na lapilli bohatý, masivní tuf* o mocnosti více než 3,35 m a je složený z pyroklastického proudu s vysokou koncentrací částic. Nejmocnější vrstva bohatá na fosilní kmeny a větve, obklopené často zelenavě či šedavě zbarveným „halem“.
- S4:** *Silně zpevněný zelenavý tuf bohatý na akreční lapilli* tvoří tenkou vrstvu (1,5–8 cm) se spoustou polygonálních puklin. Obsahuje vrstvu indikující rostoucí freatomagmatický vliv. Petrifikované „kmeny“ ve vzpřímené poloze *in situ*.
- S5:** *Série popelových tufů* rozdělená do čtyř odlišných litofacií (5.1–5.4). Jemně zrnitý materiál obsahuje většinu stlačených fosilií. Litofacií S5.1 (horizont s listy) označuje hvězdička.
- S6:** *Pestrobarevný prachovec* s mocností více než 1,85 m představuje permský půdní profil z období těsně před vulkanickou erupcí. Paleosol (paleopůda), sedimentární báze ještě staršího pralesa, rhizolity a intenzivní barevné skvrny. Kresba © Mathias Merbitz.

čítačové 3D modelování celého naleziště a finální trojrozměrnou rekonstrukci rostlinného paleospolečenstva (obr. 6).

Výzkumný tým na lokalitě v Chemnitz však věnuje pozornost i charakteristice pro-





**8. Vlevo: Kalamit, fosilie stromovitě přesličky.**

**Vpravo nahoře: Otisk mnohonožky (Diplopoda) v tufu (facie 5.1).**

**Vpravo dole: Vyhnulý trigonotarbid (pavoukovec) druhu *Permotarbus schuberti* z tufové facie 5.1.**

**Snímky © Ralph Kretzschmar.**

středí, které unikátně zachovaný mokřadní ekosystém obýval. Základem výzkumu je detailní sedimentologická a geochemická analýza jednotlivých vrstev S6 až S3 (obr. 7) zeisigwaldského tufového horizontu ve svrchní části leukersdorfského souvrství a půdního profilu v jeho přímém podloží. Do výzkumu lokality je kromě pracovníků muzea zapojena i řada studentů, kteří se věnují řešení dílčích problémů v rámci svých bakalářských, magisterských či doktorských prací. Společným úsilím se podařilo identifikovat tafonomické jevy,<sup>2</sup> jako např. struktury dokládající únik fluid, „vybělené“ zóny (tzv. „halo“) kolem uložených kmenů (obr. 6), „kapsy“ v dutinách dřevitých větví zachytávající sediment anebo struktury, které ukazují na směr transportu rostlinných částí během katastrofické události. Čerstvě se také zpracovává tematika sukcese paleopůd a kyselých pyroklastik. Práce jiného studenta přináší detailnější po-

pis profilu zeisigwaldského tufu a jeho mineralogického složení.

Několik nově zjištěných údajů ukazuje na auto-hydrotermální přeměnu vulkanické horniny a vznik jílových minerálů doprovázených uvolňováním kyseliny křemičité ( $H_4SiO_4$ ), nezbytné k prokřemenění dřeva. Podle přítomných mineralogických indikátorů pravděpodobně šlo o freato-magmatické erupce. U těchto vysoce explozivních vulkanických událostí patřících do skupiny tzv. hydrovulkanických erupcí hraje hlavní roli podzemní nebo povrchová voda, která se těsnou blízkostí nebo kontaktem se stoupajícím magmatem rychle zahřívá a mění v horkou páru. Molekuly vody se překotně rozpínají a obrovský tlak způsobí silnou explozi. Roztrhá okolní vulkanické horniny, popřípadě kusy lávy, na jemné částičky prachu a popela. Teorie hydrotermálních procesů při zvýšených teplotách je zdůrazněna prvně zdokumentovaným výskytem hydrotermálního granátu (almandin Fe/Al) a pseudomorfóz kaolinitu po granátu, stejně tak jako výskytem strukturně uspořádaného kaolinitu, dickitu a fluoritu. Zejména zjištění fluoritu (jen ve vrstvě S3) ukazuje, že kromě vody mohly být součástí alteračních procesů další rozpustné ionty (např.  $F^-$ ,  $Cl^-$ ).

Detekované minerální asociace poskytují také důkaz pro rozpětí teplot silicifikace dřeva. Výskyt kaolinitu v pozadí silicifikovaného dřeva indikuje teploty pod 150 °C, zatímco výskyt dickitu v lapilli červené základní horniny ve vrstvě 3 (spolu s hydrotermálním granátem) ukazují na teploty mezi 150 až 300

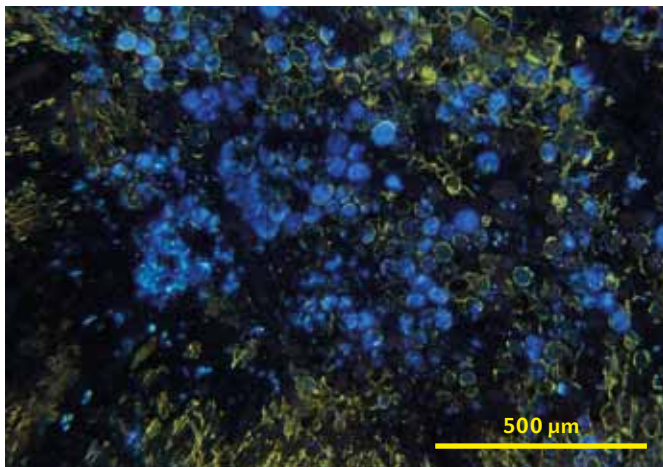
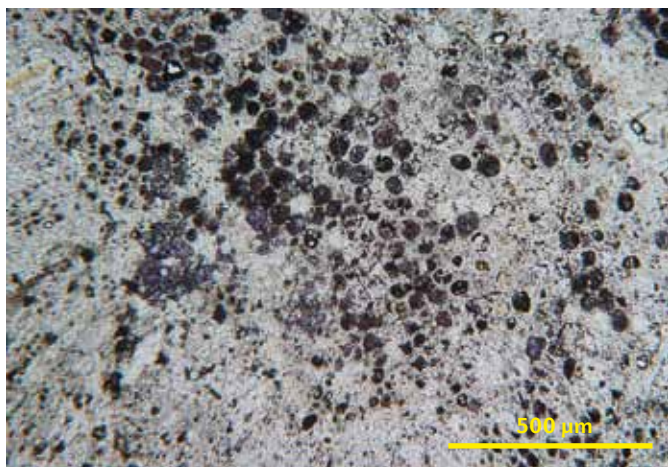
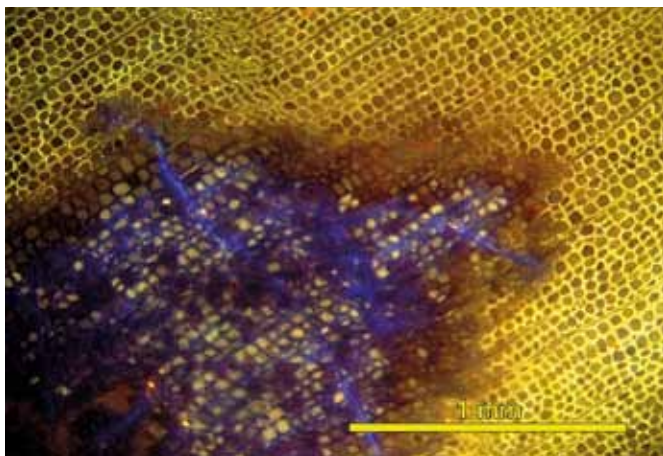
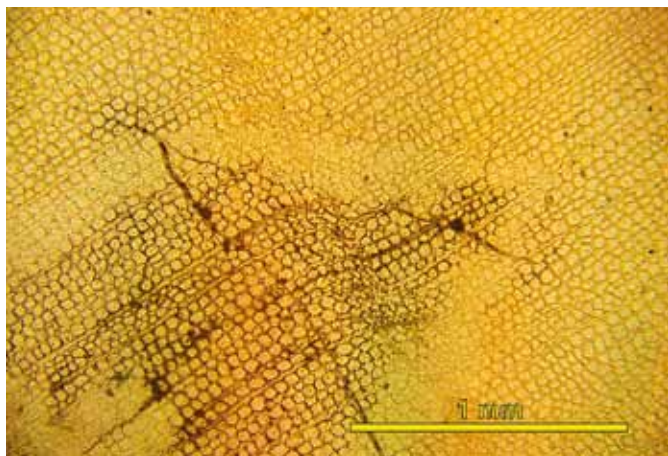
2) Tafonomie se zabývá vznikem, způsobem zachování a uložením fosilií.

3) <http://www.naturkundechemnitz.de> a <http://www.dastietz.de>.

#### VÝKOP CHEMNITZ-HILBERSDORF V ČÍSLECH

Práce probíhaly od dubna r. 2008 do října r. 2011. Zbytky 630 petrifikovaných kmenů a nejrůznějších izolovaných větví vyplnily 860 sběrných krabic. Celkem bylo nalezeno 53 kmenů v růstové pozici, zhruba 1200 otisků fosilní flóry a fauny a k tomu sesbíráno 635 horninových vzorků (vzorkováno po 1 m vertikálně, po 2 nebo 4 m horizontálně) pro pozdější sedimentologické, geochemické a vulkanologické výzkumy. Vše bylo pečlivě zaneseno do trojrozměrné sítě a relativně vztaženo ke globálnímu souřadnicovému systému. Bylo zaznamenáno více než 10 000 referenčních bodů pro fosilní vzorky, litostratigrafické povrchy a „vybělené“ zóny. Vzniklo více než 9000 fotografií vzorků a dalších 9000 snímků dokumentujících práce ve výkopu, k tomu bylo zhotoveno více než 600 000 snímků z webkamery a natočeno 6 hodin digitálního sběrného videa. Krom obrovského zájmu veřejnosti tuto lokalitu navštívily desítky odborníků z více než 13 zemí světa.





°C. Proces silicifikace dřevní hmoty je pravděpodobně úzce spjat s jejím „odplyněním“, což způsobuje vytváření gradientů (teplota, tlak, pH) v zónách kolem dřev. Tyto gradienty umožňují transport minerálních fluidů do dřeva a způsobují také alteraci a vznik nových minerálů. Tento proces je viditelný z vývoje „vybělených“ zón kolem dřevního materiálu a variací v porositě nosné horniny. Jde o poměrně zajímavý jev, který lze pozorovat i v 3D modelu naleziště, a je označován jako tzv. „halo jev“ obklopující jednotlivé kmeny (obr. 6). Některé výskyty výbělených zón jsou navíc spojeny s mechanickými procesy (pukliny, střížné zóny) jako výsledek tektonických pohybů souvisejících s alpinským vrásněním.

Dokladem vysokoteplotní silicifikace ve vulkanickém prostředí je také velmi výrazně barevná katodoluminiscence, kterou emitují chemnitzské vzorky (Vesmír 88, 380, 2009/6). Je za ni zodpovědný nejen hydrotermální křemen, ale také např. fluorit, fosforečnaný vzácných zemin a uranu. Pomocí této zobrazovací techniky lze velmi dobře zvýraznit nejen heterogenitu v geochemickém složení vzorku, ale také i velmi jemné anatomické detaily uvnitř studované rostlinné fosilie (obr. 9).

Zajímavá silicifikace chemnitzských vzorků pod vlivem vulkanismu inspirovala tým kolef. Ballhause ze Steinmannova institutu na univerzitě v Bonnu v Německu, jež se pokouší o experimentální silicifikaci v laboratorních podmínkách. To bychom ale již zabíhali do jiných sfér poznání. Pokud hle-

dáte inspiraci i vy a chtěli byste vyrazit na výlet, který by vás vedl k zamyšlení či úžasu a zároveň uspokojil vaši vědeckou zvědavost, stojí za to zajet do Chemnitz a navštívit paleobotanickou expozici muzea v budově das Tietz<sup>3</sup> v centru města. Z výkopu v Chemnitz-Hilbersdorfu je zde sice vystaveno jen pár vzorků, ale za zmínku stojí např. masivní kalamit *Arthropitys bistriata* (sběr r. 2010). Je možné se také po bližší domluvě nebo třeba o muzejní noci podívat do nového paleontologického výkopu, který je jen asi 15 minut chůze od muzea v Chemnitz-Sonnenbergu. Tato venkovní expozice se pomalu buduje od roku 2009 za podpory EU. Výkopové práce jsou plánovány na dalších 10 let. Význam lokality vám přiblíží i několik informačních tabulí s německými, anglickými, a dokonce i českými popiskami. Krása a tajemnost fosilních rostlin z doby před 290 miliony let ve 3D se prostě nedá ničím napodobit a nejlepší je vidět vše na vlastní oči.

**9. Katodová luminiscence (Vesmír 84, 142, 2005/3) hydrotermálně narušeného dřeva *Dadoxylon* sp. Narušená část dřeva emituje krátce žijící modrou luminiscenci. Horní dvojice obrázků představuje prokřemenělé dřevo, dolní dvojice dřevo prokřemenělé a částečně fluoritizované. Fluorit způsobuje světle modrou katodoluminiscenci. Snímky © Jaromír Leichmann (horní dvojice), Jens Götz (spodní dvojice).**

## K DALŠÍMU ČTENÍ

- Ballhaus C., Gee C. T., Bockrath C., Greef K., Mansfeldt T., Rhede D.: The silicification of trees in volcanic ash – An experimental study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84, 62–74, 2012.
- Matysová P., Rössler R., Götz J., Leichmann J., Forbes G., Taylor E. L., Sakala J., Grygar T.: Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous–Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 292, 127–143, 2010.
- Rössler R., Zierold T., Feng Z., Kretzschmar R., Merbitz M., Annacker V., Schneider J. W.: A snapshot of an Early Permian ecosystem preserved by explosive volcanism: new results from the Chemnitz Petrified Forest, Germany. *Palaios* 27(11), 814–834, 2012.