

Jsou v hlavní sloji mostecké pánve zachovány vulkanogenní proplástky (tzv. tonsteiny)?

Mgr. Tomáš Novotný, Ing. Karel Mach, Ph.D.

Severočeské Doly, a.s., Doly Nástup-Tušimice; novotny.tomas@sdas.cz, mach@sdas.cz

Přijato: 13. 4. 2017, recenzováno: 13. a 22. 5. 2017

Abstrakt

Studie se zabývá možností výskytu vulkanogenních proplástek v hlavní sloji mostecké pánve. Výsledky mnoha použitých metod, zahrnující studium výbrusů a vrtných profilů, XRFA a RTG analýzy a terénní pozorování, sice nepotvrdily výskyt vulkanogenních proplástek, ale odhalily pozoruhodné geochemicky a mineralogicky anomální polohy. Jedná se o zvýšené obsahy prvků Sr, Ba, P a Ca odpovídající minerálům ze skupiny crandallitu. Na rozdíl od crandallitových proplástek popsanych v nadložních libkovických vrstvách nebyla u těchto poloh nalezena spojitost s vulkanogenním materiálem. Snaha o srovnání proplástek z mostecké pánve s proplástkami ze sloje Antonín (sokolovská pánev) odhalila nejednoznačnost při určování genetického typu jednotlivých proplástek, které v případě sloje Antonín obsahují jak primární vulkanogenní příměs, tak i sedimentární složku.

Are there preserved volcanogenic inter-bed layers (known as tonsteiny) in the main bed of the Most basin?

The paper deals with possibility of occurrence of volcanogenic interbeds in the main coal bed of the Most basin. Results of many used research methods, including thin cuts and borehole data, XRF and XRD analysis and field research did not confirm occurrence of volcanogenic interbeds. Thanks to this research, interesting geochemical and mineralogical anomalous layers were discovered marked by increased content of Sr, Ba, P and Ca elements mainly corresponding to crandallite minerals. In contrast to crandallite-bearing horizons in the overlying Libkovice layers, there were not found any connections with volcanogenic processes for these layers. Comparing of these layers with interbeds from Antonín coal bed (in the Sokolov Basin) revealed an ambiguity in determining of the genetic type of interbeds. This problem is caused by presence of both volcanogenic and sedimentary materials in interbeds of the Antonín coal bed.

Sind im Hauptflöz des Moster Beckens vulkanogene Zwischenschichten (sog. Tonsteine) erhalten geblieben?

Die Studie befasst sich mit der Möglichkeit des Vorkommens von vulkanogenen Zwischenschichten im Hauptflöz des Moster Beckens. Die Ergebnisse vieler eingesetzten Verfahren, wobei das Studium von Ausschliffen und Bohrprofilen, XRFA- und RTG-Analysen und Beobachtungen im Terrain dazu einbezogen wurden, bestätigten zwar das Vorkommen von vulkanogenen Zwischenschichten nicht, entdeckten sie aber bemerkenswerte geochemische und mineralogische anomale Lagen. Es handelt sich um erhöhte Gehalte an Elementen Sr, Ba, P und Ca, die den Mineralien aus der Crandallit-Gruppe entsprechen. Im Unterschied zu Crandallit-Zwischenschichten, die in Hangendschichten von Libkovice beschrieben werden, wurde bei diesen Lagen keinen Zusammenhang mit einem vulkanogenem Material gefunden. Das Bemühen, die Zwischenschichten aus dem Moster Becken und die Zwischenschichten aus dem Antonín-Flöz (Sokolov Becken) zu vergleichen, entdeckte die Mehrdeutigkeit bei der Bestimmung des genetischen Typs von einzelnen Zwischenschichten, welche im Fall des Antonín-Flözes sowohl primäre vulkanogene Begleitsubstanz als auch sedimentäre Komponenten enthalten.

Klíčová slova: proplástek, tonstein, mostecká pánev, sokolovská pánev, lom Libouš.

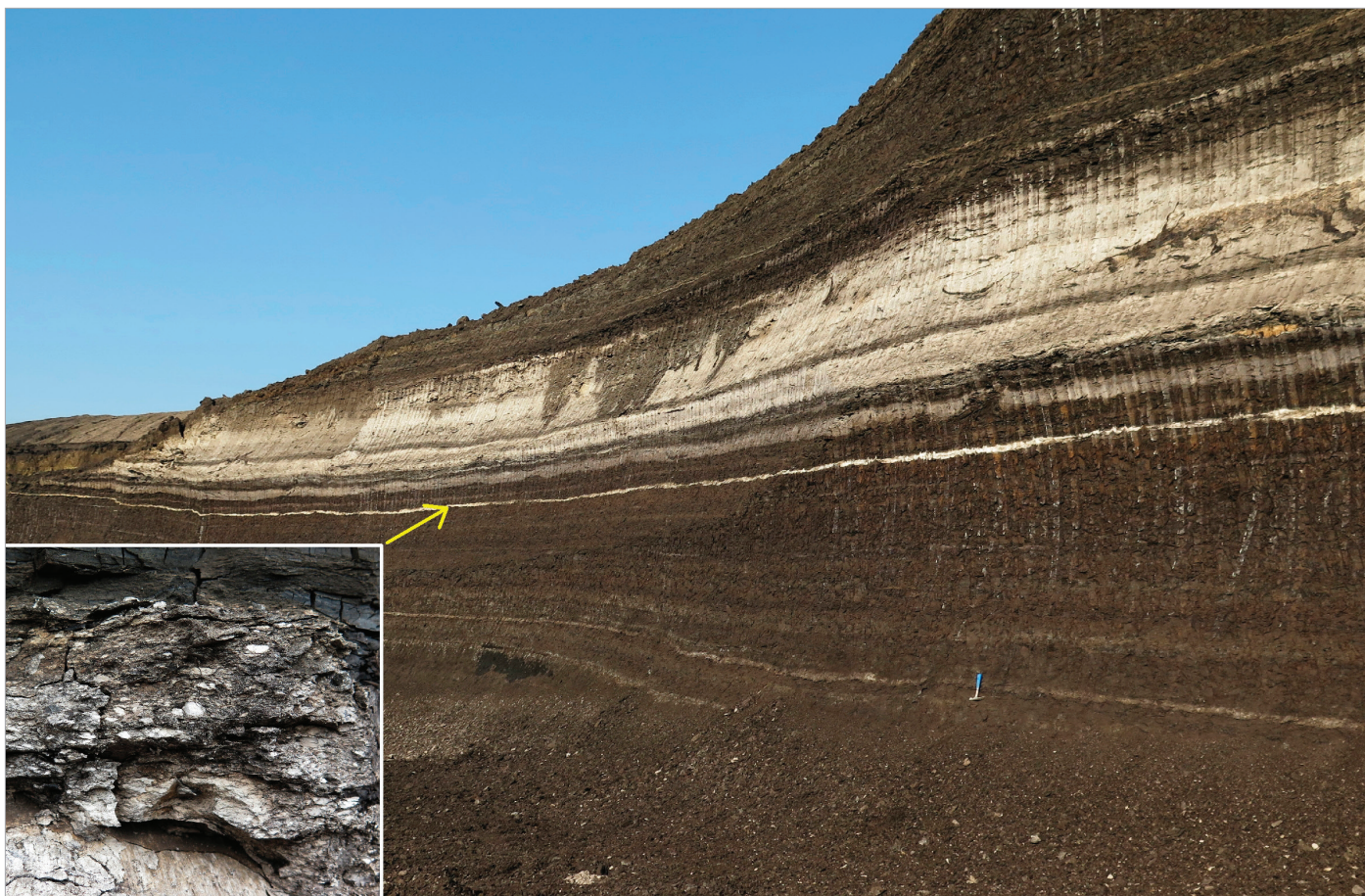
Keywords: interbed, tonstein, Most Basin, Sokolov Basin, Libouš opencast.

1 Úvod

Proplástky jsou tenké horninové polohy uvnitř uhelné sloje paralelní s vrstevnatostí a zpravidla ostře ohraničené vůči okolní uhelné hmotě [10]. Pojem proplástek se však používá i v sedimentárních neuhlonosných jednotkách, a to v případech, kdy se vyskytuje tenká vrstva petrograficky odlišné horniny uvnitř litologicky monotónního celku. Proplástky, které jsou běžnou součástí uhelných slojí různého stáří po celém světě, jsou obvykle sedimentárního nebo vulkanogenního původu.

Vulkanogenní proplástky vznikají nejčastěji spadem nebo naplavením vulkanického materiálu do rašeliniště. Tzv. tonsteiny [6,7,18] představují tufy a jedná se tedy o materiál do

rašeliniště napadaný ze vzduchu následkem sopečného výbuchu. K typickým znakům tonsteinů patří přítomnost primárního vulkanogenního materiálu (např. střípkovitý křemen, biotit, sanidin, idiomorfní zirkon), zřetelná bimodální zrnitost (větší zrna minerálů v základní jílovité hmotě), vysoký podíl základní kaolinitické složky vzniklé zejména rozkladem vulkanického skla a naprostá neopracovanost krystaloklastických součástí vylučující jiný než vzdušný transport [6,20]. Radiometrické datování primárního vulkanického materiálu (sanidin, plagioklas, zirkon a biotit) dovozuje stanovit přesné stáří proplástek. Mocnější tonsteiny mohou obsahovat zbytky rostlin, které byly pohřbeny sopečným popelem v místě svého růstu [23]. Vulkanogenní původ nahrává možnostem korelace



Obr. 1: Proplástky a spodní meziložní poloha v hlavní sloji na Dolech Nástup - Tušimice. V detailu typická brekciovitá a masivní textura proplástků. Foto: T. Novotný, 2014.

i velmi odlehklých profilů slojí v rámci jednotlivých pánví. Jejich neobvyklé petrografické a geochemické složení se odráží ve vizuální nápadnosti a snadné identifikovatelnosti ve stěnách řezů uhelných lomů, v čelbách hlubinných důlních děl i vrtných jádrech. Přejít mezi vulkanogenními a sedimentárními proplástky představují tzv. brousky [6,7,18], které vznikají přeplavováním primárního vulkanoklastického materiálu a případným přimísením běžných terestrických klastik. Jedná se tak o tufity.

Sedimentární proplástky, na rozdíl od vulkanogenních, jeví často plošnou nestálost a změnu mocnosti. Litologicky jsou tvořeny nejčastěji jemnozrnnými horninami řady jíl/jílovec – silt/prachovec, vzácně jemnozrnným pískovcem, častá je i chemogenní složka, např. karbonáty. Jejich složení a mocnost se mění s rostoucí vzdáleností od zdroje přínosu klastik [14]. Od tonsteinů se liší vyšším zastoupením klastických složek, nevulkanogenní povahou křemene, živců a biotitu, proměnlivostí mineralogického složení, granulometrií a plošnou proměnlivostí [6]. Sedimentární proplástky jsou vhodné pro paleo-geografické rekonstrukce, protože jejich korelací, petrografickým a geochemickým výzkumem je možné určit provenienci a směr přínosu klastického materiálu. Tyto informace lze z organické složky uhlí určit jen obtížně. To dělá proplástky významnými paleogeografickými indikátory uvnitř uhelných slojí. Využívání těchto proplástků ke korelaci uvnitř sloje je obtížnější než u tonsteinů, obvykle kvůli nižší plošné stálosti a snadné zaměnitelnosti v případě většího počtu proplástků

v profilu sloje. Přesto se i tento typ proplástků poměrně úspěšně využívá při konstrukci geologických modelů ložisek uhlí na povrchových lomech, protože relativně hustá průzkumná vrtná síť na těžných lokalitách dokáže ovlivnění plošnou proměnlivostí sedimentárních proplástků eliminovat. V uhelné sloji jsou také díky kontrastnímu petrografickému složení dobře odhalitelné geofyzikálně – karotážními metodami, což možnosti jejich využití pro korelaci vrstev v rámci pánve výrazně zvyšuje [14]. V důlně – geologické praxi jsou proplástky dále využívány jako vůdčí horizonty při hlubinné i povrchové těžbě. Při terénní geologické dokumentaci mohou posloužit např. při odhadování výšky skoku na zlomech.

2 Proplástky v hlavní sloji mostecké pánve

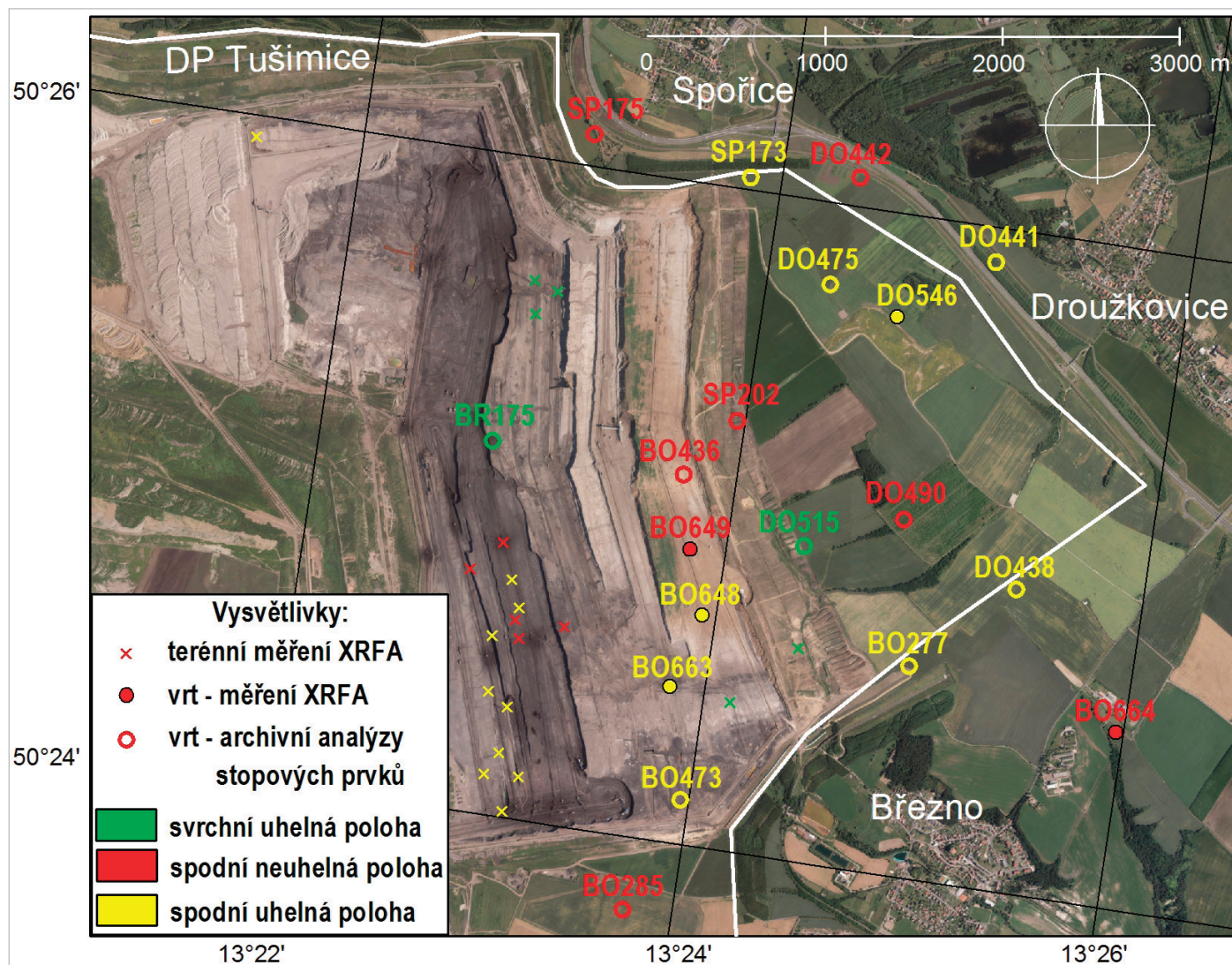
Hlavní hnědouhelná sloj mostecké pánve je v různých úrovních rozdělena sedimentárními proplástky (obrázek č. 1). Proplástky vznikaly v močále za stavu zvýšené hladiny vody, která umožňovala transport klastického materiálu. Období zvýšeného stavu hladiny představují dočasnou změnu rašelinistního režimu na režim jezerní. Zvýšení hladiny mohlo být způsobeno jak vyššími úhrny srážek v povodí, tak zrychlenou tektonickou subsidencí v místě usazování. Prakticky se voda s jemnou klastickou složkou nesenou v suspenzi mohla mimo řeku dostat bočně – protržením agradačních valů, jak je to popsáno v okolí fluvialních systémů žatecké delty [25], nebo čelně progradací v předpolí bílinské delty [15,26]. Jednotlivé záplavy i dlouhodobější období zvýšeného stavu vody v rašelinotvorném močálu

představují víceméně izochronní událost v dané části pánve. K nárůstu obsahu hrubozrnných složek sedimentu a mocnosti propláستku dochází směrem k místu přínosu klastického materiálu do pánve. Každý propláستek v uhelné sloji proto obvykle navazuje na sedimenty z původního zdroje – řeky [14]. Pokračování propláستků v podobě fluvialních a deltových těles lze na karotážních záznamech poměrně dobře sledovat např. pomocí gama karotáže nebo gama-gama (hustotní) karotáže. Na základě korelace propláстků ve vrtech v mostecké pánvi vzniklo stratigrafické schéma hlavní sloje, které bylo uveřejněno v článku Novotného a Macha [22]. Doposud však nebyly v mostecké pánvi v úrovni hlavní sloje objeveny propláстky vulkanogenního původu, jako např. v sokolovské pánvi [24].

Z paleogeografického průběhu [16] vývoje hlavní sloje lze předpokládat zejména častý výskyt sedimentárních propláстků odrážející koexistenci uhlotvorného močálu a aluviálních a lokálních jezerních deltových systémů. Obvykle klastická tělesa štěpící uhelnou sloj postupně přecházejí v tenké polohy (propláстky) centimetrových mocností až postupně zcela vymizí a jejich poloha se dá tušit jen ve změně petrografického složení uhlí. Nejvýrazněji je tímto uhelná sloj postižena v oblasti tzv. žatecké a bílinské delty a obecně ve svých

nejstarších částech. V současnosti lze přechod fluvialních sedimentů přes nivní sedimenty až po tenké propláстky sledovat v lomu Vršany u Mostu, kde během řašelinotvorby fungoval fluvialní systém žatecké delty [25]. Klastické produkty tohoto systému dosahují mocnosti několika desítek metrů, zatímco jeho časově ekvivalentní propláстek (tzv. „hlavní“ propláстek) v lomu Bílina dosahuje 10 centimetrů [14]. Podobné fluvialní systémy fungovaly po kratší časové intervaly i v západní části pánve [22].

Nejen v okolí mostecké pánve, ale i v její vlastní výplni jsou poměrně hojně zastoupeny vulkanické produkty. Dalo by se tedy uvažovat o určité pravděpodobnosti zachování vulkanoklastických produktů uvnitř uhelné sloje. Na rozdíl od nedaleké sokolovské pánve, kde vulkanismus zřejmě probíhal i v době tvorby miocenní sloje Antonín, v mostecké pánvi, Českém středohoří a v Doupovských horách většina vulkanických produktů odpovídá starší vulkanické fázi, která končila několik milionů let před vznikem hlavní sloje [2,17]. Jen ojedinělé vulkanity štrbického souvrství dle Cajze [2] prorážejí miocenní výplň pánve. Stáří těchto mladších vulkanitů odpovídá nejsvrchnějšímu miocénu, tedy zase o několik milionů let později než vznikala uhelná sloj. Nově bylo zjištěno několik sopečných těles,



Obr. 2. Přehledná mapka Dolů Nástup - Tušimice s pozicí identifikovaných anomálních, na fosfát bohatých propláстků. Stav k roku 2016. Data: archiv OMG, SD, a.s.

jejichž stáří stanovená radiometrickým datováním se alespoň přibližují období vzniku uhelné sloje. Jedná se např. o vrch Šumná u Klášterce n. Ohří [30] a vrch Milá na Lounsku s radiometrickým stářím asi 20 mil. let [27] nebo výlev na bývalém vrchu Stříbrník v Měrunicích [3]. O vulkanogenní povaze jednoho proplásku na Mostecku uvažoval Brus et al. [1]. Z velmi nepravidelného proplásku z lomu Ležáky popsal trachytické vulkanické a rulové horniny uložené v montmorillonitovém jílu. Petrografický charakter hornin a popsaný styl uložení proplásku nasvědčují spíše fosilnímu sesuvu deluvia z blízké oligocenní vulkanické elevace, což byla rovněž jedna z teorií autorů na vznik proplásku. Diatremou soudobou s hlavní hnědouhelnou slojí označil Hurník [12] geologicky problematické těleso tvořené rozloženými tufy, kusy kaolinizované ruly a rozštěpenou slojí, odkryté v 80. letech v lomu ČSA. Ze stejné lokality popsal Hurník [11] gelinitovou žílu protínající štěpící se sloj na okraji diatremy. Její vznik Hurník interpretuje v souvislosti s vulkanickou aktivitou diatremy v raném stadiu rašeliniště. Elznice [8] vyjadřuje určité pochybnosti, zdali se opravdu jedná o diatremu.

Výzkum Elznice et al. [9] zjistil v mostecké pánvi dva tzv. geochemické komplexy, které se od sebe složením liší v závislosti na původu zvětralín, ze kterých sediment vznikl. Autory to vedlo k přesvědčení, že zřetelné rozhraní mezi oběma komplexy jdoucí v různých oblastech pánve v různých částech profilu sloje, někdy i v jejím nadloží či podloží, představuje izochronní plochu a že odráží jednu výraznou paleogeografickou změnu. Velkou roli v definici tohoto rozhraní hrály vulkanogenní prvky (Ti, Ni, Cr, Sr, Al atd.), které jsou přítomny ve starším komplexu, zatímco v mladším jsou ve výrazně nižším zastoupení. Ve skutečnosti, jak bylo doloženo dalšími geochemickými pracemi [16], se jedná prostý důsledek faktu, že na různých místech pánve došlo k zatlačení lokálních zdrojů sedimentu zdrojem dálkovým v různé době. Klastika pocházející z místních, převážně vulkanických zvětralín představují onen lokální zdroj. Pojem „brousky“ se pro tyto sedimenty nehodí, protože nezahrnují pouze přeplavenou tefru, ale i zvětraliny dalších různých produktů vulkanismu. Pro takové sedimenty, zejména v podloží sloje, se vžilo označení „tufitické jíly“. Petrograficky je však tento název chybný, protože tufovou nebo dokonce tufitovou složku vzhledem k jejich jemnozrnné jílovité povaze nelze doložit. Jediným identifikátorem tzv. tufitické povahy těchto sedimentů bývá pestré zbarvení nebo přítomnost zvýšeného podílu vulkanogenních prvků, případně různých velikých a různě opracovaných úlomků starších zjilových hornin.

Vnitřní stavbě proplásků v mostecké pánvi se doposud věnoval pouze Mach [13]. Z proplásků popisuje tzv. intraformační brekcie (obrázek č. 1), tvořící čočkovité útvary nebo souvislé vrstvy, poukazující na velmi mělkovodní prostředí s vodním sloupcem maximálně několik decimetrů. V takovém prostředí docházelo k vynoření, vysychání a popraskání právě uložených sedimentů, případně jejich transportu. Při případné oscilaci vodní hladiny pak mohlo dojít k opakovanému přepracování rozdrobeného materiálu vlněním. Svědčí pro to i výskyt několika typů barevně odlišných klastů jílu v popisované brekci. Nejhojnější výskyt intraformačních brekcií byl popsán Machem [13] z Bílinska – z horní poloviny sloje, především z „třetinového“ proplásku [22]. Terénní pozorování však naznačují, že je to v propláscích celé mostecké pánve spíše

běžný jev, který jen v minulosti unikal pozornosti. Zachovalá původní vrstevnatost je v jílovitých propláscích velmi ojedinělá, protože se povodňové sedimenty ve sloji po svém vzniku vždy staly předmětem pedogeneze – zejména z důvodu kořenění rostlin znovu nastoupivšího rašeliniště. Podobnou brekciovitou stavbu některých proplásků ze sokolovské pánve popisuje Rojčík [29], který vysvětluje jejich vznik rovněž resedimentací klastik. K tomuto závěru došel zejména po ojedinělých nálezech laminovaných klastů v proplásku „8“.

3 Data a metodika

V první fázi výzkumu byly nejprve studovány archivní analýzy stopových prvků provedené laboratoří VÚHU a.s. Most. Stanovení stopových prvků v pevných látkách se provádí plamenovou nebo grafitovou metodou AAS dle interního předpisu VÚHU IMP003. Používá se rozklad vzorků mineralizací v mikrovlnné peci Multiwave 3000, Anton Paar a spektrometr SpectrAA-240, Spektra-220. Rentgenfluorescenční (XRF) analýzy proplásků z několika desítek vrtů na Dolech Bílina a Nástup-Tušimice byly zpracovávány v přístroji MiniPal 4.0 firmy PANalytical v Ústavu anorganické chemie AV ČR.

Cílem těchto metod bylo zjistit geochemické anomálie v určitých stratigrafických polohách uhelné sloje, které by se odlišovaly od obecných trendů daných existencí dvou geochemických komplexů podle Elznice et al. [9]. Přihlíženo bylo především ke zvýšeným hodnotám tzv. vulkanogenních prvků (např. Ti, Ni, Cr, Ba, Sr, Zr) z vulkanitů čedičového nebo znělcového složení. S ohledem na celopánevni výskyt crandallitových proplásků [19] v nadložních libkovických vrstvách bylo navíc přihlíženo i k obsahu P, Ca. Vrstvičky fosfátů exotického složení se totiž minimálně ve dvou případech vyskytují ve spojitosti s tenkou vrstvičkou biotitového tufitu představujícího patrně vulkanický spád.

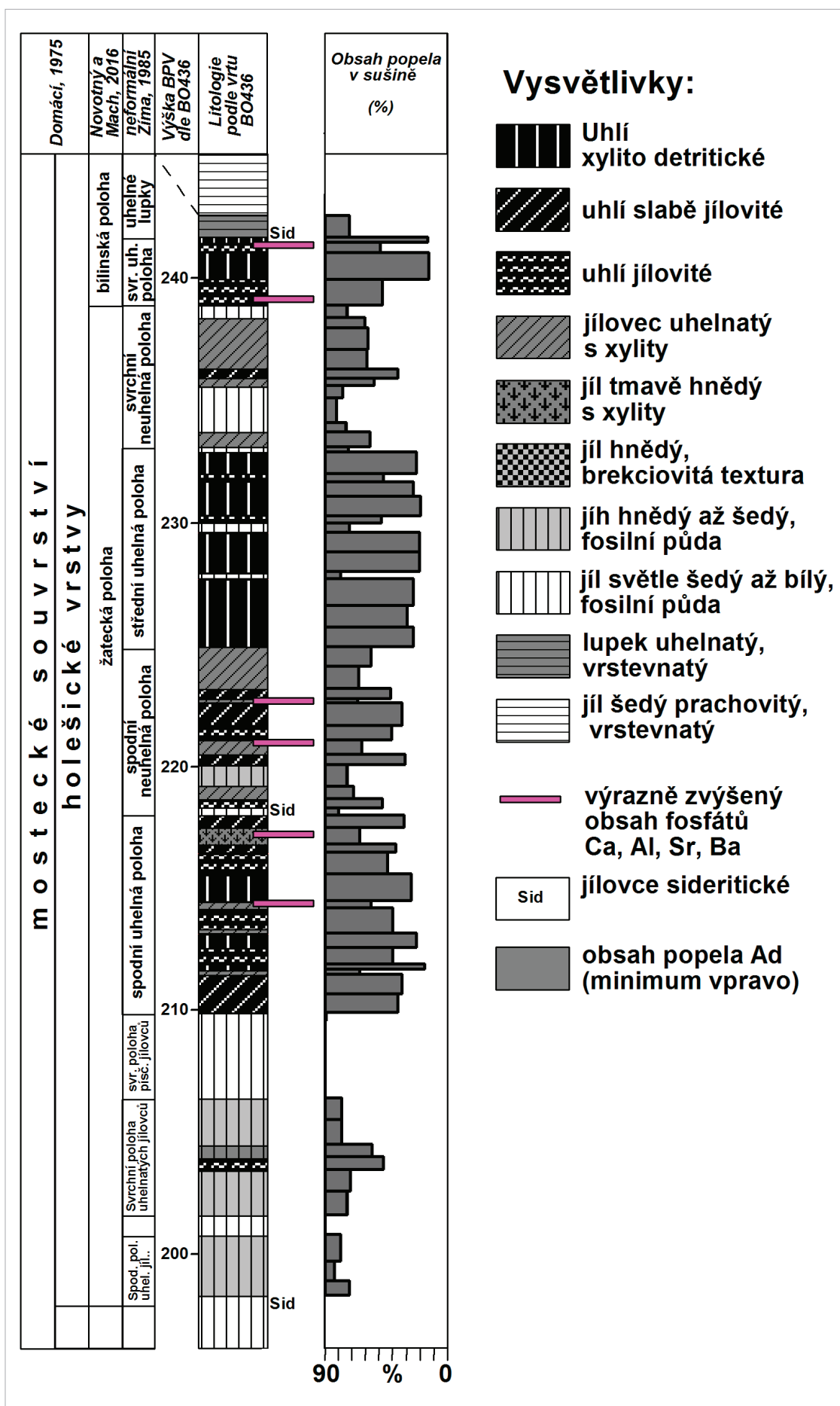
Významné geochemicky anomální proplásky, které byly určeny z XRF analýz vrtného průzkumu a rovněž nápadně petrograficky odlišné, byly v současných odkryvech lomů testovány ručním rentgenfluorescenčním přístrojem Niton XL3t GOLDD+. Následně byly odebrány vzorky pro stanovení mineralogického složení rentgenovou difrakční analýzou na Přírodovědecké fakultě UK v Praze a ve VÚHU a.s. Most. Vybrané vzorky byly firmou DIATECH s.r.o. zpracovány do výbrusů pro studium pod mikroskopem.

Dále byly odebrány vzorky petrograficky a barevně výrazných proplásků v lomu Vršany a ČSA. Tyto vzorky byly podrobeny RTG analýze a měření XRFA ručním přístrojem Niton.

Jako srovnávací materiál pro XRF analýzy, petrografický popis a rentgenovou difrakční analýzu proplásků mostecké pánve byly odebrány vzorky nejvýznamnějších proplásků, interpretované jako vulkanogenní i jako sedimentární, z lomu Družba a Jirí v sokolovské pánvi.

4 Popis geochemicky a mineralogicky anomálních poloh

Kromě všeobecného trendu průběhu obsahu prvků, které odrážejí paleogeografický vývoj pánve a zdrojové oblasti klastik [9,16], byly v profilech vrtů pomocí XRF analýzy objeveny geochemické anomálie projevující se především zvýšenými obsahy Sr, P, Ba a Ca. Jedná se o asociaci prvků typickou i pro



Obr. 3: Stratigrafická pozice proplátek se zvýšeným obsahem fosfátů na příkladu vrtu BO436 na Dolech Nástup - Tušimice. Data: archiv OMG, SD, a.s.

nadložní crandallitové proplástky [4,19]. V oblasti lomu Bílina se identifikovaná anomálie nachází 3-7 m nad třetinovým proplátkem (např. ve vrtech JU751, BST235, LB285, JU768) a obsahy Sr zde dosahují hodnot do 1 000 ppm, zatímco ostatní proplástky výjimečně obsahují více než 100 ppm Sr. Mnohem zajímavějších hodnot však dosáhly naměřené obsahy Sr ve vrtech (prvně ve vrtu DO546 v hloubce 134,6 m) v oblasti Dolů Nástup-Tušimice. Zde bylo asi 2 m pod bází spodního meziloží naměřeno až 1 % obsahu Sr, doprovázené zvýšenými obsahy P, Ba a Ca. Měřením ručním XRF přístrojem Niton při geologické dokumentaci vrtů a ve stěnách uhelných řezů byly objeveny další podobné anomálie, ale v různých stratigrafických pozicích v uhelné sloji (obrázky č. 2 a 3). Doposud byly tyto proplástky objeveny ve spodní uhelné poloze, ve spodní neuhelné poloze (v poloze jílovitého uhlí) a ve svrchní uhelné poloze. Nejvýraznější obsahy zmiňovaných prvků se vyskytují v rezavě hnědých až hnědých čočkách o mocnosti do 20 cm a délce od prvních decimetrů až po první metry, vázaných výhradně na proplástky (obrázky č. 4 a 5). Tyto čочки se laterálně střídají s úseky proplásku brekciovité textury, kde jsou obsahy Sr-P-Ba-Ca výrazně nižší. Rezavě hnědé čочки mají masivní texturu a poblíž kontaktu se sousední částí proplásku brekciovité textury se začínají vyskytovat ojedinělé klasty žlutošedého jílu. Velmi ojediněle, zejména těsně pod stropem sloje, byl objeven takto obohacený proplástek nabývajícího struskovitěho vzhledu (obrázek č. 5). Výskyty

obohacených partií proplástků lze v uhelných řezech obvykle sledovat na vzdálenost prvních stovek metrů a v případě spodní uhelné polohy v jižní části Dolů Nástup-Tušimice až přes 1 km. Dle přiložené mapky (obrázek č. 2) lze konstatovat, že je výskyt těchto geochemicky anomálních proplástků vázán pouze na východní okraj Dolů Nástup-Tušimice.

Sr-P-Ba-Ca bohaté proplástky byly odebrány pro RTG difrakční analýzu (tab. 1), která v jemně krystalické hmotě objevila fosfáty ze skupiny crandallitu (goyazit, florencit, woodhouseit), což je mineralogické složení velmi podobné crandallitovým proplástkům z nadložních libkovických vrstev. V proplásku struskovitěho vzhledu pod stropem sloje je goyazit dokonce převládajícím minerálem. Z výbrusů těchto proplástků (obrázky č. 6d, 6e) však nebyly pozorovány žádné anomální textury, které by se lišily od ostatních dosud pozorovaných proplástků.

Proplástek s lokální Sr-P-Ba-Ca asociací byl objeven i ve 3. sloji v lomu Vršany, ale stejně jako v případě lomu Bílina se jednalo pouze o první desetiny procenta obsahu Sr, které nebyly při RTG difrakci potvrzeny (ani vyvráceny) přítomností fosfátů. Jiné geochemické anomálie, které by mohly odpovídat vulkanickému zdrojovému materiálu, nalezeny nebyly, pouze na lomu Bílina byla potvrzena existence rozhraní tzv. staršího a mladšího komplexu [9] zhruba ve středu sloje. Ve spodní látce sloje je zde evidentní přítomnost místně splaveného



Obr. 4: Na fosfáty bohatý proplástek ve spodní uhelné poloze na Dolech Nástup - Tušimice. Foto: T. Novotný, 2016.



Obr. 5: Na fosfáty bohatý proplástek pod stropem sloje na Dolech Nástup - Tušimice. Proplástek vytváří typické čočky, místy struskovitěho (a) a brekciovitého (b) vzhledu. Foto: T. Novotný, 2015.

vulkanogenního materiálu obecně, v oblasti od tzv. třetino-vého proplásku [22] již má jílový materiál povahu odpovídající nadložním sedimentům a obsah vulkanogenní příměsi je zde tedy výrazně snížen.

5 Popis sedimentárních proplástků

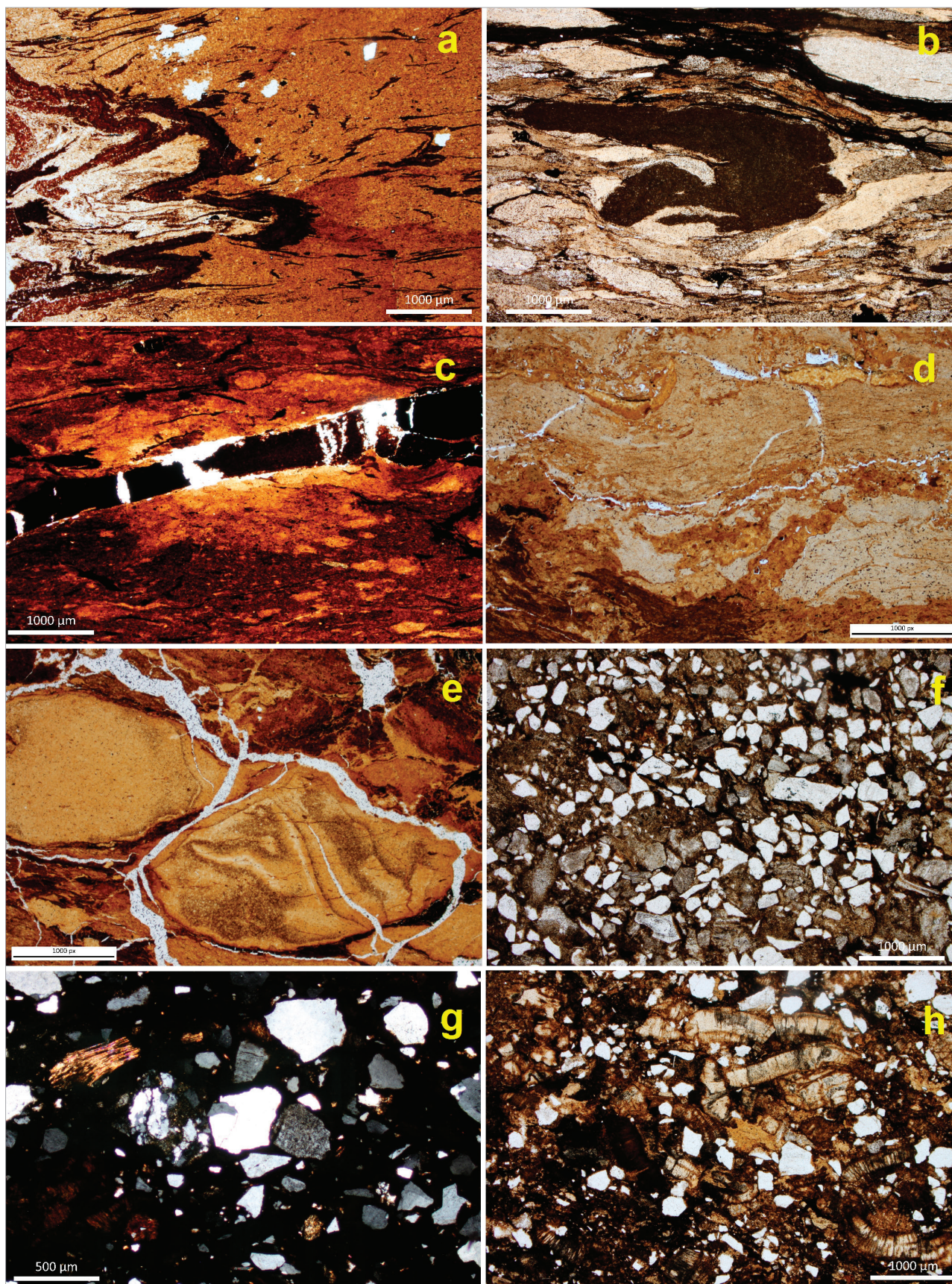
Pro srovnání s „běžnými“ proplásky v hlavní sloji mostecké pánve byly odebrány petrograficky nebo barevně výrazné proplásky ze všech činných velkomů pro mineralogickou a/nebo mikropetrografickou analýzu. Z hlediska mineralogie převládá v proplástech obsah jílových minerálů (kaolinit, illit) a křemene (většinou v prachové frakci). Tato složka je doprovázena diagenetickými minerály, nejčastěji sideritem a pyritem.

Jak v makro, tak i v mikroměřítku převládá v proplástech brekciovitá textura, tak jak ji popsal Mach [13]. V brekcích tvořených více typy klastů byla pozorována i plastická deformace některých klastů (obrázky č. 6a, 6b). Jednotlivé subangulární klasty, vytvářející často podpůrnou stavbu, jsou obvykle uspořádány subparalelně, což může být spojené s následnou kompakcí jílu. Brekciovitá textura proplástků je doprovázena výskytem ohlazových plošek (tzv. slickensides – obrázek č. 7), jejichž hojnost se může v rámci jednoho proplásku na vzdálenost metrů výrazně měnit. Zvláštní formou těchto proplástků byly vrstvičky slínů až slínových konglomerátů s výskytem vápencových ulit gastropodů a kostí obratlovců ve spodní sloji

na již vytěžené lokalitě Merkur. Hojně jsou desetiny mm tenké polohy organického detritu často vyplňující prostory mezi klasty jílu. Organická hmota je také zastoupena ojedinělými čočkami xylitu a kompakci zdeformovanými tenkými kořínky. Časté jsou rovněž shluky sideritu zcela zastírající původní jílovitou hmotu. Jeden z mála proplástků s částečně zachovalou primární vrstevnatostí odpovídá konkrétně třetímu záplavovému horizontu nad „cvičákem“ v lomu Bílina ve smyslu Macha et al. [15]. Ta je zachována ve formě světle šedých 1-2 mm tenkých lamin, které často vyklíňují a zase nasazují v převládajícím tmavě šedém jílu. V proplástech ve střední uhelné poloze na Dolech Nástup-Tušimice byly nalezeny zuhelnatělé kořínky pronikající napříč jednotlivými klasty brekciovité textury proplásku (obrázek č. 6c). Ojedinělý zde byl i výskyt jednotlivých zrn detritického křemene suboválného až subangulárního opracování o velikosti 0,1-0,3 mm plovoucí v základní jílovité hmotě. Nevýrazná laminace byla ojediněle pozorována v nápadném, obvykle brekciovitém proplásku na stropu spodní uhelné polohy na Dolech Nástup-Tušimice.

6 Popis proplástků ze sloje Antonín sokolovské pánve

Jako srovnávací materiál pro XRF analýzy, petrografický popis a rentgenovou difrakční analýzu proplástků mostecké pánve byly odebrány vzorky nejvýznamnějších proplástků, interpretované jako vulkanogenní i jako sedimentární ze sloje Antonín, těžené v lomu Družba a Jiří v sokolovské pánvi. Sedimentologicky



Obr. 6: Vybrané mikrofotografie studovaných proplásteků. Foto: T. Novotný.

a – plastické deformace postihující světlý klast jílu s obalem organického detritu, proplástek ze spodní lávky lomu Bílina; b – plasticky deformovaný klast sideritického jílu, proplástek ze sp. uhelné polohy, Doly Nástup - Tušimice; c – ojedinělé pronikání kořínků uhlotvorné vegetace napříč klasty jílu, proplástek ze střední uhelné polohy, Doly Nástup-Tušimice; d – fosfáty nabohacený proplástek ze spodní uhelné polohy na Dolech Nástup - Tušimice; e – brekciovitá textura fosfáty nabohaceného proplástek ze spodní uhelné polohy, Doly Nástup - Tušimice; f – subangulární a angulární křemenné klasty v proplástek „30“, lom Družba; g – subangulární a angulární zrna křemene, některá polykrystalická. Vlevo nahoře alterovaná slída. Pohled ve zkřížených nikolech na proplástek „10“ z lomu Družba; h – klasty křemene a červíkovité formy zřejmě autigenního kaolinitu z proplástek „10“ v lomu Družba.

Tab. 1: Semikvantitativní hodnocení (v %) mineralogického složení odebraných proplátek z mostecké a sokolovské pánve. Stanoveno difrakční analýzou na PFF UK, Praha.

Název vzorku	Lokalita	Poloha	Illit	Kaolinit	Křemen	Pyrit	Siderit	Anatazit	Florencit	Woodhouseit	Augit	Acmit
DNT 1/2012	Tušimice	3. sloj - strop	38	29	26	3						
DNT 2/2012	Tušimice	3. sloj		23	72	2						
DNT 3/2012	Tušimice	2. sloj	13	17	67		1	2				
DNT 4/2012	Tušimice	1. sloj	38	25	34		3					
DNT 5/2012	Tušimice	2. sloj	18	58	23							
DNT 6/2012	Tušimice	2. sloj	9	57	31	3						
DO546_49	Tušimice	fosfáty - 3. sloj		64	29		4		3			
LIBS8a/2013	Tušimice	fosfáty - 3. sloj		16	77				7			
LIBS11a/2013	Tušimice	fosfáty - 3. sloj	15	11	60				14			
LIBS11b/2013	Tušimice	fosfáty - 3. sloj		10	81				9			
LIBS11c/2013	Tušimice	fosfáty - 3. sloj	11	68	8				4	9		
DB1d/2012	Bílina	svrchní lávka	20	36	43							
DB1h/2012	Bílina	svrchní lávka	29	29	40			2				
DB2d/2012	Bílina	třetinový p.	28	65	7							
DB2h/2012	Bílina	třetinový p.	29	33	38							
DB3/2012	Bílina	hlavní p.		56	26		7	6				
DB4/2012	Bílina	svrchní lávka	42	19	39							
DB5/2012	Bílina	spodní lávka		70	30							
LD2/2012	Družba	„10“	11	56	23						11	
LD3/2012	Družba	„8“		60	28			11				
LD4/2012	Družba	„30“	17	13	59							3
LD5/2012	Družba	„20“		47	22		31					

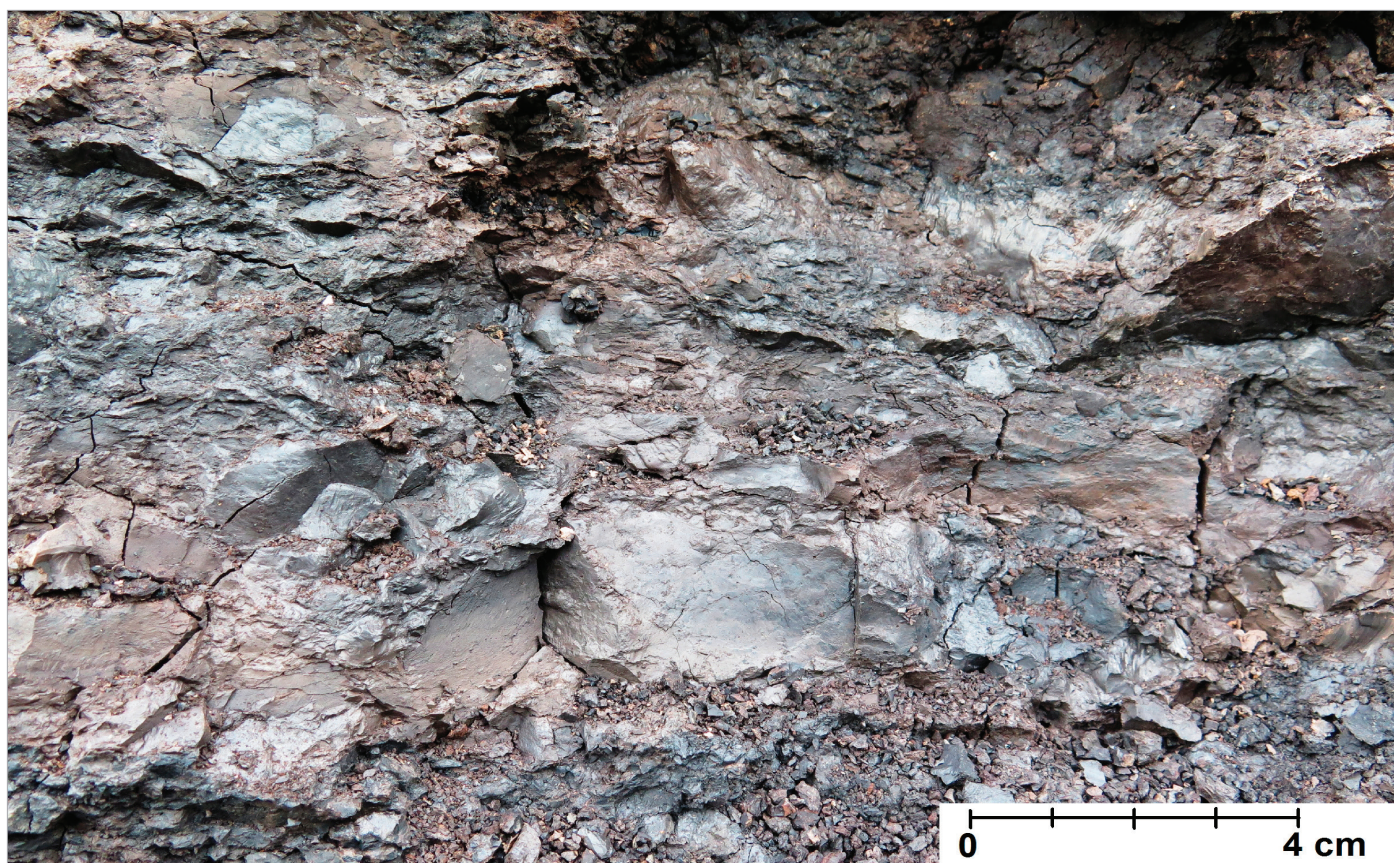
a z hlediska zdrojových oblastí a stáří vykazuje sokolovská pánve řadu podobností s mosteckou pánví. Zatímco v mostecké pánvi nebyl spodnomiocénní vulkanismus zcela jistě prokázán, v sokolovské pánvi představuje druhý vrchol vulkanické aktivity na území pánve [24]. Zejména v těšovických vrstvách, které se stářím shodují se spodní částí sloje Antonín, byly popisovány produkty alkalického, převážně freatomagmatického vulkanismu. Podle Peška et al. [24] se spady vulkanické tefry projeví ve slojích zvýšenou popelnatostí a specifickým složením popelovin uhlí (až první % TiO_2) a výskytem korelačních proplátek. Podle Rojíka [29] je ale až na výjimky nemožné rozhodnout, zda je vulkanický materiál v proplátcích primárního původu nebo je redeponovaný.

Ve sloji Antonín jsou proplátky označeny přibližnou vzdáleností (v metrech) od hlavy sloje a ty nejvýznamnější („30“, „20“, „10“, „8“) byly odebrány pro účely tohoto výzkumu. Z těchto proplátek navíc Rojík [29] popisuje mnohem různorodější materiál, než jak jej známe z mostecké pánve. Zmiňuje zejména hojně zastoupené různé opracované klasty křemene, živce, slídy a tufové klasty uložené v základní prachovito-jílovité hmotě.

Podobné složení bylo potvrzeno i tímto výzkumem. Barevně výrazný proplátek „30“ ve spodní části sloje se od všech ostatních doposud pozorovaných proplátek lišil převažující písčito-prachovitou frakcí, tvořenou vytříbenými subangulárními a angulárními zrny křemene o velikosti 0,3-1 mm, z nichž

některá byla polykrystalická. V obsazích až prvních procent byly identifikovány RTG difrakcí i optickými metodami i alterované živce, slídy a zřejmě i pyroxeny o velikosti 0,1-0,5 mm. Ve výbrusu se střídaly polohy s hojnými klasty křemene, místy s podpůrnou strukturou klastů, s polohami s podpůrnou strukturou hnědé jílovité matrix (obrázek č. 6f).

Petrografickým složením byl nejzajímavější proplátek „10“ tvořený 1–3 mm (výjimečně i několik cm) velkými světle šedými klasty jílovců, které plavou v tmavě šedé základní hmotě. Uložení klastů se nezdá být paralelní jako v případě proplátek mostecké pánve, v základní hmotě jsou rozmístěny spíše chaoticky. Velmi zajímavě se proplátek jeví ve výbrusu. V základní jílovité hmotě plavou ostrohranná křemenná zrna představující asi 15% celkového obsahu detritických složek proplátek. Další cca 10% tvoří subangulární úlomky křemene, z nichž některé jsou polykrystalické s typickým undulárním zhašením (obrázek č. 6g). Velikost křemene je 0,1-1 mm a jeho klasty jsou nevytříbené. Ojedinele byly identifikovány i alterované slídy a blíže neurčené horninové úlomky o velikosti desetin milimetru. Nápadnou součástí proplátek tvoří červíkovité formy zřejmě autigenního kaolinitu, dosahující délky až 1,5 mm (obrázek č. 6h). Kromě převažujících minerálů kaolinitu, křemene a illitu odhalila difrakční analýza (tab. 1) i pyroxen (augit). XRF analýzy v tomto vzorku potvrdily poměrně vysoké obsahy Ti, a to až 4%. Naproti tomu obsahy Sr-P-Ba nebyly nikterak zajímavé a nepřesahovaly obsahy prvních stovek ppm.



Obr. 7: Ohlazové plošky (tzv. slickensides) z propláستku ve svrchní uhelné poloze na Dolech Nástup - Tušimice. Foto: T. Novotný, 2017.

Propláستky „8“ a „20“ jsou svým petrografickým složením podobné propláстkům z mostecké pánve. V šedé základní prachovito-jílovité hmotě plavou různé velké klasty světlejších jílu a ojediněle subangulární až oválné klasty křemene. Mikroskopicky i difrakční analýzou byl hojně identifikován siderit. Obsahy Ti v rozmezí 2-3% odhalené XRF analýzou odpovídají celkovému trendu sloje Antonín.

7 Diskuze

Z výsledků studií zabývajících se „crandallitovými“ propláстky a Sr anomáliemi v libkovičských vrstvách mosteckého souvrství [4,19] vyplynulo, že se tyto polohy projevují zejména zvýšenými obsahy Sr, Ba, P a Ca a mineralogicky jsou tvořeny minerály z řady crandallitu. Vznik těchto „crandallitových“ propláстků autoři vysvětlují tak, že došlo k jejich vysrážení z vodního sloupce, vlivem pozměněných geochemických podmínek v důsledku vulkanického spadu, který by mohla představovat 1-2 mm tenká vrstvička slabě alterovaného biotitu na bázi „crandallitových“ propláстků. Rovněž i v sedimentech karbonu, v lubenském obzoru žáruvzdorných jílovců u Nového Strašecí, jsou známy polohy s výskytem crandallitu a zvýšenými obsahy Sr, P, Ba a Ti odpovídající dle Stárkové et al. [31] vulkanické příměsi. V sokolovské pánvi se vulkanogenní propláстky ve sloji Antonín podle Rojíka [29] projevují především zvýšenými obsahy Ti a některými minerály podporujícími hypotézu vulkanického původu. Na tyto vlastnosti se zaměřili i autoři tohoto článku. Pomocí XRF měření, difrakčních analýz, mikroskopování výbrusů, studií vrtů a stěn uhelných řezů v lomech se podařilo najít podobné anomálie i v mostecké pánvi.

Nejzajímavější propláстky byly nalezeny na Dolech Nástup-Tušimice. V několika propláстcích v úrovni hlavní sloje byly nalezeny plošně nestálé, rezavě hnědé úseky obohacené lokálně fosfáty (goyazit, florencit). Tyto polohy se vyznačují relativně vysokými obsahy zejména Sr, dále pak P-Ba-Ca. Stroncium a barium se v geologických procesech, životním prostředí i v živých organismech chovají podobně jako vápník, proto se spolu s ním váží na fosfátový aniont. Podmínkou jejich srážení z roztoku je kyselé prostředí. I při zvýšeném lokálním obsahu v horninách, uhlí (včetně spalovacího procesu) nebo vodě nepředstavují přírodní izotopy těchto prvků žádné riziko pro člověka, naopak v geologické praxi svou snadnou odhalitelností mohou být velmi nápomocné při řešení řady geologických otázek.

Kromě lokálního zvýšeného obsahu fosfátů se popsané propláстky svými vlastnostmi nijak výrazně neodlišují od jiných propláстků popsaných jak na Dolech Nástup-Tušimice, tak na jiných lokalitách. Jsou to většinou fosilní půdy, což dokládají jak úseky s brekciovitou texturou, tak hojný výskyt drobných ohlazů (slickensides – obrázek č. 7) a zuhelnatělých kořenů pronikajících napříč vrstvami. Výrazné variace v obsahu fosfátů odpovídají spíše než důsledku sedimentace vzniku během diagenese, obdobně jako vznikají karbonátové konkréce. Podobné, ale mnohem méně obohacené propláстky o Sr-P-Ba-Ca byly nalezeny prakticky na všech sledovaných lokalitách. Obsahy uvedených prvků tam ale nebyly tak vysoké, aby se jejich výskyt podařilo potvrdit difrakční analýzou v podobě fosfátů, jako tomu bylo na Dolech Nástup - Tušimice. Protože fosfátová mineralizace nebo Sr-Ba-P anomálie ve zjištěných výskytech mají spíše lokální charakter, těžko se dá dovozovat na jejich

vulkanogenní původ. Vždyť jedním z obecných příznaků vulkanogenních proplástek je jejich plošná stálost. Kromě toho nebyly v těchto proplástech zjištěny jiné vulkanogenní prvky ve zvýšených obsazích.

Podobně jako v sokolovské pánvi by se dalo předpokládat i odlišné mineralogické složení (přítomnost charakteristických minerálů – pyroxenů, slíd, živců) v případě freatomagmatické činnosti i ostrohranných klastů křemene. Nic takového v proplástech z mostecké pánve pozorováno nebylo. Bohužel i z popisu proplástek ve sloji Antonín v sokolovské pánvi vyplývá určitá nejednoznačnost, zdali se jedná o tuf, tufit nebo sedimentární proplástek s příměsí vulkanogenního materiálu. Téměř vždy se vyskytuje v proplástech jak vulkanogenní (slídy, pyroxeny, ostrohranné klasty křemene), tak i terigenní materiál (subangulární polykrystalická zrna křemene, klasty jílu). V proplásku „10“ byly kromě nevytříděných ostrohranných zrn křemene a alterovaných slíd a pyroxenů pozorovány i červíkovité formy zřejmě autigenního kaolinitu (obrázek č. 6h), tak jak jsou známy z tonsteiny ve slojích v hornoslezské pánvi [7]. Právě tento proplástek se podle autorů nejvíce přibližuje označení vulkanogenní proplástek, ale i ten obsahuje sedimentární příměs. Kyselé sopečné útvarů s obsahem křemene nejsou v paleogénu ani neogénu v okolí obou pánví známy, a tak ostrohranné klasty křemene mohly vzniknout jediné během freatomagmatické činnosti, při které byly podložní krystalinické horniny silně rozrušeny explozivní činností a poskytly tak dostatek křemenných zrn. Ani v případě studovaných proplástek z sokolovské pánve nelze bez další komplexnější analýzy jejich geologické pozice jednoznačně rozhodnout, zda se jedná o tonsteiny, tufity nebo sedimentární proplásky s příměsí staršího sopečného materiálu. Téma proplástek ve sloji Antonín by si jistě zasloužilo rozsáhlejší studii.

Z petrografického popisu sledovaných proplástek z mostecké pánve vyplývá hojně zastoupení brekciovité textury s pronikajícími kořeny. Pouze ojediněle byla pozorovaná částečně zachovalá původní vrstevnatost, a to ve formě laminace. Klasty tvořící jílovitou brekci zahrnují několik barevně odlišných typů, které jsou obvykle uloženy v tmavší jílovité hmotě. Brekciovitá textura, různý stupeň opracování a několik druhů klastů je zřejmě výsledkem vysychání a erozí zpevněného bahna. Ojediněle byl pozorován jev, kdy zuhelnatělý kořínek prostupuje klast jílovce (obrázek č. 6c), což dokládá, že k brekciaci došlo před zakořeněním uhlotvorné vegetace. V některých proplástech byla pozorována plastická deformace klastů (obr. 6a), svědčící zřejmě o pohybu sedimentu v částečně plastickém stavu. Kořeny uhlotvorné vegetace, drobné ohlasy – slickensides, brekciovitá stavba a přítomnost karbonátu a sulfidů železa (sférosiderity, framboidy pyritu) jsou typické rysy glejových paleopůd [28]. Autoři se tak domnívají, že hlavní procesy, které zformovaly většinu proplástek do dnešní podoby, byly primárně sedimentární. Materiál byl na místo dopraven vodním proudem z nejbližší řeky. Po vzniku sice došlo k zakořenění uhlotvorné vegetace a zejména k mechanickému rozrušování horniny kořínky, ale nedošlo k vývoji typických půdních horizontů vzhledem k poměrně rychlému vršení rašeliny, která zamezila subaerickému zvětrávání.

8 Závěr

Použitím řady metod zkoumání se nepodařilo v hlavní sloji mostecké pánve objevit proplásky vulkanogenního původu. Studované proplásky z mnoha lokalit vznikly transportem a sedimentací klastického materiálu z vodního sloupce a jejich vnitřní stavba byla následně modifikována vysycháním, přepalováním, pedogenezí a diagenezí. Nápadné textury a identifikované geochemické (Sr-Ba-P-Ca) a mineralogické (fosfáty ze skupiny crandallitu) anomálie nemají původ ve vulkanickém spadu či přeplavení sopečného popela, ale zřejmě vznikly až při diagenezi. Studované proplásky tedy nemohou být v žádném případě označeny za tonsteiny a dokonce ani za tufity. Nejvýznamnější geochemické a mineralogické anomálie byly doposud nalezeny na Dolech Nástup-Tušimice na lomu Libouš, a to v několika stratigrafických polohách v podobě různých rozsáhlých čočkovitých výskytů představujících nepatrný zlomek z hmoty sloje. Proplásky ze sloje Antonín, odebrané na lomu Jiří v sokolovské pánvi jako srovnávací materiál, se především v mikroměřítku výrazně odlišují od proplástek z mostecké pánve. Hojně jsou v nich zastoupeny klasty křemene, někdy dokonce pyroxenu a slídy v písčité až prachovité frakci. Především proplástek „10“ se svojí nevytříděností, ostrohrannými klasty křemene, slídy, pyroxenů a červíkovitými formami kaolinitu nejvíce přibližuje označení vulkanogenní proplástek.

Poděkování

Tento článek z větší části vychází z diplomové práce [21], která vznikla pod vedením školitele doc. RNDr. Stanislava Opluštila, Ph.D., kterému patří poděkování za veškerou pomoc s tvorbou diplomové práce. Autoři děkují i RNDr. Petru Rojíkovi, Ph.D., Ing. Romanu Galekovi, Mgr. Romanu Grambličkově a Ing. Petru Šulckovi za pomoc při odebrání proplástek z lomů v mostecké a sokolovské pánvi. Za konzultace v oboru vulkanologie a sedimentologie a za pomoc při popisu výbrusů proplástek patří poděkování Mgr. Vladislavu Rapprichovi, Ph.D. a Mgr. Karlu Martínkovi, Ph.D. Poděkování patří rovněž i RNDr. Tomáši Matysovi Grygarovi, CSc. především za poskytnutí některých geochemických dat a za cenné konzultace v oboru geochemie.

Literatura

- [1] BRUS, Z., HURNÍK, S., SYSEL, P.: Proplástek vulkanogenních hornin ve sloji na dole Ležáky u Mostu. Věstník ÚÚG, roč. XLI, č. 5, 359 – 365. 1966.
- [2] CAJZ, V.: Proposal of lithostratigraphy for the České středohoří Mts. volcanics. Bulletin of the Czech Geological Survey 75, 1. 2000.
- [3] CAJZ, V., RAPPRICH, V., ERBAN, V., PÉCSKAY, Z., RADONĚ, M.: Late miocene volcanic activity in the České středohoří Mountains (Ohře/Eger Graben, northern Bohemia). Geologica Carpathica, December 2009, 60, 6, 519 – 533. 2009.
- [4] COUFAL, P., MEJSTŘÍKOVÁ, L.: Unikátní barium-stronciová mineralizace na lokalitách DNT. Hnědé Uhlí, 1/96, 41-50, Most. 1996.

- [5] DOMÁČÍ, L.: Litostratigrafie třetihorních sedimentů v hnědouhelné severočeské pánvi. *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 1, 75–80, Praha. 1975.
- [6] DOPITA, M., KRÁLÍK, J.: Uhlenné tonsteiny Ostravsko – karvinského revíru. Monografie k 1. mezinár. kolok. o uhelných tonsteinech, OKD GR, Ostrava. 1977.
- [7] DOPITA et al.: Geologie české části hornoslezské pánve. Monografie MŽP ČR, 1997.
- [8] ELZNIC, A.: „Zakonzervovaná geologie severočeské (hnědouhelné) pánve. - MS MŽP ČR, p. 430. 2007.
- [9] ELZNIC, A., ČADKOVÁ, Z., DUŠEK, P.: Paleogeografie terciálních sedimentů severočeské pánve. *Sborník geologických věd, Geol.* 48, 19 – 46. 1998.
- [10] HAVLENA, V.: Geologie uhelných ložisek I., Nakladatelství Československé Akademie věd, Praha. 1963.
- [11] HURNÍK, S.: Gelinitová klastická žíla v severočeské pánvi (miocén). *Věstník ÚÚG*, 66, 1, 23–30. Praha. 1991.
- [12] HURNÍK, S.: Zavátá minulost Mostecka. *Sborník Okresního muzea v Mostě, řada přírodovědná* 23, Most, p. 139. 2001.
- [13] MACH, K.: Intraformační brekcie na VMG v Bílině. *Zpravodaj SHD* 3/93, 11 – 16, VÚHU Most, Most. 1993.
- [14] MACH, K.: A logging correlation scheme for the Main coal seam of the North Bohemian brown coal basin, and the implications for the palaeogeographical development of the basin. *European Coal Geology and Technology, Geological Society Special Publication* 125, 309–320. 1997.
- [15] MACH, K., SÝKOROVÁ, I., KONZALOVÁ, M., OPLUŠTIL, S.: Effect of relative lake-level changes in mire–lake system on the petrographic and floristic compositions of a coal seam, in the Most Basin (Miocene), Czech Republic. *International Journal of Coal Geology* 105 (2013) 120–136. 2013.
- [16] MACH, K., TEODORIDIS, V., MATYS GRYGAR, T., KVAČEK, Z., SUHR, P., STANDKE, G.: An evaluation of paleogeography and paleoecology in the Most Basin (Czech Republic) and Saxony (Germany) from the late Oligocene to the early Miocene. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie–Abhandlungen* 272/1, 13–45. 2014.
- [17] MALKOVSKÝ, M. et al.: Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. *Oblastní regionální geologie ČR, Ústřední ústav geologický*, Praha, p. 424. 1985.
- [18] MARTINEC, P., JAKUBEC, M.: Namurian and west-phalian coal tonsteins and K-bentonites in the upper silesian basin, Czech republic – major elements, trace elements chemistry and magmatic affinities. In *Carboniferous and Permian of the World, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir* 19, p. 910 – 923. 2002.
- [19] MATYS GRYGAR, T., MACH, K.: Regional chemostratigraphic key horizons in the macrofossil-barren siliciclastic lower Miocene lacustrine sediments (Most Basin, Eger Graben, Czech Republic). *Bulletin of Geosciences* 88(3), 557–571. Czech Geological Survey, Prague. 2013.
- [20] MAŠEK, J.: Vulkanické produkty středoevropského karbonu. ČGÚ, *Sborník geologických věd, řada G, svazek* 24, 73 – 124. 1973.
- [21] NOVOTNÝ, T.: Geneze a paleogeografický význam proplátek hlavní hnědouhelné sloje mostecké pánve. Diplomová práce. Knihovna PřF UK v Praze. 2013.
- [22] NOVOTNÝ, T., MACH, K.: Liboušský aluviální systém ovlivněný synsedimentární kompakcí rašeliny (spodní miocén, mostecká pánev). *Zpravodaj Hnědé uhlí, 2/2016, VÚHU, Most*. 2016.
- [23] OPLUŠTIL, S., PŠENIČKA, J., LIBERTÍN, M., ŠIMŮNEK, Z.: Vegetation patterns of Westphalian and Lower Stephanian mire assemblages preserved in tuff beds of the continental basins of Czech Republic. *Review of Palaeobotany and Palynology* 143 (2007), 107–154. 2007.
- [24] PEŠEK, J. et al.: Terciální pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. ČGS, Praha, p. 415. 2010.
- [25] RAJCHL, M., ULIČNÝ, D.: Depositional record of an avulsive fluvial system controlled by peat compaction (Neogene, Most Basin, Czech Republic). *Sedimentology* 52, 601 – 625. 2005.
- [26] RAJCHL, M., ULIČNÝ, D., MACH, K.: Interplay between tectonics and compaction in a rift-margin, lacustrine delta system: Miocene of the Eger Graben, Czech Republic. *Sedimentology* 55, 1419 – 1447. 2008.
- [27] RAPRICH, V.: Za sopkami po Čechách. Grada Publishing, a.s. p. 240, 2012, ISBN 978-80-247-3796-6.
- [28] RETALLACK, G., J.: Soils of the Past. An introduction to paleopedology. Second edition. Blackwell Science Ltd. p. 404. ISBN 0-632-05376-3. 2001.
- [29] ROJÍK, P.: Tektonosedimentární vývoj sokolovské pánve a její interakce s územím Krušných hor. Ph.D. thesis. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha. 227 pp. 2004.
- [30] SAKALA, J., RAPRICH, V., PÉŠCKAY, Z.: Fossil angiosperm wood and its host deposits from the periphery of a dominantly effusive ancient volcano (Doupovské hory Volcanic Complex, Oligocene-Lower Miocene, Czech Republic): systematics, volcanology, geochronology and taphonomy. *Bulletin of Geosciences* 85 (4), 617–629, Czech Geological Survey, Prague. 2010.
- [31] STÁRKOVÁ, M. et al.: Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000. 12–144 Lány. Česká geologická služba. Praha. 2012
- [32] ZÍMA, J.: Závěrečná zpráva úkolu Libouš, surovina hnědé uhlí. Geoindustria n.p. SD, a.s. 1986.