

## **Vulkanismus v sokolovské pánvi a jeho vztah k tektonice a uhlotvorbě**

*Přijato: 5.4.2006, recenzováno: 15.5.2006*

### Vulkanismus im Sokolov-Becken und seine Beziehung zu Tektonik und Kohlenflötzen

Der Beitrag versucht die räumlichen, zeitlichen und genetischen Bindungen zwischen dem Vulkanismus, Tektonik und Kohlenbildung im Sokolov-Becken, Teil des tertiären Egergrabens (Eger-Rifts), zu erklären. Die Kohlensubstanz ist im Sokolov-Becken mit bedeutenden 15 % und das Material vulkanischen Ursprungs sogar mit mehr als 50 % vertreten. Die Tektonik und Vulkanismus bestimmten, ob, wann und wo sich ein Kohlenflöz bilden konnte. Sie beeinflussten die Menge, Qualität und Lagerung der Kohlenflötze, der Begleitrohstoffe und bestimmen die Wahl der Abbaumethoden. Und umgekehrt, die kohlenbildenden Moore beeinflussten die Art der vulkanischen Ausbrüche im Becken und die Veränderungen der abgelagerten vulkanischen Schichten.

### Volcanism in the Sokolov Basin and its relation to tectonics and lignite seams

The paper deals with the relations among volcanism, tectonics and lignite seams in the Sokolov Basin, which is a part of the Tertiary Eger Graben (Eger Rift). The coal substance participates by 15 % and the volcanic material by more than 50 % of the basin's fill. Tectonics and volcanism have influenced, whether, when and where a lignite seam could be deposited. They influenced the quantity, quality and setting of lignite reserves and accompanying raw materials and control the exploitation methods. In the contrary, the lignite-forming mires influenced the type of volcanic eruptions in the basin and caused vast alterations of volcanoclastic rocks.

### Вулканизм в Соколовском бассейне и его отношение к тектонике и углеобразованию

Автор статьи старается наметить пространственные, временные и причинные связи между вулканизмом, тектоникой и углеобразованием. Органическая масса в заполнении Соколовского бассейна представляет 15 %, материал вулканического происхождения даже более 50 %. Тектоника и вулканизм регулировали, если вообще, или же когда и где будет залежать угольный пласт. Они оказывали влияние на количество, качество и способ залегания не только угольных запасов, но и сопровождающего сырья и втайне управляют выбором метод разработки. Наоборот, среда углеобразующих болот оказала влияние на механизм тектонических извержений внутри бассейна и вызвала превращение залегающих вулканических пород.

### Vulkanismus v sokolovské pánvi a jeho vztah k tektonice a uhlotvorbě

Práce se pokouší nastínit prostorové, časové a příčinné souvislosti mezi vulkanismem, tektonikou a uhlotvorbou. Organická hmota je ve výplni sokolovské pánve zastoupena významnými 15 %, materiál vulkanického původu dokonce z více než 50 %. Tektonika a vulkanismus řídily, zda vůbec, popř. kdy a kde se uloží uhelná sloj. Ovlivnily množství, kvalitu a způsob uložení nejen uhelných zásob, ale i doprovodných surovin a skrytě řídí volbu dobývacích metod. Naopak prostředí uhlotvorných močálů ovlivnilo mechanismus sopečných erupcí uvnitř pánve a vyvolalo přeměny uložených vulkanických hornin.

## 1. Sokolovská pánev v širších souvislostech

Sokolovská pánev je součástí třetihorní - čtvrtohorní struktury, která protíná Český masív ve směru ZJZ-VSV. Tato struktura se nejčastěji označuje v literatuře jako "příkop", "prolom", "rift" nebo "megavrása". Avšak každé z těchto označení pokulhává nebo v lepším případě vystihuje jen určitou fázi vývoje. Vývojové fáze této struktury jsou v časovém souladu s pulzacemi oceánských riftů, a tím i vrásněním Alp. Mezi vulkanicko-tektonickými odezvami v předpolí Alp od Francie do Polska jsou podkrušnohorské pánve zajímavé tím, že se zde tektonická aktivita časově prolínala s ideálním klimatem pro tvorbu uhlí (tzv. burdigalským optimem).

Statistická analýza puklin sokolovské pánve ukázala, že v době vrcholící vulkanicko-tektonické aktivity v třetihorách na přelomu oligocénu a miocénu přicházela hlavní složka napětí  $\sigma_1$  od ZJZ (Rojík 2004). V literatuře je toto období spojováno se sávkou fází alpského vrásnění, kdy orientovaný tlak směřoval právě od ZJZ (Roth 1984, Mísař 1987). Klasická diskordance se nachází v povodí řeky Save ve Francii. V sokolovské pánvi jí časově odpovídají deformace, které zapadají do časové mezery v ukládání vrstev, projevující se jako skrytá diskordance při bázi miocénu a oddělující novosedelské a sokolovské souvrství (Rojík 2005). Všechny mladší vrstvy včetně miocenních slojí a cyprisového souvrství už tuto složku deformace neobsahují. Jsou pouze opakovaně postiženy orientovaným tlakem ze směrů J a JJV. Tento mladší systém puklin, o němž je např. známo, že řídil směr rubání např. v hlubinných dolech Georg u Lomnice (Frieser 1914), pak souvisí s napěťovým polem štýrské fáze alpského vrásnění, kdy orientovaný tlak přicházel od JJV (Roth 1984, Mísař 1987). V té době se sokolovská pánev nacházela ve fázi komprese, a proto nemohla zanechat sedimentační ani vulkanický záznam. V současné době pokračuje tektonické přetištění, které vede k destrukci pánve.

Zlomy, které byly aktivní v době formování pánve, mají výrazně dilatační geometrii. To ukazuje na tehdejší extenzi zemské kůry. Důsledkem tohoto rozpínání je zaklesávání (subsidence) tektonických bloků zemské kůry. Subsidence donutila kry zaklesávat podél řídících zlomů a vytvářet sedimentační prostory pro tvorbu uhelných slojí. I přes postupující deformaci si sokolovská pánev dodnes zhruba zachovává členění do dílčích příkopů a hrástí, založených v třetihorách. Příkopy a hrástě jsou protaženy do směru blízkého V-Z (80 °). Seskupují se do nadřazené struktury krušnohorského směru, tedy přibližně SV-JZ (68 °).

Dalším důsledkem vzniku dilatačních trhlin v kůře byl vulkanismus. Nejdůležitější zlomy dosahovaly evidentně velmi hluboko a přiváděly alkalické taveniny „čedičového“ složení z nataveného zemského pláště.

Z toho důvodu leží uhelné sloje a vulkanické horniny často blízko sebe a vstupují do interakcí. To mění vlastnosti obou a ovlivňuje množství, kvalitu, uložení a způsob dobývání uhlí.

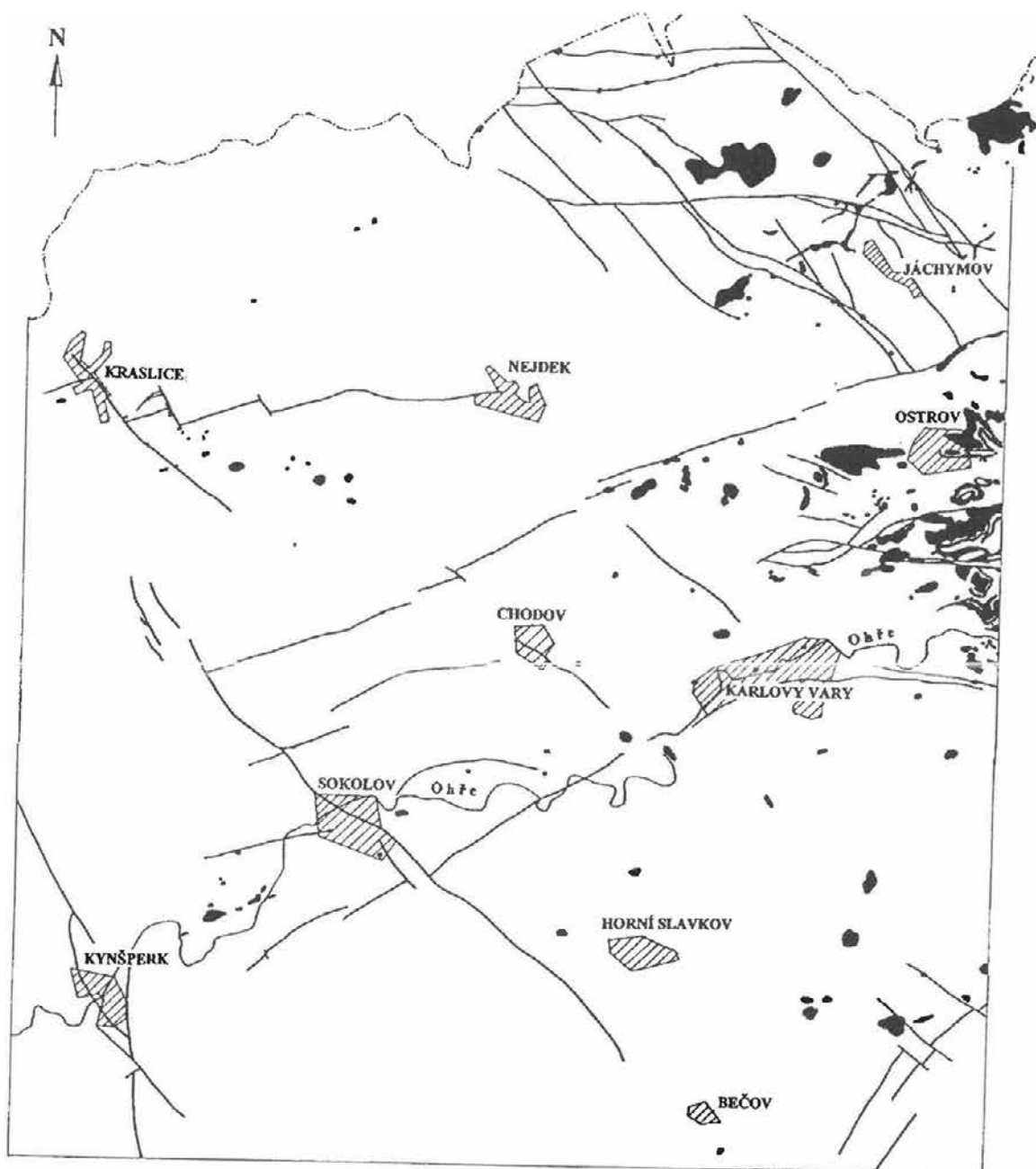
Období maximální extenze kůry v sokolovské pánvi můžeme stanovit nezávisle na sobě z paleontologických a geofyzikálních záznamů. Podle paleontologicky datovaných nálezů savců, ryb a indexových druhů flóry začala nejvýznamnější extenze v oligocénu (rupelu) a pokračovala ve spodním miocénu (do burdigalu). Podle paleomagnetických dat a jejich porovnání se standardy naměřenými na středoatlantickém riftu proběhla významná extenze kůry před 24,0 až 21,3 milióny let. Výsledky obou metod jsou v uspokojivém souladu.

Výrazná extenze na území sokolovské pánve trvala tedy "jen" 2,7 miliónů let. Podrobnější sedimentologické záznamy navíc ukazují, že se neodehrála najednou, ale v několika dynamických pulzech, často až katastrofického rázu (např. podél krušnohorského, borského, radošovského a čankovského zlomu), oddělených delšími obdobími relativního klidu.

## 2. Pozice vulkanických center a uhelných slojí v sokolovské pánvi

### 2.1 Vulkanická centra

„Čediče“, lépe řečeno horniny čedičového vzhledu, mají v oblasti ohářeckého riftu (Kopecký 1987-88) alkalický, nenasycený charakter. Jejich nejtypičtějšími zástupci v sokolovské pánvi a jejím okolí jsou leucitity, olivinické nefelinity a nefelinické bazanity. Jejich typické horninotvorné minerály jsou olivín, nefelin, leucit, místy melilit, sodalit a hauyn. „Čediče“ místy obsahují peridotitové uzavřeniny s reakčními obrubami (např. Těšovice, Kraslice, Rotava). V okolí pánve byly nalezeny uzavřeniny nepojmenovaných plášťových hornin s vysokým obsahem fosforečnanů Sr a Ba (Rojík – Řehoř, připravováno k publikaci). To vše dokládá, že zlomy dosahují až do zemského pláště a že plášťový byl i zdroj magmat.



Obr. 1 Rozšíření terciérních čedičových hornin v sokolovské pánvi a jejím okolí

Hlavní zdroj sopečného materiálu sokolovské pánve se nacházel v Doupovských horách. Zde se nacházelo, podobně jako v Českém středohoří, několik samostatných vulkanických systémů, jejichž aktivita se pravděpodobně přesouvala od východu na západ (srv. lokality Dětaň - svrchní eocén, radiometrické stáří 37,7 miliónů let, sdělení V. Cajz, a Vojkovice – spodní miocén, radiometrické stáří 22,3 mil. let, Kopecký 1987-88). To patrně vysvětluje kardinální problém podkrušnohorských pánví, proč je střežovské souvrství vyvinuto jen po východní straně Doupovských hor, zatímco v sokolovské pánvi nemá ekvivalent. Mladší a velmi významné erupce v oblasti Doupovských hor se úzce prolínají se sedimenty sokolovské pánve, která se začala výrazněji formovat až před 24 mil. lety. Prostupování vulkanitů se sedimenty bylo pozorováno hlavně ve dvou stratigrafických úrovních: chodovských vrstvách (mocnost až 80 m pyroklastik z pliniovských explozí) a těšovických vrstvách (až 260 m láv a pyroklastik z převážně strombolských explozí) (Rojík 2004, 2005).

Dalším významným zdrojem vulkanického materiálu byly sopky v širokém obvodu Doupovských hor. Nejsou příliš nápadné, protože vzhledem k pozdějšímu výzdvihu sokolovské pánve a okolních pohoří se v současném erozním řezu zachovaly jen sopouchy, žíly, výbuchová hrdla a zbytky lávových proudů. Vymapovaná vulkanická centra, k jejichž nalezení autor sám přispěl, vytvářejí pozoruhodné řetězce, které se rozbíhají paprscitě z Doupovských hor do Sokolovské pánve, Krušných hor, Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa (obr. 1). Dva "paprsky" využily mírně divergentního průběhu okrajových zlomů sokolovské pánve – oherského na jihu a krušnohorského na severu.

Oherský zlom (název doporučený Chlupáčem et al. 2002) je po celé délce provázen "šňůrou" denudovaných sopek (obr. 1). Vystupují z třetihorního synsedimentárně živého hřbetu, který sleduje průběh oherského zlomu po jeho severozápadní straně a člení se do kulisovitých segmentů ve směru zhruba Z-V (80°). Také přírodní žíly olivinických nefelinitů kopírují tento směr (např. 3 km dlouhý žilný systém Dasnice - Hlavno - Citice). Vulkanická aktivita podél oherského zlomu prokazatelně probíhala minimálně ve 2 obdobích, která odpovídají chodovským a těšovickým vrstvám. Ve vztahu k uhlotvorbě je třeba předeslat, že mezi kulisovitě odsazenými tektonicko-vulkanickými hřbety se vyvinula mělká plochá sedla - sedimentační stíny. Na nich se uložily historicky nejkvalitnější úseky uhelných slojí (např. Loučky, Dolní Rychnov). Pověstná kvalita slojí podněcovala úvahy o zušlechťení uhlí vulkanickým teplem (viz dále).

Krušnohorský zlom byl vulkanicky aktivní v úseku od východního předpolí sokolovské pánve po západní okolí Děpoltovic u Nejdu (obr. 1). Dál na západ se zlom větví a podmiňuje schodovitý reliéf Krušných hor. Dílčí větve krušnohorského zlomu vydělují Jindřichovickou plošinu trojúhelníkového obrysu, s desítkami reliktů terciéru. Vulkanicky aktivní byla jen severní větev krušnohorského zlomu, v linii Hradecká – Heřmanov - Rotava – Kraslice/Sněžná – Počátky. Tato linie, která není totožná s běžně uznávaným okrajem pánve, je v české části Krušných hor dlouhá 18 km a pokračuje do Saska (obr. 1 zachycuje její část). Je pozoruhodná zonálností složení láv (Rojík 2004). V koncových částech linie se nacházejí drobná tělesa alkalických ultrabazických láv připomínajících až polzenity, s olivínem, melilitem, minerály sodalitové skupiny a místy s uzavřeninami plášťových hornin. Primitivní složení láv naznačuje nepřerušovaný výstup z pláště, bez asimilace v druhotných magmatických krbech. Prostřední větší tělesa obsahují kyslejší, kontaminované alkalické lávy o složení nefelinického bazanitu. Obsah  $\text{SiO}_2$  klesá od prostřední efúze (Kernberg 48,76 %) k periferním efúzím na východě (Daňčí vrch 32,11 %) a na západě (Kuželka 34,56 %, Landesgemeinde 29,64 %). Stejným směrem klesají obsahy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , zatímco  $\text{MgO}$  a  $\text{CaO}$  mají opačný trend. Stejně jako při oherském zlomu, magma vystupovalo z krátkých trhlin, vybíhajících kulisovitě směrem do pánve, až do kolmé vzdálenosti 3 km od úpatí zlomového svahu.

V blízkosti Doupovských hor vystoupila sopečná aktivita i z vnitřních zlomů sokolovské pánve, zejména ze zlomů radošovského příkopu (obr. 1).

Kromě dominantních vulkanických trhlin, které měly v sokolovské pánvi směr okolo Z-V, vystupovaly lávy i z příčných trhlin směru SZ-JV (např. zlomy chodovský a rolský). To dokazuje, že zlomy tohoto směru se již od počátku podílely na formování pánve a jejího okolí.

Z obr. 1 vyplývá další zásadní poznatek, že vulkanismus plošně daleko přesahuje sokolovskou pánev. Extenzní tektonická struktura pánve prokládala osu vulkanické zóny, byla svým vznikem úzce svázaná s bazickým alkalickým vulkanismem a aktivizovala se v pulsech vrcholné vulkanické činnosti (před 24 – 21 mil. let). Na sokolovskou pánev tedy můžeme pohlížet jako na riftové údolí, tzn. tektonickou strukturu v ose riftu, který je ovšem v současnosti již vyhaslý.

## 2.2 Uhlenné sloje

Osa sedimentace sloje Josef (spodní oligocén) protíná sokolovskou pánev ve směru Z-V ( $90^\circ$ ), tedy diagonálně k ose pánve ZJZ-VSV ( $68^\circ$ ). Pouze v této ose má sloj maximální mocnost a úplný stratigrafický profil včetně všech korelačních horizontů sapropelitického uhlí. Osa sloje Josef probíhá zhruba v linii Habartov – Svatava (Podlesí) – sv. od Sokolova (Důl Vilém) – Královské Poříčí (Důl Marie) – Loučky – Karlovy Vary. Druhotně vyzdvižené tektonické bloky uřezávají sloj Josef v protilehlých koncích pánve u Habartova a Karlových Varů. Ve zbývajících kvadrantech pánve (na severu v hroznětínské depresi a na jihu v lomu Silvestr) sloj Josef primárně téměř chybí.

Souslojí Anežka - Antonín (spodní miocén) se ukládalo v jiném napětovém poli. Sedimentační prostory jsou kratší, protažené ve směru blízkém Z-V ( $80^\circ$ ) a řadí se kulisovitě do nadřazené struktury krušnohorského směru ZJZ-VSV ( $68^\circ$ ). Procházejí zhruba po spojnici lomů Libík jih u Habartova - Medard u Svatavy - Jiří u Královského Poříčí - Družba u Nového Sedla - Frischglück u Otovic - Leopold u Sadova. Toto uspořádání sedimentačních center je společné všem miocénním jednotkám.

Sokolovská pánev a její dílčí deprese mají asymetrickou stavbu. Vrstvy mají úklon vždy směrem k jednomu z řídicích zlomů a přitom plynule narůstají mocnosti stratigrafických jednotek, uhelných slojí a mění se macerátové a chemické složení uhlí. Asymetrie bloků je nejvíce zřetelná v hroznětínské a otovické depresi a v příkopu Mezirolí. Např. u čankovského zlomu byla zjištěna vůbec nejvyšší mocnost uhelné sloje v sokolovské pánvi, tj. 70 m (při úklonu vrstev  $10^\circ$ , v uranovém vrtu JD-4545 u Sadova).

Synsedimentárně činné miocénní zlomy měly výrazně poklesový charakter. Přiváděly synsedimentární vulkanismus (oherský, krušnohorský, sokolovský a čankovský zlom), hydrotermální vývěry ? (oherský a lipnický zlom) a vyvolávaly vznik terénních stupňů s výnosovými vějíři písků (oherský, sokolovský, čankovský a lipnický zlom). To vše dokazuje extenzní charakter pánve a společnou hlubší příčinu zlomů, vulkanismu a uhlotvorby.

## 3. Časový vztah mezi uhlotvorbou a vulkanismem

Hypotéza gravitační vulkanicko-tektonické subsidence (Malkovský, 1980) předpokládá, že vulkanismus je starší než tektonické pohyby (umožňující tvorbu slojí) a je příčinou zaklesnutí ker do vyprázdněných magmatických rezervoárů. Podle riftové hypotézy (Kopecký 1987-88) jsou extenzní zlomy a vulkanismus stejně staré projevy riftu. Avšak ne

všechna detailní pozorování jsou v souladu s oběma hypotézami.

V sokolovské pánvi se vulkanismus a sedimentace prolínají, ale intenzita vulkanismu v čase kolísá. Dva vrcholy sopečné činnosti spadají do chodovských vrstev (oligocén/miocén, asi 23,6 – 23,0 mil. let) a do těšovických vrstev (spodní miocén, asi 22,5 – 22,2 mil. let). Mezi intenzitou vulkanismu a tektoniky v čase je zhruba přímý vztah, což je zvláště zřejmé ve vrtech do radošovského příkopu, otovické a hroznětínské deprese. Vulkanická aktivita zásadně přetvořila reliéf pánve a rozložení sedimentačních prostředí včetně uhlotvorných rašelinišť. Vulkanismus není jenom důsledkem extenze, ale stal se formujícím činitelem pánve. Od okamžiku zahájení vulkanické činnosti se dynamika tektonického vývoje pánve nesmírně zrychlila (Rojík 2004).

Vulkanické přírodní dráhy směru V-Z až SV-JZ se otvíraly od počátku extenze pánve. Dokazují to bentonity v podloží sloje Josef u Svatavy (stáří asi 24 mil. let), vrstvičky tufů ve sloji Josef mezi Habartovem a Královským Poříčím (asi 23,7 mil. let, obr. 2), výlev olivinického nefelinitu u Dasnic v nadloží sloje Josef (asi 23,6 mil. let) nebo pemzový horizont (asi 23,5 mil. let, obr. 5). Naopak nejmladší vulkanické projevy sahají až do svrchní části cyprisového souvrství (analcimické tufy a tufity, asi 17 mil. let).

Vulkanická aktivita tedy začala v sokolovské pánvi dříve a skončila později, než se dosud uvádělo. Časový interval vulkanismu pokrývá prakticky celý interval sedimentace a pravděpodobně ho i přesahuje. Na možnost přesahu ukazují radiometrická data izolovaných výlevů v širším okolí sokolovské pánve (sdělení V. Cajz) a bentonitický jíl "GE" na stropu cyprisového souvrství v chebské pánvi. Můžeme tedy doplnit dřívější závěr v tom smyslu, že vulkanismus přesahuje tektonickou strukturu riftového údolí nejen plošně, ale i časově.

Navzdory prolínání uhelných a vulkanických uloženin nebyl nikde v sokolovské pánvi nalezen bezprostřední kontakt uhlí s lávovým tělesem nebo pyroklastiky (mimo spady ze vzdálenějších erupcí). Tento paradox je pro sokolovskou pánev typický a důležitý.

Mechanismus přechodu z uhelného do vulkanického prostředí se pokusím nastínit na příkladu zániku rašeliniště sloje Josef v lomu Medard-Libík. Směrem od báze ke stropu svrchní lávky sloje Josef se projevuje podle uhelné petrografie tendence k vysoušení a erozi povrchu rašeliniště, epizodicky zasypávaného sopečným popelem. Mělce pod stropem sloje se však trend obrátil: Cyklické záplavy zanechaly vrstvičky smíšených jílovito-uhelných sedimentů a uhelná hmota se mění z humitové na sapropelitickou. Graduující záplavy vyústily v trvalejší ponoření rašeliniště pod jezerní hladinu a jeho zánik. Nadloží sloje tvoří tmavé mělkovodní sedimenty s přepravenou vulkanickou příměsí, později přetvořené půdotvornými procesy. Tufy nebyly zjištěny v záplavových plochách sloje ani v bezprostředním nadloží uhlí, ale nastupují později. Vulkanická činnost tedy zjevně nepřivodila zánik rašeliniště, což je v protikladu k dosud publikovaným názorům.

Podobný scénář zániku rašeliniště se opakuje u všech slojí sokolovské pánve. Tak, jako vylučujeme vulkanickou příčinu zániku rašelinišť, můžeme vyloučit i příčinu klimatickou, protože nebyly zaznamenány podstatné změny pylových společenstev. Pro vysvětlení relativního zvýšení hladiny podzemní vody tedy zbývá jen tektonická subsidence. To znamená, že tektonické pohyby byly prvotní a vulkanismus na ně reagoval až s určitým časovým odstupem. Důležité ale je, že reagoval vždy a z toho zase můžeme usuzovat na jejich příčinnou souvislost.

#### **4. Interakce vulkanického a uhlotvorného prostředí**

##### **4.1 Kontaminace slojí**

Ukládání sloje Josef bylo provázeno spadem sopečného popela. Projevuje se chemickým složením popelovin uhlí (zvýšené  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{K}_2\text{O}$  a  $\text{TiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ) a zvýšenou popelnatostí uhlí. Podíl vulkanického materiálu na celkové popelnatosti sloje Josef byl odhadnut ve spodní lávce na 33 % a ve svrchní lávce na 58 % (Rojík 1997).

Také sloje Anežka a Antonín obsahují mnoho přeplaveného sopečného materiálu. Popel sloje Antonín obsahuje kolem 6 %  $\text{TiO}_2$  a sloje Anežka kolem 8,5 %  $\text{TiO}_2$ , což je pravděpodobně nejvíce ze všech uhelných slojí v Evropě.

Pyroklastika tvoří ve všech slojích korelační proplástky, i když jejich původní charakter byl setřen zjilovněním a půdotvorbou. Typickými příklady jsou tonsteiny ve sloji Josef (až 12,7 %  $\text{TiO}_2$ , obr. 2), tufitový proplástek ve sloji Anežka, tufitový proplástek "třicítka" a tufové proplástky "osmička" a "osmnáctipalcák" ve sloji Antonín.

##### **4.2 Štěpení a vykliňování slojí**

Doupovský vulkán zůstával aktivní i v miocénu při ukládání sloje Antonín (Václ in Šantrůček, 1962). Prostupování vulkanitů se slojí Antonín je zřejmé z vrtů Jáchymovských dolů (Obr et al. 1971) přes základnu stratovulkánu mezi Sadovem a Hájkem. Lávové proudy a tufy těšovických vrstev rozštěpily sloj Antonín a posunuly základnu vulkánu dále do sokolovské pánve na úkor sloje. Proto má svrchní sloj I menší rozšíření než spodní sloj II. Obě sloje se na svazích sopky rozmršťují, vykliňují a hluchnou na uhelnaté jíly (vrt JD-4298) a hnědé tufity s organickou příměsí (sonda ÚÚG-99).

Také vulkán Selského vrchu u Otovic (těšovické vrstvy) způsobil rozštěpení sloje Antonín do 2 lávek, mezi něž vnikly lávové proudy a pyroklastika.

Sloj Anežka u Sokolova, Těšovic, Vítkova a Starého Sedla je odštěpena od sloje Antonín lávovým příkrovem a pyroklastiky těšovických vrstev.

##### **4.3 Problematika "zušlechtěného uhlí"**

Uhelné sloje v sedimentačních stínech mezi tektonicko-vulkanickými hřbety (viz výše) v blízkosti oherského zlomu měly navzdory mělkému uložení mimořádnou kvalitu. Např. sloj Anežka u Dolního Rychnova měla při obsahu popela  $\text{Ad} \cong 5$  % výhřevnost  $\text{Qid} = 23,0$  až  $25,1$  MJ/kg (5500 až 6000 kcal/kg), místy dokonce  $28,1 - 29,3$  MJ/kg (6700 - 7000 kcal/kg). Díky výtěžku 35 - 42 m<sup>3</sup> plynu z 1 q uhlí se rychnovské plynové uhlí stalo exportním artiklem. Jurasky (1940), který studoval uhlí bohatší vodíkem ze sedimentačních stínů lokalit Citice, Sokolov a Boghead, zjistil, že pryskyřičná zrna ve "slaběji prouhelnělém" matném uhlí jsou prostoupena plynovými bublinkami a korodována jako při Fleissnerově procesu. Ve "více prouhelnělém" uhlí dokonce pozoroval tání, mobilizaci a migraci pryskyřic, vznik "duxitu" a lesklého černého bitumenu. Jurasky (1940) navrhl vysvětlení "diatermickou metamorfózou", tj. zušlechtěním slojí magmatickým teplem bez přímého kontaktu s vyvřelinami. Mimořádná kvalita uhlí podněcovala úvahy o zušlechtění sloje Josef v Loučkách vulkanickým teplem z blízké sopky Hornberg (Apfelbeck 1931).

Toto vysvětlení se jeví jako nereálné. Za celou historii výzkumů nebyl v sokolovské pánvi nalezen vzorek uhlí, který by překročil obvyklé hodnoty odraznosti huminitu  $R_r = 0,31$  až 0,38 %, a signalizoval tím vyšší stupeň prouhelnění. Měření vzorků z lomu Medard-Libík,

kteřé obsáhlo i vysoce výhřevné a vodíkem bohaté ekvivalenty rychnovského a loučského uhlí z vrstev označovaných Gaskohlenbank (sloj Josef), Würfel (Josef), Mittelspiegel (Josef), Würfel (Anežka) a Kopfkohle (Anežka) (Sýkorová 2004), ukázalo, že všechny tyto vzorky mají podobné litotypové složení. Projevuje se primárně zvýšeným podílem macerálů skupiny liptinitu a z toho plynoucí vyšší výhřevností a obsahem vodíku. Můžeme však připustit, že příznivé podmínky pro uhlotvorbu v sedimentačních stínech byly předurčeny reliéfem terénu, který vymodelovala tektonicko-vulkanická aktivita pánve.

Možné vulkanické ovlivnění bylo posuzováno u tzv. hlavového uhlí (Kopfkohle). Jde o uhlí svrchní lávky sloje Anežka u Dolního Rychnova (Frieser 1898, Rotky 1903, Apfelbeck 1931), které se sloupkovitě rozpadalo „jako čedič“. Jeho ekvivalent v lomu Medard-Libík má vlastnosti liptodetrického uhlí. Sloupkovitá odlučnost vznikla desikací uhelného koloidu na oxidovaném povrchu rašeliniště (Rojík 2004). Není zde žádná souvislost s vulkanismem.

Dalším zvláštním úkazem ve sloji Anežka v lomu Medard-Libík jsou erozní kanály v autochtonním uhlí. Kanály jsou vyplněny přeplaveným uhlím s vysokým obsahem inertinitu 8,5krát nad úrovní pozadí, včetně pyrofusinitu (pyrolyzovaných pletiv) a částic polokoksu (Sýkorová 2004). Tento jev přisuzujeme půdní erozi vyvolané lesními požáry, bez přispění vulkanismu.

Také cyprisové souvrství nese známky teplotního ovlivnění. Jeho sedimenty jsou zpevněny na jílovce, na rozdíl od všech podložních jednotek, a dokonce vykazují známky počínající anchimetamorfózy (vrstevní a příčná břidličnatost, smíšené struktury I-M, illit, chlorit, analcim, autigenní živce). Hlavním zdrojem tepla byla pravděpodobně bituminace, protože nejvíce zpevněné jsou jílovce s nejvyšším obsahem organického uhlíku, bez ohledu na jejich odlehlost od tufů cyprisového souvrství a od uhelné sloje.

#### 4.4 Změny pyroklastik působením organické hmoty

Vulkanoklastické horniny podlehy po svém uložení zásadním přeměnám. Často ani jeden z podstatných minerálů horniny (montmorillonit, kaolinit, siderit, dolomit, kalcit) nepatří do její původní skladby. Je to způsobeno tím, že vulkanoklastické horniny měly původně sklovitý, pórovitý, struskovitý charakter. Snadno podléhaly hydrotermálním přeměnám, spojeným s odskelněním, krystalizací novotvořených minerálů, objemovými změnami a kolapsem struktury. Po svém uložení horniny podléhaly zvětrávání, halmyrolýze, půdotvorbě, epigenezi a diagenезi, to vše i několikrát za sebou a v různém pořadí. Tyto jevy se souhrnně projeví devitifikací (odskelněním), argilizací (zjílověním – kaolinizací, bentonitizací nebo nontronitizací), leukoxenizací a růstem dalších novotvořených nerostů, především karbonátů, anatasu, analcimu, phillipsitu, gorceixitu, živců atd.

Intenzita a druh alterací se mění podle toho, zda je v hornině nebo v sousedních vrstvách přítomna, nebo naopak nepřítomna organická hmota ve formě uhelných slojí, klastů či dispergovaných tělísek. Významnou roli sehrálo i humidní klima a kyselé prostředí v půdách pod subtropickou vegetací. Vulkanická hmota byla zdrojem prvků pro mineralizaci organických pletiv, a naopak organická hmota ovlivnila alterace vulkanických hornin.

Argilizace (zjílovění) je nejtypičtější alterací vulkanoklastik v sokolovské pánvi. Jezerní a bažinné prostředí bohaté organikou pro ni vytvářelo ideální podmínky. Organická hmota ovlivnila směr argilizace k tvorbě kaolinitu prostřednictvím snižování hodnoty pH roztoků (spolu s klimatem, topografií, velikostí aktivního povrchu, objemem, chemickým složením a zrnitostí pyroklastik). Proto tufy v blízkosti uhelnatých vrstev jsou téměř vždy kaolinizované a mají vyloužené báze, což je např. důležité pro rekultivační hodnocení hornin.

Karbonatizace je druhou nejtypičtější alterací a navazuje na argilizaci. Siderit,

popř. karbonáty dolomit-ankeritové řady, vytvářejí:

- výplně mandlí vulkanických hornin,
- výplně trhlin,
- inkrustace pum (obr. 4),
- sférické agregáty s radiálně paprscitou stavbou (oolity a pizolity),
- konkrece až krusty v tufitech, fosilních půdách a kolem organických klastů (pařezů, kmenů, úlomků dřev a dřevěného uhlí, nahloučenin listů a mokřadních rostlin, řasových kolonií ?, kostí savců ?, koprolitů ? atd.).

Hlavním zdrojem železa byly bazické vulkanity. V subtropickém klimatu Fe migruje ve formě bikarbonátu a za přítomnosti redukčních látek, např.  $\text{CO}_2$ , zůstává dvojmocné. Rozpadem bikarbonátu vzniká siderit, který se adsorbuje na koloidní částice jílu (Žemlička 1960).

### **Titanová mineralizace**

Hlavním zdrojem Ti v sokolovské pánvi je alkalický bazický vulkanismus. Dokazují to chemické a mineralogické složení „čedičů“, leukoxenizované reliktu Ti-minerálů v pyroklastikách a průvodní koncentrace V, Nb, P, REE. Primární Ti-minerály jsou leukoxenizovány a lemovány kolomorfním anatasem, který vznikl z koloidního hydratovaného  $\text{TiO}_2$  (Jansa - Šeba 1991). Anatas je pak lemován amorfním  $\text{TiO}_2$ , který přechází do aureol jílu s nasorbovaným  $\text{Ti}(\text{OH})_4$  (Dadáč 1990).

Obsah  $\text{TiO}_2$  v horninách vzrůstá z regionálního pozadí kaolínů (1,1 %) k „čedičům“ (2 - 5 %), analcimickým a montmorillonitovým tufům (3 - 6 %), kaolinizovaným tufům (5 - 11 %) a k uhelnatým kaolinizovaným epiklastikám (7 - 16 %  $\text{TiO}_2$ ). Masivním vyluhováním vulkanoklastik se vytvořily reziduální Ti-akumulace. V silněji kyselém prostředí, za přítomnosti rozptýlené uhelné hmoty a sulfidů, se však rozpouští i Ti a migruje do druhotných akumulací na horninových rozhraních. Horniny bohaté Ti jsou tedy produktem interakce vulkanismu a uhlotvorby. Obsah titanu v horninách je do jisté míry klimatickou funkcí, která prostřednictvím humidity, teploty a přírůstků vegetace řídí intenzitu chemického zvětrávání, působení  $\text{CO}_2$  a hodnotu půdního pH.

### **Pestré vrstvy**

Na hranici sokolovské pánve a Doupovských hor bylo zjištěno 15 pestrých vrstev nad sebou. Jsou pokládány za zvětralá vulkanoklastika, která vznikla v přestávkách mezi sopečnými erupcemi (Václ in Šantrůček 1962). Dva pestré obzory nesouvisle vykrývají plochu sokolovské pánve. Ale jen starší z nich, tzv. bazální zvětrávací horizont, sahající z báze vulkanoklastik do podložních kaolínů, je typický zvětrávací horizont.

Vznik nápadného "rudého horizontu" nelze vysvětlit pouze zvětráváním. Je to patrné z většinou neostré svrchní hranice, z přítomnosti stejně starých rudých fritovaných tufů ve zdrojové oblasti (Vojkovice) a ze tří forem Fe-pigmentu: nehydratované  $\text{Fe}^{3+}$  (hematit), hydratované  $\text{Fe}^{3+}$  (goethit) a  $\text{Fe}^{2+}$  (diagenetický siderit).

Rozšíření, přesnější zachování pestrých vrstev v sokolovské pánvi souvisí s paleoreliéfem, zejména s temeny hřbetů. Podobně je tomu v karbonských pánvích, kde klíčovou roli při redukci a odbarvení pestrých vrstev sehrál redukční účinek organické hmoty (Pešek et al. 2001).

V sokolovské pánvi lze sledovat směrem od okrajů do centra sedimentačních depresí postupný přechod z pestrých vrstev do stejně starých šedých vrstev v důsledku redukce železa

( $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ) organickým uhlíkem, popř. Fe-sulfidy. Postupující deferifikace oxidů (hematit) a hydratovaných oxidů (goethit) je patrná na styku pestrých a šedých vrstev. Vrstvy s rostlinnými klasty si zachovaly pestré odstíny, ale klasty jsou lemovány odbarvenými dvůrkami, místy s agregáty pyritu uprostřed (obr. 3). Fosilní půdy jsou odbarvené úplně a jejich organická hmota je zoxidovaná.

O zachování, nebo naopak odbarvení pestrých vrstev tedy rozhodla přítomnost, nebo nepřítomnost organické hmoty. V tomto případě je interakce vulkanického a organického prostředí zvláště zřetelná.



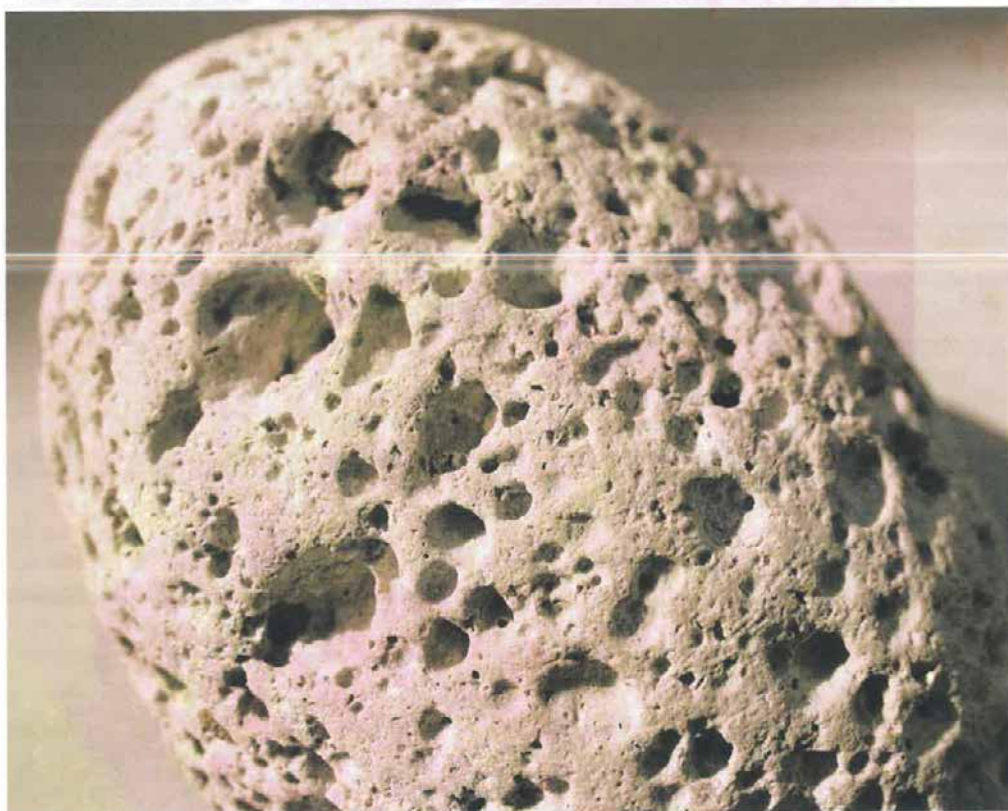
Obr. 2 Proplásky kaolinizovaných tufů - sloj Josef, lom Medard-Libík



Obr. 3 Částečně odbarvené pestré vrstvy - chodovské vrstvy, "rudý horizont", lom Družba



*Obr. 4 Bazická sopečná puma, prostoupená sideritem – chodovské vrstvy, lom Družba*



*Obr. 5 Kyselá zpěněná sopečná puma – chodovské vrstvy, pemzový horizont, lom Družba*

## 5. Závěr

1. Vulkanismus, tektonika a uhlotvorba v sokolovské pánvi byly úzce svázané prostorově a časově. Mají společnou příčinu v extenzi zemské kůry, která byla odezvou na globální události alpského vrásnění. Extenzní zlomy dosahovaly do zóny parciálního tavení hornin ve svrchním pláští a staly se migračními drahami pro interakci korových hornin a alkalických derivátů plášťových hmot.
2. Vývojová fáze sokolovské pánve v oligocénu a ve spodním miocénu, před 24 – 21 mil. let, se vyznačovala extenzní tektonikou, alkalickým bazickým vulkanismem a vytvářením depresí s druhotně vyvolanou sedimentací a uhlotvorbou. Zejména toto období může být pokládáno za riftové stádium a sokolovská pánev za riftové údolí.
3. Hlavní vulkanická centra, dotující sokolovskou pánev, jsou rozšířena v Doupovských horách, podél oherského zlomu a severní větve krušnohorského zlomu. Vrcholící vulkanická činnost se prolínala se sedimentací v pánvi hlavně ve stratigrafické úrovni chodovských vrstev (oligocén/miocén) a těšovických vrstev (spodní miocén). Samotný vulkanismus však přesahuje tektonickou strukturu sokolovské pánve plošně i časově.
4. Vulkanismus a tektonika podstatně ovlivnily tvorbu uhelných slojí, a to v pozitivním smyslu vytvářením sedimentačních depresí a sedimentačních stínů, a v negativním smyslu lokálním, dočasným zatlačováním rašelinišť pyroklastickými spady, vlnami a gravitačními proudy typu laharů, dále štěpením slojí, diapirismem a kontaminací slojí popelem. Nikde v pánvi nebylo prokázáno zušlechťení slojí vulkanickým teplem, ani nebyl nalezen přímý kontakt slojí s efuzívy nebo tufy.
5. Prostředí uhlotvorných močálů aktivně ovlivnilo typ sopečných erupcí nastartováním freatomagmatických erupcí (bude jim věnován samostatný článek). Organická hmota dále ovlivnila intenzitu a typ alterací vulkanoklastik tím, že přispěla k jejich kaolinizaci, sideritizaci, vytváření akumulací titanu a k deferifikaci (odbarvení) tzv. pestrých vrstev.

## Literatura

1. Jurasky, K.A. (1940): Der Veredelungszustand der sudetenländischen Braunkohlen als Folge vulkanischer Durchwärmung etc. - Mitt. d. Reichsstelle f. Bodenforschung Freiberg, 20, 1-94, Leipzig.
2. Kopecký, L. (1987-88): Mladý vulkanismus Českého masivu. - Geologie a hydro-metalurgie uranu, 11, 3, 30-67; 11, 4, 3-44; 12, 1, 3-40; 12, 2, 3-56; 12, 3, 3-40. - VZUP Stráž pod Ralskem.
3. Malkovský, M. (1980): Model of the origin of the Tertiary basins at the foot of the Krušné hory Mts.: volcano-tectonic subsidence. - Věst. ÚÚG, 55, 3, 141–150, Praha.
4. Pešek J. ed. (2001): Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky. – ČGÚ Praha.
5. Rojík, P. (2005): Návrh stratigrafického členění terciéru sokolovské pánve. – Zpravodaj Hnědé uhlí 2/2005, 16-34, Most.
6. Řehoř, M. (2002, 2003): Mineralogický výzkum organické hmoty v těžných slojích a vybraných proplástků v jejich nadložích. – VÚHU Most.
7. Sýkorová I. et al. (2003): Chemicko-technologické a petrografické hodnocení vzorků hnědé uhlí z vrtů JP 428 a JP 437. – ÚSMH AVČR Praha.