

RNDr. Petr Rojík, Ph.D., Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.

## Miocénní vulkány v sokolovské pánvi

*Přijato: 29. 8. 2006, recenzováno: 29. 9. 2006*

### Miozäne Vulkane im Sokolov-Becken

Drei vulkanische Aufschlüsse bei Sokolov wurden untersucht. Agglomerate der Schlackenkegel, Lapilli-Tuffe aus Lavafontänen und pyroklastischen Strömen wurden beschrieben. Mechanismus der Vulkanausbrüche wurde durch Wasserzufluss aus der Sumpflandschaft in niedrigen maar-ähnlichen Kratern beeinflusst. Ständiger Zufluss von Wasser gemeinsam mit den magmatischen Gasen haben bis 209 phreatomagmatische Eruptionen im Staccato-Rhythmus ausgelöst. Die Ausbrüche und ihre Begleiterscheinungen (pyroklastische Ströme, Base-Surges, Lahare, Erdrutsche) hatten eine devastierende Wirkung im breiten Kreis.

### Miocene volcanoes in the Sokolov Basin

The paper is based on temporarily accessible outcrops in three localities near Sokolov (Těšovice, Marie pit at Královské Poříčí, Družba pit at Pískový vrch). Agglomerates of cinder cones, lapilli tuffs deposited from lava phontanes and pyroclastic flows were described. The eruption mechanism were influenced by water inflow from mires and lakes into craters. Continuous water flow to maar-like craters, in combination with magmatic gases, caused up to 209 phreatomagmatic eruptions in the staccato rythme. The eruptions and accompanying pyroclastic flows, base surges, lahars, and slides had a destructing effect in a broad radius around the volcanoes.

### Миоценские вулканы в Соколовском бассейне

Работа основывает свои выводы на наблюдениях временно доступных обнажений пород в Соколовском бассейне,

а именно на местах Тешовице, Краловское Поржичи (бывший разрез Марие) и Писковы Врх (разрез Дружба). Здесь были обнаружены агломераты из конусов шлака и лапиловы тuffy из лавовых фонтанов и пирокластических потоков. Водяная среда углетворных болот оказала влияние на механизм вулканических извержений. Вызвала она также вторичные преобразования отложенных вулканических пород. Приток воды в низкие мааровые кратеры вызвал, вместе с магматическими газами, 209 фреатоматических извержений в ритме стакато. Вулканические извержения и их сопутствующие явления (пирокластические потоки, base surges лагары, обвалы) остановили за собой разрушающее воздействие в радиусе нескольких километров.

### Miocénní vulkány v sokolovské pánvi

Práce se opírá o pozorování dočasně přístupných odkryvů na Sokolovsku v lokalitách Těšovice, Královské Poříčí (býv. lom Marie) a Pískový vrch (lom Družba). Byly zde zjištěny aglomeráty ze struskových kuželů a lapilové tuffy z lávových fontán a pyroklastických proudů. Vodní prostředí uhlotvorných močálů ovlivnilo mechanismus sopečných erupcí. Vyvolalo také druhotné přeměny uložených vulkanických hornin. Přítok vody do nízkých maarových kráterů vyvolal spolu s magmatickými plyny až 209 freatomagmatických erupcí ve staccatovém rytmu. Sopečné erupce a jejich průvodní jevy (pyroklastické proudy, base surges, lahary, sesuvy) zanechaly ničivý účinek v okruhu několika kilometrů.

## 1. Úvod

Příspěvek volně navazuje na článek otištěný ve Zpravodaji Hnědé uhlí 2/2006. Je podrobnější sondou do vulkanismu miocénního (burdigalského) stáří, který probíhal současně s ukládáním hlavní uhelné sloje, popř. souslojí Anežka - Antonín. Je tedy mladší než vulkanodetritické akumulace v podloží hlavní sloje. Tím, že produkty miocénní sopečné

činnosti vstupují do interakce se slojí, působí komplikace a omezení báňskému provozu (např. lom Družba, dříve lomy Marie, Michal, Medard, Libík, Leopold) a stavební činnosti (např. Sokolov – sídliště Vítězná, silniční obchvat Sokolova). V článku se pokusím ukázat, že miocénní sopečná činnost patří k nejzajímavějším a nejdynamičtějším jevům podkrušnohorských pánví. S jeho praktickými důsledky je třeba i do budoucna počítat z hlediska dobývání uhlí, stability svahů, sanace a rekultivace krajiny.

Miocénní vulkanismus představuje téměř „bílé místo“ v geologii sokolovské pánve. O vysvětlení podstaty a vzniku jeho hornin se dosud nikdo nepokusil. Může to mít dvojí příčinu: Za prvé, vulkanismus v jezerní krajině třetihorních subtropů vytváří specifická tělesa a typy hornin, které se vymykají běžné zkušenosti Středoevropanů. Uchopení jejich podstaty umožňuje vedle literatury, filmů a dobrých webových stránek teprve návštěva živých a subrecentních vulkanických systémů světa. Za druhé, miocénní vulkanické horniny jsou natolik přeměněny agresivním prostředím uhelných močálů, že z jejich původního složení nezůstalo prakticky nic. Veškeré původní sopečné sklo a minerály (pyroxeny, olivín, nefelin atd.) byly přeměněny na druhotné nerosty a zhroutila se struktura hornin. Z původního složení, struktur a textur hornin zůstaly jen obtížně čitelné reliktů a nepřímé stopy.

Paradoxně to byly jedny z nejranějších vědeckých prací o sokolovské pánvi, které se nejvíc přiblížily řešení problému. Autorem byl proslulý vídeňský profesor Hochstetter (1856a,b). Typickou horninu označil jako „Basaltbrockentuff“ („čedičová tufová brekcie“). Jokély (1857) vymezil samostatnou stratigrafickou jednotku „basaltische Stufe“ („čedičový stupeň“). Oč hlouběji vytyčili Hochstetter a Jokély podstatu hornin než pozdější generace, které neváhaly smíchat sopečné kužely pyroklastik a uhelnaté sedimenty močálů do jednoho celku.

Typická hornina miocénního vulkanismu sokolovské pánve se v provozu označuje jako „uhelný tuf“. Použijeme-li jakoukoli klasifikaci hornin, je zřejmé, že hornina takového názvu nemůže existovat. Důlně geologická dokumentace různých organizací je nejednotná v pojmenování hornin a v jejich stratigrafickém zařazení. To se donedávna „řešilo“ jejich přiřazením k okolním uhelným vrstvám. Nejde jen o teorii. Praxe nás již poučila, že vulkanity mají přímý vliv na množství a uložení uhelných zásob, komplikují způsob dobývání a dopravy uhlí. Slučování fyzikálních vlastností různorodých hornin do jednoho statistického souboru je rizikem pro výpočet stability svahů. O možném rekultivačním potenciálu těchto zemín dosud nevíme nic. Proto si opět dovoluji apelovat na vědomí souvislostí mezi teorií a jejími báňsko-ekonomickými dopady.

## 2. Časový a geografický rámeček vulkanismu

Mimo Doupovské hory se nacházelo v sokolovské pánvi v miocénu několik ověřených nebo pravděpodobných vulkanických center - Těšovice, Ovčárna, Pískový vrch, Loučky, Hory – mladší fáze, Selský vrch, Kappelberg, Dvory, Bohatice (Hochstetter 1856a,b, Jokély 1857, Reuss 1863, Štúr 1879, Frieser 1898, Apfelbeck 1931, Dudek – Losert 1956, Rojík 2004).

Sopečná činnost v těchto centrech probíhala ve spodním miocénu, ve stupni burdigal. Dokazuje to jednak složení pylů a spor (Konzalová 1973, 1980), jednak paleomagnetické stáří vrstev kolem 22 miliónů let (extrapolace z vrtu Či 165 - Malkovský 1995). Sopečné horniny se uložily současně se souslojím Anežka – Antonín. Stratigraficky jsou nyní řazeny do sokolovského souvrství (dříve hlavního slojového souvrství). Tvoří v něm dílčí člen - těšovické vrstvy (Rojík 2005). Od starších vulkanodetritických hornin v podloží miocénních slojí jsou odděleny diskordancí.

Klima v době erupcí, jak ukazují pylová společenstva, bylo značně teplé, vlhké, subtropické (Konzalová 1973, 1980).

Na z. úpatí Doupovských hor je hlavní sloj rozštěpena lávovými proudy a pyroklastiky do slojí I a II (Václ 1962). Podobný účinek mělo vulkanické centrum Selský vrch s. od Karlových Varů (Václ 1962, Forman et al. 1971, Gebouský – Michálek 1977). Také v protilehlé, jz. části sokolovské pánve je hlavní sloj rozštěpena do slojí Antonín a Anežka, které jsou někdy pokládány za ekvivalenty slojí I a II a jsou odděleny až 100 m mocnými vulkanity u Těšovic, Královského Poříčí, Sokolova, Dolního Rychnova, Ovčárny, Vítkova a Starého Sedla.

Těšovické vrstvy nevznikly jedinou sopečnou událostí. Typickým motivem je jejich proložení vrstvou uhelnatých jílu až uhlí, např. v Královském Poříčí (Štúr 1879), na Selském vrchu (vrt JD-4547), v lomech Marie a Družba.

### **3. Nejdůležitější vlastnosti vulkanických uloženin**

V několika posledních letech byly dočasně přístupné unikátní vulkanické profily v lokalitách Těšovice, Královské Poříčí - lom Marie a Pískový vrch - lom Družba.

#### **3.1 Textury pyroklastik**

Vulkanoklastickým horninám v lomech Družba a Marie nebyla přisuzována vrstevnatost (Pátková 1973). Bylo to způsobeno tím, že jsme byli odkázáni na čerstvá vrtná jádra a na karotáž. Zdánlivá nevrstevnatost spolu s přítomností cizorodých hmot (kmenů stromů, úlomků dřev a pestré směsi hornin) vyvolávala dojem fosilních sesuvů. Přispěl k tomu fakt, že těžební stěny byly orientovány ve směru vrstev, neměly dlouhé trvání, byly nestabilní a rychle se hroutily. V místech umožňujících podrobnější a delší pozorování se však ukázala zřetelná vrstevnatost tufů. Vynikla na těžebních výlomech rovnoběžných se směrem sklonu vrstev, po navětrání hornin a v místech silné karbonatizace hornin (obr. 1).

V typickém profilu Družba - 8. etáž jih (Rojík 2004) byla změřena pravá mocnost tufů 74 m. V této mocnosti bylo vymezeno 418 vrstev. Vrstvy byly rozděleny do 5 vrstevních souborů (paketů), které se odlišují petrograficky a vulkanologicky. Dynamika vulkanických projevů vrcholí v prostředním souboru vrstev.

Typické texturní znaky pyroklastik, pozorované v lomech Družba a Marie jsou:

1. malá mocnost vrstev, pouze v řádu cm až prvních dm;
2. průběžnost všech vrstev na velkou vzdálenost (nižší stovky metrů);
3. mimořádně pravidelné rytmické střídání dvou typů vrstev (A / B):

Vrstvy typu A: Lapilové tufy bez zřetelného vnitřního pararelního uspořádání (zvrstvení). Tyto vrstvy se uložily na svahu sopky z „normálních“ pyroklastických proudů, které měly povahu horkých superkritických turbulentních proudů.

Vrstvy typu B: Lapilové tufy hustě prokládané úlomky fosilních dřev. Tyto vrstvy mají vnitřní uspořádání podobné dunám nebo antidunám. Uložily se na svahu sopky z pyroklastických proudů, které na rozdíl od předchozích měly povahu base surge, tedy žhavých turbulentních proudů vyvolaných tlakovými vlnami.

Popsaných 418 vrstevních párů A / B tedy odpovídá 209 vulkanickým erupcím.

### 3.2 Složení pyroklastik

Pyroklastika obsahují šest podstatných komponent:

1. **Lapili**, tj. částice fragmentované lávy z fontán, jsou dominantní složkou lapilových tufů. Lapili jsou světle šedohnědé, poměrně dobře vytríděné, o velikosti 2 - 10 mm (podle lokalit). Jsou ostrohranné, nebo s mírně zaoblenými hranami, nebo oválné. Míra zaoblení závisí patrně na délce transportu a na konzistenci nebo natavení kapiček lávy v místě původního dopadu, popř. na dalším transportu. Lapili byly druhotně zcela rozloženy na směs montmorillonitu a sideritu (Řehoř 2003).
2. **Sopečné pumy**, hlavní součást tufových aglomerátů, mají kulovitý až kapkovitý tvar (nejsou-li roztrženy) o průměru 10 – 110 cm (obr. 2). Zelenošedá jemnozrná základní hmota je rozložena na směs montmorillonitu, sideritu a anatasu. Vystupují z ní šedé pórovité mandlovcové částice o velikosti arenitových zrn, lapilů a pumiček, s pseudomorfózami po živcích a pyroxenech a s globulemi zjílovělého skla.
3. **Uhelnato-jílovitá jemnozrná základní hmota** tvoří černohnědé lemy kolem lapilů a pum (obr. 2), povlaky trhlin a výplně klastických žil. Jedná se o tříšť rozpadlých lapilů a pum, sopečného popela, obsahuje klastickou příměs a je karbonatizovaná.
4. **Xenolity**, tj. materiál utržený z boků sopečných jíců, výbuchových hrdel a kráterových valů (obr. 3). Tvoří až 30 % objemu hornin, zejména v tufech a struskách z doby kulminace sopečné činnosti. Na rozdíl od vytríděných lapilů mají xenolity velmi proměnlivou velikost, kolísající v rozsahu 4 řádů, od desetin mm do několika dm. V lomu Družba bylo rozlišeno 16 petrografických typů xenolitů, původem z karlovarského plutonu (žuly a žulové aplity, často s reakčními obrubami, křemen, živce, prokřemenělé žuly), kaolínových profilů (žuly a aplity kaolinizované do různého stupně), zpevněných eocénních pískovců, oligocénních sedimentů (jílovité pískovce, pyritizované xyilitické uhlí, pyrit), oligocénních vulkanoklastik (siderit, sideritizované tufy), výplní zlomů (žilný křemen) a ze starších vyvrženin téhož vulkánu (dříve utuhlé strusky a lapilové tufy, druhotně karbonatizované).
5. **Prouhelnělé a mineralizované úlomky dřev**, stržené gravitačními proudy na svazích sopek (viz oddíly 3.3. a 3.4.)
6. **Bloky dříve uložených vulkanoklastik**, stratifikované, mnohametrových rozměrů (až stovky tun), stržené gravitačními proudy na svazích sopek, kontrastně vystupují z okolního prostředí díky silné mineralizaci (prokřemenění) po husté síti puklin.
7. **Karbonátový tmel** sideritového a dolomitového složení (Pátková 1973) a diagenetického původu. Množství tmele určuje konzistenci horniny, která kolísá od měkce plastické po poloskalní konzistence.

### 3.3 Organická hmota v pyroklastikách

Úlomky dřev - pařezy, přelomené kmeny a větve - jsou hojnou součástí pyroklastik (obr. 4). Jsou dlouhé několik centimetrů až metrů, podle neověřené informace až 16 m.

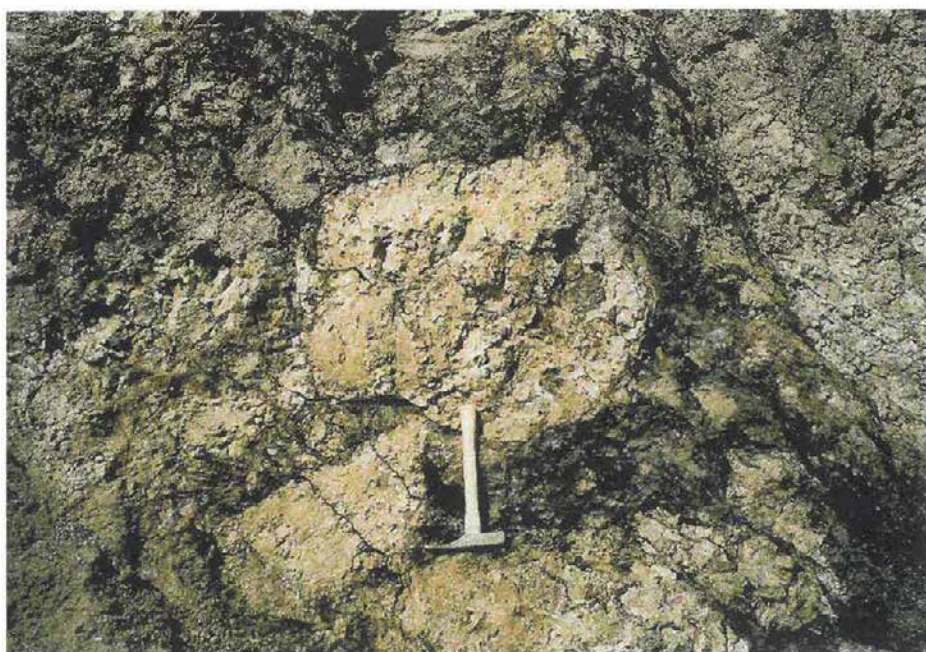
Pařezy a kmeny jsou všechny vyvrácené a polehlé. Vykazují jednotnou, statisticky významnou lineaci směrem k SZ. Z toho lze odvodit, že erupční centrum se nacházelo u osady Horní Pískovec.

Mineralizované kmeny a větve mají průřez kruhový nebo mírně až silně zploštělý. Zploštělá i nezploštělá dřeva často leží v jedné vrstvě vedle sebe. Místa obsahují stopy po hoření, které se projevují zčernalou rozpukanou kůrou z mineralizovaného fusitu a dutinkami po úniku plynů. Ojedinele byla v prostředním paketu vrstev nalezena krátká svislá dutina o průměru 22 cm, po vyhořelém kmenu. Ve svrchním souboru vrstev, kde již tufy přecházejí





*Obr. 1 Rytmičká vrstevnatost lapilových tufů - těšovické vrstvy, lom Družba*



*Obr. 2 Sopečná puma původně z čedičové strusky - těšovické vrstvy, lom Družba*

do epiklastik („tufitů“) těsného podloží sloje Antonín, se nacházejí sideritizované xylity, které texturou připomínající ztrouchnivělé dřevo.

Kmeny, větve a pařezy jsou prouhelnělé, prokřemenělé nebo karbonatizované do různého stupně. Druh přeměny se často střídá i na jediném kusu dřeva. Kmeny jsou mineralizovány sloučeninami  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeCO}_3$  a  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Křemitá hmota má složení křemen + cristobalit > tridymit (?) (zjištěno rtg. difrakcí, sdělení E. Murad, BLG München). Ve vzácnějších dutinách kmenů se vyskytují opálové inkrustace. Karbonátové drúzy jsou mladší než křemité, protože vyplňují trhliny silicifikovaných dřev.

### 3.4 Termické ovlivnění organické hmoty

Těleso pyroklastik v lomu Družba je prostoupeno strmými klastickými žilkami. Mají prohnutý, válcovitý tvar a mocnost 1 - 4 cm. Jsou vyplněny černohnědou hmotou, složenou ze směsi uhlí, pyritu a karbonátů. Jemnozrnná substance uzavírá uhelnou xylitovou tříšť z černých, silně lesklých zrn a čoček. Typický vzorek má parametry  $A^d = 48,12\%$  a  $S_t^d = 24,30\%$ . Uhlenná hmota má výlučně vitritové složení (Sýkorová et al. 2003). Klastické žíly vznikly vyplněním trhlín krátce po vzniku sopečného kužele.

Uhlenná výplň klastické žíly má odlišné složení v porovnání se stejně starou částí sloje Antonín. Má snížené spalné teplo hořlaviny ( $Q_s^{\text{daf}} = 20,26 \text{ MJ.kg}^{-3}$  oproti pozadí  $29 \text{ MJ.kg}^{-3}$ ), snížený obsah uhlíku v hořlavině ( $C^{\text{daf}} = 48,53\%$ , pozadí  $73\%$ ) a obsah vodíku ( $H^{\text{daf}} = 3,91\%$ , pozadí  $5,5\%$ ) a naopak zvýšený obsah kyslíku ( $O_d^{\text{daf}} = 40,12\%$ , pozadí  $19\%$ ) a zvýšenou odraznost huminitu ( $R_o = 0,42\%$ , pozadí  $0,38\%$ ). Obsah prchavé hořlaviny  $V^{\text{daf}} = 55,65\%$  zůstává na úrovni pozadí (Sýkorová et al. 2003). Klastické žilky dále obsahují hojný pyrit, siderit a místy kalcit (Řehoř 2003). Pro celé těleso pyroklastik je typická masivní tvorba smektitů, karbonátů, místy i zeolitů (phillipsit – Pátková 1973) a sulfátů. Tyto minerály obsahují vodu vázanou v krystalové struktuře nebo skupiny  $(\text{OH})^-$ ,  $(\text{CO}_3)^{2-}$  a  $(\text{SO}_4)^{2-}$ . Mohly vzniknout po nasypání sopečného kužele jeho propařením a prostoupením plyny. To vše dokazuje, že organická substance uzavřená v tufech, byla termicky ovlivněna. Jde o první zjištěný případ v sokolovské pánvi.

## 4. Některé důležité detaily vulkanických center

### 4.1 Těšovice u Sokolova

Přirozený výchoz nefelinického bazanitu se nachází v rokli na v. okraji Těšovic (Škvor – Sattran 1974). Sopouch je rozšířen do výbuchového hrdla, které proráží kvarcitickými svory. Má eliptický průřez protažený směrem Z – V, jak naznačuje tmavší zbarvení půdy na leteckých snímcích.

Hornina má kulovitou odlučnost a je fragmentovaná do poměrně dobře vytríděných zaoblených lapilů o velikosti nejčastěji 2 - 4 mm. Obsahuje hojné vyrostlice olivínu, pyroxenu, amfibolu a rudy (magnetit ?). Uzavírá drobné uzavřeniny blíže neurčené olivinické horniny (lherzolitu ?) s reakčními kelyfickými obrubami. Dále obsahuje xenolity žul, krystalických břidlic a dokonce otisk kmene stromu. Podobný kmen popsal Laube (1876) v jáchymovské rozložené vyvřelině „Putzenwacken“. Hojné jsou zde uzavřeniny starších láv těšovického vulkánu, které jsou značně pórovité, mandlovcové, kalcifikované, různé velikosti (řádově mm až dm).

V blízkosti erodované sopky se rozprostírá lávový příkrov směrem do Starého Sedla a k Vítkovu (Frieser 1898), který leží mezi sloji Anežka a Antonín (Apfelbeck 1931).



#### 4.2 Královské Poříčí – lom Marie

Výchoz "čedičových tufových brekcií" s krystaly augitu, amfibolu, úlomky pískovců, prouhelných a prokřemenělých dřev se táhnul mezi Královským Poříčím a nádražím v Sokolově (Hochstetter 1856b, Jokély 1857, Reuss 1863, Gall 1898, Frieser 1898, Apfelbeck 1931). Tufy s úlomky dřev byly zastíženy i severně od tohoto pruhu ve vrtech (Pátková 1973). Mocnost vulkanoklastik strmě narůstá pod Královským Poříčím a pod býv. lomem Marie až na 80 m (vrt KP-60). Drobný výchoz byl odkryt v lomu Marie na vilémském hřbetu.

Lapilový tuf na výchozu v lomu Marie se skládal z dobře vytríděných lapilů o velikosti 2 - 4 mm, zaoblených jen na hranách. Rytmičky se střídaly vrstvičky tufů téměř bez organické příměsi a tufů s hojnými prouhelnými a mineralizovanými úlomky dřev. Tufy měly podpurnou strukturu uhelnato-jílové matrix. To svědčí o jejich uložení v distální části sopečného kužele.

Arenitový tuf, který popsala Pátková (1973) z vrtu 38-P, obsahoval bublinkaté vitrické střípky, pseudomorfózy po živci a pyroxenu, zeolit, mandličky kalcitu, úlomky jemnozrnných žul a křemene. Zvlášť zajímavé bylo její zjištění světlešedých lemů kolem zelenošedých lapilů. Původně byly tyto lemy patrně reakčními obrubami skla. Takové lemy jsou typické pro obrněné lapili palagonitizovaných tufů. Tyto tufy se zřejmě usadily ve vodním prostředí na úpatí sopečného kužele.

V lomu Marie byly lapilové tufy odděleny od sloje Antonín laminovanými uhelnatými jíly s přeplavenou tufovou příměsí. Ve stavební jámě na z. okraji dílen lomu Marie byly tyto jíly proloženy tufovým aglomerátem mocným 40 cm (Rojík 2004). Aglomerát se skládal z rozložených pórovitých pum s relikty mandlovcové textury. Pumy obsahují v mikroskopickém měřítku pseudomorfózy po živci a pyroxenu, globule rozloženého skla a xenolity. V tomto odkryvu byly poprvé v sokolovské pánvi pozorovány impaktové prohlubně po dopadu bomb do vrstevnatých jílovců.

Zdroj pyroklastik v oblasti Královské Poříčí - Sokolov - lom Marie není znám. Spojitost s erupčním centrem Těšovice je však pravděpodobná (vzdálenost 1 - 2 km).

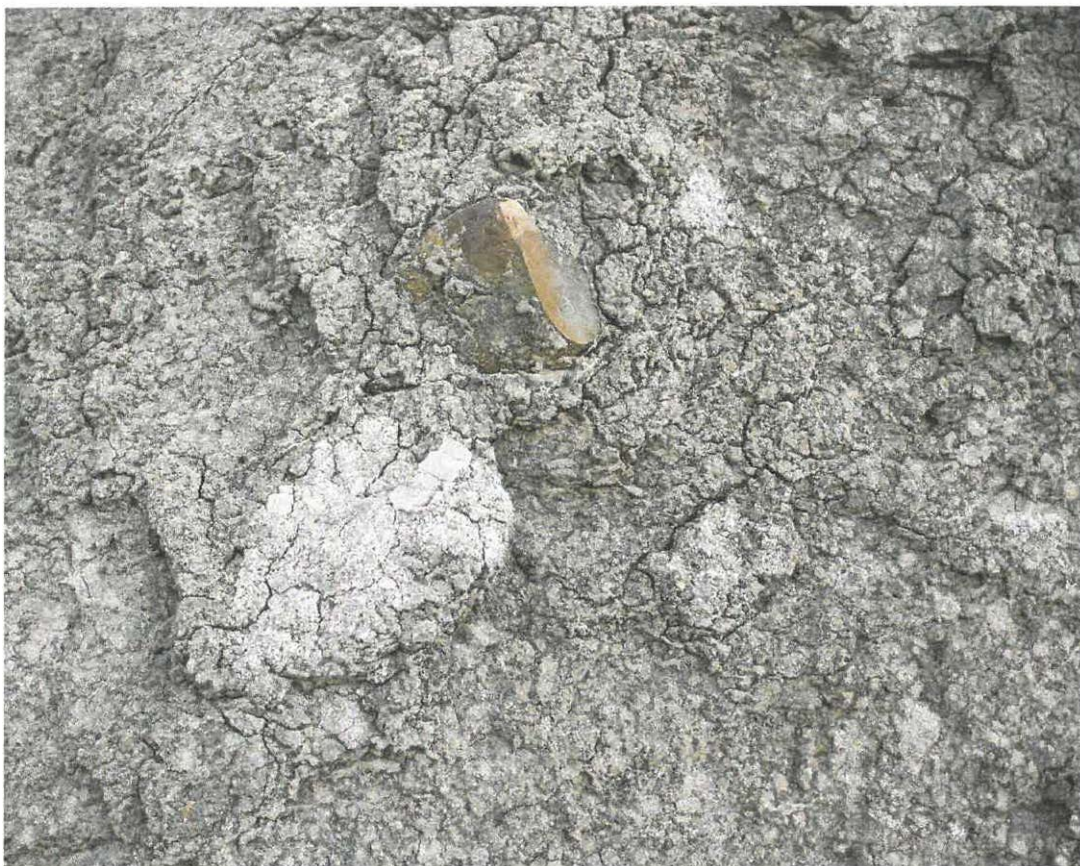
#### 4.3 Horní Pískovec - lom Družba

Soubor pyroklastik se nacházel na sz. okraji osady Pískový vrch u Nového Sedla. Před erozí byl uchráněn tektonickým zaklesnutím podél sokolovského zlomu. Unikátní dočasné zpřístupnění v úplné mocnosti umožnily skryvkové řezy lomu Družba (obr. 1 až 4).

Poloha erupčního centra není přesně známa, existuje však výtečná indikace: jednotná lineace polehlých kmenů stromů ve směru od JV jednoznačně ukazuje do j. okolí Horního Pískovce do prostoru lesa Dubina. Terciér však byl v této kře erodován (plocha sopouchu může být nyní jen desítky m<sup>2</sup>) a souvisle zakryt terasami Ohře. V lese Dubina (Haid) byly dříve nalezeny pro zdejší oblast neobvyklé úlomky hornin: vrstevnatý jílovitý vápenec a aragonit - hrachovec s žulovými jádérky (Glückselig 1862). Mohlo se jednat o části předpokládané maarové sekvence.

Lapilové tufy (typický profil Družba - 8. řez jih - Rojík 2004) obsahují 6 komponent: rozložené lapili, rozloženou mezerní hmotu, úlomky hornin, fosilní dřevo, bloky starších tufů a tmel. Lapili jsou světle šedohnědé částice o velikosti kolem 5 mm, poměrně dobře vytríděné, s průřezem vzácněji oválným, častěji jen s mírně zaoblenými hranami, ale většinou ostrohranným. Lapili vyvolávají brekciovitou texturu horniny. Jsou druhotně rozložené na směs montmorillonitu a sideritu. Jsou obaleny tmavohnědou základní hmotou jílovito-uhelného složení, která proniká i do trhlin. Nápadná je přítomnost cizorodých úlomků hornin (xenolitů) zastoupených až 30 % objemu horniny. Nejde však o uzavřeniny klastického





*Obr. 3 Xenolity kaolinizované žuly a sideritu v lapilových tufech – těšovické vrstvy, lom Družba*



*Obr. 4 Prokřemenělý pařez z tufů – těšovické vrstvy, lom Družba*



původu (Pátková 1973), ale o xenolity transportované po balistické dráze, jejichž podíl v horninách stoupá úměrně s intenzitou sopečných erupcí. Velký rozptyl velikosti xenolitů, od desetin mm do několika dm, kontrastuje s dobrou vytríděností lapili. Xenolity mají velmi pestré horninové složení a původ. V lomu Družba bylo rozlišeno 16 typů xenolitů: žuly (často s reakčními obrubami), prokřemenělé žuly, žulové aplity, zrna křemene, vyrostlice živců, kaolinizované žuly a aplity, pískovce, jílovité pískovce, pyritizované xylitické uhlí, pyrit, siderit, sideritizované tufy, žilný křemen, karbonatizované strusky a starší lapilové tufy. Tmel tufů je karbonátový, složený ze sideritu a dolomitu (Pátková 1973). Jeho množství určuje stupeň zpevnění a konzistence horniny. Rozložené tufy jsou nejčastěji slabě zpevněné, plastické, místy však vyvětrávají neostře ohraničené zpevněné partie až skalní konzistence. Chemické složení tufu (Řehoř 2003) odpovídá zjílovělým a karbonatizovaným čedičovým tufům s částečně vylouženými bázemi.

Tufové aglomeráty (typický profil Družba - 8. řez jih, obr. 2) tvoří bezprostřední podloží sloje Antonín. Od spodnějších lapilových tufů jsou odděleny vrstvou uhelnatých jílu. Aglomeráty se skládají z balvanů – sopečných pum kulovitě až kapkovitého tvaru o průměru 40 – 110 cm. Některé pumy byly rozštěpeny klínovitou trhlinou nebo se po dopadu rozpadly do polokoulí. Všechny pumy obsahují nezvrstvený zelenošedý materiál. Z jemnozrnné frakce vystupují větší pórovité částice o velikosti arenitových zrn, lapilů a pumiček. Obsahují pseudomorfózy kaolinitu po lištovitých krystalech živce, globule zjílovělého skla a mandle. V mikroskopickém měřítku mají reliktní pórovitou, mandlovcovou strukturu a jsou pronikány žlutým sideritem. Lapili jsou suboválné, hnědošedé a žlutošedé, poměrně dobře vytríděné, o průměru kolem 5 mm, opět s globulemi skla a žlutým sideritem. Jemnozrnná základní hmota pum je podle rtg. difrakční analýzy rozložena na směs montmorillonitu, sideritu a anatasu (Řehoř 2002). Mezerní hmota mezi pumami a ve výplni trhlín se skládá z drti stejného složení jako pumy. Má charakter hnědého karbonatizovaného jílu s příměsí slídy a uhelné xylitové tříště. Větší úlomky xylitu vykazují stopy zvětrání, hoření (fusit) nebo pyrolýzy ? (lesklá zrna podobná polokoksu). Jsou druhotně prokřemenělé a následně po trhlínách karbonatizované.

Tufové aglomeráty (typický profil Družba - 6. řez jih) na úpatí struskového kužele uzavírají jednotně usměrněné, prouhelnělé nebo prokřemenělé kusy dřev (pařezy, zlomené kmeny, větve) o velikosti řádově cm až m, průřezu zploštělého i kruhového (oba typy často vedle sebe), se stopami ohoření (mineralizovaný fusit) nebo trouchnivění (rezavě hnědé matné partie s neostrými okraji).

Tufové aglomeráty byly původně vulkanickou struskou zhruba čedičového složení. Vytvářely struskový kužel (scoria-cone, cinder-cone) složený z bomb a jejich fragmentů roztržených při dopadu. Zachovala se pouze s. část kužele, která relativně poklesla podél sokolovského zlomu. Na struskový kužel se ukládala sloj Antonín v redukované mocnosti, na bázi s netypickým vývojem vláknitého lignitu z mohutných kmenů stromů.

## 5. Průvodní jevy vulkanismu

### 5.1 Lahary

První lahar v sokolovské pánvi byl rozpoznán v lomu Družba u Nového Sedla. Horký gravitační proud směřoval od vulkanického centra u osady Pískový vrch do středu kónické sedimentační deprese, kde je nyní hlavní čerpací stanice lomu Družba. Lahar způsobil neočekávané komplikace při těžbě a redukcii zásob uhlí.

Těleso laharu nejevilo téměř žádnou vrstevnatost ani vytrídění klastů. Způsob deformace hornin svědčil o nestejně rychlém pohybu "proudových vláken" po

zvlněném podloží. Základní hmotu laharu tvořila chaotická směs tufiticko-jílovito-uhelného složení se sideritovými sférolity. Lahar unášel gigantické bloky částečně zpevněných vrstevnatých sedimentů a pyroklastik o hmotnosti až stovek tun. Obsahoval velké množství kmenů a úlomků dřev, které jsou prouhelnělé, silicifikované nebo sideritizované, přičemž druh přeměn se nepravidelně střídá i na jediném kmenu. Kolem organických klastů, které patrně vytvářely redukční centra, se srážely z roztoků hojné sideritové konkrece.

### 5.2 Fosilní sesuvy

Fosilní sesuv, s pravou mocností po kompakci 2,5 m, byl zjištěn v lomu Družba při sokolovském zlomu. Zajímavá byla jeho stratigrafická poloha 2 m pod proplástkem „třícítkou“ ve sloji Antonín. Tento sediment nebyl vrstevnatý, ale měl jen slabě naznačené proudové usměrnění úlomků xylitu. Byl ostře ohraničen od vrstevnatého jílovitého uhlí v podloží i nadloží. Základní hmotu tvořil uhelnatý tufitický jíl, tmavě hnědošedý, bíle skvrnitý. V něm plavaly nevytříděné úlomky xylitu, sideritizované větve, neuspořádané konkrece sideritu, částice korodovaných žul, zrna křemene, kaolinizovaných živců a tmavých minerálů. Hornina byla slabě karbonatizovaná, prostoupená striacemi.

Charakteristika horniny odpovídala gravitačnímu proudy. Sesuv nemusel bezprostředně souviset s vulkanismem, ale jeho důležitost tkví v tom, že dokázal přítomnost terénního stupně v okolí miocénní sopky.

### 5.3 Diapiry

V lomu Družba u Nového Sedla byl těžbou zachycen profil diapirem ve spodní části sloje Antonín. Diapir se skládal převážně z vulkanického materiálu těšovických vrstev. Jeho hmota byla zcela nevytříděná a obsahovala velké množství sideritových konkrecí. Diapir vznikl patrně zatížením zvodnělé, kašovité hmoty laharu při bázi sloje Antonín. Plastický tok bahnitě mas vyvolal koncentrickou stratifikaci, která kopírovala hříbovitý profil diapiru.

Podobný jev byl pozorován kolem roku 1986 při těžbě asi 8 m mocné sloje Anežka v lomu Medard u Svatavy. Sloj Anežka byla hustě prostoupena diapirovým polem. Přibývajícím mocnost organických sedimentů (původně před kompakcí kolem 80 m) zatížila silně zvodnělé bahnitě zjílovělé tufy a tufity v podloží sloje v nejhlubší části sedimentačního prostoru. Diapiricky vytlačovaná bahna pronikala téměř celou mocností sloje Anežka. Okolní úseky sloje průběžně zaklesávaly do uvolněného prostoru podél kontemporálních růstových zlomů. V těchto úsecích pak sloj dosahovala anomální mocnosti > 12 m.

## 6. Diskuse: Scénář miocénního vulkanismu

Miocénní pyroklastika kolem sopečných center v sokolovské pánvi vznikla freatomagmatickými erupcemi. Jejich vznik lze přiblížit následovně: Vystupující láva čedičového složení byla ve svrchní části magmatického sloupce fragmentována teplotním gradientem a tlakem magmatických plynů a vodní páry. Zdrojem generované páry ve výbuchovém hrdle byla podzemní voda ze zvodnělých terciérních uloženin a především povrchová voda neustále přitékající z okolních močálů do kráteru. Tato okolnost vtiskla vulkanickému centru povahu maaru, který měl nízký kráterový val a dno pod úrovní okolního terénu. Při erupcích byla láva rozmetána freatickými a magmatickými plyny do fontán a fragmentována do lapilů. Plynulý přítok vody do kráteru a zvyšování parciálního tlaku



vodní páry způsobily nastartování rytmických freatomagmatických explozí. Ve vrstevním sledu odkrytém v lomu Družba bylo napočítáno 209 explozí v rychlém staccatovém rytmu. Periodické tlakové šokové vlny destruovaly svrchní části sopouchů a porušovaly jejich stěny. Láva tak vymrštila velké množství rigidních xenolitů, které zčásti pocházely i ze zborcených stěn kráteru. Xenolity byly vytrhány ze žul, aplitů, křemenných žil, kaolinických zvětralin, zpevněných sedimentů, starších vulkanických uloženin i z vychladlých strusek vlastního bortícího se kráterového valu. Okolí sopky bylo zasypáváno bazickou pórovitou, struskovitou, odplyněnou tefrou, která vypadávala z erupčních sloupců a vytvářela po zpevnění lapilové tufy. Ty jsou pravidelně prokládány tufy z destruktivních šokových vln base surges, které strhávaly ze svahu tefru, dříve uložené bloky hornin a zbytky hořícího pralesa. Přelomené kmeny, větve a vyvrácené pařezy jsou jednotně orientovány směrem od výbuchů.

Rychlé uložení velké mocnosti horkých pyroklastik (výrazně nad 100 m) za velmi krátkou dobu, spolu s možným přispěním dešťů, vyvolalo skluzy tefry po válcovitých plochách. Tyto diskontinuity se staly migračními kanály pro jemnozrnné organické i anorganické částice a prostředím jejich termické přeměny („průduchy“).

Nestabilní svahy nezpevněného vnějšího kráterového valu, který přesahoval přes terénní stupeň sokolovského zlomu, způsobily uvolnění gravitačních proudů. Nejvýznamnější z nich byl mohutný lahar, jehož čelo se zastavilo až uprostřed pánevní deprese. Ze sopečného kužele a zlomového svahu se pak utrhávaly „studené“ gravitační proudy a sesuvy. Postupné zatěžování rozbahněné hmoty lahara uhelnou slojí (původní mocnost biomasy kolem 250 m) vyvolalo průnik hmoty lahara do sloje a vytvoření hřibovitého diapiru.

V pozdní fázi vulkánů došlo k výlevům málo viskózní bazické lávy. Výbuchové hrdlo u Těšovic bylo utěsněno fragmentovanou lávou bazanitového složení, pocházející ze strombolských fontán. Láva pocházející ze spodní části magmatického rezervoáru byla obohacena krystalovou fází (augit, amfibol, olivín, rudní minerál).

Po skončení vulkanismu podlehl vulkanoklastické horniny všech typů diagenetickým přeměnám: devitrifikaci (odskelnění), argilizaci (zjílovění: montmorillonit > kaolinit), karbonatizaci (dolomit - ankerit, siderit, kalcit), leukoxenizaci aj. Zničená vegetace byla silicifikována, karbonatizována nebo podlehla prouhelnění. Erupční centra, utěsněná bazickými vyvěřelinami, byla později denudována až na úzké sopouchy nebo zakryta říčními usazeninami.

Existuje rozdíl v dynamice sopečné činnosti a v texturách hornin mezi miocénními sopkami sokolovské pánve a stejně starým vulkanismem Doupovských hor. Přítok vody do kráterů v pánvi způsobil freatomagmatické pliniovské erupce s ničivým účinkem v okruhu několika kilometrů. Naopak větší a starší vulkanický systém Doupovských hor již vystoupil dostatečně vysoko nad okolní terén a střídaly se zde strombolské exploze s klidnými výlevy lávy. Kromě spadu vulkanického popela nebránily vývoji uhelné sloje ve vzdálenějším okolí.

## 7. Závěr

1. V okolí Sokolova (Těšovice, Královské Poříčí, Pískový vrch) byly zjištěny silně explozivní vulkanické projevy, které probíhaly současně s ukládáním miocénního souslojí Anežka – Antonín. Trvalým přítokem podzemních a povrchových vod do výbuchových hrdel v nízkém reliéfu pánve došlo ke generování freatické vodní páry. Tlak magmatických plynů a freatické páry vedly k nastartování rytmických staccatových freatomagmatických erupcí (např. Pískový vrch: 209 explozí).
2. V rozložených pyroklastických horninách bylo dešifrováno 7 komponent: (1) lapili, tj. částice fragmentované lávy z fontán, (2) struskovité sopečné pumy, (3) xenolity, tj. útržky

až 16 druhů cizorodých hornin utržených ze stěn jícnu, výbuchového hrdla a vnitřního kráterového valu, (4) zjílovělá uhelnatá mezerní hmota, (5) fosilní dřeva ze zničeného lesa, (6) bloky hornin stržené gravitačními proudy a šokovými vlnami, (7) karbonátový tmel diagenetického původu.

3. Pyroklastika se vyznačují pravidelným rytmickým střídáním dvou typů vrstev: (1) Lapilové tufy bez zřetelného zvrstvení, uložené ze superkritických turbulentních pyroklastických proudů. (2) Lapilové tufy s úlomky dřev, s vnitřním uspořádáním do dun či antidun, uložené z pyroklastických proudů base surge, tj. žhavých turbulentních proudů vyvolaných tlakovými vlnami.
4. Organická hmota v pyroklastikách, tj. fragmenty zničeného hořícího subtropického pralesa (vyvrácené pařezy, polehlé přelomené kmeny a větve), má statisticky jednotnou lineaci směřující od erupčního centra.
5. Termická metamorfóza pyroklastik se projevuje posunem vlastností prouhelnělé tříště v klastických žilkách (snížení  $Q_s^{daf}$ ,  $C^{daf}$  a  $H^{daf}$  a naopak zvýšení  $O^{daf}$  a odraznosti  $R_o$ ) a propařením tufů (smektitizace, karbonatizace, tvorba zeolitu a sulfátu).
6. Studované sopečné jevy jsou příkladem aktivního ovlivnění mechanismu erupcí povrchovým prostředím. Freatomagmatické erupce spolu s průvodními jevy (pyroklastické proudy, base surges, lahary, sesuvy) zanechaly ničivý účinek v okruhu několika kilometrů od center výbuchů.
7. V závěru sopečné činnosti nastal výlev bazické lávy (Těšovice). Výbuchové hrdlo bylo utěsněno fragmentovanou lávou s hojnou krystalovou fází, ze spodní části magmatického rezervoáru.
8. Při diagenězi byl původní charakter pyroklastik zcela setřen odskelněním, zjílověním a karbonatizací (tvorbou uhličitánového tmelu). Neoxidované zbytky vegetace podlehlý prokřemenění, karbonatizaci a prouhelnění.

### Literatura

1. Hochstetter F. (1856a): Die Verhältnisse des Falkenau-Elbogner Braunkohlen-beckens in Böhmen. - Jahrbuch der k.k. geol. Reichsanstalt, 7, 1, 185 – 186, Wien
2. Hochstetter F. (1856b): Karlsbad, seine geognostische Verhältnisse und seine Quellen. Karlsbad - Wien
3. Pátková E. (1973): Petrografický posudek. In Pazdera, A.: Hydrogeologie Sokolovska - kóta 310. Geoindustria Praha
4. Rojík P. (2004): Tektonosedimentární vývoj sokolovské pánve a její interakce s územím Krušných hor (Ph.D. thesis). – Přírodov. fak. UK Praha
5. Řehoř M. (2002, 2003): Mineralogický výzkum organické hmoty v těžených slojích a vybraných proplástkách v jejich nadloží. VÚHU Most
6. Sýkorová I. (2003): Chemicko-technologické a petrografické hodnocení vzorků hnědého uhlí z vrtů JP 428 a JP 437. ÚSMH AVČR Praha