

A – REGIONÁLNÍ GEOLOGIE A STRATIGRAFIE

Návrh litostratigrafie neovulkanitů východočeské oblasti

A proposal on lithostratigraphy of Cenozoic volcanic rocks in Eastern Bohemia

VLADIMÍR CAJZ^{1,2} – VLADISLAV RAPPRICH³ – PETR SCHNABL¹ – ZOLTÁN PÉCSKAY⁴

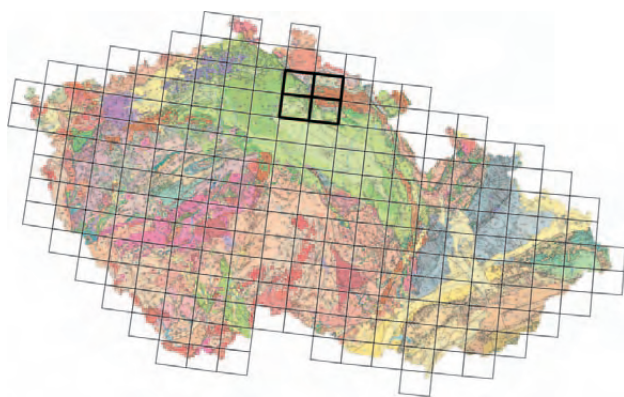
¹ Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 02 Praha 6; cajz@gli.cas.cz

² Přírodovědecká fakulta, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, České mládeže 8, 400 96 Ústí nad Labem

³ Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; vladislav.rapprich@geology.cz

⁴ Institute of Nuclear Research, Hungarian Academy of Sciences, Bem tér 18/C, H-4001 Debrecen, Maďarsko

(03-32 Jablonec nad Nisou, 03-34 Sobotka, 03-41 Semily, 03-43 Jičín)



Key words: lithostratigraphy, Cenozoic basaltic volcanism, Jičín volcanic field, K-Ar dating, paleomagnetism, Bohemian Paradise Geopark

Abstract: This paper proposes lithostratigraphy of Cenozoic basaltic volcanism of the Jičín Volcanic Field (Eastern Bohemia). Two formations are distinguished: Trosky Fm. (Upper Miocene; 15.7–18.3/24.6? Ma) and Kozákov Fm. (Lower Pliocene; 4.6–5.2Ma). Both of them are represented by products of Strombolian- or phreatomagmatic-type volcanic activity with preserved relics of cinder/tuff cones and lava-filled maar craters (Trosky Fm.) and lavas with their feeder (Kozákov Fm.). Accuracy of radiometric data of the volcanic activity is evaluated using results of paleomagnetic research.

Kenozoický vulkanismus Českého masivu je převážně soustředěn do oherské struktury. Přesto existuje několik dalších oblastí, kde jsou produkty sopečné činnosti vyvinuty v takové míře, že je lze definovat jako oblasti vulkanické. Jičínské vulkanické pole, jehož dochované projevy tvoří dominanty Českého ráje, je oblastí donedávna považovanou za území výskytu hluboce erodovaných kenozoických vulkanických projevů. Poslední výzkumy však potvrdily existenci výskytů předpokládaných povrchových forem (Rapprich et al. 2007). Výsledky dosavadního výzkumu proto nyní dovolují navrhnout stratigrafické členění neovulkanitů této oblasti, založené na odlišnosti

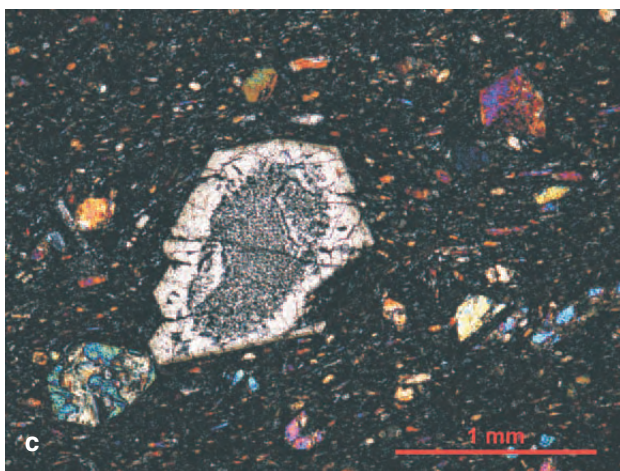
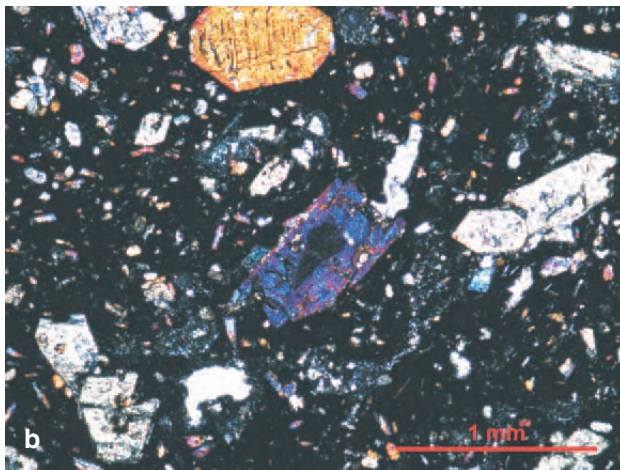
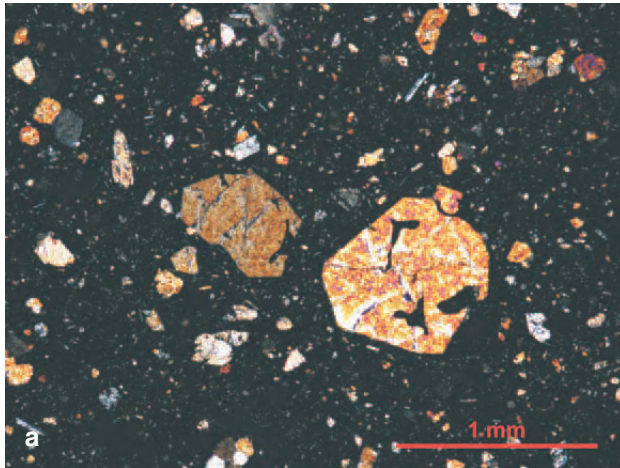
litologické, paleomagnetické, časové i petrografické. V souladu s mezinárodně uznávanými stratigrafickými principy (Salvador ed. 1994) navrhuje kenozoický vulkanismus východních Čech členit do dvou souvrství – kozákovského (spodní pliocén) a troseckého (svrchní miocén).

Jičínské vulkanické pole (JVP) je oblast zahrnující území přibližně mezi Železným Brodem, Turnovem, Mnichovým Hradištěm, Jičínem, Lázněmi Bělohrad, Novou Pakou a Lomnicí nad Popelkou. Produkty vulkanismu jsou tvořeny horninami skupiny olivinických bazaltoidů. S výjimkou lávových reliktů v blízkém okolí vrchu Kozákov mají neovulkanity charakter izolovaných těles většinou relativně izometrických tvarů. Ty z nich, které jsou tvořeny vulkanoklastickými horninami, byly dříve souhrnně zobrazovány jako subvulkanické (*intruzivní, kominové*) brekcie. Napomáhala tomu představa značné eroze (od předpokládané doby vulkanické aktivity) i analogie s tělesy kompaktních bazaltoidů (žíly, vypreparované sopouchy). JVP je modelovou oblastí vývoje drobnějších monogenetických vulkánů strombolského (struskové kužele) a freatomagmatického (tufové kužele) erupčního typu, a to podle míry interakce magmatu s okolím v době aktivity. Za silně magmatickou lze označit např. lokalitu Prackov, nejvyšší freatické ovlivnění je pozorovatelné na žilném tělese pod hradem Frýdštejn. Jednotlivé lokality JVP nabízejí možnost studia vulkanického aparátu v různých erozních úrovních od sopečného kužele až po hluboké partie přírodní dráhy. Blíže charakterizovali některá tělesa Rapprich et al. (2007), kteří zpracovali 13 lokalit.

Lávy na samotném vrchu Kozákov a v jeho blízkém okolí jsou produkty patrně jediné spojité efuzivní aktivity z přírodní dráhy solitérního vulkán u Prackova. Vytékaly v několika směrech, což dokládají další drobné reliktury v okolí. Láva ve své distální části u Semil a Železného Brodu leží na mladoterciálních sedimentech Paleojizery, což vedlo již před zjištěním prvních radiometrických údajů k zařazení vulkanické činnosti do mladších třetihor (např. Fediuk 1972). Současná výšková rozrůzněnost bází lávových segmentů a reliktů je důsledkem kombinace postvulkanické tektoniky a tvarů paleoreliéfu. K diskusi o tektonické stavbě, míře eroze a na vyplývající souvislosti odkazujeme na studii Rapracha et al. (2007).

Litostratigrafie

Při terénním pozorování kenozoických vulkanitů zjišťujeme v oblasti dvě horninové skupiny definovatelné jako kompaktní bazaltoidy a vulkanoklastika. Z jiného pohledu pak opět dvě skupiny – typy povrchové a subvulkanické. V tomto druhém přístupu se velmi uplatňuje stáří sopečné činnosti, tedy úroveň eroze, v níž jsou dnes tělesa zachová-



Obr. 1. Rozdíl mezi horninovým typem kozákovským (a – Prackov) a trosceckým (b – Dubolka, c – Kumburk) je dán absencí/přítomností vyrostlic klinopyroxenu. Zkřížené nikoly.

na. Ač posuzováno z odlišného úhlu pohledu, do značné míry se oba odlišné přístupy prolínají a to spolu s výsledky radiometrického datování a paleomagnetických studií umožňuje navrhnout litostratigrafické členění kenozoických vulkanických hornin oblasti:

Kozákovské souvrství

Kozákovské souvrství (Kozákov Formation – podle vrchu Kozákov, k. 744; 3,54–6,69 Ma, resp. $4,92 \pm 0,25$ Ma) je tvořeno bazanitovými lávami s hojnými svrchnoplášťovými uzavřeninami s převahou olivínu (lherzolitovými nodulemi). Tyto horniny byly a jsou předmětem zvýšeného petrologického zájmu (naposledy Ackerman et al. 2007). Přírodní dráha láv je erozním reliktem struskového kužele (*cinder cone*) u Prackova se zachovanou vnitřní kráterovou facií pyroklastik a výplní kráteru kompaktní lávou (zbytek lávového jezera). V širším okolí kozákovského hřebene lze nalézt též několik drobných erozních relikтів, které jsou pozůstatky dalších lávových proudů produkovaných týmž vulkánem. V dnešní podobě lávy pokrývají značnou část kozákovského hřebene a zasahují téměř až k současné Jizeře. Stávající převýšení reliéfu pokrytého lávami – přes 300 m – je druhotné, způsobené vertikální složkou následných tektonických pohybů. Ačkoliv jsou to vše produkty jediného vulkánu, tvoří plošně i objemově převážnou většinu kenozoických vulkanických hornin oblasti. Lávy vytékaly do depresí tehdejšího reliéfu, který se patrně generelně svažoval k S. Soudíme tak podle vzájemné pozice přírodní dráhy a maximálního objemu zachovaných láv. Nicméně jsou známy i drobné relikty láv v jižní, pokleslé kře. Proto předpokládáme spíše členitý směr toku lávy než přímý. Lávy u Semil a Železného Brodu dosáhly koryta Paleojizery (Gotthard 1931), kde nasedají na její štěrkopískové nánosy. Dalšími mladšími sedimenty jsou částečně překryty (Fediuk 1953). Rostlinné zbytky z asi 10 cm mocné vložky hnědého jílovitého prachovce ve štěrkopískách v podloží proudu byly zařazeny Konzalovou (1973) do středního až svrchního miocénu.

Hornina je klasifikována jako olivinický bazalt až nefelinický bazanit. Tvoří ji hojně vyrostlice olivínu (až 1 cm), ale vyrostlice klinopyroxenu se prakticky nevyskytují. Toto je významné rozlišovací kritérium (obr. 1). Základní hmotu tvoří hojný drobný olivín, méně hojný klinopyroxen, Fe-Ti oxidy a sklo (méně často krystalované fáze – plagioklas a nefelin). Absence klinopyroxenu mezi vyrostlicemi může souviset s vyšší teplotou magmatu při erupci.

Výsledky prvních radiometrických rozborů metodou K-Ar z bazanitových láv, odebraných v lomech Slap a Smrčí, publikovali Bellon a Kopecký (1977) a Šibrava a Havlíček (1980). Souhrnně vykazují stáří v intervalu 3,54–6,69 Ma, což je pro vývoj malého strombolského vulkánu příliš dlouhá doba. Údaj 4,25 Ma, bez udané chyby, z lomu Chuchelna (Lustrino – Wilson 2007) do tohoto intervalu vhodně zapadá a zároveň je též velmi blízký novému údaji $4,92 \pm 0,25$ Ma získanému z místa výstupu láv. Z porovnání radiometrických a paleomagnetických dat (obr. 2) vyplývá, že aktivita s jistotou probíhala v jednom z období normální polarity v zóně C3 (4,2–5,2 Ma). Vý-

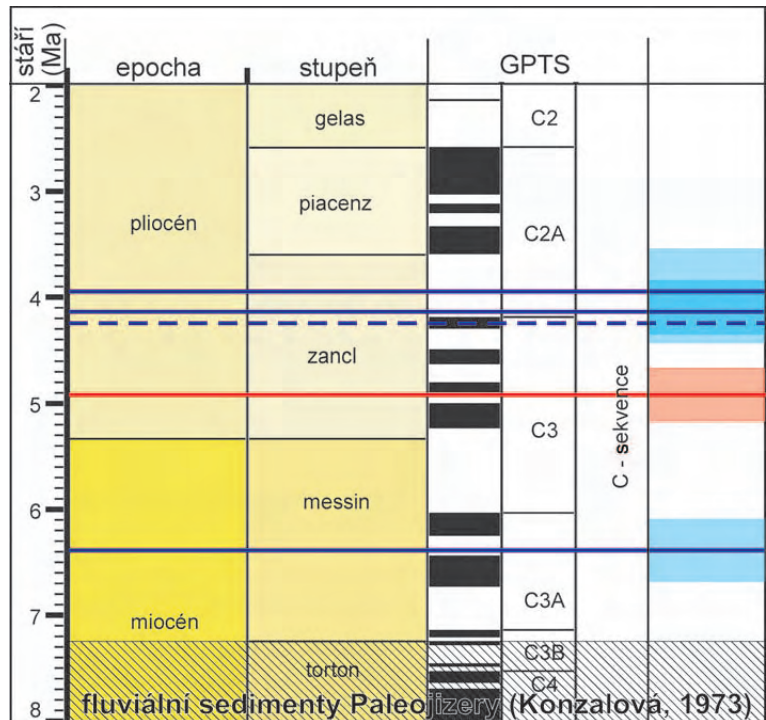
sledky paleomagnetických studií ze šestnácti lokalit vykazují malou sekulární variaci a extrémní magnetickou inklinaci vektoru přirozené remanentní magnetizace (obr. 3). Malá sekulární variace při extrémních hodnotách inklinace dokládá krystalizaci všech vzorkovaných hornin během velmi krátkého časového úseku (např. Butler 1992), a tedy rychlé tuhnutí lávy. Odpovídá to také představě spojité efuzivní aktivity. Na základě charakteru produktů, tedy minimální petrologické variability, typu vulkanické aktivity a zhodnocení přírodní dráhy (Rapprich et al. 2007), předpokládáme vývoj vulkánu v době rozhodně nepřesahující jeden milion let. **Proto se přikláníme spíše k době udané posledně zjištěným radiometrickým rozbořem, a to pro všechny produkty tohoto souvrství.**

a) Lomy Smrčí (50°37,25'N; 15°17,12'E) a Pelechov (50°38,01' N; 15°16,20' E) v témže proudu – holostatotyp

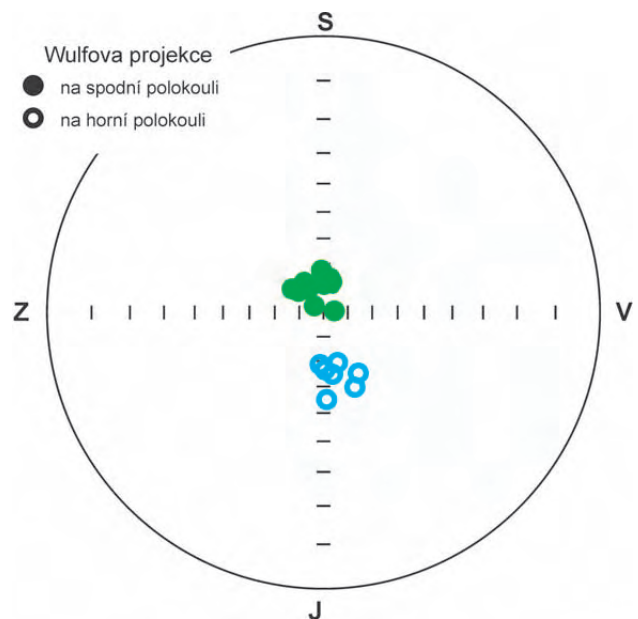
Činný lom (Smrčí) má odkrytou mocnost bazanitového proudu až 20 m. Pozorovatelné jsou tři facie – nejníže sloupcovitě odlučná se svislými sloupci o průměru 30–40 cm (kolonáda), vyšší nepravidelně bločkově odlučná (entablatura) a nejvyšší pórovitá a alterovaná facie bez známek brekciace. Hranice mezi spodními faciemi je „opticky“ výrazná (to dříve vedlo k interpretaci rozhraní dvou předpokládaných proudů), při bližším ohledání však jde pouze o náhlou změnu odlučnosti v jediném proudu (Fediuk 1972). V nejvyšší facii pak povolna přibývají drobné vezikuly a s jejich množstvím se stupňuje alterace, předpokládaná brekciovitá facie při povrchu proudu chybí. Opuštěný lom (Pelechov) odkrývá tentýž bazanitový proud ve sloupcově odlučné a dosti alterované facii. V nadloží lávy jsou uloženy povulkanické štěrky Paleojizery. Podle starší dokumentace (např. Fediuk 1953) byla při bázi proudu v nadloží předvulkanických štěrkopísků popisována vulkanoklastika, tehdy interpretovaná jako „tufy“. Vzhledem k okolnosti, že výlev dostihl koryta řeky, lze je i bez možnosti ověření ve výchoze reinterpretovat jako hyaloklastické spodní brekcie (nejníže facie proudu). Tomu odpovídá také zmiňovaný zapracovaný písčité materiál.

b) Prackov (50°36,25'N; 15°14,71'E; 4,92 ± 0,25 Ma) – parastratotyp

Výchozy ve strmém svahu z. a zjz. od obce. Odkryty jsou nespěkané a netříděné, avšak vrstvené uložení bazaltických strusek se stratifikací uklánějící se dovnitř vulkanického tělesa. Tento trend je pozorovatelný po značné části obvodu tělesa. Velikost struskových částic kolísá průměrně kolem 1–10 cm (lapilli až bomby), lze nalézt i většinou bomby o velikosti přes 30 cm. Často je jádrem takové bomby lherzolitová nodule. Erozi je zde obnažena vnitřní partie struskového kužele – vnitřní svahy kráteru, povrchového aparátu strombolského vulkánu. Původní kráter vyplňuje kompaktní bazanitová hornina s vysokým obsa-



Obr. 2. Pozice radiometrických dat kozákovského souvrství ve stratigrafické škále v porovnání s geomagnetickou polaritní časovou škálou (<http://www.stratigraphy.org/>). Výška barevných obdélníků představuje rozsah analytické chyby. Modře starší data z lávových proudů, červeně nově přírodní dráha Prackov, šrafovou dřívější paleontologické určení podložních sedimentů.



Obr. 3. Projekce paleomagnetických směrů vektorů hornin obou definovaných souvrství – malá sekulární variace dokládá krátký časový úsek tvorby hornin v obou případech. Plně zelené body značí normální polaritu kozákovského souvrství (projekce na dolní polokouli), prázdné modré body pak reverzní polaritu troseckého souvrství (projekce na horní polokouli).

hem nodulí, dnes tvořící rovinu nad výchozy. Je to pozůstatek lávového jezera, odkud byly produkovány lávy tohoto souvrství.

Trosecké souvrství

Trosecké souvrství [Trosky Formation – podle vrchu Trosky, k. 488; 15,7–18,3 (24,6?) Ma] sestává z produktů a přírodních aparátů mnoha solitérních vulkánů v podobě struskových kuželů, tufových kuželů a freatomagmatických kráterů (maarů). Vzhledem k vyššímu stáří a tedy déle trvající erozi jsou produkty zachovány v podstatně menší míře než u souvrství mladšího. Rozdíly v erupčním stylu jednotlivých monogenetických vulkánů jsou dány prostředím, ve kterém k erupci došlo – především hydrologickými a hydrogeologickými podmínkami. Jednotlivé porce magmatu byly drobné a po erupční aktivitě docházelo k intruzím kompaktního magmatu do erupčního aparátu. Není známa produkce láv, i když z charakteru sopečné činnosti je značně pravděpodobná alespoň v případě některých z vulkánů. V současnosti jsou sopky tohoto souvrství zachovány v podobě erozních trosek, více či méně postižených nachosem. Nejlépe jsou povrchové vulkanické aparáty zachovány např. na lokalitách Trosky, Dubolka, Zebín anebo Kumburk. Na mnoha jiných zůstávají pouze subvulkanické aparáty, popř. pouhé hluboce erodované přírodní kanály.

Hornina v kompaktním stavu je klasifikována v převážně většině případů jako bazanit, resp. limburgit. Určení však může kolísat v hranicích olivinický bazalt až olivinický nefelinit. V horninách tohoto souvrství jsou patrné hojné vyrostlice olivínu (až 5 mm) a o něco méně hojné vyrostlice klinopyroxenu (do 3 mm) – obojí identifikovatelné pouhým okem nebo lupou na makrovzorku a zcela nezaměnitelné při ověřování ve výbrusu (viz obr. 1). Základní hmotu tvoří drobné vyrostlice olivínu a klinopyroxenu, Fe-Ti oxidy, bazický plagioklas a nefelin/analcim, nebo sklo.

Všechny analyzované horniny troseckého souvrství vykazují reverzní polaritu a malou sekulární variaci, inklinace vektoru přirozené remanentní magnetizace odpovídá průměrné hodnotě pro dané časové období (viz obr. 3). Stáří tohoto souvrství dokládají radiometrická K-Ar data nově získaná na čtyřech reliktech struskových/tufových kuželů,

kteří leží v úzkém rozpětí 2,5 mil. let kolem stáří 17 Ma (Trosky $16,49 \pm 0,79$, Kumburk $17,31 \pm 0,56$, Dubolka $17,32 \pm 0,86$, Zebín $17,51 \pm 0,74$ – ATOMKI Debrecen 2006-7). Vzájemný překryv těchto radiometrických dat odpovídá zóně reverzní polarity C5Cr (16,7–17,2 Ma – obr. 4), tedy interval pouhých 0,5 mil. let. Dříve získaná, avšak nedávno publikovaná datování 20,6 a 24,6 Ma pro Čerovku a Štřelečskou hůrku (Lustrino – Wilson 2007) postrádají udání chyby, což významně snižuje možnost posouzení jejich objektivitu. Přesto nás však v současné situaci omezených znalostí nutí rozšířit časový rozsah navrhovaného souvrství směrem ke stáří vyššímu, i když indicie zahrnující zhodnocení typu vulkanické činnosti, tektonicky podmíněné přírodní dráhy, paleomagnetické charakteristiky a absence diferenciacie magmatu spíše nasvědčují předpokladu kratšího období vulkanické aktivity. Do budoucna, na základě poznatků z dalších lokalit, zdaleka není vyloučena možnost vyčlenění staršího období vulkanické aktivity, či přehodnocení výsledků předchozích radiometrických rozborů.

a) Trosky (50°31,000'N; 15°13,845'E; 16,49 ± 0,79 Ma) – holostatotyp

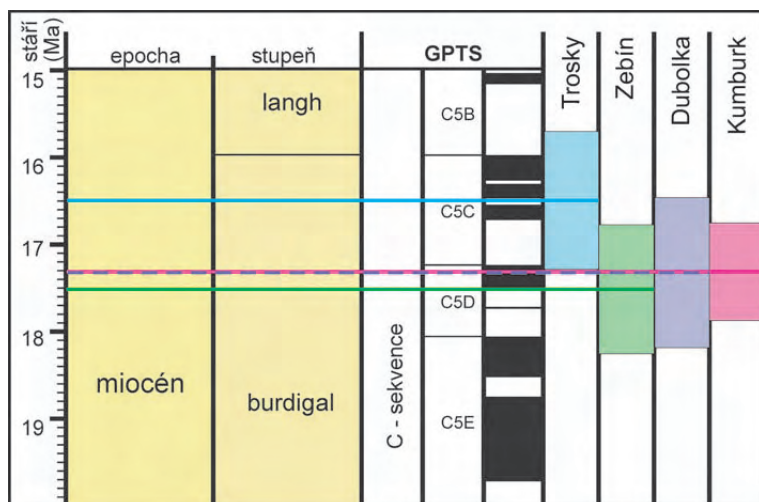
Dominanta a symbol Českého ráje je pozůstatkem struskového kužele vzniklého strombolskou aktivitou. Tvoří ji akumulace špatně vytríděných, nezřetelně vrstvených, nespěčených, nezpevněných a nealterovaných bazaltových strusek o velikosti 0,5–3 cm (lapilli, bomby) s občasnými větvenými bombami až 70 cm velkými (obr. 5). Pyroklastika jsou proniknuta kompaktním limburgitem. Místy lze pozorovat struktury degazace (vyfouknutí jemnějšího materiálu odcházejícími plyny). Zachovány jsou s největší pravděpodobností pouze vnitřní kráterové facie pyroklastik.

b) Kumburk (50°29,608'N; 15°26,700'E; 17,31 ± 0,56 Ma) – parastatotyp

Lávové jezero vyplňující freatomagmatický kráter, z něž velmi pravděpodobně mohly vytékat lávy. Tvar kompaktní výplně je konický – což koresponduje se spodní partií jezera – stejně jako uspořádání sloupcové odlučnosti v podobě mlíře. V lemu kompaktní výplně jsou v hradních příkopech odkryty zbytky polymiktní brekcie. Vysoký obsah xenolitů, zejména sedimentů permokarbonu, odpovídá freatomagmatické erupci (maar).

c) Zebín (50°27,212'N; 15°22,360'E; 17,51 ± 0,74 Ma) – parastatotyp

Třetím typem aktivity troseckého souvrství jsou povrchové freatomagmatické exploze tvořící krátery, ale tufové kužele. Zebín je tvořen akumulací bazaltových slabě vezikulovaných nebo nevezikulovaných fragmentů s převažující velikostí klastů kolem 1 cm. Vrstvení ani gradace nebyly pozorovány, ve svrchní partii však byly zjištěny znaky degazace. Pyroklastické uloženiny jsou opět protnuty kompaktním limburgitem.



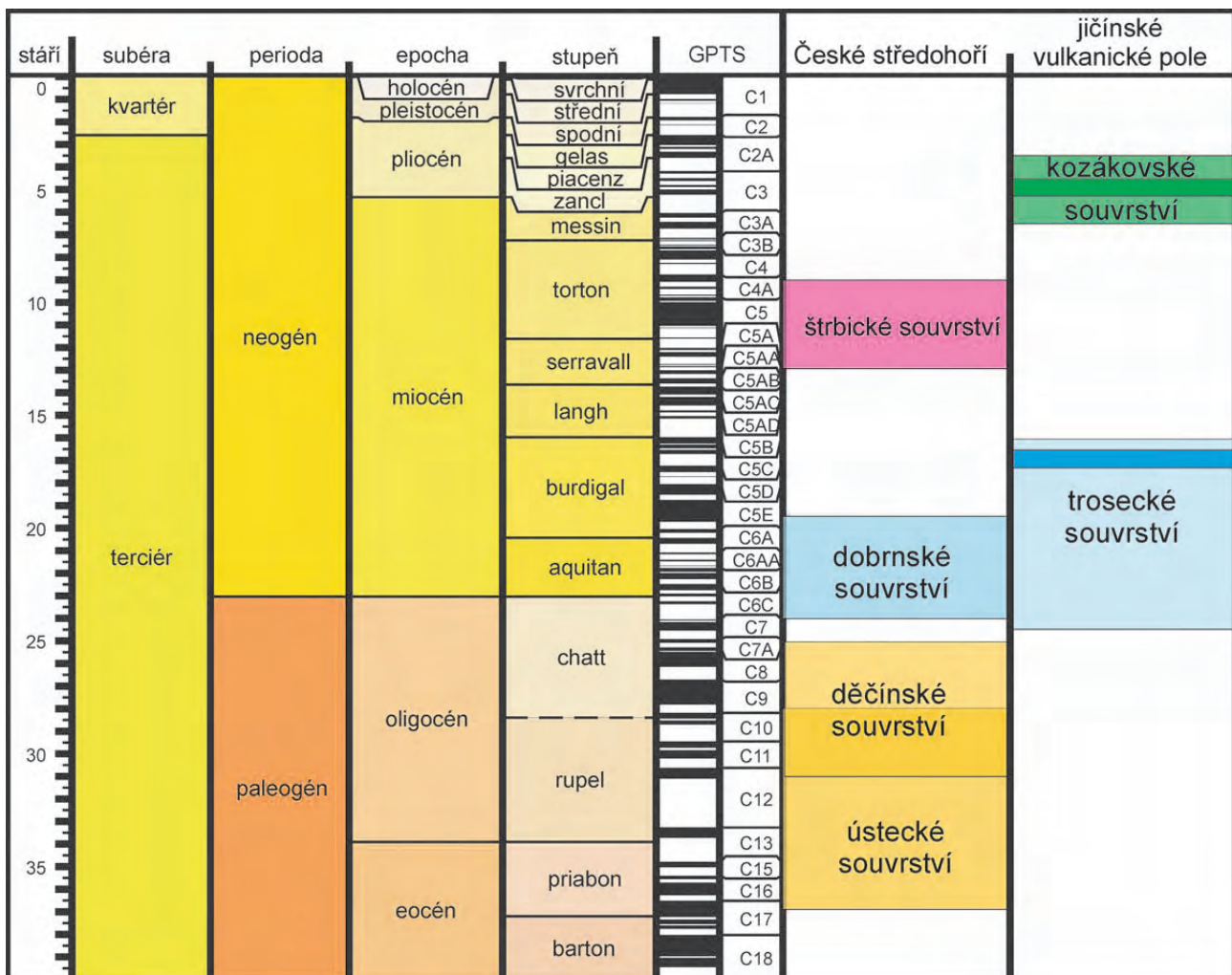
Obr. 4. Pozice radiometrických dat troseckého souvrství ve stratigrafické škále v porovnání s geomagnetickou polaritní časovou škálou (<http://www.stratigraphy.org/>). Výška barevných obdélníků představuje rozsah analytické chyby na jednotlivých lokalitách.

Diskuse – vztahy definovaných litostratigrafických jednotek k okolí

Ve studované oblasti je kenozoický vulkanismus nejmladším projevem platformního vývoje, odhlédneme-li od sedimentů kvartérních. Užší stratigrafické vztahy lze definovat superpozičně pouze k sedimentům křídovým (v převážně většině výskytům troseckého souvrství) a ke staré říční terase/terasám Paleojizery (souvrství kozákovské). V prvním případě přírodní aparáty vulkánů prorážejí a jejich produkty nasedají na sedimenty křídy. V případě druhém pak s největší pravděpodobností jsou lávy synchronní s ukládáním terasy Paleojizery. To významně posunuje stáří šterkopísků ze středního až svrchního miocénu (dřívější paleontologické určení) do spodního pliocénu. Na základě vulkanologických indicií lze důvodně předpokládat zahrazení toku výlevem (*lava-dam lake*), překrytí stávajících šterkopísků lávou a kontinuální usazování dalších říčních sedimentů na lávě po vzdunutí hladiny toku a po alespoň částečné erozi nejvyšší lávové facie. Jelikož z okolí nejsou



Obr. 5. Bazaltové strusky pod hradem Trosky. Nezřetelně vrstvená a špatně vytríděná pyroklastika s převahou frakce lapilli; některé z bomb vykazují uložení v poloplastickém stavu – viz vřetenová bomba velikosti 70 cm vlevo nad kladivem.



Obr. 6. Srovnání litostratigrafických jednotek vulkanosedimentárního komplexu Českého středohoří a jičínského vulkanického pole na standardní chronostratigrafické a geomagnetické polaritní časové škále (<http://www.stratigraphy.org/>). Intenzivní barva v pravém sloupci znázorňuje zúžení časového intervalu obou definovaných souvrství, interpretované na základě paleomagnetických studií. Překryv barev v předchozím sloupci znázorňuje doposud nevysvětlený překryv analytických dat ústeckého a děčínského souvrství, který není v souladu se superpozičními a vulkanologickými charakteristikami obou jednotek.

uváděny sedimenty obdobného stáří, které by opravňovaly k představě změny toku Paleojizery vlivem efuzí, předpokládáme návrat toku do původního koryta bezprostředně po výlevné epizodě. Vzájemné stratigrafické vztahy obou nově definovaných vulkanických jednotek byly popsány v předchozím textu a vyplývají z obrázků.

Z časového údaje mladšího kozákovského souvrství (ca 5 Ma) a charakteru výskytu jeho reliktnů lze však činit závěry o stáří a charakteru jedné z fází pohybové aktivity, patrně související s vývojem lužické poruchy. V lomu Chuchelna zaznamenaná zlomová plocha (60/64°) dokumentuje čistě horizontální pohyb způsobený napětovým vektorem ssz.-jjv. orientace. Je tudíž velmi pravděpodobné, že tektonická aktivita oblasti v blízkosti lužické poruchy mohla probíhat v některých okamžicích způsobem prostých horizontálních posunů i patrně prostých vertikálních pohybů. V každém případě je tato významná tektonická činnost – amplituda přes 300 m a prosté laterální posuny – postvulkanická, mladší než kozákovské souvrství (blíže Rapprich et al. 2007).

Obě litostratigrafické jednotky lze také porovnávat s obdobnými jednotkami vulkanosedimentárního komplexu Českého středohoří (Cajz 2000). Obě starší souvrství komplexu (ústecké a děčínské), která do současnosti tvoří valnou většinu vulkanické produkce komplexu, jsou starší než souvrství trosecké. Souvrství děčínské pak je navíc geochemicky a vulkanologicky zásadně odlišné. Dobrnské souvrství komplexu se však se souvrstvím troseckým dá porovnat časově (19–24 Ma a 16–24? Ma), typem vulkanické aktivity (soliterní strombolský vulkanismus) i petrografickými charakteristikami produktů (skupina olivinických bazaltoidů). Jak jsme však již upozornili, velký časový rozptyl osmi milionů let pro trosecké souvrství, zvláště směrem ke starším hodnotám, je způsoben pouze začleněním dvou lokalit s dříve publikovanými údaji, ačkoliv ostatní indicie nejsou v souladu s tak dlouho trvajícím obdobím vulkanické aktivity. Proto je vysoce pravděpodobné (za předpokladu správnosti údajů), že právě tyto dvě lokality jsou v oblasti východních Čech ekvivalentem souvrství dobrnského. Potom by na základě údajů z nového výzkumu souvrství trosecké (s případně redukováným rozsahem 15,7–18,3, resp. 16,7–17,2 Ma) bylo mladší než souvrství dobrnské vulkanosedimentárního komplexu Českého středohoří. Nejmladší souvrství komplexu (štrbické) pak svým časovým rozsahem (9–13 Ma) zapadá mezi obě navrhovaná souvrství východočeské oblasti. Je jim blízké typem vulkanické aktivity i geochemií produktů. Vokurka a Kober (1993) udávají poměry $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ bazanitu z láv kozákovského souvrství v hodnotách 0,7031–0,7035, které jsou blízké dobrnskému souvrství. Je však třeba upozornit na nepoměr počtu údajů ze srovnávaných souvrství.

Na základě porovnání obou oblastí by pak litostratigrafická posloupnost kenozoického vulkanismu od nejstaršího po nejmladší souvrství byla následující (obr. 6): **ústecké – děčínské – dobrnské – trosecké – štrbické – kozákovské**.

Výsledky výzkumu nabízejí možnost popularizačních aktivit pro další rozvoj geoturistiky v Geoparku Český ráj. V této oblasti je geoturistika významnou součástí trvale udržitelného ekonomického rozvoje.

Poděkování. Tento návrh vznikl za podpory Grantové agentury AV ČR (projekt IAA 300130612) a MŽP ČR (projekt VaV SP/2e6/97/08). Výzkum je v souladu s výzkumnými záměry Geologického ústavu AV ČR, v. v. i., (AV0Z30130516) a České geologické služby (MZP0002579801). Autoři děkují za spolupráci RNDr. T. Řídkošilovi a Muzeu Českého ráje v Turnově.

Literatura

- ACKERMAN, L. – MAHLEN, N. – JELÍNEK, E. – MEDARIS, G. – ULRYCH, J. – STRNAD, L. – MIHALJEVIČ, M. (2007): Geochemistry and Evolution of Subcontinental Lithospheric Mantle in Central Europe: Evidence from Peridotite Xenoliths of the Kozákov Volcano, Czech Republic. – *J. Petrol.*, 48, 12, 2235–2260.
- BELLON, H. – KOPECKÝ, L. (1977): Spectres d'ages radiométriques du volcanisme du rift du Massif Bohémien. – *5^{ème} Réunion Ann. Sci. Terre, Rennes, Soc. Géol. Fr. éd.*, 57.
- BUTLER, R. F. (1992): Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. – Blackwell Sci. Publ.
- CAJZ, V. (2000): Proposal of lithostratigraphy for the České středohoří Mts. volcanics. – *Bull. Czech Geol. Surv.*, 75, 1, 7–16.
- FEDIUK, F. (1953): Geologicko-petrografické poměry v údolí Jizery mezi Spálovem a Bítouchovem (Železnobrodsko). – *Sbor. Ústř. Úst. geol., Odd. geol.*, 20, 505–561.
- FEDIUK, F. (1972): Staropaleozoické, mladopaleozoické a neoidní vulkanity na Železnobrodsku. Exkurzní průvodce. – *Úst. geol. věd Karl. Univ.* 16 s.
- GOTTHARD, J. (1931): Kozákov. – Zvláštní otisk z vlastivědného sborníku Od Ještěda k Troskám.
- KONZALOVÁ, M. (1973): Neogenní rostlinné mikrofosilie z říčních sedimentů v podloží neovulkanitů na Železnobrodsku. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 48, 17–23.
- LUSTRINO, M. – WILSON, M. (2007): The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province. – *Earth Sci. Rev.*, 81, 1–65.
- RAPPRICH, V. – CAJZ, V. – KOŠTÁK, M. – PĚCSKAY, Z. – ŘÍDKOŠIL, T. – RAŠKA, P. – RADOŇ, M. (2007): Reconstruction of eroded monogenic Strombolian cones of Miocene age: A case study on character of volcanic activity of the Jičín volcanic field (NE Bohemia) and estimation of subsequent erosional rates. – *J. Geosci.*, 52, 3–4, 169–180.
- SALVADOR, A., Ed. (1994): International stratigraphic guide (second edition). – IUGS / Geol. Soc. Amer., Boulder, Colorado, 214 s.
- ŠIBRAVA, V. – HAVLÍČEK, P. (1980): Radiometric age of Plio-Pleistocene volcanic rocks of the Bohemian Massif. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 55, 129–139.
- VOKURKA, K. – KOBER, B. (1993): Heterogeneity of the Earth's mantle below the Bohemian Massif. In: KUKAL, Z., Ed.: Proceedings of the 1st International Conference on the Bohemian Massif, Prague, Czechoslovakia, Sept. 26 – Oct. 3, 1988. – *Czech. Geol. Surv.*, 327–330.