

tické jednotky pak byly zjištěny také v uloženinách pyroklastických přívalů (base-surge), které na uloženiny tvořené pouze akrečními lapilli nasedají (obr. 3). Uloženi-ny pyroklastických přívalů původně tvořily podstatnou část freatomagmatické jednotky, která měla větší mocnost, její svrchní část však byla z velké části erodována struskovými pyroklastickými proudy následující strombolské jednotky.

Jen zcela výjimečně je možné nalézt zbytky původního neerodovaného povrchu freatomagmatické jednotky. V těchto případech je možné pozorovat nápadné asymetrické impaktové struktury způsobené dopadem větších lapilli do nepevných pyroklastik pod šikmým úhlem (obr. 4). Tento druhý typ akrečních lapilli, který se objevoval v závěru freatomagmatické aktivity, dosahuje rozměrů až vlašského ořechu a mnohé akreční lapilli byly při dopadu „piškotovitě“ deformovány. Úhel dopadu svědčí pro balistickou trajektorii, proto je možné předpokládat, že tyto akreční lapilli vznikaly přímo v přírodní dráze během freatomagmatické erupce. I tyto útvary byly zjištěny v redeponované pozici, a sice jako litika v nadložních struskových proudcích; při erodování svrchní části freatomagmatické jednotky do sebe nabraly zabořené lapilli. Laminární proudění o nízké energii struskového proudu pak nedisponovalo dostatečnou energií na rozbití těchto útvarů.

Přechod od freatomagmatického k strombolskému stylu aktivity je běžným jevem u jednoduchých vulkanických aparátů mafických magmat. Zatím nezodpovězenou otázkou zůstává, proč byly strusky ukládány formou proudu a nikoli napadáním. Při přechodu od freatomagmatické ke strombolské aktivitě nejprve dochází k budování struskového kuželu balistickým hromaděním strusek v těsném okolí přírodní dráhy. Pyroklastické proudy jsou při strombolské aktivitě generovány jen výjimečně.

Studium pyroklastických uloženin na lokalitě Hvězda u Nové Paky probíhá jako součást úkolu „Sedimentace a resedimentace vulkanoklastik nemetamorfovaných formací Českého masivu“ v rámci výzkumného záměru MZP0002579801 České geologické služby. Tato práce je také součástí přípravy vysvětlujících textů k vulkanologicky zajímavým lokalitám Geoparku Český ráj.

#### Literatura

- SCHOVÁNKOVÁ, D. (1989): Petrologie mladopaleozoických vulkanitů podkrkonošské pánve, část I. Permské bazaltandezity. – MS Čes. geol. služba, 69 str.
- SCHUMACHER, R. – SCHMINCKE, H.-U. (1995): Models for the origin of accretionary lapilli. – Bull. Volcanol., 56, 626–639.
- ULRYCH, J. – ŠTĚPÁNKOVÁ, J. – NOVÁK, J. K. – PIVEC, E. – PROUZA, V. (2002): Volcanic activity in Late Variscan Krkonoše Piedmont Basin: petrological and geochemical constraints. – Slovak Geol. Mag., 8, 3–4, 219–234.

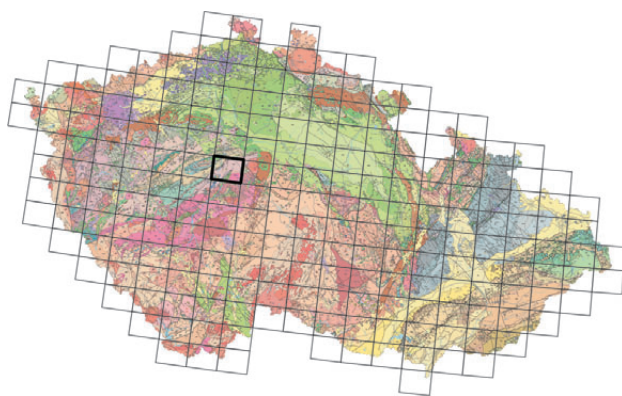
## BARRANDOVA SKÁLA – VÝTVOR OROGENEZE NEBO PODMOŘSKÝ SESUV?

### The Barrande's Rock – a product of orogeny or submarine slide?

PAVEL RÖHLICH

Pod Lysinami 23, 147 00 Praha 4

(12-42 Zbraslav)



*Key words:* Barrandian area, Devonian, tectonics, slump structure, submarine slide

*Abstract:* The Barrande's Rock in Prague Hlubočepý, a spectacular outcrop of disharmonically folded Lower Devonian limestones (Lochkov Formation), has been traditionally attributed to

the Variscan orogeny. The author points up the inconsistencies of this concept and proposes an alternative interpretation. Slump structures on a minor scale, described within the Lochkov Formation elsewhere, testify to occasional instability of the sea bottom. The intricate folding on the Barrande's Rock may be the result of a coherent submarine slide encompassing the whole Formation (about 50 m thick). A tentative reconstruction of the slide in its final stage is presented by means of a block diagram.

Jedinečná Barrandova skála v Praze Hlubočepích nechybí v žádné české učebnici geologie jako imponující ukázkou disharmonického zvrásnění. Je neodmyslitelnou zastávkou geologických exkurzí do této části Prahy. Pamětní deska s Barrandovým jménem a vyhlášení národní přírodní památky, ke které skála patří, podtrhují její význam. Dosavadní výzkumy celého profilu, jehož je skála součástí, byly však zaměřeny skoro výhradně stratigraficko-paleontologicky (KRÍŽ 1999). Je paradoxní, že jedinou podrobnou studii věnovanou Barrandově skále jako strukturnímu fenoménu je dodnes její detailní kresba od prof. R. Kettnera, vydaná k Mezinárodnímu geologickému kongresu v Praze roku 1968.





1	2
3	4

Detaily zvrásnění lochkovského souvrství na Barrandově skále. Foto P. Röhlich.

Obr. 1. Klikaté vrásy s menším přesmykem v nadloží, 40 m s. od pamětní desky.

Obr. 2. Disharmonické zvrásnění v detailu, 50 m s. od pamětní desky.

Obr. 3. Překocené vrásy, 40 m j. od pamětní desky.

Obr. 4. Ležaté čelo překocené antiklinály, 30 m j. od pamětní desky.



### Disharmonické zvrásnění v pražské pánvi

Větších odkryvů umožňujících studium disharmonického zvrásnění není v barrandienském paleozoiku mnoho. Kromě Barrandovy skály je to profil nad Cikánkou v Radotínském údolí a Budňanská skála u Karlštejna (KETTNER 1941 aj.). Charakter vrásových deformací a celková situace na těchto třech lokalitách se však navzájem znatelně liší.

U Cikánky jsou disharmonicky zvrásněny deskovité vápence lochkovského souvrství v podloží masivních sliveneckých vápenců, které jsou jen mírně klenbovitě prohnuté. Příčina vzniku disharmonie je tu zřejmá: jde o směštnání snáze vrásnitelných vrstev do prostoru zmenšeného vznikem antiklinály. Vrásu sliveneckých vápenců lze klasifikovat jako rozevřenou, vrásy v podloží jako otevřené. Drobnější disharmonie uvnitř lochkovských vápenců vznikly v důsledku výskytu břidličných vložek, které jsou z hornin na odkryvu nejpoddajnější k deformaci. Vrásy jsou přímé nebo šikmé, zřetelná vergence tu chybí.

Na Budňanské skále silně převažují deskovité vápence a vápnité břidlice požárského a lochkovského souvrství nad

dvojicí masivních lavic, která leží na rozhraní těchto souvrství. Lavice tvoří dvě překocené vrásy v podobě M, s jv. vergencí. Lze je klasifikovat jako zavřené až sevřené vrásy. Disharmonie se projevuje detailním provrásněním vrstev v nadloží a v podloží lavic. Zvrásnění na Budňanské skále dobře zapadá do stavby okolního území, kde jsou šikmé a překocené vrásy s jv. vergencí běžné (SVOBODA – PRANTL 1955).

Na Barrandově skále je provrásněno celé lochkovské souvrství včetně skupiny vápencových lavic s intraformačními brekciemi při bázi. Většinu souvrství tvoří deskovité vápence kosořské facie, s rohovci a tenkými vložkami vápnitých břidlic. V jižní části skály (asi 40 m a dále od pamětní desky) se provrásnění vytrácí. V této části však skála probíhá souběžně se směrem vrstev (asi 45°, sklon 60° k SZ), což je pro studium vrásové stavby nepříznivé. Nejintenzivnější je zvrásnění v okolí pamětní desky (většinou klikaté vrásy), kde vzniklo složité synklinorium. Následkem toho vystupují vápencové lavice spodní části souvrství i v s. části skály (cca 60 m od pamětní desky) v mírně překocené antiklinále. Vrásy jsou šikmé i překocené, se



zřetelnou vergencí k SZ. Nápadné je těsné nahromadění vrás a množství drobných zlomů, kterými jsou porušeny. Jsou to většinou přesmyky, probíhají částečně podle vrstevních ploch a posuny na nich odpovídají vergenci vrás. Měření vrásových os je jen zřídka možné, protože zvláště v s. části skály nejsou vrstevní plochy odkryté. Ve vzdálenosti 10 m a 40 m j. od pamětní desky byly změřeny vrásové osy skloněné 25–30° k ZJZ až Z (250–270°). Také v s. části skály zapadají vrásové osy do skály, zhruba k Z.

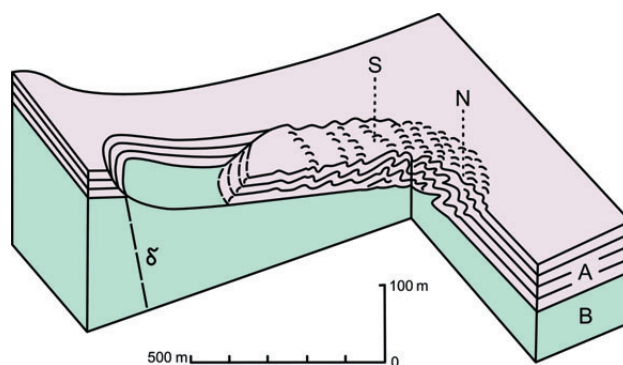
## Diskuse

Co je na případě Barrandovy skály zvláštní, je nepřítomnost vrás v podloží i nadloží lochkovského souvrství v barrandovském defilé. Přitom zvláště požárské souvrství se jeví svým složením (deskovitě vápence a vápnité břidlice) pro zvrásnění příznivé. Monoklinálním uložením vrstev v celém přilehlém úseku jihovýchodního křídla holyňsko-hostimské synklinály vyvstává otázka: co je příčinou intenzivního disharmonického zvrásnění lochkovského souvrství na Barrandově skále?

Kdyby šlo o projev napětí v souvislosti se vznikem synklinály, vergence drobných vrás by směřovala k JV. Je to však naopak a navíc se směr těchto vrás (V-Z) odchyluje od osy holyňsko-hostimské synklinály. Za určitých okolností by mohlo zvrásnění se sz. vergencí souviset s přesmykem přilehlé jihovýchodní kry k SZ. Takovému zlomu však podle geologického mapování nic nenasvědčuje. Naopak byly v přilehlém terénu vymapovány směrné přesmyky s opačným směrem transportu. Jedním z nich je 800 m vzdálený přesmyk, resp. zdvih, jehož následkem je izolovaný výskyt siluru u branického pivovaru (Barrandova „kolonie Hodkovičky“). Kromě toho je podle intenzity zvrásnění lochkovské souvrství pod Barrandovem směřováno takovou měrou, že by se to muselo projevit i na nadložních a podložních vrstvách. To ovšem platí za předpokladu, že byl deformující síle vystaven současně celý komplex, včetně podloží a nadloží.

Stručně shrnuto: Na rozdíl od obou uvedených lokalit, kde disharmonické zvrásnění v kontextu s okolím dává jasný smysl, zvrásnění na Barrandově skále působí ve svém prostředí jako tektonická anomálie.

Řešením tohoto problému mohou být subakvatické gravitační struktury – skluzové textury většího rozsahu. Skluzové textury menších rozměrů, v mocnostech řádově nepřesahujících metry, jsou v lochkovském souvrství známy už delší dobu (VORTISCH 1941, HORNÝ 1962, RÖHLICH 2008). Skluz zahrnující celé lochkovské souvrství v mocnosti řádu desítek metrů se dosud zjištěným skluzům rozměrově vymyká, za určitých okolností je však možný. Znamenalo by to náběh ke gravitační skluzové tektonice ve smyslu DESITTERA (1954), která se ovšem týká ještě větších komplexů. Podstatné je, že „geometrie, vnitřní stavba a symetrie struktur gravitačních skluzů jsou obdobné jako u struktur vzniklých tangenciálním napětím. Nejsou proto směrodatné k rozhodnutí o genezi struktur. Abychom mohli interpretovat nějakou strukturu jako gravitační skluzovou, je třeba dříve provést důkladnou paleogeografickou



Obr. 5. Hypotetická rekonstrukce podmořského sesuvu v jeho konečné fázi (2× převýšeno). A – lochkovské souvrství, B – silur, δ – synsedimentární zlom. N, S – přibližná poloha severního (N) a jižního (S) konce Barrandovy skály.

a paleotektonickou analýzu daného regionu“ (JAROŠ – VACHTL 1978).

Faciální vývoj lochkovského souvrství v jeho zachovaném rozsahu svědčí zřetelně o celkovém prohlubování od SZ k JV (CHLUPÁČ 1992). Zajímavý je vývoj na nejuvýchodnější lokalitě lochkovu v Praze Podolí, kde minimální mocnost (28 m) nasvědčuje sedimentaci na vyvýšeném úseku mořského dna. Mohlo by jít o projev příčného prahu v pražské pánvi, o němž svědčí vývoj v nejvyšším berounu (RÖHLICH 2006), llandovery (KRÍŽ 1992) a ve spodním zlíchovu (RÖHLICH 2007b). Protože však vývoj pražské pánve byl řízen převážně podélnou synsedimentární tektonikou (HAVLÍČEK 1981, KRÍŽ 1992 aj.), mohlo by jít i o součást hypotetického podélného podmořského prahu v jihovýchodním křídle pánve, ležícího mimo zachovaný rozsah devonu.

Výskyt skluzových textur a intraformačních brekcií může signalizovat blízkost synsedimentárních zlomů, které byly zónami nestability mořského dna. Nedá se proto vyloučit ovlivnění reliéfu dna příčnými synsedimentárními zlomy, které by mohly odpovídat tzv. Kodymovým zlomům (RÖHLICH 2007a). Ty jsou projevem oživených starých zlomů ve fundamentu. Nejbližší výrazný zlom tohoto typu probíhá přes Klukovice a Malou Chuchli (asi 1 km j. od Barrandovy skály) k Libuši. Intraformační brekcie naspodu lochkovského souvrství na Barrandově skále i v blízké Velké Chuchli svědčí o nestabilitě mořského dna v raném období lochkovu. Takzvaný lochkovsko-pražský hraniční event (CHLUPÁČ – KUKAL 1988), do kterého by bylo možné uvažovaný sesuv zařadit, se také projevil výskytem intraformačních brekcií.

## Návrh řešení

Podle dosavadních znalostí o vývoji pražské pánve mohla vrásová struktura Barrandovy skály vzniknout tímto způsobem (obr. 5):

1. Na JV nebo J existoval podmořský práh spadající k SZ nebo S, pravděpodobně synsedimentárním zlomovým svahem.
2. V hraničním období lochkov–prag došlo k odtržení sedimentů lochkovu v místech svahu podle strmé odlučné

plochy a k jejich postupnému odlepení od podloží, pravděpodobně v poloze s vyšším podílem jílové složky (vápnité břidlice).

3. Skluz byl provázen borcením a vrásněním sunutého komplexu a tím vzniklo disharmonické zvrásnění. Čelo sesuvu, vystavené největší kompresi, bylo v místech, kde se svah zmiřoval nebo přecházel v protisvah.

Tento model sesuvu má ovšem řadu parametrů nejistých, především plošný rozsah; ten může být v rozmezí hektarů nebo desítek hektarů. Také poměr délky k šířce není znám. O délce transportu dává představu nakupení zvrásněných a dislokovaných vrstev, které však nelze kvantifikovat. Směr vrásnových os indikuje směr pohybu jen rámcově: u bočních kontaktů sesuvu muselo tření vést ke stáčení vrásnových os, obdobně jako u vlečných vrás.

Klíčovým místem k ověření nastíněné představy je kontakt provrásněného lochkovského souvrství s nadložím. Následkem sesuvu, který porušil hladký profil mořského dna, vzniká totiž tendence k vyrovnání povrchu působením proudů (erozivnímu zarovnání, popř. vyplňování vzniklých prohlubní). Erozivní zarovnání je zřetelně vidět na neďalekém odkryvu skluzových textur při bázi zlíchovského souvrství (RÖHLICH 2007b). Kontakt lochkovského souvrství s nadložím je bohužel na Barrandově skále a v jejím sousedství obtížně přístupný a nedostatečně odkrytý.

## Závěr

Nastíněná hypotéza o vzniku disharmonického zvrásnění na Barrandově skále pravděpodobně vyvolá diskusi. Pokud přispěje k prohloubení zájmu o strukturní problematiku pražské pánve, pak tento článek splní svůj úkol. V blízké budoucnosti, jak doufám, bude mimořádná příležitost předloženou hypotézu testovat. Při ražení projektovaných železničních tunelů mezi Prahou a Berounem nejméně je-

den z dvojice tunelů má vést klíčovým úsekem při rozhraní lochkovského a pražského souvrství pod Barrandovem.

## Literatura

- DESITTER, L. U. (1954): Gravitational sliding tectonics – an essay on comparative structural geology. – *Amer. J. Sci.*, 252, 321–344.
- HAVLIČEK, V. (1981): Development of a linear sedimentary depression exemplified by the Prague Basin (Ordovician–Middle Devonian; Barrandian area – Central Bohemia). – *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 35, 7–48.
- HORNÝ, R. (1962): Das mittelböhmisches Silur. – *Geologie*, 11, 8, 873–916.
- CHLUPÁČ, I. (1992): Devon. In: CHLUPÁČ, I. et al.: *Paleozoikum Barrandienu (kambrium–devon)*, 148–198. – *Čes. geol. úst. Praha*.
- CHLUPÁČ, I. – KUKAL, Z. (1988): Possible global events and the stratigraphy of the Palaeozoic of the Barrandian (Cambrian–Middle Devonian, Czechoslovakia). – *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 43, 83–146.
- JAROŠ, J. – VACHTL, J. (1978): *Strukturní geologie obecná a systematická, I.* (Skripta). – Univ. Karl. Praha.
- KETTNER, R. (1941): *Všeobecná geologie I. Stavba zemské kůry*. – Melantrich, Praha.
- KETTNER, R. (1968): *Barrandova skála*. – Ústř. úst. geol. Praha.
- KŘÍŽ, J. (1992): Silur. In: CHLUPÁČ, I. et al.: *Paleozoikum Barrandienu (kambrium–devon)*, 117–148. – *Čes. geol. úst. Praha*.
- KŘÍŽ, J. (1999): *Geologické památky Prahy. Proterozoikum a starší prvohory*. – *Čes. geol. úst. Praha*.
- RÖHLICH, P. (2006): O takzvané polyteichové facii v bohdaleckém souvrství (ordovik, střední Čechy). – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2005*, 40–42.
- RÖHLICH, P. (2007a): Structure of the Prague Basin: the deformation diversity and its causes. (the Czech Republic). – *Bul. Geosci.*, 82, 2, 175–182.
- RÖHLICH, P. (2007b): Kde byl korálový útes ve zlíchovském souvrství středočeského devonu? – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2006*, 36–39.
- RÖHLICH, P. (2008): Skluzové textury v středočeském silurodevonu – ukazatel dynamiky mořského dna. – *Zpr. geol. Výzk. v Roce 2007*, 45–48.
- SVOBODA, J. – PRANTL, F. (1955): O stratigrafii a tektonice staršího paleozoika v širším okolí Karlštejna. – *Sbor. Ústř. Úst. geol., Odd. geol.*, 21, 1, 519–596.
- VORTISCH, W. (1941): Untermeerische Gleitung in  $e_{\gamma}$  ( $f_1$  Barrande) des Böhmisches Obersilurs. – *Zentralblatt Min. etc.*, Jg. 1941, Abt. B, 6, 161–182.