

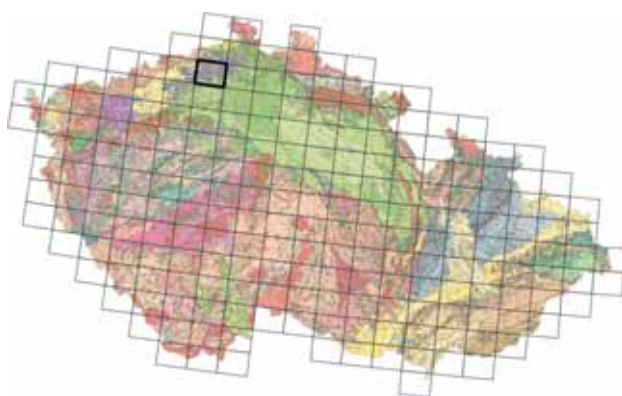
Kvartérní morfogeneze labského údolí ve střední části Českého středohoří: nová data z GIS analýz a relativního datování kamenitých akumulací a svahových depresí

Quaternary morphogenesis of the Elbe valley in central part of the České středohoří Mts.: new data from GIS analyses and relative dating of stony accumulations and slope depressions

PAVEL RAŠKA

Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, České mládeže 8, 400 96 Ústí nad Labem; pavel.raska@ujep.cz

(02-41 Ústí nad Labem)



Key words: morphotectonics, morphogenesis, Schmidt-hammer measurement, GIS analyses, gully erosion, České středohoří Mts.

Abstract: The paper presents results of research focused on the Quaternary evolution of the Elbe valley in central part of the České středohoří mountains. We used the GIS morphometric analyses, relative dating of stony (boulder and scree) accumulations and interpretation of shallow profiles and outcrops in gullies to detect the young tectonic activity in the area and its role in the development of the valley. The results show approximately 100 m vertical difference between the tops of the valley sides as well as differences in evolution stage of the left (younger) and the right (older) side of the Elbe valley. These differences are discussed in relation to fault structures, and the hypothesis of vertical tectonic movement is presented.

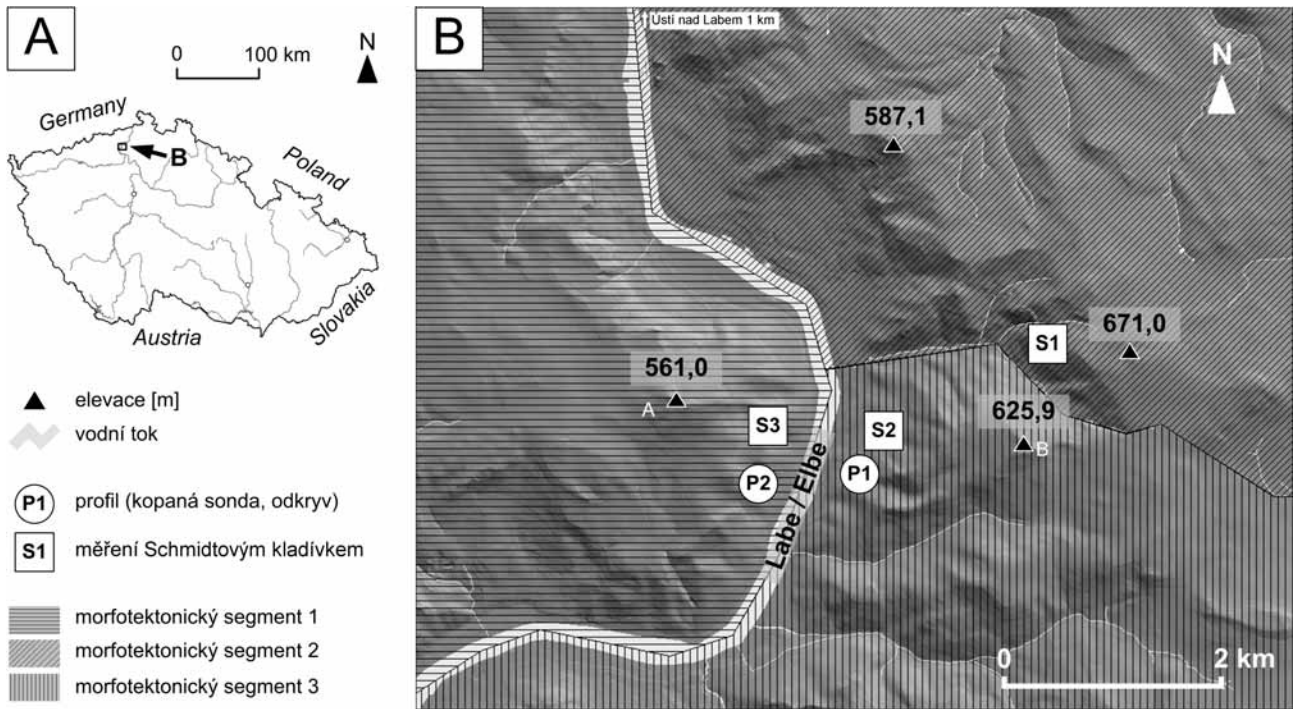
Postvulkanický vývoj Českého středohoří byl v minulosti častým tématem geologických i geomorfologických výzkumů (např. Moschelesová 1920, Král 1963, 1966, Němeček 1972). Tyto výzkumy mimo jiné ukázaly, že pro poznání morfogenetických procesů i pro jejich geochronologické zařazení má zásadní význam studium vývoje labského údolí. Geologické práce akcentovaly litostratigrafii, případně tektoniku (Cajz et al. 1999, 2004) a geomorfologické práce byly – vyjma komplexních regionálních studií (Váňa 1967, Němeček 1975) – zaměřeny na exogenní dynamiku (např. Rybář – Suchý 2000, Kirchner et al. 2007, Raška – Cajz 2007). V předkládaném příspěvku jsou shrnuty hlavní výsledky výzkumů, jejichž cílem bylo ověřit a specifikovat morfotektonické procesy a vlivy, které podmínily kvartérní vývoj labského údolí ve střední části Českého středohoří (obr. 1).

Výchozími body výzkumů byly jak morfoskulpturní variabilita horninově relativně homogenního území (Raška – Cajz 2007), tak regionální diference v charakteru postvulkanického zarovnaného povrchu, které dokladují tektonickou aktivitu v Českém středohoří. Problematiku centra vulkanické aktivity a jejích fází řešili Cajz et al. (1999, 2004). Na konci miocénu byl vulkanismus vystřídán obdobím denudace, jejímž výsledkem byl vznik postvulkanické (v dřívějších pracích počedičové) denudační úrovně. Její rozsah vymezila Moschelesová (1920) a Král (1966) řadí k této denudační úrovni svahy se sklonem 3–10°. Rozdíly v nadmořských výškách naznačují, že denudační úroveň byla tektonicky postižena. Vertikální posun je patrný ze schematického geologického profilu údolí, z něhož je zřejmé, že si protilehlé břehy neodpovídají výškově ani sledem hornin (obr. 2).

Postvulkanická tektonická aktivita probíhala s různou intenzitou. Dosavadní výzkumy naznačují, že k nejvýznamnějším pohybům došlo před mindelským glaciálem, neboť mindel I reprezentuje první kontinuálně vyvinutou terasu a v dalších obdobích již není vliv tektoniky na říční terasy prokazatelný (Král 1966, Balatka – Kalvoda 1995). Říční terasy jsou však v labském antecedentním údolí zachovány jen sporadicky a neumožňují rekonstrukci podélného profilu. V tomto příspěvku se opíráme o morfometrickou analýzu studovaného území, provedenou v geografických informačních systémech (GIS). Tato analýza přináší podrobné informace o míře zachování a diverzitě postvulkanické denudační úrovně. Druhým metodickým přístupem bylo relativní datování povrchových tvarů reliéfu (kamenité akumulace, strže, údolí) provedené na základě (a) tvrdoměrných zkoušek Schmidovým kladívkem, (b) interpretace kopaných sond a přirozených odkryvů a (c) analýzy podélných profilů subsekvenčních přítoků Labe. Cílem výzkumu bylo ověřit přítomnost předpokládaných zlomů a intenzitu pohybů, které byly vázány na tyto zlomy v období od svrchního miocénu.

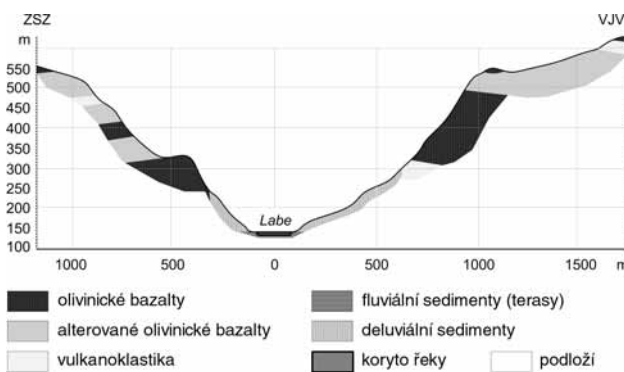
Morfometrické analýzy na základě doložených a předpokládaných zlomů

Rozdíly v nadmořské výšce a v míře zachování postvulkanické denudační úrovně a s nimi související asymetrie labského údolí byly kvantifikovány prostřednictvím analýzy vztahu nadmořských výšek a sklonů svahů v GIS. Sledované území bylo rozděleno do tří morfotektonických segmentů



Obr. 1. Studované území s prostorovým vyznačením rozsahu použitých metod.

(obr. 1). Vymezení morfotektonických segmentů 1 a 2 bylo provedeno na základě průběhu předpokládaných a doložených zlomů (Cajz et al. 2004). Hranice mezi morfotektonickými segmenty 2 a 3 sleduje morfologicky nápadné linie identifikované analýzou leteckých snímků a terénním průzkumem (Raška – Cajz 2007). Z digitálního modelu reliéfu vytvořeného z dat ZABAGED 1 : 10 000 (ČÚZK) v prostředí nadstavby 3d Analyst ESRI ArcView 3.2 byly odvozeny rastrové mapy sklonů a nadmořských výšek s 10m rozlišením. Téma sklonů rozdělených do třiceti kategorií a nadmořských výšek ve dvanácti kategoriích bylo poté sečteno v nadstavbě Spatial Analyst. Každá výsledná hodnota pixelu představuje jeden vztah konkrétního intervalu sklonu s intervalem nadmořské výšky. Výsledky jsou znázorněny na obr. 3, který ukazuje frekvenci těchto vztahů (unikátních kombinací) pro každý ze tří morfotektonických segmentů. V grafech jsou vyjádřeny výrazné rozdíly

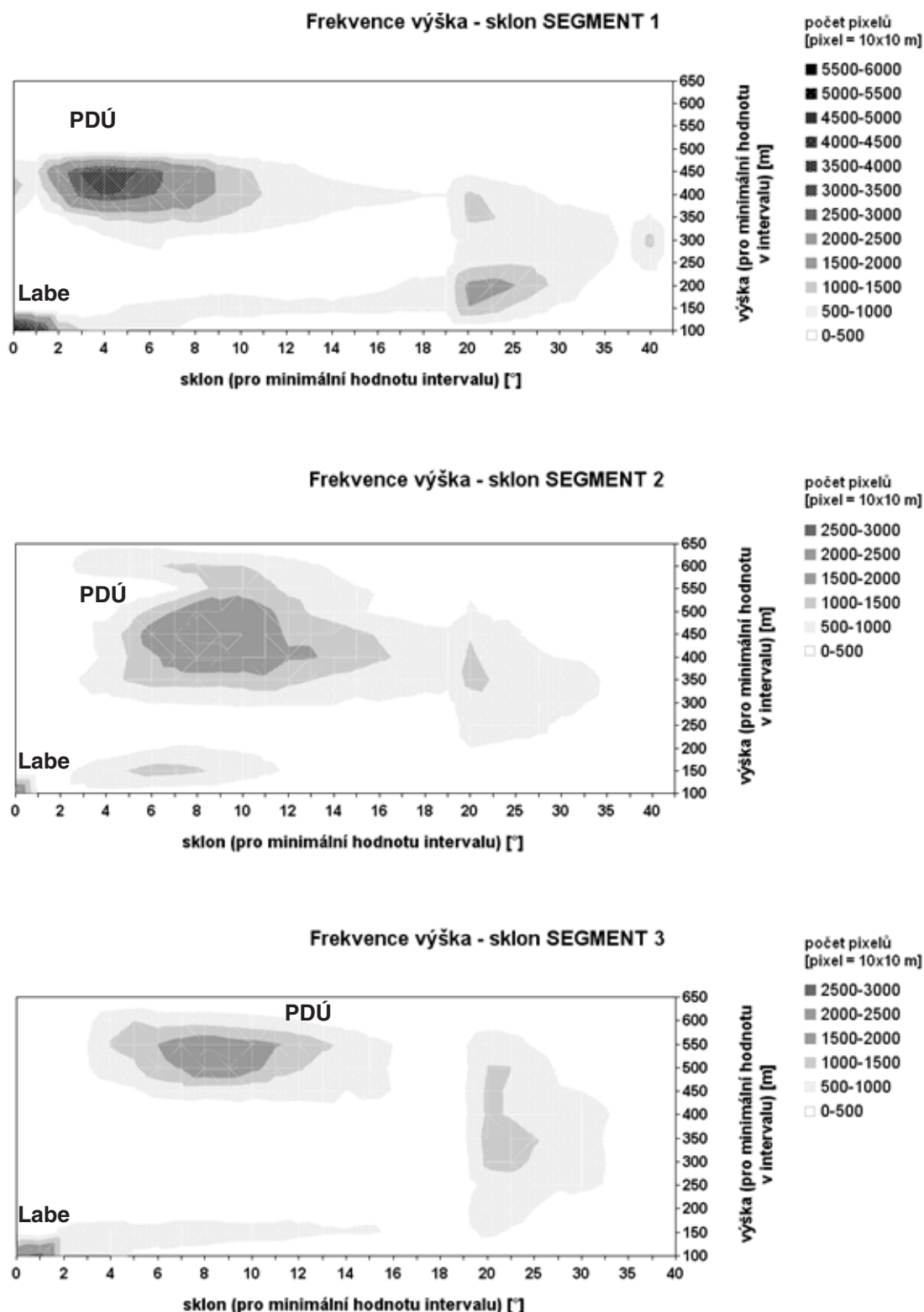


Obr. 2. Schematický geologický profil labského údolí mezi kótami A a B na obr. 1 (podklad: geologické mapování Cajz in Šebesta et al. 1997, profil vytvořený nástrojem Profile Extractor v ArcView GIS 3.2, data ZABAGED).

pro jednotlivé morfotektonické segmenty území. V prvním (západním) segmentu je zřejmá vysoká frekvence nízkých sklonů v nadmořských výškách přibližně 350–500 m. Reprezentuje kontinuálně zachovanou postvulkanickou denudační úroveň, nízké sklony ve výšce do 150 m (nejnižší labské terasy) a stupňovitý průběh svahu (sklony 20–25°). Tento svah je charakteristický střídáním skalních srubů na bazaltických horninách a mírnějších úseků na alterovaných olivinitických bazaltech a vulkanoklastikách.

V druhém (severovýchodním) segmentu je postvulkanická úroveň zachována nesouvisle v nadmořských výškách od 300 do 600 m, svahy jsou kontinuální s výjimkou výrazného stupně v nadmořské výšce 350–450 m. Tento stupeň tvoří zcela uzavřený prstenec okolo povodí Průčelského potoka. Třetí (jihovýchodní) morfotektonický segment je charakteristický kontinuální vysoko položenou denudační úrovní (500–600 m) a pozvolným průběhem svahů. Vezmeme-li v úvahu maximální dosah postvulkanické denudační úrovně, ukazují výsledky relativní výškový posun segmentu 1 a segmentů 2 a 3 o 100 m. Segmenty 2 a 3 jsou pak odlišeny jednak mírou rozrušení úrovně a jednak rozdíly ve výškovém rozsahu. Vliv tektonické aktivity na rozdíly mezi nadmořskou výškou s. a j. části povodí Průčelského potoka dokumentují také rozdíly v maximální nadmořské výšce báze vulkanického komplexu, které zde dosahují ca 30 m (Raška – Cajz 2007).

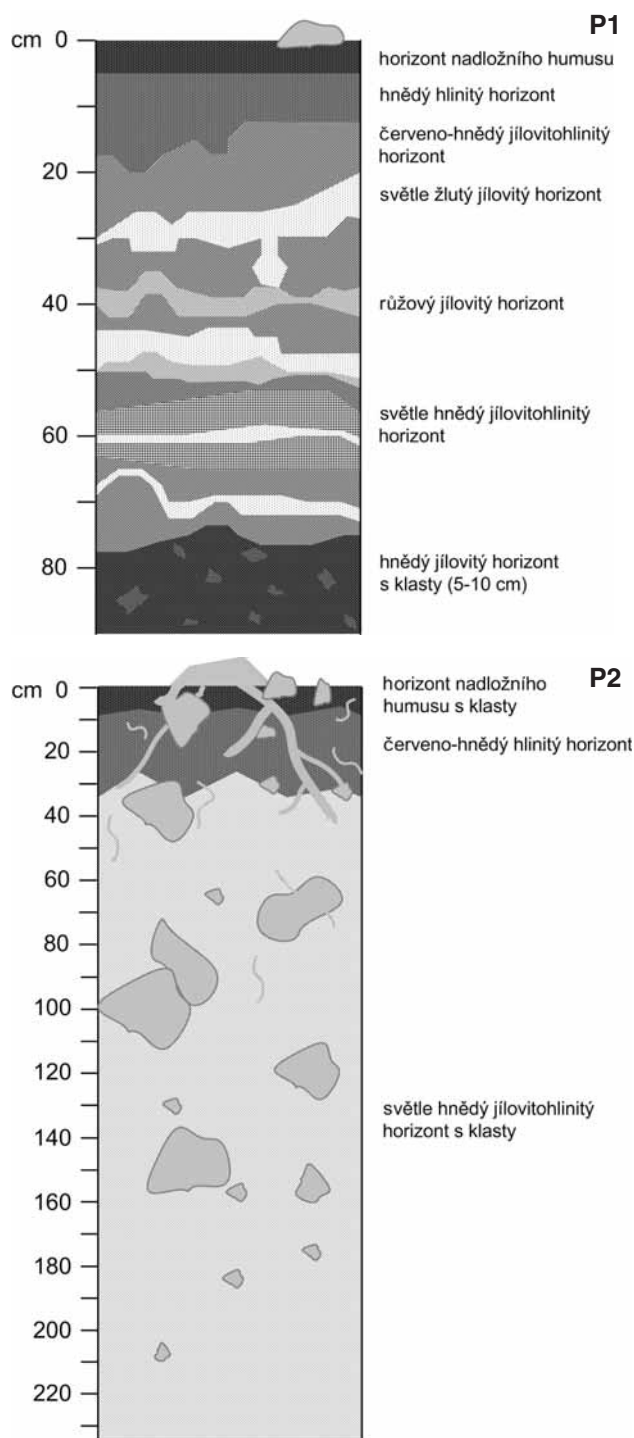
Předložené výsledky ukazují na vertikální posuny morfotektonických jednotek, které jsou vzájemně odděleny labským údolím, a na relativně mladší svahy při levém břehu Labe s vyššími sklony a výraznými skalními stupni. Proti těmto výsledkům by bylo možné vznést dvě podstatné námítky. První námítka se týká významu labských meandrů na zastoupení nárazových a nánosových břehů v modelovém



Obr. 3. Výsledky morfometrické analýzy vztahu nadmořské výšky a sklonu svahů ve třech zvolených morfotektonických segmentech (PDÚ – postvulkánní denudační úroveň).

území. Zastoupení obou typů břehů v jednotlivých morfotektonických segmentech je však v území téměř stejné. K největším morfometrickým rozdílům navíc dochází v rovných úsecích údolí, kde můžeme přímý vliv meandrů vyloučit. Druhou námitku je možné vztahovat k předjímání

výsledků díky prvotnímu vymezení morfotektonických segmentů podle doložených a předpokládaných zlomů v geologické mapě (především Cajz et al. 2004). Přestože vymezení sleduje tektonické linie a strukturálně podmíněné tvary povrchu, je samozřejmě subjektivní a odráží cíle



Obr. 4. Schematické profily: P1 – kopaná sonda, strž v Čertově jizbě; P2 – přirozený odkryv, strž v lokalitě Labské stráně.

výzkumu, který měl mj. ověřit přítomnost předpokládaných zlomů ve sledovaném území.

Relativní datování kamenitých akumulací, strží a údolí subsekvenčních přítoků Labe

Relativní datování kamenitých akumulací bylo provedeno tvrdoměrnými zkouškami s využitím Schmidtova kladívka

(typ NR). Kamenité akumulace jsou časté a z hlediska geneze i stáří variabilní typ forem reliéfu (Kirchner et al. 2007, Raška 2007). Analyzovali jsme dva soubory akumulací tvořených klasty bazaltických hornin. První soubor zahrnoval pět menších akumulací s nízkou pokrývností klastů a rozdílnou genezí (dočasně uklidněné sesuvy, sutové proudy atd.). Odskoková hodnota R (rebound value) vyjadřuje pevnost horniny v tlaku. Vyšší hodnota R pak naznačuje relativně kratší dobu vystavení horniny faktorům zvětrávání. První soubor kamenitých akumulací (odskoková hodnota se pohybuje mezi 61 a 65) byl uvažován jako referenční vzorek pro analýzu druhého souboru, tvořeného třemi rozsáhlejšími balvanitými akumulacemi (viz S1 až S3 na obr. 1). Nejnížší průměrná hodnota (nejstarší akumulace), tj. 52,62, byla dosažena v případě akumulace na pravém svahu labského údolí v Čertově jizbě v nadmořské výšce ca 300 m. Pro akumulaci v Průčelské rokli (pravý svah labského údolí) v nadmořské výšce 460 m činila průměrná hodnota 63,21, pro akumulaci pod Panenskou skálou (levý svah labského údolí) v nadmořské výšce 250 m pak 63,19.

Při pravém labském svahu klesá stáří akumulací se stoupající nadmořskou výškou, což odpovídá předpokladu zpětné eroze Průčelského potoka (Raška – Cajz 2007). Podstatnější je však zjištění, že na protilehlých svazích údolí v podobné nadmořské výšce (250 a 300 m) jsou vyvinuty akumulace různého stáří. Tento fakt ukazuje na asynchronní vývoj obou svahů. Přítomnost mladší akumulace na levém svahu údolí může být způsobena průběžnou tektonickou rejuvenací svahu v minulosti. Dlouhodobou denudací a vyšší stáří pravého svahu dokládá také přítomnost nebo absence skalních srubů nad kamenitými akumulacemi. Zatímco na pravém svahu údolí jsou sruby zachovány až nad nejvýše položenými akumulacemi (nad 400 m n. m.) a nejnížší akumulace se nachází v nadmořské výšce 266 m (Raška – Cajz 2007), na levém svahu jsou sruby zachovány i nad akumulacemi v nadmořských výškách okolo 250 m.

O nižším stáří levého svahu labského údolí svědčí také rozdíly v charakteru strží a permanentních či epizodických vodních toků. Ve strži na pravém labském svahu byl zdokumentován profil z kopané sondy, provedené v místě dílčí elevace v ose strže (obr. 4). Profil ukazuje výraznou stratifikaci dokládající periodickou změnu sedimentačního režimu, včetně zdroje materiálu. Podélný profil strže odpovídá typu „step-and-pool“, který je charakteristický pro vysokogradtové toky. Profil z kopané sondy tak spolu s podélným profilem strže podporují předpoklad dlouhodobého fluvialního vlivu (tj. starší deprese). Profil z přirozeného odkryvu na levém svahu údolí je tvořen převážně svahovými. Přítomnost suťového proudu přecházejícího turistickou stezkou a padlé stromy naznačují, že strž vznikla pravděpodobně náhlou událostí (mladší deprese).

Také analýza podélných profilů subsekvenčních labských přítoků dokládá rozdíly ve stáří obou labských břehů. Z výpočtu Langbeinova indexu konkávnosti (LCI) vyplývá, že až na výjimku potoka Rytina (LCI = 0,37) dosahují pravostranné přítoky Labe nižších hodnot (LCI = 0,10 až 0,19). Jejich profil je tedy vyrovnanější a odpovídá delšímu období vývoje. Hodnoty LCI u levostranných přítoků se pohybují v rozpětí 0,37–0,54. Jistým problémem výsledků je genetic-

ká různorodost analyzovaných toků (údolí). Analýza stupňů v podélných profilech však dokládá vertikální posun protilehlých svahů a rozdílnou výškovou pozici odolných bazaltických vrstev. Výškový rozdíl mezi nejnižší položenými stupni na protilehlých svazích je 100 až 150 m.

Období vzniku tvarů, u nichž bylo provedeno relativní datování (kamenité akumulace), je podle současných studií řazeno do konce posledního glaciálu (např. Kirchner et al. 2007), kdy bylo území pod vlivem periglaciálního klimatu. S nižší intenzitou se pak tyto tvary vyvíjejí až do současnosti (Raška 2007). Studované tvary jsou rozmístěny na protilehlých svazích údolí, které zde sleduje převážně s.-j. směr. Proto je možné vyloučit vliv expozičního klimatu na vývoj studovaných tvarů a zjištěné rozdíly ukazují na strukturní (tektonickou) podmíněnost.

Pro vývoj údolí je možné zvažovat také vliv migrace koryta Labe v období od svrchního miocénu směrem od V k Z, kde se zastavilo na zlomovém pásmu. Tato možnost však neodpovídají dřívější zjištění o vývoji Průčelského potoka zpětnou erozí, počínající již přibližně v pozici současného labského údolí (Raška – Cajz 2007). Zmlazování levého labského svahu vlivem migrace koryta by navíc mělo být zmírněno pravostranným pohybem podél Vaňovského zlomu, tedy ústupem příslušné tektonické kry směrem na západ (Cajz et al. 2004).

Diskuse a závěry

Provedený výzkum potvrzuje tektonickou aktivitu v postvulkanické fázi vývoje sledované části Českého středohoří. Použitý metodický přístup byl zaměřen především na studium vertikálních posunů, které zde podle prezentovaných zjištění dosáhly v období od svrchního miocénu přibližně 100 m. Průběh labského údolí je podmíněn zlomem, který v této tektonické aktivitě hrál významnou roli. Také u dalších forem reliéfu (skalních srubů, údolí, skalních hřbetů ad.) se projevuje strukturní (litologická a tektonická) predispozice sledující zvláště labský směr SZ-JV (např. údolí horního toku Průčelského potoka a skalní sruby na jeho pravém svahu). Tektonická aktivita přitom s různou intenzitou pokračovala v průběhu kvartéru, což dokládá asynchronní vývoj kamenitých akumulací nacházejících se v přibližně stejné výšce na protilehlých svazích údolí. Výsledky také ukazují na nižší stáří levého svahu labského údolí, které je doloženo nevyrovnanými podélnými profily vodních toků (údolí) a přítomností mladých forem reliéfu. Předpoklad průběžné dlouhodobé rejuvenace levého svahu podporují ze zmíněných forem reliéfu zvláště strže a sesuvy (např. mladý sesuv Čertovka nebo další fosilní sesuvy na Vaňově). Levý svah labského údolí ve sledovaném území náleží jiné tektonické kře než území na jeho pravé straně. Přesný průběh rozhraní však nelze s jistotou určit a je možné, že kra levé strany údolí zahrnuje také koryto Labe a

část pravostranných svahů údolí. Na severu je tektonická kra ohraničena Vaňovským zlomem s doloženým pravostranným pohybem (Cajz et al. 2004). Severně od Vaňovského zlomu je báze sedimentů mezozoika a sled vulkanických hornin na protilehlých svazích zachován souvisle (Cajz in Šebesta et al. 1997) a vertikální pohyby podél labského průlomu zde nejsou prokazatelné.

Uvedená zjištění umožnila identifikovat relativní rozsah tektonických pohybů. Přes prokazatelně nižší stáří levého labského svahu, které ukazuje na pohyby právě na levé straně údolí, však absolutní rozsah vertikálních tektonických pohybů (směry a mocnost pohybů) není prozatím možné určit. Důvodem je především kombinovaný charakter pohybů a změny jejich směrů v minulosti a nedostatečné zachování povrchových tvarů, které by bylo možné datovat (např. říční terasy).

Poděkování. Autor děkuje oběma recenzentům za připomínky, které výrazně pomohly zkvalitnění textu. Poděkování patří také RNDr. Vladimíru Cajzovi, CSc., z Geologického ústavu AV ČR, v. v. i., za přínosné diskuse k řešené problematice. Příspěvek vznikl s podporou projektu IGA UJEP.

Literatura

- BALATKA, B. – KALVODA, J. (1995): Vývoj údolí Labe v Děčínské vrchovině. – Sbor. Čes. geogr. Společ. 100, 3, 173–192.
- CAJZ, V. (1997): Nebezpečí svahových pohybů v údolí Labe okr. Ústí n. Labem. In: ŠEBESTA, J. et al.: Závěrečná zpráva PPŽP/630/1/97. – MS Čes. geol. služba, Praha.
- CAJZ, V. – ADAMOVIČ, J. – RAPPRICH, V. – VALIGURSKÝ, L. (2004): Newly identified faults inside the volcanic complex of the České středohoří Mts., Ohře/Eger Graben, North Bohemia. – Acta Geodyn. Geomater. 1, 2 (134), 213–222.
- CAJZ, V. – VOKURKA, K. – BALOGH, K. – LANG, M. – ULRYCH, J. (1999): The České Středohoří Mts.: Volcanostratigraphy and Geochemistry. – GeoLines 9, 21–28.
- KIRCHNER, K. – MAČKA, Z. – ČÍLEK, V. (2007): Scree and blocky formations in Northern and Central Bohemia: Geologic and geomorphologic development. – Acta geogr. Silesiana 2, 19–26.
- KRÁL, V. (1963): Ke geomorfologii labského údolí v Českém středohoří. – Sbor. Čes. Společ. zeměp. 68, 61–63.
- KRÁL, V. (1966): Geomorfologie střední části Českého středohoří. – Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd 78, 9, 1–65.
- MOSCHELESOVÁ, J. (1920): Das Böhmisches Mittelgebirge, eine Morphologische Skizze. – Kartograph. schulgeograph. Z. 8, 104–111.
- NĚMEČEK, V. (1972): České středohoří jako geomorfologický tvar. – Sbor. Pedagog. Fak. Ústí nad Labem, Ř. zeměpis., 105–112.
- NĚMEČEK, V. (1975): Ke geomorfologii západní části Českého středohoří. – Sbor. Čes. Společ. zeměp. 80, 261–269.
- RAŠKA, P. (2007): Comments on the recent dynamics of scree slopes in the Czech Middle Mountains. – Geomorph. Slovaca Bohemica, 1, 43–49.
- RAŠKA, P. – CAJZ, V. (2007): Formy zvětrávání skalního podloží v Průčelské roklí a Čertově jizbě v Českém středohoří. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2007, 109–112.
- RYBÁŘ, J. – SUCHÝ, J. (2000): The influence of climate on the České Středohoří Mts. slope deformations – data analysis since the 18th Century. – GeoLines, 11, 69–72.
- VÁŇA, L. (1967): Geomorfologické poměry úštěcké části Českého středohoří. – Sbor. Čes. Společ. zeměp. 72, 202–213.