

GEOMORFOLOGICKÝ VÝVOJ ZEMSKÉ BRÁNY V ORLICKÝCH HORÁCH

Geomorphological evolution of the Zemská brána area, Orlické hory mountains

Eva VANÍČKOVÁ

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 01 Praha 2, e-mail: vanickova.eva@centrum.cz (kontaktní adresa: Orlice 53, 561 51 Letohrad, tel. 465 635 790, 608 638 530)

Geomorphological analysis suggests that the Canon shaped valley of the Divoká Orlice river in the southern part of the Orlické hory mountains (in the Zemská brána area) is both epigenetic and of antecedent origin. The findings of morphostructural and climate-morphogenetic features of the relief make it possible to ascertain the main stages of the geomorphological evolution of the Zemská brána area in the Late Cainozoic. It varied landforms originated by denudation and erosion, but they have conspicuous features of morphostructural and neotectonic patterns.

Key words: geomorphology, geomorphological evolution, Divoká Orlice river, Zemská brána area, Orlické hory mountains

Oblast Zemské brány je právem řazena mezi přírodní fenomény Orlických hor. Geografickou osou oblasti je hluboce zařiznuté a sevřené údolí Divoké Orlice, které zde příčně protíná hřbet Orlických hor. Název oblasti podtrhuje především její poloha na česko-polském pomezí. Poloha oblasti a specifické mikroklimatické podmínky zde umožnily vytvořit jedinečně modelovaný reliéf a zázemí pro řadu zajímavých rostlinných a živočišných druhů. Území bylo pro svoji vysokou krajinářskou hodnotu v roce 1987 vyhlášeno přírodní rezervací. Příspěvek předkládá závěry podrobného geomorfologického výzkumu, který probíhal v letech 2003–2004 v rámci výzkumného záměru PFF UK v Praze jako součást pokračování regionálního výzkumu Orlických hor, při řešení úkolů pro projekt Výzkumného centra dynamiky Země. Cílem výzkumu bylo stanovit hlavní etapy geomorfologického vývoje této oblasti Orlických hor v kenozoiku, a to s důrazem na kaňonovité údolí Divoké Orlice. Současný reliéf oblasti Zemské brány je výsledkem integrace neotektonického vývoje a proměnlivých exogenních procesů v mladším kenozoiku. Geomorfologický výzkum dále dokládá, že kaňonovité údolí Divoké Orlice je epigenetického a antecedentního původu.

1. Úvod

Oblast označovaná jako Zemská brána (REŽNÝ 1979) se nachází v jižní části Orlických hor při státní hranici s Polskou republikou, v podcelku Mladkovské vrchoviny a Žambercké pahorkatiny (CZUDEK et al. 1972). Území o ploše přes 20 km² bylo vybráno pro jeho zajímavou orografickou polohu na okraji Českého masívu a složitou paleogeografickou historii této části severovýchodních Čech. Vývoj reliéfu této oblasti byl ovlivněn jak morfostrukturními poměry a neotektonickými procesy, tak sekulárními změnami klimato-morfogenetických procesů. Přestože je údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské pokládáno za vzácný příklad epigeneze a antecedence, byla fyzická geografie a geomorfologie tohoto území dosud věnována poměrně malá pozornost.

Studované území je součástí krystalinika orlicko-kladské klenby s komplexem metamorfovaných hornin, který je na SV a V omezen svrchnokřídovými sedimenty kladského prolomu a na JZ krystalinikem zábřežské série (MÍSAŘ 1983). Území má poměrně jednoduchou vrásovou stavbu s projevy mladší zlomové tektoniky. V jádrech antiklinálních struktur vystupují (orto)ruly a migmatity, v synklinálách se naopak zachovala nadložní obalová série svorů a pararul (PRAČLÍK, ZÁLIŠ et al. 1967).

Geografickou osou studované oblasti je hluboce zaříznuté kaňonovité údolí Divoké Orlice, které příčně protíná elevaci Orlických hor (obr. 1). Divoká Orlice nad Zemskou bránou má směry SZ–JV a S–J a sleduje tak hlavní strukturní směr kry Orlických hor. Tento **směr toku** k J a JV řeka v **oblasti Zemské brány náhle mění do směru SV–JZ** a po překonání antiklinální elevace jádra orlicko-kladské klenby v Orlických horách se opět vrací do směru S–J.



Obr. 1: Pohled na oblast Zemské brány s kaňonovitým údolím Divoké Orlice ve směru k SV ke státní hranici s Polskem (Foto E.Vaničková).

Fig. 1: View of canyon-shaped of the river Divoká Orlice in the Zemská brána area in direction N–W to the Czech-Poland border. (Photo by E. Vaničková).

Území horního toku Divoké Orlice a zejména jeho údolí v úseku, kde protíná antiklinálu Orlických hor (tedy v tzv. Zemské bráně), je dosud poměrně málo prozkoumáno. V literatuře je hodnoceno především z pohledu přírodovědného a krajinářského. Oblasti Zemské brány věnovali pozornost zejména REŽNÝ (1975, 1976, 1979) a VÍTEK (1975, 1991a, 1991b, 1994, 2000). Jedná se především o popisy geologických a geomorfologických specifik území a o geologicko-geomorfologickou inventarizaci skalních tvarů, kryogenního reliéfu apod. Studie zaměřené na vývoj říčních údolí se soustředily zejména na dolní a střední tok Divoké Orlice (BALATKA, SLÁDEK 1965) a střednímu toku Divoké

Orlice se věnovala také VAVŘÍNOVÁ (1942, 1946). Oblast Zemské brány je také zmiňována ve studiích geomorfologických poměrů podstatně širšího území (DEMEK et al. 1965, DEMEK, KOPECKÝ 1995).

Vznik a vývoj údolí Divoké Orlice popsal nejdříve REŽNÝ (1975, in: ROČEK et al. 1977), jehož názory jsou přejímány dodnes (např. VÍTEK 1991b, 1994, DEMEK, KOPECKÝ, VÍTEK 1997). V oblasti Zemské brány je toto údolí v literatuře označováno jako **průlomové** (SLÁDEK in: DEMEK et al. 1965, REŽNÝ 1975, 1976, 1979, VÍTEK 1991a, 1991b, 1994, 2000, DEMEK, KOPECKÝ 1995). Pojem průlomu je chápán jako hluboký údolní zářez, příčně protínající morfostrukturní elevaci. V případě kaňonovitého údolí Tiché Orlice je průlomové údolí dáváno do souvislosti se zlomovým pásmem (ŽATEČKA 1996, DEMEK, KOPECKÝ, VÍTEK 1997). Například průlomové údolí Tiché Orlice mezi Lichkovem a Mladkovem je pokládáno za prolom, vázaný na lichkovský zlom Z–V směru. REŽNÝ (1976) upozornil na umístění „průlomových“ údolí Divoké i Tiché Orlice v nižších morfostrukturních krátech oblasti. Existenci nižších ker dokládají kromě výškové polohy také v jejich prostoru zachované reliktky křídových sedimentů. Vznik studované části údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány byl umožněn jednak prohybem Orlických hor a jednak jejich původním pokryvem sedimenty křídového stáří.

2. Metodika výzkumu

Geomorfologie studované oblasti byla zkoumána podle zjištěných povrchových tvarů reliéfu a jejich vztahu ke geologické stavbě a klimatomorfogenetickým procesům. Byla vytvořena podrobná geomorfologická mapa v měřítku 1:10 000 (obr. 2) a popisy dokumentačních bodů (VANIČKOVÁ 2005). Dále byla provedena morfostrukturní analýza puklin a zlomové tektoniky, na které navazovala analýza údolní soustavy. Analýza údolní sítě spočívala v konstrukci podélných a příčných profilů údolím Divoké Orlice, které byly interpretovány se snahou podrobněji poznat tektonickou predispozici údolí a jeho vztahy k aktivní i pasivní morfostruktúře.

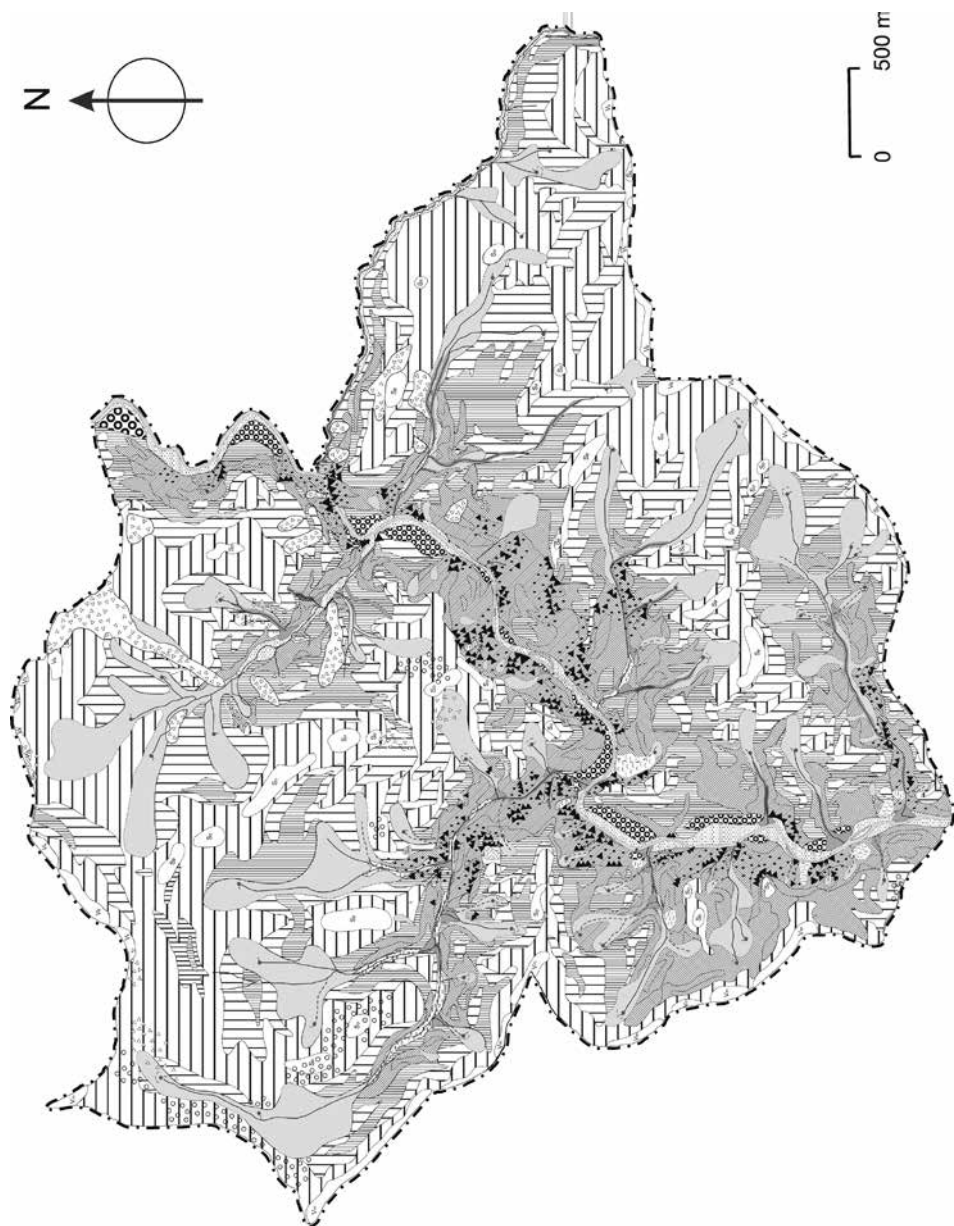
Výsledky geomorfologické analýzy byly porovnány s dosud publikovanými poznatky o paleogeografické historii Orlických hor a jejich přilehlých oblastí. To umožnilo identifikovat hlavní rysy a etapy geomorfologického vývoje studovaného území Zemské brány a charakterizovat typy a intenzitu současných geomorfologických procesů a jevů. Byly popsány hlavní etapy geomorfologického vývoje oblasti Zemské brány se zaměřením na kaňonovité údolí Divoké Orlice.

3. Výsledky výzkumu

3.1. Puklinová analýza

Puklinová měření v jádru orlicko-kladské klenby potvrdila hlavní směry pasivní morfostruktury. Ve sledované oblasti dominují dva na sebe kolmé směry, a to směr S–J (assyntský) a V–Z. Assyntský směr zlomu je spjat se vznikem mohutné orlicko-kladské klenby (PAUK 1932) a směr V–Z vznikl v průběhu variské orogeneze (SVOBODA et al. 1961).

V diagramech puklinových měření jsou nápadné rozdíly mezi lokalitami pravého a levého břehu Divoké Orlice (obr. 3). Puklinové diagramy lokalit při pravém břehu řeky představují jednoduché růžice o 2 hlavních na sebe kolmých směrech, zatímco puklinové diagramy při levém břehu jsou podstatně složitější. Skalní útvary nad pravými břehy Divoké Orlice mají podobu jednoduše členěných skalních výchozů, se vznikem kvádrotvých skalních tvarů a blokovým rozpadem. Naopak skalní útvary v prostoru levého břehu této řeky jsou členité a lámavé, s četnými výstupky, pilíři a převisy. Jedná se o morfostrukturní projevy výskytu zlomové zóny.



LEGENDA MAPY :

STRUKTURNÍ (ENDOGENNÍ) TVARY RELIÉFU

strukturu plošiny a mírně ukloněné svahy o sklonu do 5°

skalnaté hřbety, nízký suk

EXOGENNÍ TVARY RELIÉFU

I. Erozně-denudační tvary reliéfu

a. fluvilální tvary

erozní rýhy, koryta vodních toků, a - síťlá, b - občasné

výrazné erozní rýhy, bačky

sráže (ovrasy)

stupně a skalní prahy v řečišti

opuštěná koryta, mrtvá ramena

prameništa, pramenité míčky

b. gravitační tvary

sesuvy, odřehy (odlúčná plocha sesuvu)

c. kryogenní tvary

mrazové sruby, izolované svahy typu tar (svahové tar)

skalní stěny mrazově kryoergenními procesy

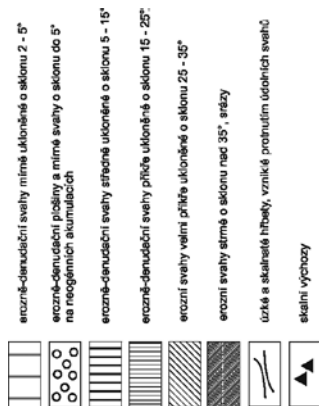
úpaty (údelí typu dělení)

d. polygenetické tvary

erozně-denudační plošiny a velmi mírné svahy o sklonu 0 - 2°
vchlové, k - krystalinikum, m - mezozoikum

erozně-denudační plošiny a velmi mírné svahy o sklonu 0 - 2°
sedové, k - krystalinikum, m - mezozoikum

erozně-denudační plošiny a velmi mírné svahy o sklonu 0 - 2°
svahové, lz, spodinky na svahu



II. Akumulační tvary reliéfu

a. fluvilální tvary

údelní níže (áluvium, holodenní akumulace)

fluvilní sedimenty říčních teras (ploštobůn)

dejekční (vyplevový) kužel

fluvilní ostrovy, šlátkové lavice

b. gravitační tvary

suklé, surové haldy, lokality skalního fiocni

a - mezozoikum, b - krystalinikum

sesuvy

c. kryogenní tvary

kamenité moře, hrší písečné balvanů

balvanový proud

hranice studovaného území (Zemská brána)

řeka Divoká Orlice



Obr. 2: Geomorfologická mapa oblasti Zemské brány (v původním měřítku 1:10 000) (Vaničková, 2005).
Fig. 2: Geomorphological map of the Zemská brána area (Vaničková, 2005).

LEGEND OF MAP :







STRUCTURAL (ENDOGENETICAL) LANDFORMS

-  structural plateaus and gentle slopes (gradient of slope 0 - 5°)
-  structural ridges, rocky ridges

EXOGENETICAL LANDFORMS

I. Erosion-denudational landforms

a. fluvial landforms

-  erosion furrows, channels (a - constant, b - occasionally)
-  small "V" shaped valley, (considerable) erosion furrows
-  gully
-  rock steps in the river-bed, rock bars
-  oxbow lake
-  spring




b. gravitational landforms









-  landslides (slope breaking, scar of landslide)

c. cryogenical landforms

-  frost river scarps, tors (residual rocks)
-  rock walls (ledge) formed by cryogenic weathering
-  dells





d. polygenetical landforms

-  erosion-denudational plateaus and very gently slopes, gradient of slope 0 - 2° (denudational slope) - plateaus of peak (k - crystalline, m - mezozoic)
-  erosion-denudational platforms and very gently slopes, gradient of slope 0 - 2° (denudational slope) - plateaus of saddle (k - crystalline, m - mezozoic)
-  erosion-denudational plateaus and very gently slopes, gradient of slope 0 - 2° (denudational slope) - plateaus of slope (k - crystalline, m - mezozoic)



-  erosion-denudational gentle slopes (erosional slopes), gradient of slope 2 - 5°
-  Neogene fluvial accumulations (Neogene gravels), gradient of slope max. 5°
-  erosion-denudational middle slopes (erosional slopes), gradient of slope 5 - 15°
-  erosion-denudational steep slopes (erosional slopes), gradient of slope 15 - 25°
-  erosion-denudational very steep slopes (erosional slopes), gradient of slope 25 - 35°
-  erosional slopes, gradient of slope more than 35°, rock wall (precipice)
-  narrow rock ridges intersected valley-slopes
-  rock outcrops

II. Akumulational landforms





a. fluvial landforms

-  floodplain (floodplain)
-  river terraces (Pleistocene)
-  alluvial fan
-  fluvial islands and gravel banks

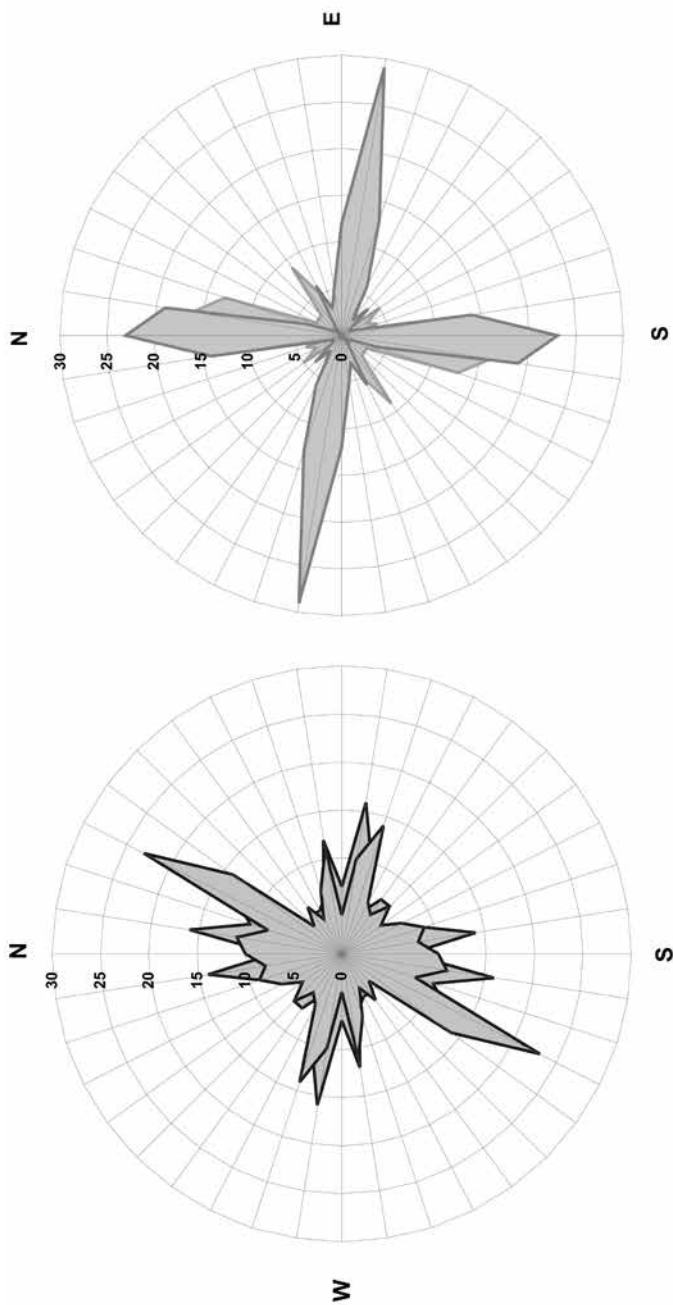
b. gravitational landforms

-  talus, talus dump and field, rockfall
-  landslides (landslides columnum)

c. cryogenical landforms

-  stone (block) fields
-  block (stone) streams
-  boundary of the area under study (studie area Zemetská brána)
-  Dvůrká Otava river

Obř. 2: Geomorfologická mapa oblasti Zemské brány (v původním měřítku 1:10 000) (Vaničková, 2005) – pokračování.
Fig.2: Geomorphological map of the Zemská brána area (Vaničková, 2005) – continue.



Obr. 3: Četnost směrů puklinových ploch lokalit levého a pravého břehu Divoké Orlice v oblasti Zemské brány (v gradech) (Vaničková, 2005).

Fig. 3: The frequency of crack directions (grad) of localities on the left and right riverside of the Divoká Orlice river (Vaničková, 2005).

3.2. Analýza zlomových struktur

Výsledkem analýzy zlomových struktur je především tektonická skica oblasti Zemské brány v měřítku 1:25 000 (obr. 4). Studovaným územím probíhá několik zlomových linií s různými morfologickými projevy. Tektonické porušení se projevuje jak podélnými dislokacemi, paralelními s hlavní regionální strukturou antiklinály Orlických hor, tak příčnými (případně diagonálními) dislokacemi, které jsou zhruba kolmé k hlavnímu hřbetu Orlických hor. Příčné dislokace směru SV–J vznikaly pravděpodobně při kaledonské orogenezi (BUDAY, KODYM et al. 1961) a podélné dislokace směru SZ–JV byly vytvořeny až v průběhu saxonské fáze alpské orogeneze.

Hlavní směry zlomových linií oblasti Zemské brány jsou směr sudetský SZ–JV a směr (mlado)kaledonský SV–JZ (obr. 4). Zlomové struktury studovaného území jsou vázány především na rozhraní jaderné a obalové jednotky orlicko-kladské klenby (FAJST 1974). Nejrozsáhlejší poruchovou zónou v oblasti Zemské brány, která prochází středem studované oblasti, je systém dvou paralelních podélných zlomů SZ–JV směru (viz obr. 4, pod čísly 1, 23), které tvoří ono rozhraní jádra a obalu orlicko-kladské klenby. Severovýchodní omezení tohoto pásma má charakter násunového zlomu (ČECH 1996). Tektonicky vymezeny jsou i výskyty svrchnokřídových sedimentů v s. a sv. části studovaného území. Dislokace na J jsou součástí mohutné příčné poruchy pastvinské flexury (FAJST 1974). Jedná se o rozsáhlé poruchové pásmo příčných zlomů (MATĚJKA 1925), které protíná zejména východní část údolní soustavy Divoké Orlice.

Výsledky analýzy zlomové tektoniky dokládají, že současný reliéf studované oblasti má morfostrukturní rysy krystalinika orlicko-kladské klenby, které jsou důsledkem zejména poslední fáze saxonské tektoniky. Nejvýrazněji se projevují právě zlomové linie sudetského směru (SZ–JV). Na zlomových zónách vznikl členitý reliéf se strmými svahy, často s obnaženým skalním podkladem či skalnatými hřbítky.

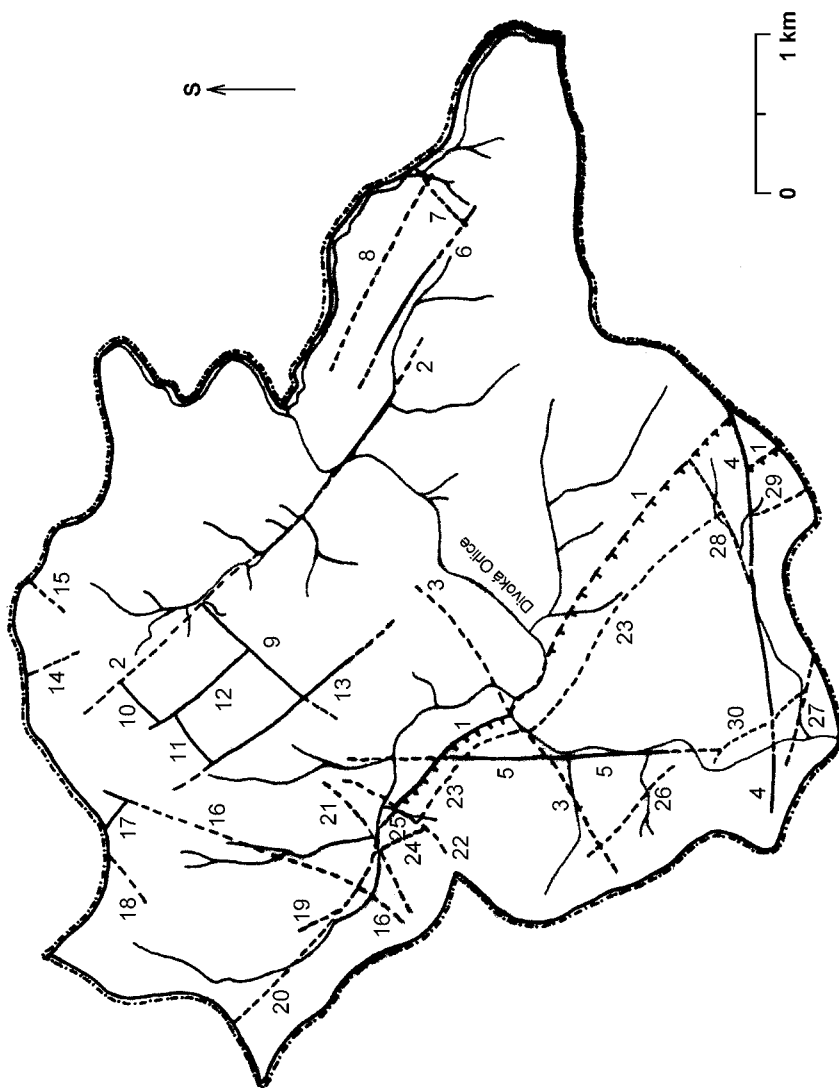
3.3. Analýza údolní soustavy

Pro stanovení vztahů tvarů reliéfu údolního systému ke zlomovým a puklinovým strukturám byla využita především morfografická metoda podélných a příčných profilů.

Vodní toky v oblasti Zemské brány vytvářejí nepravidelnou říční síť, a to s převahou poledníkových směrů nad směry rovnoběžkovými. Poledníkový směr lze vzhledem k zjištěným lokalitám reliktů neogenních říčních štěrků pokládat za starší. V půdorysu říční sítě se však významně uplatňují diagonální směry SZ–JV a SV–JZ. Divoká Orlice je ve studovaném území charakteristická četnými změnami směru toku s ostrými až pravouhlými zákruty. Tyto nedokonalé zakleslé zákruty (VÍTEK 1994) se vyskytují pouze v odolných horninách krystalinika orlicko-kladské klenby a souvisejí s průběhem zlomových linií především sudetského směru.

Divoká Orlice má ve sledovaném úseku (0–53 říčního km) průměrný spád cca 6,23 ‰. Její spádová křivka vykazuje několik výrazných stupňů a je často schodovitě lomená. Mezi jednotlivými stupni zvýšeného spádu řeka udržuje spád cca 6 ‰. Úseky zvýšeného spádu se vyskytují v různých částech řeky, a to zejména v souvislosti s průběhem zlomových linií kolmých ke směru toku (např. zlomová linie „U Pašerácké lávky“, viz obr. 4, pod č. 2).

Podélný profil Divoké Orlice v oblasti Zemské brány dokumentuje dvě významná pásma hloubkové eroze, která odpovídají oblastem zvýšeného spádu. Jedná se o soutěsku Divoké Orlice u kamenného mostu při polské hranici (na počátku „prolomu“, viz foto 4) a o údolí Divoké Orlice v centrální části orlickohorské megaantiklinály mezi 2 zlomovými liniemi sudetského směru (37–37,5 říčního km, viz obr. 4, pod č. 1, 2). Divoká Orlice má v tomto úseku až dvojnásobek průměrného spádu (15 ‰), zachovává však hlavní směr napříč klenbou Orlických hor.



Obr. 4: Tektonická skica oblasti Zemské brány (v původním měřítku 1:25 000), sestaveno podle Čučové (1990), ČECHA (1996), FAJSTA (1979), MATĚJKY (1925), OPLETALA (1959) a ŽIŽKOVSKÉHO (1968) (Vaničková, 2005).

Fig. 4: Tectonic sketch of the Zemská brána area (Vaničková, 2005).

Významnou hloubkovou a zpětnou erozi dokládají také údolí hlavních přítoků Divoké Orlice v této oblasti, která mají na dolních tocích hluboké a sevřené příčné profily. Analýzou příčných údolních profilů bylo možné ve sledovaném úseku Divoké Orlice mezi 0–65 říčním km zjistit nejméně pět dílčích úseků s charakteristickým údolním profilem. Oblast Zemské brány zaujímá třetí a zčásti čtvrtý úsek se sevřenými údolními profily o průměrné relativní hloubce 90 m (VANIČKOVÁ 2005) (obr. 6).

Vítek (1991a) označuje údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány jako **kaňonovitou soutěsku**. Vznik soutěsky a peřejí je podle REŽNĚHO (1975) podmíněn mimořádnou odolností migmatitů (intenzivně provrásněných a bohatě prosycených živcovými a křemennými žilkami) k říční erozi. Divoká Orlice v Zemské bráně navíc proráží příčně jak hřbet Orlických hor, tak hlavní směr (SV–JZ) břidličnatosti migmatitů (REŽNÝ 1975). V souvislosti s průlomovým údolím je zdůrazňována zejména výrazná změna směru toku z původně SZ–JV na SV–JZ, a rovněž zvýšený spád (např. VÍTEK 1994). U Nekoře Divoká Orlice krystalinikum opouští, a mění ostře směr odvodňování z cca S–J na Z–V. Horní tok Divoké Orlice (od pramene po Zemskou bránu) tedy sleduje původní směr úklonu hlavní kry krystalinika Orlických hor (SSZ–JJV), zatímco střední a dolní část povodí této řeky má výraznou tendenci odvodňování k západu.

Interpretace analýzy směrů údolní sítě ve vztahu ke geologické stavbě potvrdila rozdělení území Zemské brány na dvě specifické oblasti, jejichž styčnou hranici je poruchové pásmo násunového zlomu o směru SZ–JV. Tato morfoftektonická zóna probíhá středem studovaného území mezi jádrem a obalovou jednotkou orlicko-kladské klenby:

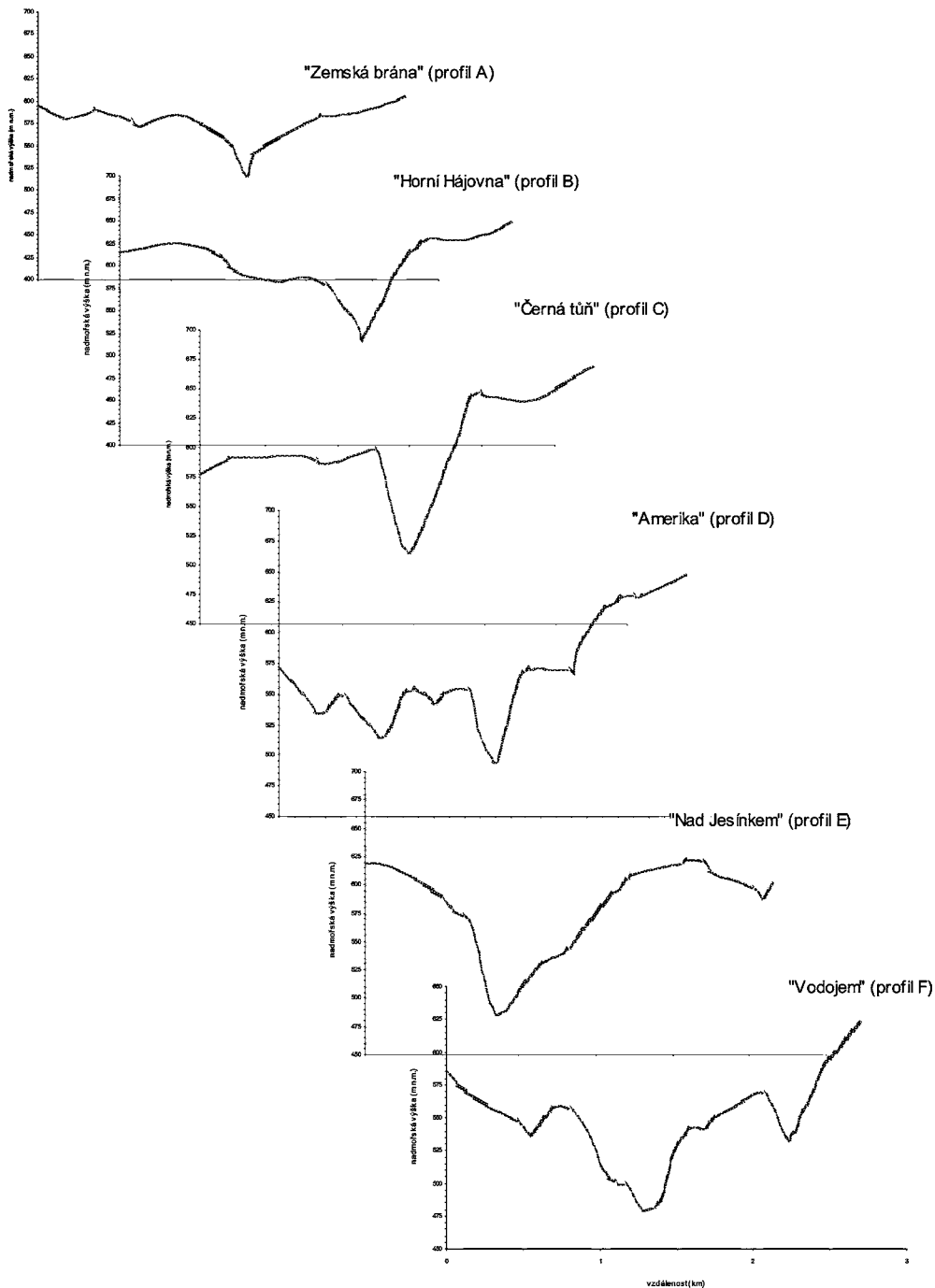
1/ oblast na S a SV od poruchového pásma (jádro orlicko-kladské klenby)

Hlavním směrem údolí Divoké Orlice je kaledonský směr SV–JZ, údolí přítoků zde zachovávají sudetský směr SZ–JV. Údolí Divoké Orlice, vytvořené v krystaliniku jádra orlicko-kladské klenby, sleduje také směry SZ–JV a V–Z. Divoká Orlice udržuje nad lokalitou Zemské brány zhruba průběh SZ–JV, klenbu Orlických hor však proráží ve směru SV–JZ.

2/ oblast na J a JZ od poruchového pásma (obalová jednotka orlicko-kladské klenby)

Hlavním směrem údolí Divoké Orlice je zde assyntský směr S–J a v případě přítoků této řeky také variský směr V–Z.

V říční síti studovaného území dominují především směry SZ–JV (27 %), SV–JZ (18 %), Z–V (14 %) a S–J (13 %). Sudetský (SZ–JV) a kaledonský (SV–JZ) směr je sledován především vodními toky v prostoru jádra orlicko-kladské klenby, tedy v sv. a střední části mapované oblasti. Směry variské (V–Z) a assyntské (S–J) jsou časté především na J, tedy v prostoru obalové jednotky orlicko-kladské klenby. Údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány sleduje z větší části zlomové linie a hlavní směry puklinového systému pasivní morfostruktury. Vliv tektonických dislokací na směr údolí je dokumentován i u významnějších přítoků Divoké Orlice (např. vodní tok ze Žamberských lesů, Černý potok „Od Salvátora“, Černý potok atd.). Ostré, často pravouhlé změny směru toku Divoké Orlice v oblasti Zemské brány jsou určeny především existencí dvou hlavních na sebe zhruba kolmých směrů puklin (S–J a Z–V), a dále výskytem zlomových linií se směry SZ–JV a SV–JZ.



Obr. 6: Sériový profil Divoké Orlice v oblasti Zemské brány (Vaničková, 2005).

Fig. 6: The series-profile of the Divoká Orlice valley in the Zemská brána area (Vaničková, 2005).

3.4. Analýza povrchových tvarů

Území Zemské brány je především oblastí denudační, s převahou destrukčních tvarů nad tvary akumulačními (VANÍČKOVÁ 2005). Ze strukturně podmíněných (resp. endogenních) tvarů reliéfu se ve studované oblasti nacházejí povrchové tvary, spojené jednak se zlomovými strukturami (např. strmé až srázné svahy s obnaženým skalním podkladem), a jednak tvary litologicky podmíněné (např. skalnaté hřbety, hřbety suků apod.). Z exogenních tvarů reliéfu zde byly zaznamenány skupiny destrukčních tvarů fluvialního, gravitačního, kryogenního a polygenetického původu, např. erozně-denudační plošiny a svahy různé sklonitosti, hřbety vzniklé protnutím údolních svahů, skalní výchozy a defilé, erozní rýhy, strže, sesuvy, mrazové sruby, kryoplanační terasy a úpady. Z exogenních akumulačních tvarů byly zjištěny fluvialní, gravitační a kryogenní tvary, např. říční terasy, výplavové kužely, hranáčové sutě, akumulace sesuvů a kamenná moře. Soubor povrchových tvarů studovaného území je vyjádřen v podrobné geomorfologické mapě (viz obr. 2) zpracované v originálu do měřítka 1:10 000.

Antropogenní tvary jsou v oblasti Zemské brány zastoupeny vhloubenými i vypuklými formami, spojenými především s povrchovou těžbou. Z vhloubených forem je evidován především systém lomových jam, z vypuklých forem navážky v okolí lomů (VANÍČKOVÁ 2005). Nejrozsáhlejší antropogenní tvary jsou spojeny s budováním pohraničního opevnění Československé republiky v letech 1935–1938.

4. Geomorfologický vývoj

4.1 Předkvartérní vývoj reliéfu

Orlicko-kladská klenba náleží k oblastem Českého masívu, kde jsou doloženy dlouhodobé sekulární výzdvihy a obnažení metamorfovaných jaderných částí klenby, zastoupených zde křemeno-živcovými rulami (FAJST 1979). Důkazem zdvihu jádra klenby a jeho denudace jsou také relikty křídových sedimentů, které se v současné době nacházejí v nadmořských výškách kolem 600–700 m. To je o cca 200–300 m výše než hypsometrická úroveň hranice křída s krystalinikem podél západní strany okraje pohoří. Sedimenty svrchní křída spočívají přímo na orlicko-kladském krystaliniku (OPLETAL et al. 1980) a dokládají tak transgresi křídového moře na denudovaný předkřídový reliéf s obnaženým skalním podložím starého krystalického jádra.

Vývoj oblasti Zemské brány lze z geologických údajů sledovat od období po ústupu svrchnokřídového (cenoman až spodní turon) moře. Relikty marinních sedimentů jsou zachovány jako denudační ostrovy svrchnokřídových hornin v zakleslých kráčích po obou stranách dnešního údolí Divoké Orlice (Žamberské lesy, U Čiháku), a při západní hranici studovaného území. Od ústupu epikontinentálního svrchnokřídového moře byla tato oblast souší (SVOBODA et al. 1964), jejíž povrch byl stále denudován. Výchozím prvkem pro poznání geomorfologického vývoje údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány jsou lokality svrchnomiocenních až pliocenních sedimentů (KLOMÍNSKÝ et al. 1994), které jsou ve střední a SZ části studované oblasti zachovány v různých nadmořských výškách (OPLETAL 1959). Ve stejném období vznikly rovněž relikty šterků v jižní části studovaného území (FAJST 1979). Lokality neogenních šterků jsou součástí pruhu miocenních sedimentů S–J, případně SZ–JV směru, označovaného jako divokoorlický (BALATKA, SLÁDEK 1962), který byl v té době pravděpodobně hlavním miocenním tokem odvodňujícím Orlické hory.

Říční síť orlické oblasti měla až do konce spodního miocénu jiné uspořádání než v současné době. Východní část Českého masívu byla v té době pod vlivem alpské orogeneze, která se ve spodním miocénu projevila především poklesy a vznikem karpatské prohlubně (CHLUPÁČ et al. 2002). Moře karpatské prohlubně se během spodního miocénu

rozšířilo až do východních Čech. Podle CZUDKA (2005) pronikla mořská záplava nejdále do nitra Českého masívu ve spodním badenu (střední miocén), a to až do okolí Ústí nad Orlicí. Hlavní erozní bázi nejdejších vodních toků SV části Českého masívu byla tedy hladina miocénního moře, a v případě divokoorlického toku (pravděpodobně) jeho lanškrounský záliv na J a JV.

Podle BALATKY a SLÁDKA (1965) teče dnešní horní tok Divoké Orlice stejným směrem k J a JV jako v období existence miocénního moře. Údolí Divoké Orlice mezi Orlickými a Bystřickými horami je pokládáno za tektonicky predisponované. Křemenné štěrky podél horního toku Divoké Orlice (mezi Kláštercem n. O. a Nekoří, u Bredůvky, na rozvodí Orlic, a rovněž zbytky štěrků u Zaječín a rezidua u Bartošovic v Orlických horách) jsou na základě jejich relativní výšky a polohy řazeny mezi reliktů akumulací miocénního, tzv. divokoorlického toku. Jihovýchodní směr tohoto toku byl podle BALATKY a SLÁDKA (1965) zachován ještě ve spodním miocénu. Později se v souvislosti s výzdvihem Orlických hor a poklesem Pardubické pánve (kotliny) vytvořily podmínky pro celkové odvodňování k Z. Zvýšila se tím také erozní činnost zejména těch přítoků Divoké Orlice, které tekly od V a SV na Z a SZ. Podle BALATKY a SLÁDKA (1965) pronikl dolní tok dnešní Divoké Orlice (původně svahový tok směřující od Potštejna k Z) zpětnou erozí dále k V, kde podchytil horní část miocénního toku Divoké Orlice. Horní tok Divoké Orlice (od pramene po Zemskou bránu) tedy sleduje původní směr úklonu hlavní kry krystalinika Orlických hor (SSZ–JJV), zatímco střední a dolní část povodí této řeky má výraznou tendenci odvodňování k západu.

Existenci paleogenní (eocénní, CZUDEK 2005) zarovnané úrovně dokládá shodná poloha některých erozně-denudačních plošin s krystalinickými a mezozoickými horninami s různou geomorfologickou odolností (foto 5). Vývoj kaňonovitého údolí Divoké Orlice probíhal až od období pliocénu a kvartéru. Dokladem tohoto názoru jsou nad tímto údolím umístěné fluviální akumulace neogenního (svrchnomiocénního ?) stáří uložené vodním tokem, který ve směru od S k J odvodňoval Orlické hory. Miocénní říční síť se vyvíjela pravděpodobně v úrovni denudačních svahů a plochých hřbetů, které v současné době leží mezi 580 m a 670–680 m n.m. (Svrchno)miocénní vodní toky protékaly širokými údolními typy úvalovitých depresí, zahluobených většinou kolem 50 m pod úroveň relativně plochého, mírně členitého paleoreliéfu (KUNSKÝ, ZOUBEK 1968), který vznikl po ústupu svrchnokřídového moře v průběhu paleogenní denudace.

Morfostrukturní vývoj reliéfu Orlických hor a tedy i vývoj údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány ovlivnila především saxonská etapa alpské orogeneze, která se v sv. části Českého masívu projevila rozlámáním a diferenciálním výzdvihem orlicko-kladské klenby. Tyto tektonické pohyby vyvolaly zesílení denudace a eroze terciárního reliéfu. Měkké polohy miocénních uloženin podlehly z větší části odnosu a jejich zachované reliktů byly tektonicky vyzdvíženy. Celkové megaantiklinální vyklenutí Orlických hor dokládají kromě polohy denudačních plošin také reliktů svrchnokřídových sedimentů při z. hranici studované oblasti. Tektonická aktivita v mladších třetihorách podmínila vznik neúplně zarovnaných povrchů. V této etapě vývoje reliéfu vynikal mírně zvlněný až plošinný povrch, zarovnávací jak krystalinické horniny tak mezozoické sedimenty (Demek et al. 1965). Plochý hřeben Orlických hor tedy v této interpretaci představuje reliktů vyzdvíženého a denudovaného paleogenního zarovnaného povrchu.

Říční síť v oblasti Zemské brány sleduje z větší části tektonické linie sudetského směru. K neotektonickým pohybům došlo především na zlomech S–J, SZ–JV a SV–JZ (OPLETAL et al. 1980). Důsledkem neotektonického zdvihu bylo také zvýšení intenzity hloubkové eroze a svahových procesů. Jádro orlicko-kladské klenby tak bylo

postupně obnaženo a křídový pokryv v jeho nadloží podlehl odnosu. Uchovány zůstaly pouze denudační ostrovy (relikty) křídových sedimentů v zakleslých kráčích. V souvislosti s úklonem orlicko-kladské klenby k JZ a novou polohou hlavní erozní báze na západě převzaly hlavní úlohu vodní toky SV–JZ a V–Z směru (BALATKA, SLÁDEK 1965). REŽNÝ (1975) považuje průlomové údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány za mladší než průlom Tiché Orlice. Mladší původ přisuzuje Divoké Orlici v tomto srovnání také VAVŘINOVÁ (1942), což dokládá existenci pouze jednoho zřetelně vyvinutého terasového stupně Divoké Orlice proti třem říčním akumulacním terasám Tiché Orlice. Vznik terasového systému Tiché Orlice VAVŘINOVÁ (1942) spojuje s etapovitým výzdvihem Orlických hor. Údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány tedy mohlo vzniknout až po hlavních etapách výzdvihu jižní části Orlických hor, a to pravděpodobně až v kvartéru.

Neotektonické pohyby se v oblasti Zemské brány projeví zejména v morfostrukturním rozčlenění Orlického hřbetu (OPLETAL et al. 1980) s výraznou tektonickou dislokací SV–JZ směru. Morfologicky je významná zlomová zóna, která je kolmá k hlavnímu orografickému průběhu hřbetové části Orlických hor. Puklinová měření dokládají, že poruchová zóna směru SV–JZ dnešního údolí Divoké Orlice v prostoru v oblasti Zemské brány je pravděpodobně styčnou zónou dvou různě vyzdvižených (stoupajících) hrást'ových bloků. Prohyb orlickohorské megaantiklinály potvrzuje i poloha denudačních plošin, které se vyskytují v bezprostředním okolí sevřeného údolí při erozní hraně svahu podél pravého břehu Divoké Orlice o cca 50 m níže než nad protilehlou (levostrannou) erozní hranou svahů.

Prohybem s poruchovou zónou v orlickohorské megaantiklinále protékal a efektivně erodoval od SV původně svahový tok. Naopak údolí miocénního „divokoorlického toku“ bylo nejspíše při morfostrukturním rozčlenění a celkovém výzdvihu oblasti Orlických hor v pliocénu opuštěno (BALATKA, SLÁDEK 1965). Divoká Orlice v důsledku změny erozních bází a neotektonických pohybů během pliocénu a kvartéru vytvořila zpětnou a hloubkovou erozi kaňonovitě údolí v celkově výrazné morfostrukturní elevaci krystalinika Orlických hor. Toto tektonicky predisponované údolí bylo tedy založeno již v pliocénu v souvislosti s rozčleňováním orlicko-kladské klenby zlomovými systémy především sudetského směru (SZ–JV) a také reaktivací starších zlomů assyntských (S–J) a (mlado)kaledonských (SV–JZ, OPLETAL et al. 1980). Poměrně mladý původ kaňonovitě údolí v oblasti Zemské brány je doložen především sevřeným údolním profilem a stále intenzivní hloubkovou erozí Divoké Orlice.

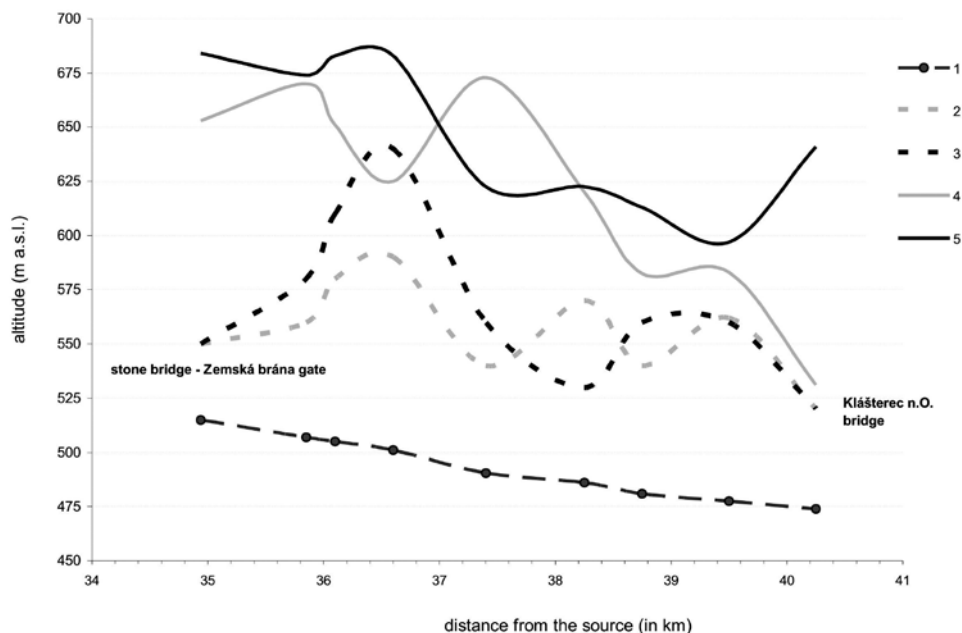
Neotektonické zdvihy se projeví **epigenetickým a antecedentním vývojem údolí** Divoké Orlice v oblasti Zemské brány (REŽNÝ 1975, VÍTEK 1991b, 1994). Procesu epigenese nasvědčuje uchování svrchnokřídových sedimentů po obou stranách údolí Divoké Orlice. Jejich poloha je však určena především jejich umístěním v zakleslých kráčích, která je ochránila před erozně-denudačními procesy. Svahový tok od SV se pravděpodobně zahloubil zprvu do měkkých, méně odolných sedimentárních hornin, přičemž jeho původní směr, podmíněný strukturálními poměry křídových sedimentů, zůstal zachován. Později se Divoká Orlice zařídila také do odolných krystalinických hornin v jejich podloží.

4.2 Vývoj reliéfu v kvartéru

Změny klimatických podmínek koncem terciéru a během kvartéru způsobily i změny v intenzitě a typech geomorfologických procesů. Původní neogenní reliéf byl rozčleněn říční sítí a vzniklo také hluboké údolí Divoké Orlice. Nejvýraznější změny a hlavní fáze jeho zahloubení jsou spojeny s kvartérem obdobím vývoje reliéfu. Dnešní modelace povrchových tvarů oblasti Zemské brány je především výsledkem působení klimato-

morfofenetických procesů v kvartéru. Toto území bylo v pleistocénu dlouhá období v periglaciální zóně. Uplatňovaly se exogenní modelační procesy, spojené v obdobích glaciálů zejména s fyzikálním zvětráváním. V pleistocénu zároveň probíhala hloubková eroze Divoké Orlice a v oblasti Zemské brány vzniklo charakteristické údolí se sevřeným příčným profilem. Strmé svahy hlubokého údolí Divoké Orlice byly vytvořeny v odolném krystalinickém podloží jeho intenzivní hloubkovou erozí v porušených horninách zlomové zóny. Během erozivního zahlubování říční sítě se vyšší partie reliéfu měnily na mírné erozní a denudační svahy.

Největší zahloubení údolí Divoké Orlice dosahuje ve střední části studovaného území, tedy v prostoru orlickohorské megaantiklinály (obr. 8), vymezeném dvěma zlomovými pásmy sudetského směru. Řeka zde vytváří koryto přímo ve skalním podloží a údolí má sevřený profil typu ostrého „V“. Popisovaný údolní úsek Divoké Orlice vznikl antecedencí (REŽNÝ 1975), tedy pomalým výzdvihem skalního podloží centrální části orlickohorské antiklinály v pliocénu a kvartéru. Neotektonické pohyby se projeví ve zvýšené hloubkové erozi Divoké Orlice, která vyvolala rovněž zpětnou erozi na jejich přítocích. Tento proces je nápadný zvláště v Černého potoka, který je pravostranným přítokem Divoké Orlice, a to v prostoru poruchové zóny, omezující jádro orlicko-kladské klenby. Zpětná eroze postupuje v údolí Černého potoka proti směru toku k S a SV.



Obr. 8: Průběh horní erozní hrany a rozvodních hřbetů ve vztahu k údolnímu dnu Divoké Orlice v oblasti Zemské brány.

Fig. 8: The course the upper erosion edge and watershed ridges and their relation to river-bed of the Divoká Orlice in the Zemská brána area.

V průběhu zahlubování údolí Divoké Orlice vznikala na jeho svazích rozsáhlá skalní defilé. Na obnažených skalních výchozech krystalinických hornin se uplatňovaly především kryogenní procesy mrazového zvětrávání. Reliktem kryogenních procesů z období mladšího pleistocénu jsou v oblasti Zemské brány mrazové sruby s kryoplanačními terasami a autochtonní kamenná moře. Tvar hlavních údolí byl navíc přetvářen svahovými procesy, např. sesuvy a skalními říčeními. Skalní stěny ustupovaly „do svahu“ a vznikaly stupňovité mrazové sruby (VÍTEK 1975, 1991a). Relikty destrukčních procesů především z období mladšího pleistocénu a holocénu jsou také četné masivní bloky a balvany v řečišti Divoké Orlice (foto 6). Úpatí svahů také často lemuje plášť zvětralin. V teplejších interstadiálech se uplatnila intenzivní soliflukce, jejímž dokladem jsou četné balvanové proudy nebo (méně často) balvanitá a kamenná moře. Tyto svahové akumulace obsahují často i sedimentární horniny křídového stáří.

Nejrozšířenějším typem kvartérních uloženin jsou deluviální a deluvio-fluviální sedimenty. Mohutné hlinitopísčité až balvanité svahové akumulace a výplavové kuzele jsou zachovány při úpatí a případně ve spodních částech svahů. Počáteční a koncová stádia glaciálů byla příznivá pro sedimentaci písčitých štěrků, do kterých se vodní tok postupně zařezával. Středně- a mladopleistocenní štěrky zůstaly zachovány podél údolí v podobě nízkých terasových stupňů. Holocenní údolní nivy vznikaly v relativní výšce do 4 m nad současným dnem řečiště Divoké Orlice. Rozsáhlejší akumulace údolní nivy jsou vyvinuty zejména v jižní části sledovaného území.

5. Závěr

Území Zemské brány v Orlických horách je příkladem morfostrukturního vývoje reliéfu v pestré neotektonické historii SV části Českého masívu. Současný reliéf oblasti Zemské brány je výsledkem integrace neotektonického vývoje a proměnlivých exogenních procesů v mladším kenozoiku. Tento reliéf lze celkově charakterizovat jako erozně-denudační a s výraznými morfostrukturními vlivy geologické stavby a geotektoniky (VANÍČKOVÁ, KALVODA, 2006 in print). Nejstaršími povrchovými tvary jsou relikty přemodelované (pravděpodobně) paleogenní zarovnané úrovně, které představují denudační plošiny v současných nadmořských výškách 580–680 m. Zásadním údajem pro poznání geomorfologického vývoje oblasti Zemské brány, včetně údolí Divoké Orlice, bylo zjištění reliktních fluviálních štěrků neogenního stáří (BALATKA, SLÁDEK 1965, KLOMÍNSKÝ et al. 1994, PROSOVÁ 1974). Těmto říčním akumulacím je však přisuzováno jak miocenní, tak pliocenní stáří.

Geomorfologický vývoj oblasti Zemské brány s hlubokým údolím Divoké Orlice je spojen s neotektonicky podmíněnou změnou svahových poměrů, erozních bází a celkového odvodňování ze směru k J na směr k Z. Původně paleogenní reliéf byl v průběhu výzdvihu Orlických hor snížen denudací v neogénu a kvartéru. Uplatňovala se hloubková eroze, a to zejména ve směrech V–Z a SV–JZ, která zdůraznila nové uspořádání říční sítě. Vývoj říční sítě studované části Orlických hor byl podstatným způsobem ovlivněn prohybem orlickohorské antiklinály jako důsledek neotektonických pohybů.

Údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány je tektonicky predisponované a sleduje především zlomové linie a poruchové zóny orlicko-kladského krystalinika. Vliv dislokací na směr údolí je doložen také u přítoků Divoké Orlice, např. u vodního toku ze Žamberských lesů a na Černém potoku. Ostré a často pravouhlé změny směru toku Divoké Orlice jsou podmíněny existencí dvou preferovaných a vzájemně téměř kolmých směrů puklin S–J a V–Z, a také výskytem dalších zlomových linií se směry SZ–JV a V–JZ.

Tok Divoké Orlice využil poruchového pásma a vyhloubil již v pliocénu údolí do méně odolného křídového pokryvu a později se **epigeneticky** zařezával i do odolnějšího podloží

jádra orlicko-kladské klenby. Hlubková a zpětná eroze Divoké Orlice tedy probíhala již od pliocénu. Současné kaňonovitě údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány je však kvartérního stáří. Relativně mladý původ sevřeného údolí dokládají i strmé údolní profily, nevyrovnaný spád toku a stále probíhající hlubková eroze. Maximální zahloubení řeky je v centrální části orlicko-horské antiklinály. Tuto část údolí, vytvořenou při výzdvihu skalního podloží orlicko-kladské klenby v pliocén-kvartérním období, lze pokládat za **antecedentní**. Členitý georeliéf Zemské brány je tak výsledkem morfotektonických procesů v období mladšího kenozoika, které (opakovaně) stimulovaly vysokou intenzitu erozních a denudačních procesů.

Směr toku a vznik sevřeného údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány jsou tedy podmíněny geologickou stavbou orlicko-kladského krystalinika, jehož morfostrukturní plán je respektován říční sítí a zároveň průběhem erozně-denudačních procesů. Významný neotektonický vliv dokládá i provedená podrobná analýza údolní soustavy, která svědčí o stále aktivní zpětné erozi Divoké Orlice a jejich přítoků. Oblast Zemské brány je rozdělena (násunovou) zlomovou linií sudetského směru na dvě specifická území s charakteristickým uspořádáním říční sítě: a) území jádra orlicko-kladské klenby, b) území obalové jednotky orlicko-kladské klenby.

Dynamika vývoje svahů údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány závisela na intenzitě antecedentního prohlubování tohoto kaňonovitěho údolí a dále na měnících se klimato-morfogenetických procesech v podmínkách chladného a semiaridního podnebí glaciálů a sezónně periglaciálního či mírně teplého humidního podnebí interglaciálů a holocénu. V průběhu zahlubování Divoké Orlice bylo obnaženo skalní podloží a na strmých svazích se vytvářela skalní defilé, která byla ve spojení se specifickými mikro-klimatickými podmínkami v mladším kvartéru přemodelována především kryogenními procesy. V současné době probíhají svahové pohyby a občasná skalní řícení v pásmech nestabilních svahů (především nárazové břehy řeky a přítoků), sezónní mrazové zvětrávání obnažených skalních výchozů a místy také fluviaální sedimentace na dnech údolí.

Paleogeografické kontexty současné morfostrukturní pozice a projevu působení klimato-morfogenetických procesů na reliéf oblasti Zemské brány je možné podstatně rozšířit korelací s výsledky probíhajícího geomorfologického výzkumu jižní části Orlických hor a blízkých území. Tímto přístupem jsou ověřovány hlavní etapy vývoje povrchových tvarů této oblasti a poznávány jejich vztahy k vývoji reliéfu severovýchodní části Českého masivu v kenozoiku.

Summary

Geomorphological analysis suggests that the canyon shaped valley of the Divoká Orlice river in the southern part of the Orlické hory Mountains is both epigenetic and of antecedent origin. The findings of morphostructural and climate-morphogenetic features of the relief make it possible to ascertain the main stages of the geomorphological evolution of the Zemská brána area in the Late Cainozoic. It varied landforms originated by denudation and erosion, but they have conspicuous features of morphostructural and neotectonic patterns.

Present-day landforms of this part of the Orlické hory Mountains are above of the Quaternary age. However, the oldest landforms are relicts of a planation surface probably of the paleogene age, which are preserved as denudational platforms at altitudes between 580–680 m. The geomorphological positions of the Neogene fluvial accumulations suggests that a draining of this region was still directed in the Miocene to the S and SW (E) toward a marine basin. Geomorphological evolution of the Zemská brána area was connected with neotectonically stimulated changes of slope conditions, erosion bases and general draining to the west. The Paleogene georelief was cut down by denudation during the uplift of the Orlické hory Mountains in the Late Cainozoic.

In addition, a river erosion operated namely in E–W and NE–SW direction which accentuated a new pattern of the river network. The Divoká Orlice river follows a conspicuous discontinuity zone

across a this dissected vault of the mountains. Already in the pre-Quaternary period it hollowed a valley in the Cretaceous sediments and later it also cut epigenetically more resistant crystalline rocks.

The present-day canyon shaped valley of the Divoká Orlice river in the Zemská brána area is of the Quaternary age. It developed during an uplift of the Orlické hory Mountains. The relatively young age of this antecedent valley is manifested by its steep cross-profiles and continuing downward and backward erosion. Evolution of slopes in the Divoká Orlice valley depended on the intensity of antecedent cutting and on changes of climate-morphogenetic processes in the Quaternary. In the course of the river erosion, crystalline rocks were constantly exposed and steep rocky slopes originated. In recent landform changes, slope movements, including rockfalls on steep erosion-denudation slopes and seasonal cryogenic weathering of rocky slopes, are conspicuous.

Literatura

- BALATKA B., SLÁDEK J., 1962: Říční terasy v českých zemích. *ČSAV, Praha, 578 s.*
- BALATKA B., SLÁDEK J., 1965: Pleistocénní vývoj údolí Jizery a Orlice. *Rozpravy ČSAV, řada MPV, 75, Praha, s. 1-84.*
- BUDAY T., KODYM O. et al., 1961: Tektonický vývoj Československa. *ÚÚG, Praha, 254 s. 6 příloh.*
- CZUDEK T. (ed.), 1972: Geomorfologické členění ČSR. *Studia geographica, 23, Brno, s. 1-137.*
- CZUDEK T., 2005: Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. *Moravské zemské muzeum, Brno. 238 s.*
- ČECH S. (red.), 1996: Geologická mapa 1:50 000. List 14-14 Žamberk. *ČGÚ, Praha.*
- DEMEK J. et al., 1965: Geomorfologie českých zemí. *ČSAV, Praha, 336 s.*
- DEMEK J., KOPECKÝ J., 1995: Geomorfologická mapová studie listu státní mapy 1:50 000 Žamberk 14-14. *PřF Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc., 44 s. 3 přílohy.*
- DEMEK J., KOPECKÝ J., VÍTEK J., 1997: Geomorfologické poměry listu základní mapy Žamberk 14-14 ve východních Čechách. *Sborník Geografie, IX, Brno, s. 23-57.*
- FAJST M., 1974: Geneze klenbových struktur východní části Českého masívu. Zpráva o vědeckovýzkumné činnosti v roce 1974. *Ústav geologických věd Karlovy univerzity v Praze (1975), Praha, s. 19-21.*
- FAJST M., 1979: Geologická pozice křemeno-živcových rul orlicko-kladské klenby na základě studia mezoskopických struktur. Kandidátská práce. *PřF Univerzity Karlovy v Praze, 166 s. 16 příloh.*
- CHLUPÁČ I. et al., 2002: Geologická minulost České republiky. *Academia, Praha, 436 s.*
- KLOMÍNSKÝ J. (ed.), 1994: Stratigrafický atlas České republiky. *ČGÚ, Praha. 17 příloh.*
- KUNSKÝ J., ZOUBEK V. (eds), 1968: Československá vlastivěda. Díl 1 – Příroda. Svazek 1 (geologie, fyzický zeměpis). *Orbis, Praha, 852 s.*
- MATĚJKA A., 1925: Příspěvek ku geologii údolí Divoké Orlice mezi Bartošovicemi a Nekoří (list Vamberk). *Věstník SGÚ, 1, Praha, s. 142-150.*
- MÍŠAŘ Z., 1983: Geologie ČSSR I. Český masív. *SPN, Praha, 333 s.*
- OPLETAL M., 1959: Geologické mapování Orlických hor 1:25 000 M-33-70-C-a (Kláštrec nad Orlicí). Generální štáb lidové armády. *Archiv ČGÚ, Praha.*
- OPLETAL M. et al., 1980: Geologie Orlických hor. *Academia, Praha, 202 s.*
- PAUK F., 1932: Příkrovová stavba orlicko-kladské klenby. *Práce a studie – Příroda, 9, Pardubice, s. 7-32.*
- PRAČLÍK J., ZÁLIŠ Z. et al., 1967: Závěrečná zpráva o vyhledávacích pracích na radioaktivní surovinu v oblasti Orlických hor. Geologický průzkum n.p., závod Nové Město na Moravě. *MS Geofond, Praha, 112 s. 54 příloh.*
- PROSOVÁ M., 1974: Geneze reliktního terciéru (SV část Českého masívu). *Ústav geologických věd PřF Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 99 s.*

- REŽNÝ K., 1975: Geologické vycházky okresu Ústí nad Orlicí. *OPS, Ústí nad Orlicí*, 44 s.
- REŽNÝ K., 1976: Rychnovsko – zeměpisné vycházky. *Odbor školství, ONV, Rychnov nad Kněžnou*, 118 s.
- REŽNÝ K., 1979: Skalní tvary v Orlických horách a Podorlicku. *Okresní muzeum Orlických hor a Okresní kulturní středisko v Rychnově nad Kněžnou, Rychnov n. Kn.*, 45 s.
- ROČEK Z. et al., 1977: Příroda Orlických hor a Podorlicka. Okresní muzeum Orlických hor ve spolupráci s Krajským muzeem v Hradci Králové. *SZN, Praha*, 660 s.
- SVOBODA J., CHALOUPSKÝ J. et al., 1961: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000. List M-33-XVII Náchod. *ÚÚG, Praha*, 185 s. 1 příloha.
- SVOBODA J. et al., 1964: Regionální geologie ČSSR. Díl I. Český masív. Svazek 2. Algonium-kvartér. *ÚÚG, Praha*, 544 s.
- VANIČKOVÁ E., 2005: Geomorfologický vývoj údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány. Magisterská práce. *PřF Univerzita Karlova v Praze*, 192 s., 7 příloh.
- VANIČKOVÁ E., KALVODA J., 2006 (in print): Geomorfologický vývoj údolí Divoké Orlice v oblasti Zemské brány, Orlické hory. *Geomorfologický sborník, Stav geomorfologických výzkumů v roce 2006, Olomouc*.
- VAVŘINOVÁ M., 1942: Geomorfologický vývoj středního povodí Tiché a Divoké Orlice. *Sborník ČSZ*, 47, *Praha*, s. 77-82.
- VAVŘINOVÁ M., 1946: Geologie jihozápadního podhůří Orlických hor a okolí Kyšperka a jeho saxonská tektonika. *Sborník SGÚ*, 13, *Praha*, s. 342-376.
- VÍTEK J., 1975: Kryogenní tvary v Orlických horách. *Sborník ČSZ*, 80, 3, *Praha*, s. 184-192.
- VÍTEK J., 1991a: Chráněný přírodní výtvar – Zemská brána. Geologicko-geomorfologická inventarizace. *Rezervační kniha. Archiv AOPK ČR, Praha*, 19 s.
- VÍTEK J., 1991b: Zemská brána – příklad epigenetického údolí. *Geologický průzkum*, 12, *Praha*, s. 374.
- VÍTEK J., 1994: Průlomová údolí v Orlických horách. *Panorama*, 2, *Dobré*, s. 52-62.
- VÍTEK J., 2000: Krajinou severovýchodních Čech. *OFTIS s.r.o., Ústí nad Orlicí*, 168 s.
- ŽATEČKA P., 1996: Vývoj říčního systému v povodí nejhořejší Tiché Orlice. *Orlické hory a Podorlicko*, 8, *Rychnov nad Kněžnou*, s. 17-24.

+ foto v barevné příloze

Došlo: 15.12.2006