

Reorientácia napätového poľa odvodená z morfoštruktúr a zlomového porušenia pliocénnych sedimentov Hronskej pahorkatiny (Západné Karpaty)

Silvia Králiková, Jozef Hók & Rastislav Vojtko

Katedra geológie a paleontológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; kralikova@fns.uniba.sk, hok@fns.uniba.sk, vojtko@fns.uniba.sk

AGEOS Stress change inferred from the morphostructures and faulting of the Pliocene sediments in the Hronská pahorkatina highlands (Western Carpathians)

Abstract: The Hronská pahorkatina highland belongs to the particular morphostructures of the north-eastern part of Danube Basin with the typical pattern of fluvial valleys. Orientation and character of the fluvial valleys together with brittle disruptions of the Pliocene sediments has been object of the morphotectonic and structural analysis. Transversal asymmetry of the valleys and their arrangement refer to fault predisposition. The Pliocene sediments are affected by normal faulting with different orientation of the fault planes in NE-SW and NW-SE directions. Orientation of the faults corresponds to orientation of the fluvial valleys. The faults origin was connected with reorientation of the stress field during the Latest Pleistocene to the Holocene.

Key words: morphotectonics, brittle structures, neotectonics, Danube Basin, Western Carpathians

1. ÚVOD

Hronská pahorkatina z hľadiska regionálno-geologického členenia (Vass et al., 1988) reprezentuje východnú časť komjatickej depresie, ktorá je súčasťou podunajskej panvy (Obr. 1A). Podľa geomorfologického členenia (Mazúr & Lukniš, 1978) tvorí jej severozápadné ohraničenie Žitavská niva. Severné ohraničenie predstavujú stredoslovenské neovulkanity. Z východu hraničí s Hronskou nivou. Južnú a juhozápadnú hranicu tvoria Čenkovská niva a Podunajská rovina. Zo západu je oddelená Nitrianskou nivou.

Reliéf Hronskej pahorkatiny je mierne zvltný, nízky, rozčlenený plytkými, väčšinou úvalinovitými dolinami. Tvar dolín je podmienený tektonikou a odráža ich vývoj v periglaciálnych podmienkach (Priechodská & Harčár, 1988). Typickým znakom dolín je predovšetkým výrazná asymetria a pravouhlé usporiadanie, pričom strmé stráne sú väčšinou bez kvartérneho pokryvu, porušené úvozmi, výmoľmi a zriedkavo plošne malými zosuvmi. Mierne uklonené svahy asymetrických dolín sú pokryté hrubými vrstvami spraší (Priechodská & Harčár, 1988).

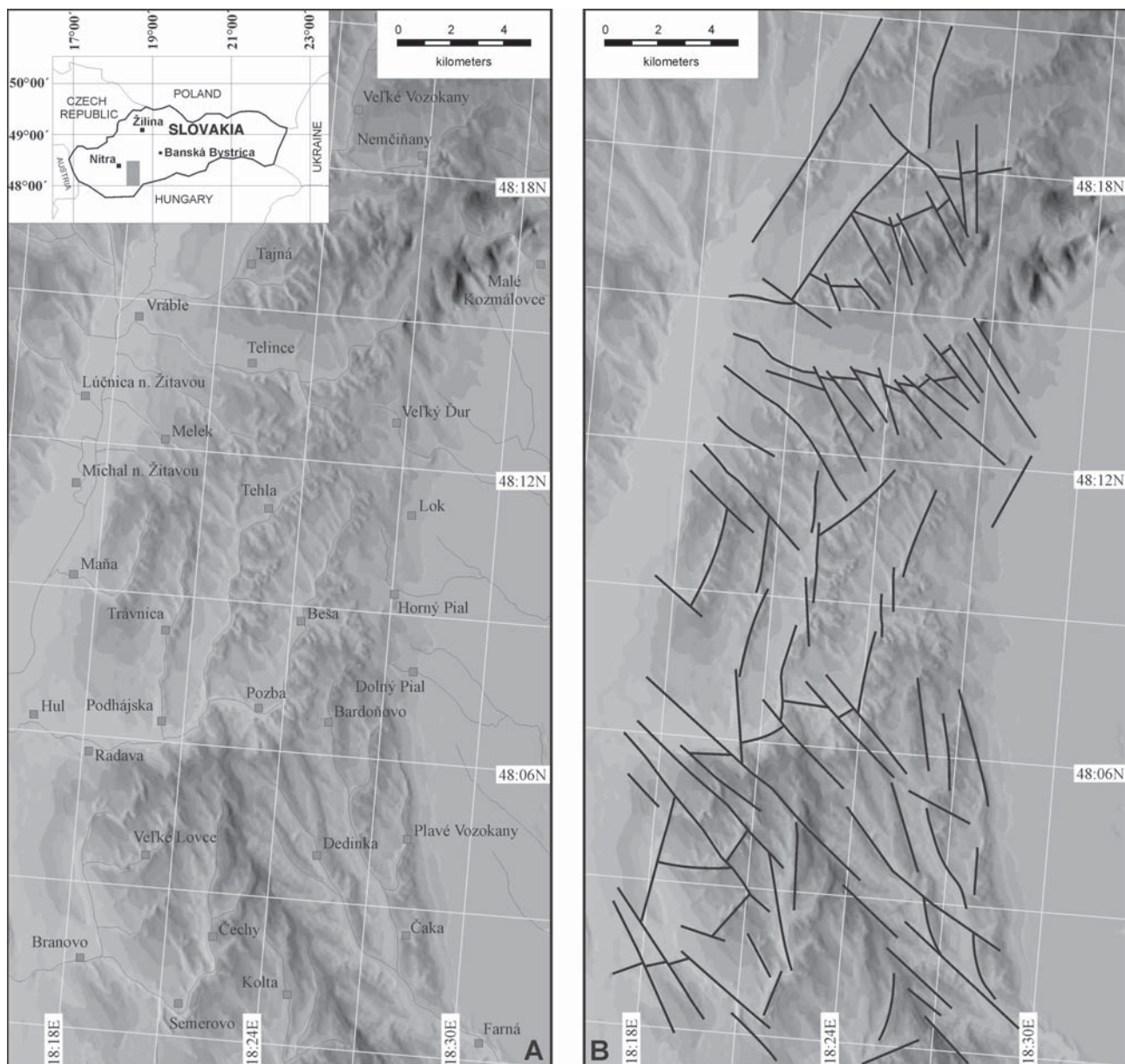
Na geologickej stavbe Hronskej pahorkatiny sa podieľajú sedimenty neogénu, ktoré transgresívne spočívajú na predterciernom podloží. Geologický vývoj je možné sledovať od stredného bádenu (pozbianske súvrstvie sensu Priechodská & Harčár, 1988). Pozične najvyššími litostratigrafickými členmi miocénnej výplne sú sedimenty beladického (vrchný panón až pont) a volkovského súvrstvia (dák), ktoré zároveň boli dostupné

priamemu pozorovaniu na povrchu. Súvrstvia sú litologicky tvorené pieskami a pestrými ílmi, pričom v beladickom súvrství prevažujú íly nad pieskami a sporadicky sa vyskytujú aj uholné íly. Z hľadiska odolnosti voči erózii je možno obe súvrstvia považovať za ekvivalentné. Z daného dôvodu ich odlišný litologický charakter nemohol zásadne ovplyvňovať charakter a tvar dolinovej siete.

Cieľom výskumu bolo na základe morfotektonickej analýzy fluvialne modelovaných údolí, doplnenej o výskum zlomového porušenia pliocénnych sedimentov, stanoviť charakter a následnosť tektonických procesov od konca pliocénu. Ako nevyhnutný podklad terénneho výskumu bola použitá geologická mapa severovýchodnej časti Podunajskej nížiny v mierke 1:50000 (Harčár & Priechodská, 1988) a vysvetlivky ku geologickej mape (Priechodská & Harčár, 1988). V minulosti sa morfoštruktúrnym a geologickým vývojom Hronskej pahorkatiny a Žitavskej nivy v kvartéri zaoberal predovšetkým Harčár (1974, 1975, 1981, 1983). Predmetom sedimentologického výskumu pliocénnych sedimentov bola práca Barátha & Kováča (1995). Geologickým a tektonickým vývojom komjatickej depresie sa zaoberali predovšetkým Gaža & Beinbauerová (1976) a Hók et al. (1999).

2. METODIKA

Výskum bol zameraný predovšetkým na morfotektonickú analýzu transverzálnych profilov fluvialných údolí, ktoré sa vyzna-



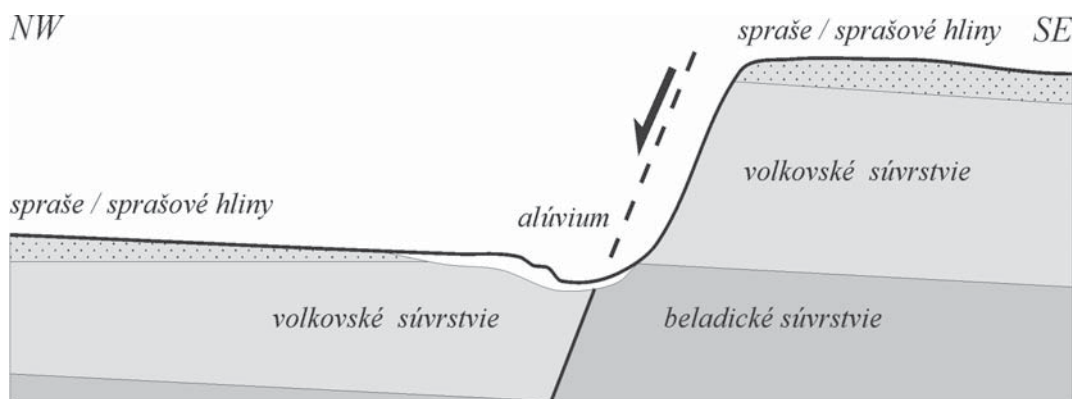
Obr. 1. A) Pozícia skúmaného územia Hronskej pahorkatiny. B) Zlomové rozhrania interpretované na základe morphotektonickej analýzy.

Fig. 1. A) Localisation of the investigated area (the Hronská pahorkatina highland). B) Morphotectonic interpreted fault disruptions.

čujú výraznou asymetriou s nerovnakým sklonom protilahlých svahov (cf. Priehodská & Harčár, 1988) a na štruktúrny výskum zlomového porušenia pliocénnych sedimentov.

Výrazná asymetria fluviaálnych údolí v priečnom profile spoločne s morfológickými charakteristikami protilahlých svahov a charakterom zachovaných horninových komplexov, ktoré vzhľadom k podobnému litologickému zloženiu nemohli mať vplyv na charakter erózie, je priamym indikátorom tektonickej predispozície ich vzniku (Burbank & Anderson, 2001). Asymetrický charakter fluviaálnych údolí sa výrazne prejavuje v geologickej mape (Harčár & Priehodská, 1988). Na svahoch s miernym sklonom sú spravidla zachované akumulácie eolicých (spraša a sprašové hliny) a fluviaálnych sedimentov, ktoré na strmších svahoch absentujú. Na strane strmších svahov sú

prítomné staršie horninové komplexy beladického a volkovského súvrstvia (Obr. 2). Prvým krokom v rámci morphotektonickej analýzy bola analýza geologickej mapy 1:50000 (Harčár & Priehodská, 1988), na ktorej boli vymedzené fluviaálne údolia vykazujúce výrazne asymetrické údolné profily v transversálnom reze. Takto vytypované oblasti boli následne verifikované terénnym výskumom, pričom hlavný dôraz bol kladený na identifikáciu prirodzených odkryvov, interpretáciu geologickej stavby, registráciu základných morfológických elementov zlomových hrán (Wallace, 1977) ako aj registráciu sprievodných javov spojených s deniveláciou terénu (napr. drobné zosuvy) a zber štruktúrnych údajov. V prípade výraznej asymetrie priečného profilu údolia, priebeh toku, ako aj priebeh strmšieho svahu koinciduje s priebehom a orientáciou tektonickej línie.



Obr.2. Zjednodušený profil vyjadrujúci základné morfotektonické charakteristiky fluvialných údolí v oblasti Hronskej pahorkatiny.

Fig.2. Simplified cross section representing significant morphotectonic features of the fluvial valleys in the Hronská pahorkatina highlands.

Na základe morfotektonickej analýzy bolo možné vytypovať úseky fluvialných údolí, ktoré zodpovedali kritériám tektonicky podmieneného vývoja reliéfu (napr. Stewart & Hancock, 1994) a považovať tieto úseky za zlomové rozhrania (Obr. 1B).

Na morfotektonickú analýzu študovaného územia bol použitý digitálny terénny model (DTM), ktorý bol odvodený z vrstevnic základných máp Slovenskej Republiky v mierke M 1:10000 pričom veľkosť bunky DTM bola stanovená na 3 m. Na výpočet DTM bol použitý GRASS-GIS software, kde bola počítaná orientácia každej bunky DTM použitím metódy „regularized spline with tension“ z vektorových údajov pomocou modulu „v.surf.rst“. Topografický parameter – sklon svahov bol počítaný v stupňoch od 0 po 90 použitím modulu „r.slope.aspect“ v karteziánskych uhloch (Mitášová & Mitáš, 1993; Mitášová & Hofierka, 1993; GRASS Development Team, 2010).

Na území Hronskej pahorkatiny boli priamemu pozorovaniu a analýze krehkých deformačných štruktúr (zlomov a puklín) dostupné len sedimenty volkovského súvrstvia (dák). Na zlo-

mových plochách neboli pozorované kinematické indikátory a zmysel pohybu bol určovaný iba na základe porušenia sedimentárnych štruktúr (vrstvovitost, laminácia, odskočené sedimentárne markery). Kinematická analýza zlomov preukázala, že skúmané zlomy majú prevládajúcu poklesovú resp. tenznú zložku pohybu (Obr. 3).

3. ZÍSKANÉ VÝSLEDKY A ICH INTERPRETÁCIA

Morfotektonická analýza reliéfu preukázala, že transverzálny profil fluvialnými údoliami majú temer vo všetkých prípadoch asymetrický charakter a reflektujú tektonický pôvod. V severnej časti skúmaného územia prevládajú interpretované zlomové rozhrania smeru SV-JZ (Obr. 1B). V strednej a južnej časti územia sú vyvinuté prevažne dva smery priebehu tektonických rozhraní. Smer SZ-JV so strmými svahmi uklopenými na SV. Spádové krivky bočných prítokov sú rozdielne, pričom prítoky zo strany strmého svahu sú kratšie a viac početné (viď Obr. 1A). Pri hlavnom toku sa spravidla jedná o subsekventný tok na rozhraní dvoch tiltovaných tektonických blokov. Konsekventný tok na danom území predstavuje napríklad tok rieky Žitavy, ktorá má z oboch strán početné bočné prítoky subsekventných tokov. Samotný tok Žitavy má tektonickú predispozíciu čo je dokumentované asymetrickým vývojom riečnych terás (Priehodská & Harčár, 1988). Je pravdepodobné, že tok Žitavy kopíruje povrchový priebeh systému šurianských zlomov smeru SV-JZ (Hók et al., 1999) a oddeľuje eleváciu Hronskej pahorkatiny od samotnej Komjatickej priehlbiny. Na tento predpoklad poukazujú aj priečne orientované doliny (ZSZ-VJV) regresívneho pôvodu, orientované kolmo na os morfoštruktúry Hronskej pahorkatiny a toku Žitavy.

Jedným z najmladších morfoštruktúrnych prvkov na skúmanom území Hronskej pahorkatiny sú úvaliny. Úvaliny sú vyvinuté na plochých chrbtoch asymetrických dolín a v danom území majú temer uniformný smer SZ-JV (Obr. 1A). Depresné lineárne formy úvalín sú vyplnené eolicko-deluviálnymi sedi-



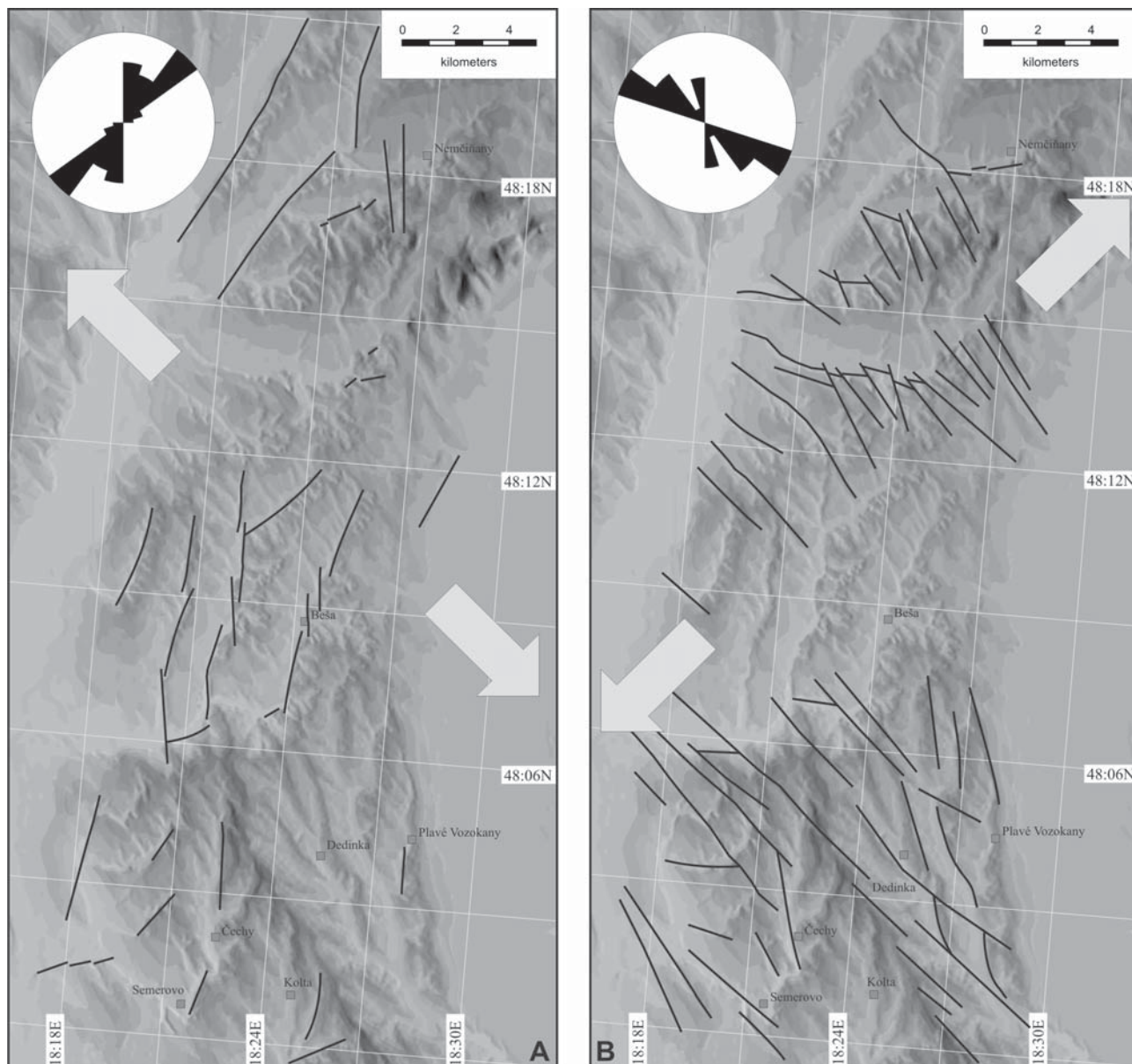
Obr. 3. Terénna fotografia pozorovaných poklesových zlomov na lokalite Semerovo (Foto: Jozef Hók).

Fig. 3. Field photo of the observed normal fault structures on the Semerovo locality (Photo by Jozef Hók).

mentami (würm–holocén). Ich priebeh koinciduje so sedlami vyvinutými na starších morfoštruktúrach, ktoré presekávajú resp. koincidujú s fluviálnymi údoliami smeru SZ-JV. Z morfoštruktúrneho hľadiska predstavujú najmladšie formy reliéfu, ktoré je možno na základe sedimentárnej výplne datovať do obdobia würmu až holocénu (Priehodská & Harčár, 1988). Temer uniformne usporiadané smery úvalín poukazujú na tektonickú predispozíciu ich vzniku. V danom prípade by predstavovali najmladšiu tektonicky podmienenú formu reliéfu v skúmanom území. Zlomy smeru SZ-JV aktívne v kvartérnom období

opísal Čepok (1938) v oblasti Komárna južne od skúmaného územia.

Orientácia zlomových plôch sa koncentruje do dvoch základných smerov. Smer SV-JZ dominuje v severnej časti skúmaného územia (Obr. 4A) Zlomy tohto smeru sa vyskytujú aj v južnej časti územia, pričom v tejto časti viac dominuje smer S-J (resp. SSV-JJZ). Výrazne je zastúpené zlomové porušenie v smere SZ-JV (s fluktuáciami v smere ZSZ-VJV resp. SSZ-JJV; obr. 4B). Relatívnu sukcesiu zlomového porušenia nebolo možné stanoviť priamo z analýzy krehkých štruktúr, pretože zlomové porušenie



Obr. 4. A) Zlomové rozhrania smeru SV-JZ interpretované na základe morfofotektonickej analýzy. Ružicový diagram zobrazuje smer zlomov poklesového charakteru ($n = 36$) získané zo zobrazených lokalít. Šípky vyjadrujú smer tenzie. B) Zlomové rozhrania smeru SZ-JV interpretované na základe morfofotektonickej analýzy. Ružicový diagram zobrazuje smer zlomov poklesového charakteru ($n = 23$) získané zo zobrazených lokalít. Šípky vyjadrujú smer tenzie.

Fig. 4. A) Morphotectonic interpreted NE-SW oriented fault disruptions. Rose diagram indicates direction of the normal faults ($n = 36$) gathered from the depicted localities. The arrows indicate orientation of the tension. B) Morphotectonic interpreted NW-SE oriented fault disruptions. Rose diagram indicates direction of the normal faults ($n = 23$) gathered from the depicted localities. The arrows indicate orientation of the tension.

postihuje výhradne horniny volkovského súvrstvia (pliocén) a v teréne nebolo pozorované sukcesívne presekávanie zlomových plôch. Na základe uvedeného je však možno konštatovať, že zlomové porušenie je mladšie ako je vek pliocénnych sedimentov (vrchný pliocén až recent). Zlomy vznikali v tenznom napätovom poli (poklesy), pričom tenzná zložka napätia menila svoju orientáciu (cf. Obr. 4A a Obr. 4B).

Na základe geologickej stavby Hronskej pahorkatiny v kombinácii so získanými údajmi zlomového porušenia hornín a analyzovanými morfoštruktúrami je možné konštatovať, že interpretované zlomové rozhrania vykazujú prednostné usporiadanie SV-JZ a SZ-JV s fluktuáciami v smere S-J resp. ZSZ-VJV.

Za najstaršie možno považovať zlomové rozhrania smeru SV-JZ (až S-J). Časť interpretovaných zlomových rozhraní je usporiadané kulisovito a poukazuje na možnosť existencie transtenného režimu pri ich tvorbe. Zlomové hrany sú asymetrické, indikujú poklesový charakter zlomov so sklonom zlomových plôch na SZ resp. ZSZ. Zlomové hrany porušujú pliocénne horniny volkovského súvrstvia (dák) a ich vznik možno datovať do obdobia najvyššieho pliocénu až spodného pleistocénu. Vznikali v napätovom poli s orientáciou tenznej zložky napätia generálne v smere SZ-JV (Obr. 4A).

Druhú skupinu tvoria zlomové rozhrania smeru SZ-JV. Táto skupina často segmentuje staršie zlomy (SV-JZ). Zlomové rozhrania sú komformné s najmladšími úvalinovými formami reliéfu (würm–holocén). Vznik zlomov je možno datovať na obdobie vrchného pleistocénu až holocénu a zlomy vznikali v napätovom poli s orientáciou tenzie v smere SV-JZ (Obr. 4B).

Zmenu orientácie napätového poľa s tenziou v smere SZ-JV na smer SV-JZ je možno datovať na obdobie pleistocénu. Podobné zmeny charakteru napätia boli opísané z oblasti pohoria Tribeč (Hók et al., 2007) a z oblasti rišňoveckej depresie (Vojtko et al., 2008). Morfoštruktúry poukazujúce na holocénnu tenziu smeru SV-JZ opisuje Stankoviansky (1994) z oblasti Trnavskej pahorkatiny.

4. ZÁVER

Na základe interpretácie geologickej stavby územia spojenej so štruktúrnou a morfotektonickou analýzou je možné konštatovať, že územie Hronskej pahorkatiny je prestúpené zlomami charakteru poklesov, pričom interpretované zlomové rozhrania vykazujú generálnu orientáciu v smere SV-JZ a SZ-JV. Za najstaršie zlomové rozhrania možno považovať zlomy s generálnou orientáciou SV-JZ. Zlomy vznikali v napätovom poli s orientáciou tenznej zložky napätia v smere SZ-JV a ich vznik možno datovať do obdobia najvyššieho pliocénu až spodného pleistocénu.

Mladšiu skupinu tvoria zlomy smeru SZ-JV, ktoré segmentujú staršie zlomové rozhrania (SV-JZ). Zlomy vznikali v napätovom poli s orientáciou tenzie v smere SV-JZ. Tieto zlomové rozhrania sú komformné s najmladšími úvalinovými formami reliéfu vyplňovanými eolicko–deluviálnymi sedimentami (würm–holocén) a ich vznik je možno datovať na obdobie najmladšieho pleistocénu až holocénu.

Na základe uvedeného je možno konštatovať, že zlomové porušenie sedimentov volkovského súvrstvia (dák) v oblasti

Hronskej pahorkatiny bolo generované reorientáciou tenznej zložky napätového poľa zo smeru SZ-JV do smeru SV-JZ v období najmladšieho pleistocénu až holocénu.

Podakovanie: Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-0158-06.

Literatúra

- Baráth I. & Kováč M., 1995: Sedimentologická a paleogeografická charakteristika pliocénnej delty Hrona v komjatickej depresii dunajskej panvy. *Mineralia Slovaca*, 27, 236 – 242.
- Burbank D. W. & Anderson R. S., 2001: Tectonic Geomorphology. Book News, Portland, 274 s.
- Čepek L., 1938: Tektonika komárenské kotliny a vývoj podélného profilu čsl. Dunaje. Sborník SGÚ, Sv.XII. Praha, (nemecké rezumé), 61 s.
- Gaža B. & Beinbauerová M., 1976: Príspevok ku geológii zlatomoraveckého zálivu. *Mineralia Slovaca*, 8, 3, 221 – 240.
- GRASS Development Team, 2010: Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.0. *Open Source Geospatial Foundation*. <http://grass.osgeo.org>
- Harčár J., 1974: Hronská pahorkatina a dolina Žitavy (kvartér a morfológia). Kandidátska dizertačná práca, PRIF UK, Bratislava, 246 s.
- Harčár J., 1975: Podiel tektoniky na kvartérno-geologickom a morfológickom vývoji Pohronskej pahorkatiny a doliny Žitavy. *Geografický Časopis*, 27, 1, 25 – 29.
- Harčár J., 1981: Stručná charakteristika terás Žitavy a Podunajskej nížiny. *Geografický Časopis*, 33, 1, 72 – 90.
- Harčár J., 1983: Tectonic influences on paleohydrography of the Žitava River in the Podunajská nížina (Danube Lowland). *Studia geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 16, 15 – 25.
- Harčár J. & Priečhodská Z. (Eds.), 1988: Geologická mapa Podunajskej nížiny, severovýchodná časť, 1:50000. ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Hók J., Kováč M., Kováč P., Nagy A. & Šujan M., 1999: Tectonic and geological evolution of the NE part of the Komjatice Depression. *Slovak Geological Magazine*, 5, 3, 187 – 199.
- Hók J., Marko F., Vojtko R. & Kováč M., 2007: Pukliny v granitoidoch pohoria Tribeč. *Mineralia Slovaca*, 39, 4, 283 – 292.
- Mazúr E. & Lukniš M., 1978: Regionálne geomorfologické členenie SSR. *Geografický časopis*, 30, 2, 101 – 125.
- Mitášová H. & Mitáš L., 1993: Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology*, 25, 641 – 655.
- Mitášová H. & Hoferka J., 1993: Interpolation by regularized spline with tension: II. Application to terrain modeling and surface geometry analysis. *Mathematical Geology*, 25, 657 – 667.
- Priečhodská Z., Harčár J. (Eds.), Karolus K., Karolusová E., Remšík A. & Šucha P., 1988: Vysvetlivky ku geologickej mape severovýchodnej časti Podunajskej nížiny, 1:50000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 114 s.
- Stankoviansky M., 1994: Morfoštruktúrne jednotky trnavskej pahorkatiny v širšom zázemí Jaslovských Bohuníc a ich vývoj. *Geografický časopis*, 46, 4, 384 – 398.
- Stewart I. S. & Hancock P. L., 1994: Neotectonics. In: Hancock P. L. (Ed.): Continental deformation. Pergamon Press, University of Bristol (U.K.), London, 370 – 409.
- Vass D., Began A., Gross P., Kahan Š., Köhler E., Lexa J. & Nemčok J., 1988: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR. 1:500 000. ŠGÚ – GÚDŠ, Bratislava.

Vojtko R., Hók J., Kováč M., Sliva L., Joniak P. & Šujan M., 2008: Pliocene to Quaternary stress field change in the western part of the Central Western Carpathians (Slovakia). *Geological Quarterly*, 52, 1, 19 – 30.

Wallace R.E., 1977: Profile and ages of young fault scarps, north-central Nevada. *Geological Society American Bulletin*, 88, 1267 – 1281.

Summary: The Hronská pahorkatina highland is situated on the east flank of the Komjatice Depression and belongs to typical morphostructures of the Danube Basin. Geological structure of the Hronská pahorkatina highland is composed of the Latest Miocene to Pliocene and the Quaternary sediments. The distinct morphostructural feature is the pattern and transversal asymmetry of the fluvial valleys (Fig. 2). The research was based on morphotectonic analysis of the fluvial valleys and structural analysis of the Pliocene sediments disruption. The morphotectonic analysis showed the asymmetric character of the transversal profiles of the fluvial valleys which reflect tectonic origin or tectonic predisposition of the valleys. Orientation of the normal faults affected the Pliocene deposits corresponds to orientation of the fluvial valleys. The faults are concentrating into two prevailing directions. The older normal fault system is oriented in the NE-SW direction and was generated under the NW-SE oriented tension (Fig. 4A). The faults oriented in the NW-SE direction are considered to be younger (Fig. 4B). The conformity between the faults orientation and trending of the youngest valleys forms filled by the Würmian to Holocene sediments refer to the younger faults origin during the Latest Pleistocene to Holocene epochs. The change of the orientation of tension generated the origin of normal faults operated most probably during the Earliest Holocene.