

Paleonapätová analýza zlomového porušenia Žiarskej kotliny

Zuzana Pulišová¹ & Jozef Hók²

¹ Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, pracovisko Banská Bystrica, Ďumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica; pulisova@savbb.sk

² Katedra geológie a paleontológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava; hok@fns.uniba.sk

AGEOS The palaeostress analysis of the fault rupture of the Žiarska kotlina Basin

Abstract: The Žiarska kotlina Basin (ZKB) is situated in the Internal Western Carpathians and belongs to the Neogene Intra-montane Basins. The origin of the ZKB is connected with the Central Slovak Fault System. The first detected tectonic event was the Early Badenian compression oriented in WNW–ESE direction. During the Early–Middle Sarmatian the compressional regime was changed to the transpression. The compression axis was oriented in NNE–SSW to NE–SW direction, extension axis was perpendicular to compression. The transtension regime operated in the Late Miocene. The compression axis was oriented in NNW–SSE direction. During this time transtension was alternated by extension oriented in WNW–ESE direction. Post-Pliocene tectonic regime is characterized by extension oriented in NE–SW to E–W direction.

Keywords: Western Carpathians, Central Slovakia Neovolcanic Field, Žiarska kotlina Basin, Neogene, stress field orientation

1. ÚVOD

Žiarska kotlina patrí medzi vnútrohorské panvy a kotliny Západných Karpát (sensu Vass et al., 1988). Nachádza sa v oblasti stredoslovenských neovulkanitov, voči ktorým je obmedzená zlomami (Obr. 1, 2). Geologická stavba Žiarskej kotliny a okolia je zobrazená na geologických mapách v mierke 1:50 000 (Šimon et al., 1997^a; Lexa et al., 1998^a; Konečný et al., 1998^a), pričom vo vysvetlivkách k týmto mapám je zhrnutý aj opis geologických pomerov kotliny (Šimon et al., 1997^b; Lexa et al., 1998^b; Konečný et al., 1998^{b,c}). Tektonikou Žiarskej kotliny sa okrem uvedených autorov, okrajovo zaoberali aj práce Nemčoka & Lexu (1990) a Nemčoka et al. (2000), ktorí konštatujú, že procesom, vedúci k vzniku kotliny bola extenzia, spôsobená diapirickým výzdvihom plášťa, pričom Žiarska kotlina bola otváraná v extenznom režime s orientáciou extenznej zložky v smere SZ–JV. Cieľom práce bola paleonapätová analýza zlomových štruktúr, chronológia deformačných udalostí a vypracovanie tektonického modelu geodynamického vývoja skúmanej oblasti.

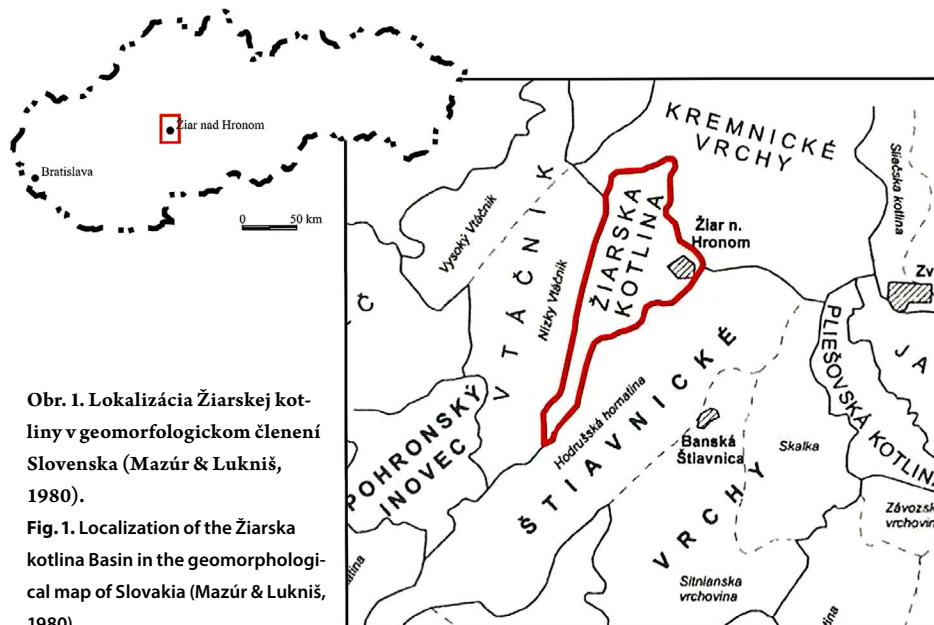
2. STRUČNÝ PREHLAD GEOLOGICKEJ STAVBY

O predkenozoickom podloží nemáme priame informácie, keďže bolo v rámci Žiarskej kotliny zachytené len vrstvom JL-1 pri Janovej Lehote. Je budované ipoltickej skupinou tektonickej jednotky hronika. V podloží

vulkanosedimentárnej ipoltickej skupiny hronika ležia mezozoické horniny hronika v tektonickej superpozícii nad horninami fatrika (Biely et al., 1977). Spomínaným vrstvom boli v nadloží hornín ipoltickej skupiny prevrútané aj sedimenty paleogénneho veku. Litologicky sú to tmavosivé až čierne, čiastočne bridličnate ílovcce s lokálnou prímiesou piesčitého materiálu. Sedimenty pravdepodobne odpovedajú ílovcovej fácií časti paleogénnych sedimentov z oblasti Handlovej (Biely et al., 1977).

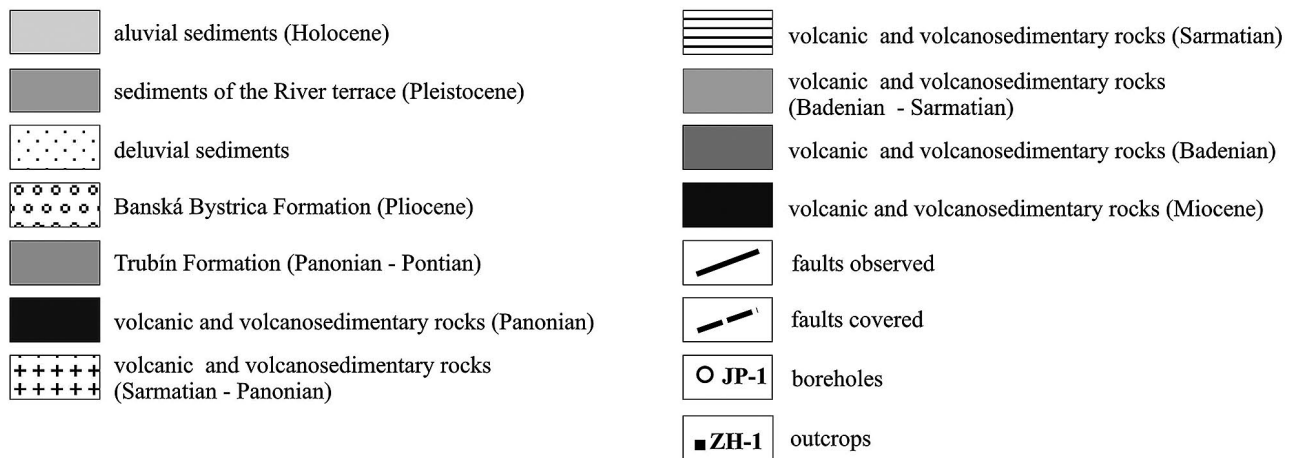
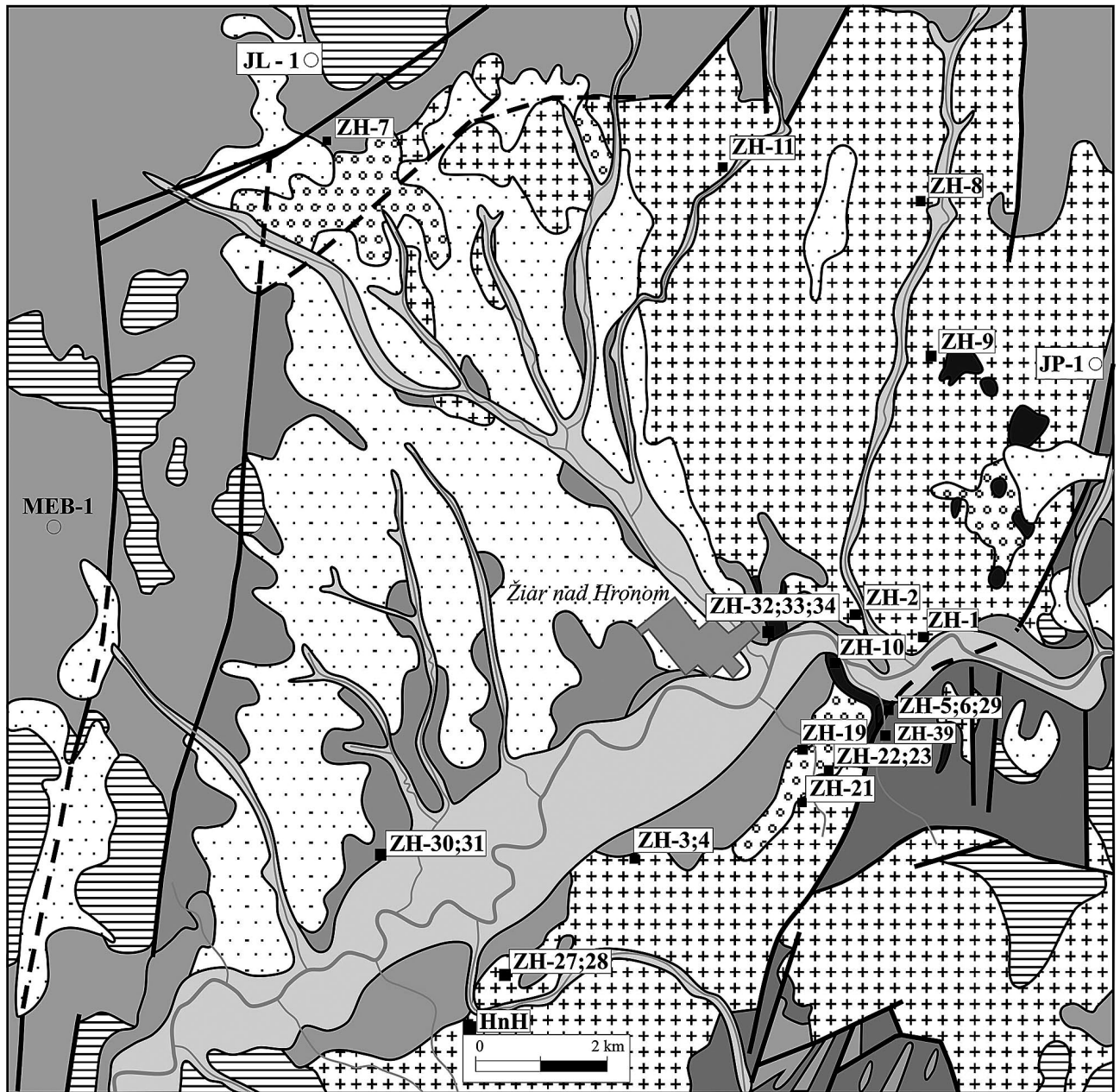
Samotnú výplň Žiarskej kotliny tvoria neogénne sedimenty a vulkanity, ktorých hrúbka podľa geofyzikálnych údajov dosahuje 1 500 až 2 500 metrov (Fusán et al., 1987; Kilényi & Šefara 1989; Konečný et al., 1998^{b,c}).

Za najstaršie je považované kordické súvrstvie (spodný bádén) na báze s uhoľnými slojkami, ktoré je reprezentované nevolkanickými pieskvcami, siltovcami a ílovcami, redeponovanými



Obr. 1. Lokalizácia Žiarskej kotliny v geomorfologickom členení Slovenska (Mazúr & Lukniš, 1980).

Fig. 1. Localization of the Žiarska kotlina Basin in the geomorphological map of Slovakia (Mazúr & Lukniš, 1980).



Obr. 2. Zjednodušená geologická mapa Žiarskej kotliny s vyznačenými lokalitami (upravené podľa Konečný & Lexa, 1984).

Fig. 2. Simplified geological map of the Žiarskakotlina Basin with localization of the main outcrops (according to Konečný & Lexa, 1984).

tufmi, epiklastickými vulkanickými pieskovecami a zlepenkami s nevolkanickým materiálom (Lexa et al., 1998; Konečný et al., 2003). Vo vrchnej časti formácie vystupujú telesá hyperstenicko-amfibolického andezitu s granátom (Konečný et al., 2003). V južnej časti kotliny je kordické súvrstvie prekryté horninami spodnej stavby Štiavnického stratovulkánu. Jednotka je reprezentovaná lávovými prúdmi a vulkanoklastikami biotiticko-amfibolicko-pyroxenických andezitov severovýchodného okraja spodnej stavby stratovulkánu (Lexa et al., 1998; Vass, 2002). V severnej a severozápadnej časti leží na kordickom súvrství zlatostudnianska formácia (spodný až stredný bádén), ktorej spodnú časť budujú zbrekiované lávové prúdy a hyaloklastitové brekcie pyroxenických andezitov, redeponované brekcie hyaloklastitového typu, epiklastické vulkanické zlepenky a pieskovce (komplex Suchého vrchu) (Lexa et al., 1998; Konečný et al., 2003). Epiklastiká prevládajú hlavne vo vrchnej časti formácie. Fragmenty sú tvorené pyroxenickými andezitmi, ktoré sú celistvé a pórovité, ojedinele napenené. Prítomná je aj pemza (Lexa et al., 1998).

V strednej a severnej časti Žiarskej kotliny sú spomínané súvrstvia prikryté výplňou kremnického grabenu (Konečný et al., 2003). Turčecká formácia a formácia Klakovskej doliny (vrchný bádén) sú ekvivalentné litostratigrafické jednotky Kremnických vrchov (Turčecká formácia) a pohoria Vtáčnik (formácia Klakovskej doliny). Pri východnom okraji Žiarskej kotliny reprezentujú turčeckú formáciu lávové prúdy pyroxenických a leukokrátnych andezitov s vývojom lávových a hyaloklastitových brekcií, ktoré sa nepravidelne striedajú s polohami redeponovaných pemzových tufov, epiklastík rôznej zrnitosti od pieskocov až po brekcie a redeponované hyaloklastitové brekcie (Lexa et al., 1998). Formácia Klakovskej doliny je tvorená západne od Janovej Lehoty na báze freatomagmatickými pyroklastikami, vyššie lávovými prúdmi pyroxenických andezitov, epiklastickými vulkanickými brekciami a vo vrchnej časti uloženiami pyroklastických prúdov a redeponovanými pyroklastikami (Šimon et al., 1997^{a,b}). Obe formácie sú produktom vulkanickej aktivity, ktorá sprevádzala iníciaľne štádium subsidencie kremnického grabenu (Lexa et al., 1998). Subsidencia bola kompenzovaná výlevmi láv a akumuláciou vulkanického materiálu na západnom a východnom okraji budúcej Žiarskej kotliny (Remšík et al., 2000), ktorá sa začala formovať ako súčasť kremnického grabenu. Z kremnického grabenu do južnej časti kotliny zasahuje aj formácia Kremnického štítu (vrchný bádén), ktorá vyklíňuje na severných svahoch štiavnického stratovulkánu (Lexa et al., 1998). Formácia je reprezentovaná efuzívnymi komplexmi amfibolicko-pyroxenických andezitov. Stratigraficky vyššie sa nachádza stránsky efuzívny komplex (najvrchnejší bádén), ktorý Šimon et al. (1997) označuje ako stránska formácia. Ide o komplex lávových prúdov amfibolicko-pyroxenických andezitov v tektonickom medzibloku pri okraji Žiarskej kotliny východne od obce Prochot (Konečný et al., 1983). Na báze a vo vrchnej časti sa nachádza poloha pyroklastík (Šimon et al., 1991).

Do severnej časti Žiarskej kotliny zasahuje krahulská formácia (vrchný bádén). Lexa et al. (1998) predpokladá súvis so studenskou formáciou štiavnického stratovulkánu (vrchný bádén) alebo s jej magmatickým zdrojom. Krahulskú formáciu tvoria produkty extruzívnej aktivity biotiticko-amfibolických andezitov, sledujúcich severo-južné ihráčske zlomové pásmo. Reprezentujú ju dve extruzívne telesá, niekoľko dajok a ojedinelé výskyty epiklastík

(Lexa et al., 1998). Studenská formácia (vrchný bádén) zasahuje do južnej a severnej časti kotliny (Konečný et al., 1998; Lexa et al., 1998). Zahŕňa produkty explozívno-extruzívnej, efuzívnej a intruzívnej aktivity vulkanizmu biotiticko-amfibolických a amfibolicko-biotitických andezitov.

V období vrchného bádenu až spodného sarmatu zasahuje do južnej časti subsidujúcej Žiarskej kotliny severný okraj formujúcej sa štiavnickej kaldery. Počas stredného až vrchného sarmatu bola pozdĺž zlomov smeru SSV–JJZ až SV–JZ formovaná už vlastná štruktúra Žiarskej kotliny. V tomto štádiu bola subsidencia sprevádzaná uložením vulkanických a vulkanosedimentárnych produktov sarmatského andezitového a následne ryolitového vulkanizmu (Remšík et al., 2000).

Vulkano-sedimentárna formácia sarmatského veku bola navrtaná vrtnom Kríž-1 severovýchodne od Žiaru nad Hronom. Prevrtané vrstvy sú tvorené prevažne sivým a zelenkavým ílovcem, siltovcom a pieskovcom. Sedimenty jazerného pôvodu obsahujú vrstvy tufitu, v ktorom sú tenké, šošovkovité slojky uhliar a lignitu. Podradné zastúpenie má andezitový drobnozrný zlepenec a brekcie (Seneš, 1955). Ryodacitový materiál v spodnej časti vulkano-sedimentárnej sukcesie je korelovaný so strelnickou formáciou (spodný sarmat) stratovulkánu Poľana (Konečný et al., 2003).

V nadloží súvrstvia z vrtnu Kríž-1 vystupuje ekvivalent sielnickej formácie (stredný až vrchný sarmat; Vass, 2002). Súvrstvie je tvorené ílovcem, siltovcom, pieskovcom, tuftom, redeponovaným tuфом a štrkom so zmiešaným vulkanickým (andezitovým) a nevolkanickým klastickým materiálom.

Vo vrchnej časti výplne Žiarskej kotliny sa nachádzajú produkty ryolitového vulkanizmu jastrabskej formácie (vrchný sarmat-spodný panón). Predstavujú nesúvislý súbor dajok, extrúzií, lávových prúdov a vulkanoklastík (Konečný et al., 1983, 2003; Lexa et al., 1998), ktoré na povrch vystupujú hlavne v juhovýchodnej a východnej časti kotliny. Najmladšie štádium vývoja formácie reprezentuje horizont redeponovaných tufov, tuftických pieskocov a ílovcov s polohami limnosilitov (Lexa et al., 1998). Vzhľadom na asymetrický charakter subsidencie Žiarskej kotliny, ktorá v období panónu až pontu prebiehala prevažne v jej západnej časti, sú produkty ryolitového vulkanizmu v tejto oblasti prekryté fluvialno-limnickými sedimentami veku panón až pont (Remšík et al., 2000; Konečný et al., 2003). V období panónu Žiarska kotlina bola priestorom pre umiestňovanie rozsahom nevelkého bazaltového a bazalticko andezitového vulkanizmu – komplexu Šibeničného vrchu (vrchný panón). Komplex je reprezentovaný dajkami, prienkami, extrúziami a prúdmi afanitických bazaltických andezitov (Konečný et al., 1983, 2003; Lexa et al., 1998). V stratigraficky vyššej pozícii ležia sedimenty trubínskeho súvrstvia a kosorínske uhoľné vrstvy (panón-pont). Jedná sa o tuftický ílovec, ktorý sa strieda s piesčitým ílovcem, jemnozrným pieskovcom, šošovkami drobnozrného štrku a so slojkami lignitu. Sedimenty pravdepodobne vznikali v prostredí intravulkanického prietochného jazera, ktoré sa neskôr zmenilo na močiar s tvorbou uhliar (Vass, 2002). V období pliocenu pokračovala sedimentácia ukladaním banskobystričského súvrstvia (vrchný pliocén). Ide hlavne o stredno-hrubozrné štrky, v menšej miere sú prítomné medzivrstvy drobných štrkov, piesčitých štrkov a piesčitých ílov, ktoré majú typicky hrdzavú

farbu (Lexa et al., 1998; Konečný et al., 1998). Kvartérnu výplň Žiarskej kotliny reprezentujú v prvom rade fluviaálne štrky terás Hrona alebo jeho prítokov. V menšej miere tvoria kvartérne sedimenty aj štrky náplavových vejárov hlavne v severnej časti kotliny (Lexa et al., 1998; Konečný et al., 1998).

Predkenozoické podložie kotliny spoločne so sedimentárnou výplňou sa skláňa generálne smerom na západ (Nemček & Lexa, 1990), čo poukazuje na poklesovú funkciu zlomov na západnom okraji Žiarskej kotliny.

3. METODIKA

Terénny výskum bol zameraný na zber štruktúrnych údajov, predovšetkým zlomových plôch a ryhovaní na zlomových plochách (Obr. 3, 4). Boli dokumentované tiež smerové charakteristiky puklín, avšak tieto reflektovali lokálne pomery ovplyvnené primárnym rozpadom lávových prúdov a neboli použité pri interpretácii štruktúrnej analýzy. Štruktúrne údaje boli zozbierané z vulkanických, vulkanosedimentárnych a sedimentárnych hornín (andezity z spodného bádenu, andezity a andezitové tufy turčeckej formácie a formácie Klakovskej doliny, ryolity a ryolitové tufy jastrabskej formácie, bazaltoidné andezity komplexu

Šibeničného vrchu a sedimenty banskobystričského súvrstvia). Vzhľadom k tomu, že štruktúrny záznam pozorovaný v teréne je vo väčšine prípadov výsledok niekoľkých po sebe nasledujúcich deformačných udalostí, stratigrafické zaradenie hornín, v ktorých bolo pozorované zlomové porušenie, umožňuje určenie relatívnej časovej následnosti vzniku príslušných štruktúr (zlomov).

Získané dáta boli použité na výpočet paleonapätí pomocou softvérového balíka Win-Tensor verzia 4.0.4 (autor Damien Delvaux). Malý počet získaných údajov o smere sklonu zlomových plôch a ryhovaní na zlomových plochách na niekoľkých lokalitách umožnil získať orientáciu napätového tenzora len za pomoci kombinácie inverznej metódy a napätových sektorov (napr. Angelier, 1994; Marko, 2000). Výsledkom analýzy krehkých štruktúr a jej korelácie s geologickým vývojom kotliny a okolia je paleonapätová rekonštrukcia, aplikovaná na vznik a funkciu zlomového porušenia Žiarskej kotliny.

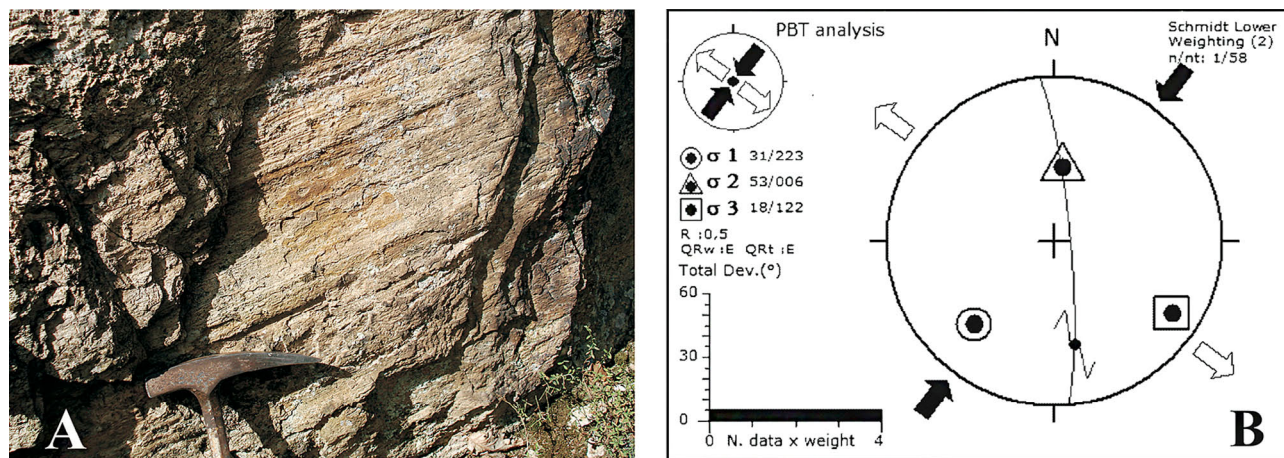
4. INTERPRETÁCIA ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV A DISKUSIA

Štruktúrna analýza preukázala, že najstaršou tektonickou udalosťou, ktorá bola zistená v oblasti Žiarskej kotliny, je

Tab. 1. Homogénne skupiny, vytvorené zo zlomov nájdených na skúmanom území. Vysvetlivky: n – počet zlomových údajov; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - hlavné napätové osy v tvare azimut/sklon (v stupňoch); R – napätový parameter $(\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$; R' - typ tenzora; F5 (α) – odchýlka (uhol medzi nameraným a vypočítaným smerom v stupňoch); Q (QRw) – hodnotenie kvality podľa Sperner et al. (2003); A – najlepšia – E – najhoršia

Tab. 1. Homogeneous groups of faults from studied area. Explanations: n – number of fault-slip data; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - principal stress axes in format azimuth/dip (in degrees); R – stress ratio $(\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$; R' - tensor type; F5 (α) – mean slip deviation (angle between observed and computed slip directions, in degrees); Q (QRw) – World Stress Map project quality ranking as defined in Sperner et al. (2003) – from A – best to E - worst

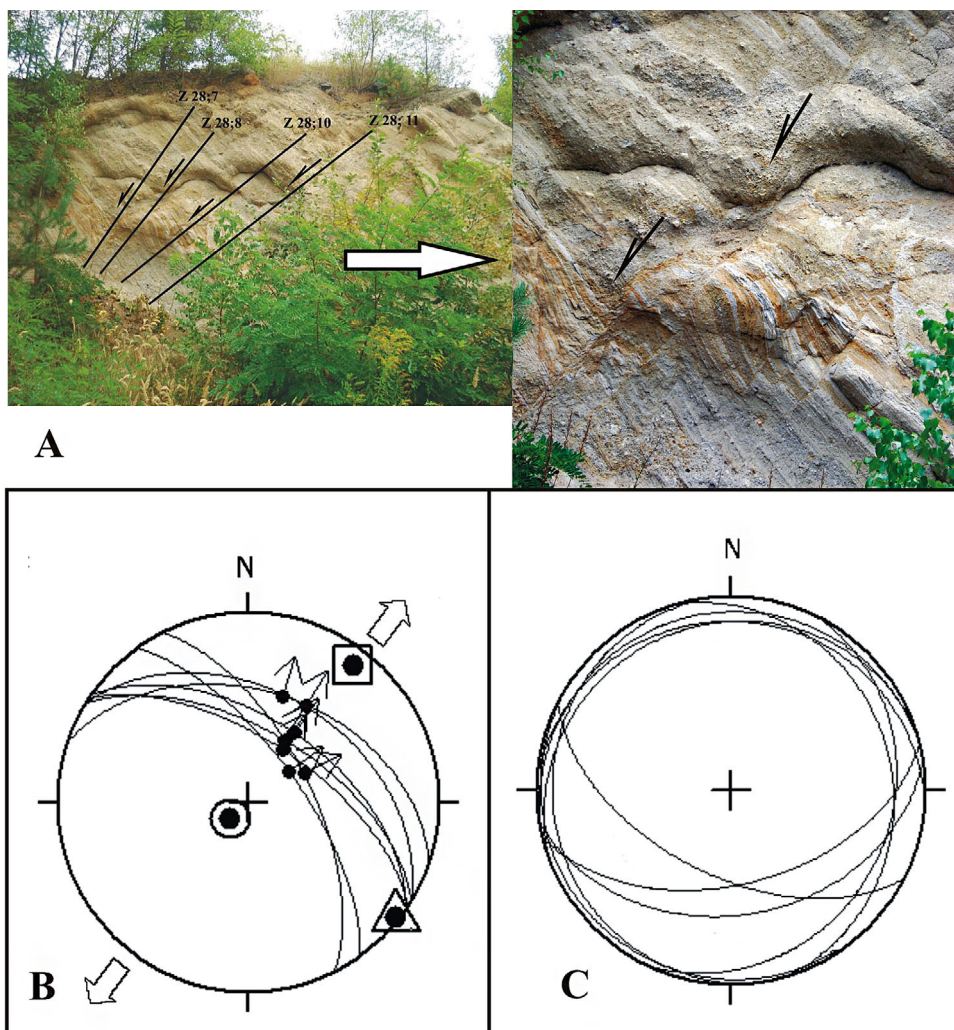
Homogénna skupina zlomov / Homogeneous fault group	n	σ_1	σ_2	σ_3	R	R'	F5 (α)	Q	Tektonický režim / Tectonic regime	Použitá metóda / Method used	Poznámky / Comments
HS1	4	288/10	023/30	181/38	0,62	2,56	9,7	E	kompresia	inverzná metóda	
HS2a	1	044/11	149/54	306/34	0,5	1,5	-	E	transpresia	metóda P-T osí	
HS2b	2	012/09	271/52	109/36	0,49	1,51	-	E	transpresia	metóda P-T osí	
HS3a	1	331/18	158/72	062/02	0,5	1,5	-	E	transtenzia	metóda P-T osí	
HS3b	1	223/31	006/53	112/18	0,5	1,5	-	E	transtenzia	metóda P-T osí	lokalita ZH-1
HS3c	1	168/17	035/65	264/17	0,5	1,5	-	E	transtenzia	metóda P-T osí	
HS3d	2	342/09	179/81	072/03	0,5	1,5	-	E	transtenzia	metóda P-T osí	
HS4a	2	304/84	040/01	130/06	0,5	0,5	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS4b	4	072/86	205/03	295/03	0,5	0,5	1,98	E	extenzia	inverzná metóda	
HS4c	8	134/74	031/04	300/16	0,44	0,44	4,62	D	extenzia	inverzná metóda	
HS5a	2	146/63	238/01	329/27	0,47	0,47	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS5b	5	307/75	055/05	146/15	0,44	0,44	7,84	E	extenzia	inverzná metóda	
HS5c	2	345/64	255/00	165/26	0,48	0,48	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS6a	1	327/80	141/10	231/01	0,5	0,5	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS6b	5	298/74	144/14	052/07	0,54	0,54	3,6	D	extenzia	inverzná metóda	
HS6c1	7	194/84	319/03	049/05	0,37	0,37	3,39	D	extenzia	inverzná metóda	lokalita ZH-28; Lehôtka p/Brehmi
HS6c2	3	095/66	359/03	267/24	0,5	0,5	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS6d	1	089/67	359/00	269/23	0,5	0,5	-	E	extenzia	metóda P-T osí	
HS6e	12	083/70	174/01	264/20	0,46	0,46	2,87	D	extenzia	inverzná metóda	



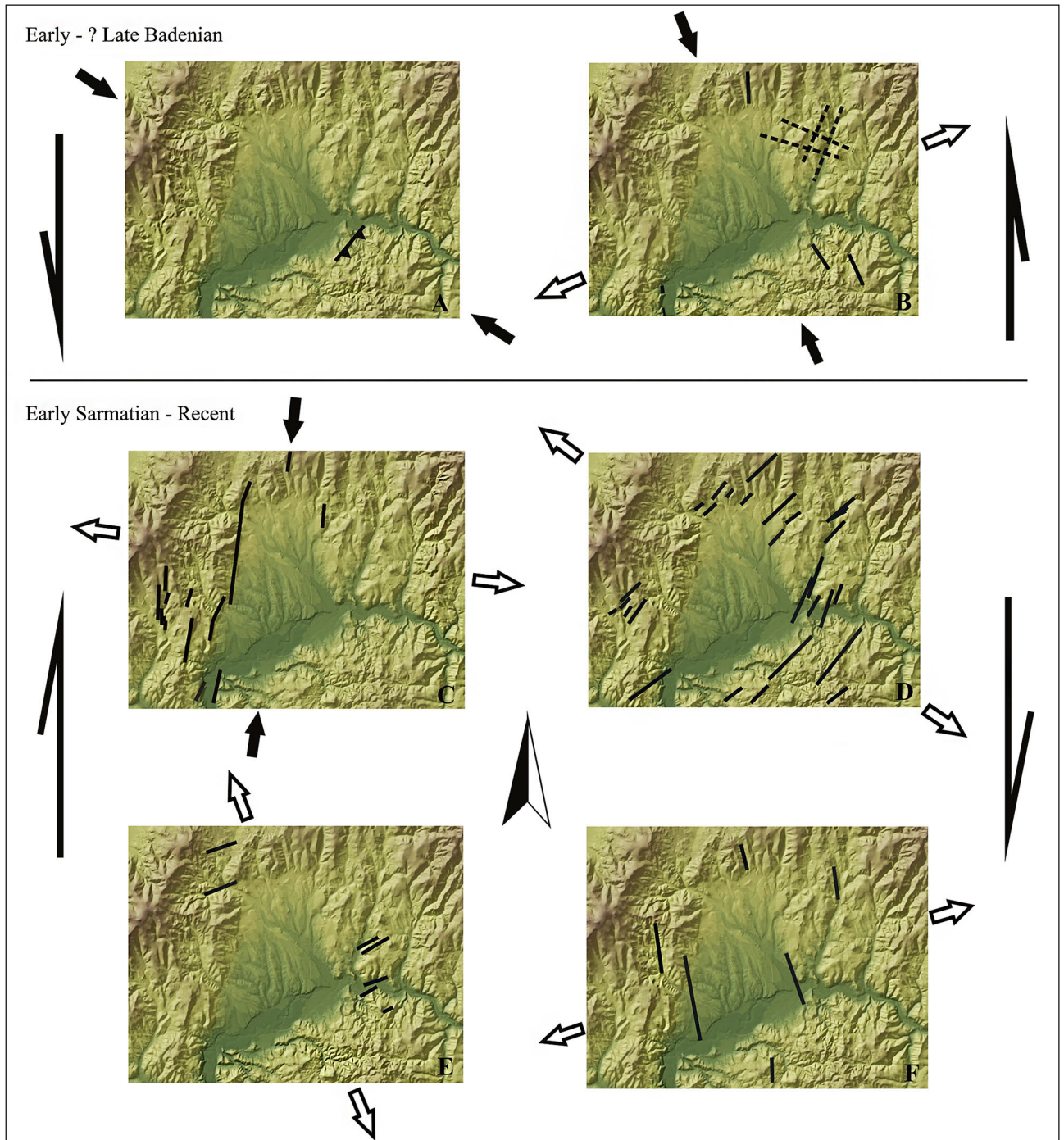
Obr. 3. Lokalita ZH-1; Trnavá Hora: A) kinematické indikátory naznačujú pravostranný šikmý pokles; B) tektonogram zisteného zľomu.
 Fig. 3. Locality ZH-1; Trnavá Hora: A) kinematics indicators show dextral normal fault; B) tectonogram of the found fault.

kompresia bádenského veku (?spodný bádén), pôsobiaca v smere ZSZ–VJV (Tab. 1; Obr. 5a, 6). Pri určovaní veku kompresného tektonického režimu bolo zohľadnené, že kompresné štruktúry v podobe šikmých prešmykov boli pozorované len v najstarších horninách, ktorými sú andezity ?spodnobádenského

veku (lokalita ZH-6 a ZH-29; obr. 2; Konečný et al., 1998^{b1}). Podobnú kompresiu dokumentovali aj Nemčok et al., (2000) v zóne štíavnického stratovulkánu. V ryolitoch jastrabskej formácie (ZH-8) bola dokumentovaná kompresia smeru SSZ–JJV. V danom prípade je kompresia spojená s kolmo orientovanou

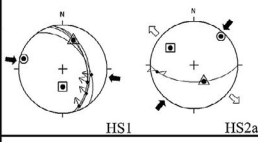
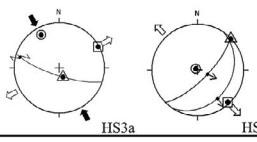
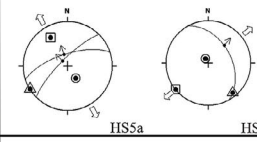
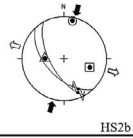
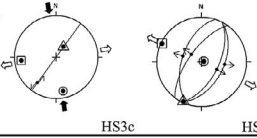
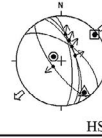
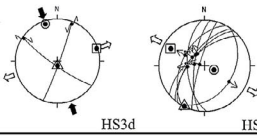
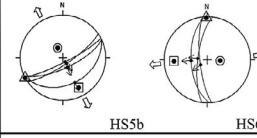
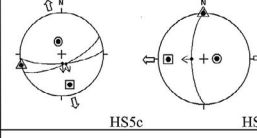
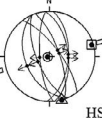


Obr. 4. Lokalita ZH-28; Lehôtka pod Brehmi – ložisko perlitu: A) fotografia poklesových zľomov na lokalite; B) tektonogramy zľomov z lokality; C) úložné pomery sedimentov jastrabskej formácie – primárny sklon vrstiev na ložisku perlitu je do 30°. Tektonicky porušené vrstvy sú sklonené pod uhlom približne 50°.
 Fig. 4. Locality ZH-28; Lehôtka pod Brehmi – pearlite quarry: A) photograph of the normal faults on the locality; B) tectonograms of faults from locality; C) primary inclination of strata of the Jastrabá Fm. is to 30°. Faulted layers are tilting approximately about 50°.



Obr. 5 Orientácia napätového poľa odvodená z morfoštruktúr sa zhoduje s orientáciou vypočítaného napätového poľa z tab. 1. Šípky na okraji obrázku znázorňujú kinematiku stredoslovenského zlomového systému: A) najstaršia tektonická udalosť – kompresia smeru ZSZ–VJV; B) zmena kompresie na transpresiu – mierna rotácia kompresie a vznik párových systémov zlomov a starších zlomov smeru SSZ–JJV; C) zmena transpresného tektonického režimu na transtenzný tektonický režim – kompresia je orientovaná v smere SSV–JJZ, extenzia je na ňu kolmá. Vzniká novobanská – klakovský zlomový systém; D) nástup extenzného režimu, smer extenzie SZ–JV – vznik zlomov smeru SV–JZ; E) CW rotácia extenzie do smeru SSZ–JJV; F) najmladšia tektonická udalosť – extenzia smeru SV–JZ až VSV–ZJZ spôsobuje vznik zlomov smeru SSZ–JJV.

Fig. 5. Orientation of the stress field derived from morphology is the same as orientation of calculated stress field in Tab. 1. The arrow on the edge of the pictures mean kinematic character of the Central Slovak Fault System: A) the oldest tectonics event – WWN–ESE compression; B) the change of compression to the transpression – the orientation of compression gently rotated and conjugate faults with the oldest faults NNW–SSE direction was incurred; C) the change of transpression on transtensional tectonic regime – the compression is oriented in NNE–SSW direction. In this time the Nová Baňa – Klak fault system is opened; D) the extensional tectonic regime – extension influence in NW–SE direction – in this time the faults in NE–SW direction are formed; E) CW rotation of extension in NNW–SSE direction; F) the youngest tectonic event – the extension in NE–SW to ENE–WSW direction. In this time the faults in NNW–SSE direction are formed.

Tectonic regime Age (Lithology) Localities	COMPRESSION / TRANSPRESSION	TRANSTENSION / EXTENSION	EXTENSION
BADENIAN ZH - 6; 29;39			
UPP. BADENIAN (Turček Fm., Kľakovská dolina Fm.) ZH - 7; 5			
SARMATIAN - PANONIAN (Jastrabá Formation) ZH- 1; 2; 3; 4; 8; 9; 11; 21; 28; HnH			
PANONIAN - PONTIAN (Šibeničný vrch Complex) ZH - 10; 32			
PLIOCENE (Banská Bystrica Formation) ZH - 19; 22; 23;			

Obr. 6. Záznam tektonického režimu v Žiarskej kotline v období neogénu až pleistocénu.

Fig. 6. Recording of the tectonic regime in the Žiarska kotlina Basin during the Neogene - Pleistocene.

extenziou na horizontálnych posunoch smeru SSV-JJZ a SZ-JV s transtenznou zložkou pohybu. Kompresná zložka paleonapätia v tomto prípade je vertikálnejšia, ako extenzná, a možno vysloviť reálny predpoklad, že určujúcim napätím bola extenzia pôsobiaca v smere VSV-ZJZ (Obr. 5b). V období vrchného bádenu stredoslovenský zlomový systém fungoval ako sinistralna transpresná zóna (Kováč & Hók, 1993), čo korešponduje s údajmi získanými v oblasti Žiarskej kotliny.

Počas spodného až stredného sarmatu sa kompresný režim menil na transpresný, čo potvrdzujú dextrálne, smerne posunové zlomy (šikmé prešmyky), dokumentované v andezitoch formácie Kľakovskej doliny (vrchný bádenu; ZH-7; obr. 2), v severnej časti Žiarskej kotliny (oblasť Dererovho mlyna). V uvedenom období kompresná zložka paleonapätia rotovala zo smeru ZSZ-VJV do smeru SSV-JJZ až SV-JZ (Tab. 1; Obr. 6), hoci extenzia, kolmá na kompresiu, začala podľa Konečného et al. (1983) pôsobiť už vo vrchnom bádene a bola príčinou otvárania sedimentačného priestoru Žiarskej aj Turčianskej kotliny (Kováč et al., 2011). Na sarmatský vek tektonického režimu s orientáciou kompresie SSV-JJZ (v rámci Žiarskej kotliny) poukazujú štruktúry zachované vo vrchnobádenských horninách (formácia Kľakovskej doliny), ktoré tam mohli vzniknúť len po ich utužnutí, ako aj absencia rovnakých štruktúr v mladších horninách. Pôsobením extenzie v smere ZSZ-VJV až SZ-JV sa začali aktivizovať aj zlomy na západnej strane dnešnej Žiarskej kotliny (Novobansko-klakovský zlomový systém; obr. 5c). V tomto čase sa mení kinematický charakter stredoslovenského zlomového systému, ktorý začína fungovať ako dextrálna transtenzná zóna (Kováč & Hók, 1993).

Počas spodného až stredného panónu sa postupne menil transtenzný tektonický režim na extenzný. Transtenzný režim bol interpretovaný v ryolitoch jastrabskej formácie (lokality ZH-1; obr. 3). Kompresná zložka paleonapätia je orientovaná v smere SV-JZ a extenzná v smere SZ-JV. Ide o rovnakú orientáciu zložiek paleonapätia, ako na lokalite ZH-7 s tým rozdielom, že pôsobenie extenznej zložky je výraznejšie ako pôsobenie kompresnej zložky, čo malo za následok vznik šikmého poklesu (Obr. 3). Preto je pravdepodobné, že práve táto štruktúra by mohla byť záznamom zmeny transpresného režimu na transtenzný. Vzhľadom na to, že sa jedná len o jednu lokalitu s jedným zlomom, toto môžeme len predpokladať.

V priebehu zmeny paleonapätových podmienok rotuje kompresná zložka paleonapätia postupne zo smeru SV-JZ do smeru SSZ-JJV (Tab. 1; Obr. 6). Extenzia pôsobila v smere VSV-ZJZ. Záznamy z tejto udalosti nachádzame v horninách jastrabskej formácie, formácie Kľakovskej doliny a v najstarších spodnobádenských andezitoch. Pôsobenie VSV-ZJZ extenzie počas stredného až vrchného miocénu bolo zistené aj na lokalitách v Hornonitrianskej a v Turčianskej kotline (Hók et al., 1995), v pohorí Burda a v okolí Nagymarosu (Bergerat, 1989). Vplyvom opisovaného paleonapätového režimu (napr. ZH-8) vznikali na východnom okraji dnešnej Žiarskej kotliny konjugované zlomy a zlomy smeru SSZ-JJV (Obr. 5b).

Na konci obdobia panónu nastupuje extenzný tektonický režim. Extenzná zložka paleonapätia pôsobí v smere ZSZ-VJV (Tab. 1; Obr. 6). Vznikajú zlomy generálne orientované v smere SV-JZ (Obr. 5d). Panónsky vek deformácie bol určený na základe toho, že najmladšie záznamy takto orientovanej extenzie sú

zaznamenané v ryolitoch a ryolitových tufov jastrabskej formácie (vrchný sarmat-spodný panón), avšak v mladších horninách už zdokumentované neboli. Smerovo podobný extenzný tektonický režim bol zaznamenaný aj v oblasti Turčianskej kotliny (Kováč et al., 2011).

Počas pliocénu extenzná os rotovala až do smeru SSZ–JJV. Vznikali zlomy smeru VSV–ZJZ, pozorované hlavne na východnom okraji kotliny v bazaltoidných andezitoch komplexu Šibeničného vrchu (Tab. 1; Obr. 5e, 6). Sedimenty banskobystričského súvrstvia prikrývajúce horniny komplexu Šibeničného vrchu nie sú porušené štruktúrami, ktoré by bolo možné spájať so smerom uvedenej extenzie. Najmladšou zaznamenanou tektonickou udalosťou je reorientácia extenznej osi paleonapätia do smeru SV–JZ až V–Z (Tab. 1; Obr. 6). Jej pôsobenie je dokumentované zlomovým porušením štrkov a pieskov banskobystričského súvrstvia. Vzhľadom k tomu, že banskobystričské súvrstvie má pliocénny vek, s najväčšou pravdepodobnosťou je táto extenzia kvartérna (Obr. 5f). V horninách jastrabskej formácie bolo pôsobenie spomínanej extenzie zachytené okrem iného aj na lokalite ZH-28 v Lehôtke pod Brehmi (Obr. 4). Rovnako orientovanú extenziu zistili aj Kováč et al. (2011) v Turčianskej kotline. Jej vek kladú na hranicu pliocén/pleistocén. Dôkazom pôsobenia extenzného režimu v Žiarskej kotline v období panónu až pleistocénu je aj prítomnosť sedimentov trubínskeho súvrstvia (panón–pont), ktoré sú na západnej strane kotliny obmedzené voči vulkanitom bádenu až spodného sarmatu pozdĺž novobansko-kľakovského zlomu smeru SSV–JJZ. Na recentnú aktivitu zlomu poukazuje výskyt prameňov, v ktorých bola zistená prítomnosť juvenilného CO₂ (Kováčová et al., 2010).

5. ZÁVER

Získané údaje sú prvou paleonapätovou analýzou z územia Žiarskej kotliny, patriacej do systému grabenov a hrastí, ktorými sa na povrchu prejavuje stredoslovenský zlomový systém. V období bádenu prevládala v oblasti Žiarskej kotliny kompresný až transpresný režim pričom kompresná zložka paleonapätia rotovala zo smeru ZSZ–VSV do smeru SV–JZ (Tab. 1; Obr. 6). Od obdobia spodného sarmatu sa tektonický režim mení z transpresného na transtenzný až extenzný. Do tohto obdobia spadá aj zmena kinematického charakteru stredoslovenského zlomového systému (Obr. 5), ktorý začal fungovať ako dextrálna transtenzná zóna (Kováč & Hók, 1993). V období panónu (pravdepodobne spodný až stredný panón) kompresná os v oblasti Žiarskej kotliny nakrátko zrotovala proti smeru chodu hodinových ručičiek (Tab. 1). Od obdobia vrchného panónu je extenzná zložka napätia orientovaná generálne v smere SZ–JV. Od obdobia pliocénu pravdepodobne až do recentu prevláda v oblasti Žiarskej kotliny extenzná zložka napätia orientovaná v smere SV–JZ až V–Z. Predpokladaná orientácia recentného napätového poľa s extenziou generálne v smere V–Z (VSV–ZJZ) koinciduje s orientáciou extenzie zaznamenatej extenzometrom zo stanice Vyhne (Mentes, 2008).

Podakovanie: Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0315-12 a APVV-14-0118.

Literatúra

- Angelier J. 1994: Fault slip analysis and palaeostress reconstruction (Chapter 4). In Hancock P.L., (Ed.): Continental Deformation, Pergamon Press, Oxford, 53–100.
- Bergerat F., 1989: From pull-apart to the rifting process: the formation of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 157, 4, 271–280.
- Biely, A., Fusán, O., Lexa, J., Vozár, J., Kullmanová, A., Kantor, J. & Franko, O., 1977: Vyhodnotenie štruktúrneho vrstu JL – 1 Janova Lehota, čiastková záverečná správa za rok 1977, manuskript - archív GÚDŠ, Bratislava
- Fusán, O., Biely, A., Ibrmajer, J., Plančár, J. & Rozložník, L., 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. Bratislava, GÚDŠ, 5–123.
- Hók, J., Šimon, L., Kováč, P., Elečko, M., Vass, D., Halmo, J. & Verbich, F., 1995: Tectonics of the Hornonitrianska kotlina depression in the Neogene. *Geol. Carpath.*, 46, 4, 191 – 196.
- Konečný, V. & Lexa, J., 1984: Geologická mapa stredoslovenských neovulkanitov 1:100 000. GÚDŠ Bratislava
- Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Miháliková A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P. & Žáková, E. 1998^a: Geologická mapa Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán) 1:50 000. Ministerstvo životného prostredia, GÚDŠ Bratislava
- Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Miháliková A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P. & Žáková, E., 1998^b: Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán), M 1:50 000, I. diel, GÚDŠ, Bratislava, 473 p.
- Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Miháliková A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P. & Žáková, E., 1998^c: Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán), M 1:50 000, II. diel, GÚDŠ, Bratislava, 473 p.
- Konečný, V., Lexa, J. & Planderová, E., 1983: Stratigrafické členenie neovulkanitov stredného Slovenska. Západné Karpaty, Séria Geológia 9, Geol. Ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 202 p.
- Konečný, V., Lexa, J. & Šimon, L., 2003: Geologic structure and evolution of intravolcanic depressions in the area of neogene volcanism in Central Slovakia. *Mineralia Slovaca*, 35, 3–4, 255–290
- Kováč, P. & Hók, J., 1993: The Central Slovak Fault System – the field evidence of a strike slip. *Geologica Carpathica*, 44, 3, 155–159
- Kováč, M., Hók, J., Minár, J., Vojtko, R., Bielik, M., Pipík, R., Rakús, M., Král, J., Šujan, M. & Králiková, S., 2011: Neogene and Quaternary development of the Turiec Basin and landscape in its catchment: a tentative massbalance model. *Geologica Carpathica*, 62, 4, 361–379.
- Kováčová, E., Kordík, J., Bahnová, N., Bottlik, F., Gregor, M., Marcin, D., Michalko, J., Mikita, S. & Šimon, J., 2010: Hydrogeologické a hydrogeochemické pomery Žiarskej kotliny. Geologické práce, Správy 116, Bratislava, 73–88.
- Kilényi, E. & Šefara, J., 1989: Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary, M 1:500 000. Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, Budapest.
- Lexa, J., Halouzka, R., Havrila, M., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P. & Hojstričová, V., 1998^a: Geologická mapa Kremnických vrchov, M 1:50 000. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava.
- Lexa, J., Halouzka, R., Havrila, M., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P. & Hojstričová, V., 1998^b: Vysvetlivky ku geologickej mape Kremnických vrchov, M 1:50 000. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava, 308 p.

- Marko F., 2000: Štruktúrna geológia II. Úvod do deformačnej a dynamickej analýzy. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava, 122 p.
- Mazúr E. & Lukniš M., 1980: Regionálno-geomorfologické členenie, mapa 1:50 000 in Regionálna geografická syntéza SSR. Bratislava, Geografický ústav Slovenskej akadémie vied.
- Mentes G., 2008: Observation of recent tectonic movements by extensometers in the Pannonian Basin. *Journal of Geodynamics*, 45, 169–177.
- Nemčok M., Konečný P. & Lexa O., 2000: Calculations of tectonic, magmatic and residual stress in the Štiavnica stratovolcano, Western Carpathians: implications for mineral precipitation paths. *Geologica Carpathica*, 51, 1, 19–36.
- Nemčok M. & Lexa J., 1990: Evolution of the basin and range structure around the Žiar Mts. range. *Geologický Zborník Geologica Carpathica*, 41, 3, 229–258.
- Remšík A., Konečný V., Fendek M., Král M., Lexa J., Hók J., Maďar D., Grand T., Weis K., Šefara J., Vika K. & Drozd V., 2000: Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Žiarskej kotliny. Záverečná správa, manuskript – archív GÚDŠ, Bratislava.
- Seneš J., 1955: Záverečná správa o základnom geologickom výskume stredného a južného Slovenska za rok 1955 (oblasť Štúrovo, Krížska kotlina, južné Slovensko), 3. diel. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava.
- Šimon L., Lexa J. & Halouzka R., 1991: Faciálny model formácie Kľakovskej doliny južne od Handlovej. Manuskript, archív GÚDŠ, Bratislava.
- Sperner B., Müller B., Heidbach O., Delvaux D., Reinecker J. & Fuchs K., 2003: Tectonic stress in the Earth's crust: advances in the World Stress Map project. In: Nieuwland, D.A. (Ed.): New insights into structural interpretation and modelling. Geological society, London, Special Publications, 212, 101–116.
- Šimon L., Elečko M., Lexa J., Pristaš J., Halouzka R., Konečný V., Gross P., Kohút M., Mello J., Polák M., Havrila M. & Vozár J., 1997^a: Geologická mapa Vtáčnika a Hornej Nitry M 1:50 000. Regionálne geologické mapy Slovenska, Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava.
- Šimon L., Elečko M., Lexa J., Kohút M., Halouzka R., Gross P., Pristaš J., Konečný V., Mello J., Polák M., Vozárová A., Vozár J., Havrila M., Köhlerová M., Stolár M., Jánová V., Marcin D. & Szalaiová V., 1997^b: Vysvetlivky ku geologickej mape Vtáčnika a Hornonitrianskej kotliny, M 1:50 000. Geologická služba Slovenskej republiky, vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava, 281 p.
- Vass D., 2002: Litostratigrafia Západných Karpát: neogén a budínsky paleogén. Vydavateľstvo Dionýza Štúra, Bratislava, 202 p.
- Vass D., Began A., Gross P., Kahan Š., Krystek I., Köhler E., Lexa J., Nemčok J., Růžička M. & Vaškovský I., 1988: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR. Mapa 1:500000. GÚDŠ, Bratislava.

Summary: The Žiarska kotlina Basin (ZKB) belongs to the intramontane basins of the Internal Western Carpathians. The ZKB is bounded by faults to the Štiavnické vrchy Mts., Kremnické vrchy Mts. and the Vtáčnik Mts. The NE–SW to NNE–SSW oriented faults are the most significant structures in the study area. The pre-Cenozoic basement is built up of the Ipolitca Group of the Hronicum tectonic unit. Below the Hronicum Unit are situated Mesozoic rock sequences of the Hronicum and the Fatricum tectonic units. The Neogene fill of the ZKB consists mainly from products of Badenian to Pliocene andesite and rhyolite volcanism. Above them sands, gravels and fluvial sediments of the Pliocene and Quaternary age are preserved. In this area, the first tectonic phase, can be characterized by the Early Badenian compression oriented in the WNW–ESE direction. During the Early to Middle Sarmatian compressional tectonic regime was changed to transpressional tectonic regime. The compression gained a NNE–SSW orientation with perpendicular extension to it. During the Early to Middle Pannonian transpression conditions were changed to transtension and extension. The extension axis rotated from ENE–WSW to WNW–ESE direction. In this period the main phase of subsidence of the ZKB occurred and the faults of direction NE–SW were active. The orientation of extension rotated during the Pliocene to NNW–SSE direction. The NE–SW to E–W extension recorded in Pliocene sediments is the youngest tectonic phase in the study area. Assumed orientation of the recent stress field with extensional axis in ENE–WSW direction is as identical as extension recorded by the extensometer in Vyhne station (Mentes, 2008). The analysed fault-slip data represent the first attempt at palaeostress reconstruction in this area.