

Digitálna morfolotektonická analýza povodia Bodvy

Peter Bandura¹, Michal Gallay²

¹Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Jesenná 5,
04001, Košice, Slovenská Republika
peto.bandura@gmail.com

²Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Jesenná 5,
04001, Košice, Slovenská Republika
michal.gallay@upjs.sk

Abstrakt. Predkladaný príspevok sa zaoberá možnosťami digitálnej morfolotektonickej analýzy reliéfu v prostredí Geografických informačných systémov na príklade povodia rieky Bodvy a jeho blízkeho okolia. Cieľom bola digitálna morfolotektonická analýza uvedeného územia za účelom rekonštrukcie prejavov morfolotektoniky v geomorfologickom vývoji územia. Splnenie cieľa zahŕňalo tvorbu funkčnej geomorfologickej GIS databázy a morfolotektonickú analýzu na báze digitálnej geomorfometrie. Dôležitými výsledkami práce sú interpretácie morfometrických parametrov reliéfu, zhodnotenie priečných profilov reliéfu a pozdĺžnych profilov dolín riek, odvodenie a analýza siete údolnic a chrbátic, vytvorené izobázové povrchy a s nimi spojené odvodenie morfologických línií a ich naloženie na geologické zlomy, ktoré viedli k identifikácii najstabilnejších morfolotektonických štruktúr na danom území.

Kľúčové slová: geotektonika, morfolotektonická analýza, DMR, Bodva

Abstract. Digital morphotectonic analysis of the Bodva river catchment. The paper focuses on the possibilities of digital morphometric and morphostructural analysis of the relief using GIS in the application on the Bodva river basin and its vicinity. Main objective of this paper is to develop a functional GIS database which will be usable for morphotectonic analysis of a defined territory for the purpose of reconstruction its geomorphological evolution with regard to the hydrographic network. Completion of the aims included the creation of functional geomorphological GIS database and morphotectonic analysis based on digital geomorphometry. The important results of the research are the interpretation of morphometric parameters of the relief, analysis of transverse and longitudinal profiles of relief and river valleys, the derivation and analysis of thalweg and crest lines networks, created isobase surfaces and with them associated morphological lines and their loading on geological faults have led to the identification of the most stable morphostructures of the territory.

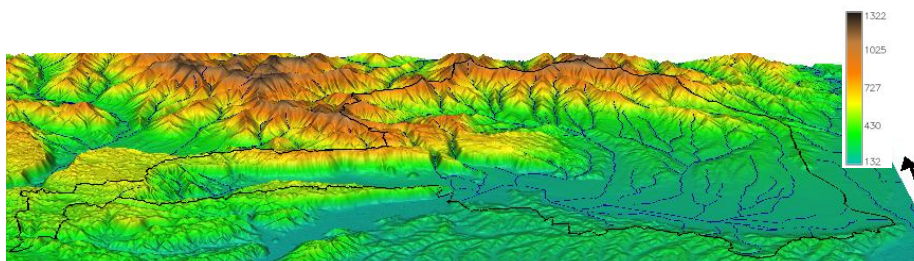
Keywords: neotectonics, morphostructural analysis, DTM, Bodva river

1 Úvod

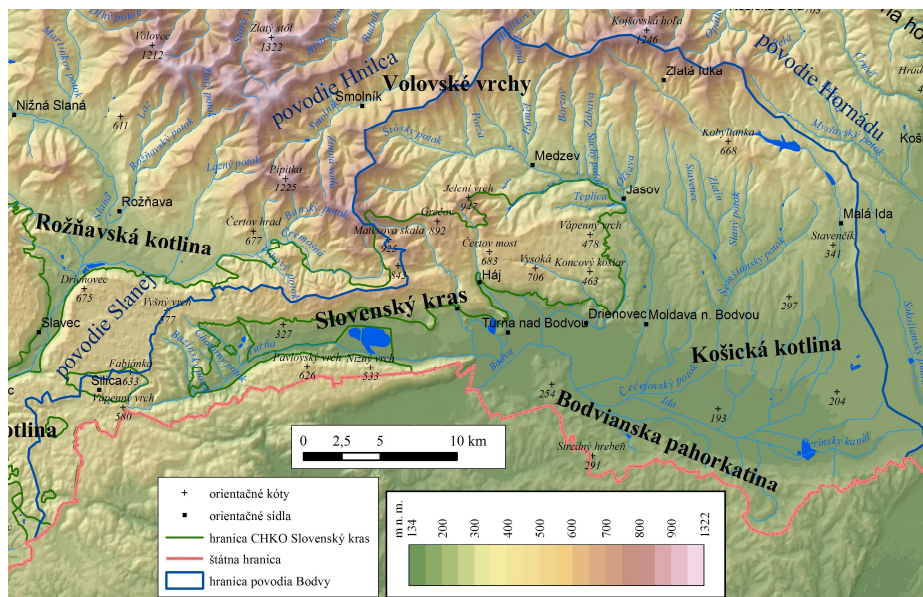
Hlavné črty zemského povrchu sú výsledkom endogénnych síl, ktorých hnacou silou je tektonika Zeme. V súvislosti s pohybmi zemské kôry v období nedávnej geologickej minulosti až po súčasnosť, hovoríme o neotektonike daného územia. Jedným z nástrojov geomorfologického a geologického výskumu je tzv. morfoštruktúrna analýza reliéfu, ktorej cieľom je objasnenie priamych alebo nepriamych väzieb medzi časťami reliéfu a stavbou zemského vnútra (Demek, 1987). Problematikou tektonicky podmienených foriem reliéfu sa zaoberali už v minulosti, ale rozvoj metód a poznatkov v geomorfológii a iných geovedných disciplínach s využitím moderných nástrojov GIS umožňuje výskum zjednodušiť, a dokonca aj posunúť ďalej. Predkladaný príspevok sa zaoberá digitálnou morfotektonickou analýzou reliéfu v prostredí GIS na príklade povodia rieky Bodvy a jeho blízkeho okolia za účelom rekonštrukcie prejavov morfotektoniky v geomorfologickom vývoji územia. Povodie Bodvy sa nachádza na juhu východného Slovenska a na území Slovenska má rieka dĺžku 48,4 km s rozlohou 890,4 km². Väčšinu povodia zaberajú Volovské vrchy ako časť Slovenského rudohoria, ďalej je to Slovenský kras, Košická kotlina a Bodvianska pahorkatina. Okolie povodia je na juhu vymedzené po sútok s riekou Rakaca a jeho rozsah zachytáva územie s predpokladom vplyvu vodných tokov na formovanie reliéfu (Barabas, 2010). Povodie je považované za morfológicky aktívne a bolo vzhľadom na spomenuté aspekty riešené len čiastočne a prevažne bez využitia možnosti digitálnej geomorfometrie. Lokalizácia záujmového územia v rámci Slovenskej republiky je zrejماً z obr. 1.



Obr. 1. Poloha záujmového územia v rámci Slovenska a Západných Karpát.



Obr. 2. 3D model povodia Bodvy, pohľad z juhu, legenda v m. n. m.



Obr. 3. Topografická situácia slovenskej časti povodia Bodvy.

2 Prehľad problematiky

Problematikou neotektoniky, neotektonických výskumov a neotektoniky v geomorfológii sa vo svojich prácach venuje hlavne Beták (2005), Beták a Vojtko (2009). Teoretické základy neotektoniky rozoberá Vojtko (2012). Rovnako ako vo svete, aj v oblasti Západných Karpát sa názory na neotektonické udalosti rôznili a dlhodobo vyvíjali. Jakál, J. (2001) definuje: „*Neotektonickými označujeme pohyby zemskej kôry, ktoré vytvorili hlavné rysy súčasného georeliéfu (morfotektonika). Mladé pohyby, ktoré zodpovedajú neotektonickej etape v karpatskej oblasti, zaberajú obdobie od stredného bádenu do súčasnosti*“ [1]. Geomorfologický pohľad na neotektoniku je hlavne v prácach Mazúra (1963, 1965), kde podľa Betákovej interpretácie sú dôsledkom mladých tektonických pohybov hlavne veľké povrchové tvary a na základe foriem reliéfu uvažuje o Karpatskom oblúku ako o mladom orogéne, na vzniku ktorého sa podieľali procesy mladej tektoniky. Teóriu geomorfologickej analýzy neotektonických foriem sa na Slovensku zaoberajú vo svojich dielach napr. Urbánek (2000, 2005); Beták (2005, 2006); Vojtko et al. (2012). Geomorfologická analýza neotektonických foriem je sústredená na určité lineárne formy (geomorfologické línie) a na zložitejšie priestorové kompozície nimi vytvorené (geomorfologická mriežka, mozaika). Analýza sa opiera o neotektonickú hypotézu, ktorá predpokladá, že tieto lineárne formy by mali byť tektonického pôvodu (Urbánek, 2005). Podľa Betáka (2009) sú najčastejšie používané tieto metódy: morfometrické a morfografické zhodnotenie územia, analýza geomorfologických línií, geomorfologickej mriežky a geomorfologickej mozaiky (Urbánek 2000, Beták

2006), zhodnotenie tvarov úpätí (Burbank a Anderson 2001), zhodnotenie plochých častí reliéfu, profilov reliéfu, dolinovej textúry a charakteru dolinových kriviek a modelovanie izočiarových povrchov (Grohmann 2011, Jedlička a Mentlík 2003, Beták 2006).

3 Geologicko – geomorfologický kontext

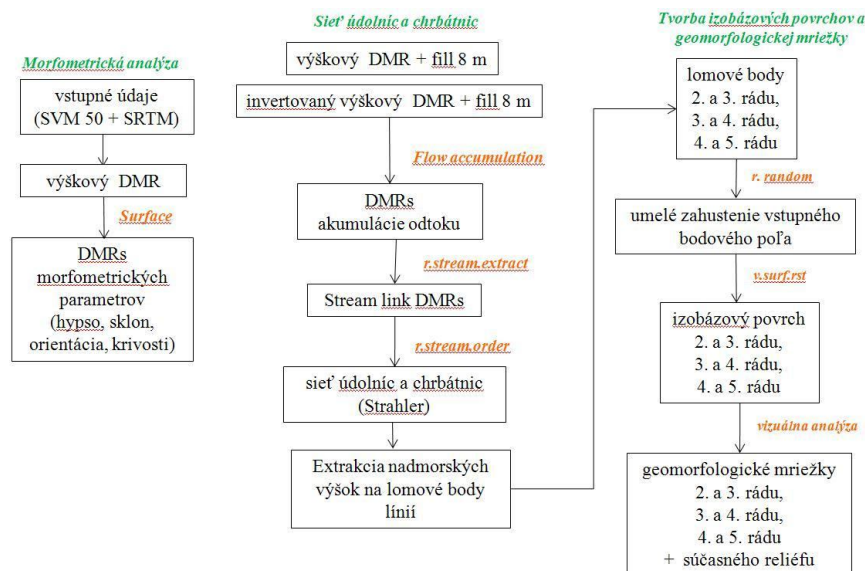
Geologickú stavbu a vývoj záujmového územia možno charakterizovať na základe Kobulský et al. (2009) – geologická mapa Spišsko-gemerského rudohoria, a Bajaník et al. (1983): Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského rudohoria. Geologickú mapu Slovenského krasu a aj vysvetlivky k nej zostavili Mello et al. (1996, 1997). Územie povodia tvoria tri tektonické jednotky nachádzajúce sa v príkrovovej pozícii nad sebou. Ide o spodnú tektonickú jednotku veporikum, na ktorom v príkrovovej pozícii leží gemerikum, na ktorého častiach spočíva príkrov silicika. Geologická stavba východnej časti Slovenského rudohoria vznikla v alpínskom orogéne, počas ktorého bol prepracovaný a včlenený do neoidnej štruktúry aj starší varísky podklad a na jeho stavbe sa podieľajú prevažne kryštalické a metamorfované horniny prvohôr a druhohôr. Najväčšiu časť skrasovatených plošín Slovenského krasu buduje mohutný komplex svetlých vápencov wettersteinského typu, ktoré vekovo patria do stredného a sčasti aj do vrchného triasu. V Košickej kotline prevládajú neogénne a kvartérne sedimenty štrkového a piesčitého charakteru. Neotektonickým vývojom záujmového územia sa vo svojej práci venuje Kvitkovič a Plančár (1975). Vývoj reliéfu Slovenského krasu v etape neotektonického vyzdvihnutia územia opisuje vo svojej práci Jakál (2001).

Podľa geomorfologického členenia SR Mazúra a Lukniša (1986) patrí povodie Bodvy, do sústavy Alpsko-himalájskej, podsústavy Karpaty, provincie Západné Karpaty a subprovincie Vnútroň Západné Karpaty. Volovské vrchy sa vyznačujú málo členitým reliéfom, čo je spôsobené jednotným štýlom deformácií a petrografickým zložením. Nížinná časť územia je tvorená hlavne fluvialnou činnosťou a vyznačuje sa najmenšou členitosťou. Mierne zvlnený povrch Slovenského krasu sa ako celok pozvoľne skláňa od severu na juh. Jednotlivé planiny sú vejárovite uklonené do kotlín a ich nadmorské výšky sa k JV, J a JZ postupne znižujú. Hlboké kaňonovité doliny vodných tokov rozdelili pôvodne celistvú plošinu na menšie, morfologicky samostatné planiny. Najvyšším bodom vo Volovských vrchoch je Zlatý stôl (1322 m n. m.) a v Slovenskom krase je to Matesova skala (925 m n. m.).

4 Metodika

Vstupnými údajmi boli prvky výškopisu mapového diela Spojitá vektorová mapa v mierke 1:50 000 (SVM50) © Geodetický a kartografický ústav SR a tiež digitálny model reliéfu SRTM (Jarvis et al 2008). Tvorba siete údolnic z DMR prebehla podľa metodiky Jasiewicz a Metz (2011) v OS GIS – GRASS. Pri tvorbe izobázových povrchov sme postupovali sme podľa metodiky Grohmann et al. (2011). Odstránenie

tvorby umelých artefaktov spôsobených nerovnomerným rozmiestnením a nízkym počtom vstupných bodov prebehlo podľa metodiky Hofierku (2007), ktorý odporúča zahustenie vstupného bodového poľa o náhodne rozmiestnené určité množstvo bodov s priradenými nadmorskými výškami z prvotne vytvoreného povrchu. Odvodenie morfológických línií tvoriacich morfológickú mriežku prebehlo na izobázových povrchoch jednotlivých rádo, ale aj na súčasnom reliéfe. Pri ich tvorbe sa postupovalo podľa metodiky Beták (2009), Urbánek (2000) a Minár a Sládek (2009). Línie boli vykreslené na základe vizuálnej analýzy a identifikácie výrazných rozhraní reliéfu. Išlo o zachytenie zmien neotektonického poľa a tvaru najväčších štruktúr, ale aj viditeľných lineárnych hraníc medzi čiastkovými štruktúrami v rámci nich. Vytvorené morfológické línie a aj sieť údolnic boli na základe vybraných rádo vyhodnotené v štatistickom programe R-Project a GEOrient, čoho výstupmi boli ružicové diagramy smeru orientácie línií normalizované podľa dĺžky línií. Morfológické mriežky boli vyhodnotené aj na základe korelácie priebehu jednotlivých línií s geologickými zlomami a rozhraniami neotektonickej mapy.



Obr. 4. Následnosť krokov vykonaných analýz v prostredí GIS.

5 Výsledky

5.1 Morfometrické zhodnotenie územia

Morfometrické parametre nám pomáhajú lepšie opísať a typizovať charakter častí reliéfu a vymedzených potenciálne tektonicky podmienených foriem. Odvodené boli DMR sklonu, orientácie a krivosti reliéfu. Pomocou kvantifikácie reliéfu a

vypočítaných parametrov reliéfu sa dajú vymedziť niektoré časti reliéfu s určitými charakteristickými črtami (Beták, 2009).

Slovenská časť povodia Bodvy sa pohybuje v nadmorských výškach od 168 do 1230 m n. m., priemerná nadmorská výška je 389,59 m, a celkovo dominuje územie s výškou do 650 m n. m. Sklon svahov povodia sa pohybuje od plochých častí v kotlinách (sklon do 1 °) a na planinách (sklon do 3 °) so sklonom až viac ako 50 ° na svahoch v kaňonovitých dolinách Slovenského krasu. Priemerný sklon terénu povodia je 11 °. Z hľadiska orientácie reliéfu prevládajú svahy s južnou a juhozápadnou orientáciou, čo dokazuje fakt, že reliéf stúpa z juhu smerom na sever a z východu smerom na západ.

5.2 Odvodenie siete údolníc z DMR

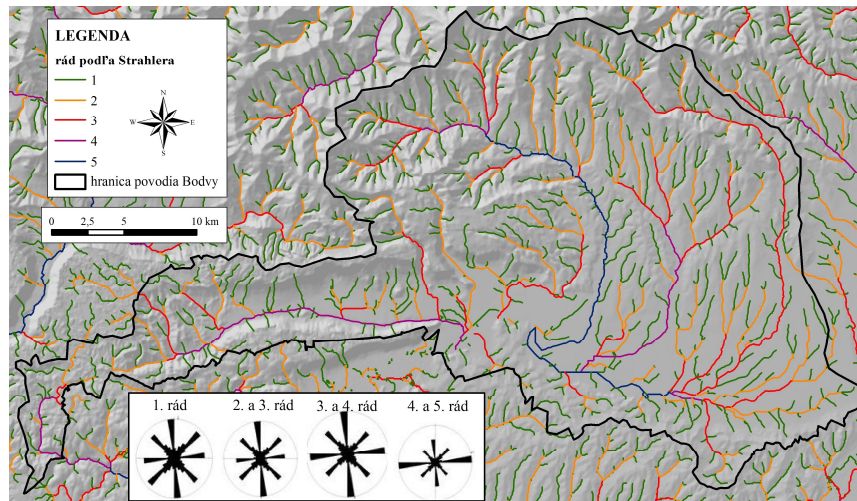
Sieť údolníc s priradeným rádom podľa Strahlera (1952) bola odvodená z DMR akumulácie odtoku. Najpočetnejšie sú línie s prvým rádom, ktoré zachytávajú priebeh najmenších bočných dolínok a tým pádom aj najmladšiu tektoniku a prevláda pri nich S ↔ J orientácia. Pri údolniciach druhého a tretieho rádu, a tretieho a štvrtého rádu, ktoré reflektujú mladšiu tektoniku, je prevládajúci smer orientácie S ↔ J, a badáme pri nich rovnaký priebeh so skutočnými vodnými tokmi v oblasti. Pri údolniciach štvrtého a piateho rádu, ktoré reflektujú staršiu tektoniku, sú viazané v prevažnej miere na smer Z ↔ V, čo znamená, že pohyb blokov pravdepodobne prebiehal v smere S ↔ J. Lacika (2004) upozornil na možnosť riečnej piratérie a straty hornej časti povodia Idy v prospech Hornádu, ktorého tvrdenia sa nám podarilo v určitej miere potvrdiť. Ide o miesta pri kóte Stavenčík (341 m n. m.) v prospech Sokolianskeho potoka, na čo poukazuje odklonenie údolnice toku Idy smerom na V na DMR akumulácie odtoku vytvoreného z nedostatočne podrobných vrstevníc, a tiež aj odklonenie priebehu hlavnej chrbtice z rozvodnice smerom na Z.

5.3 Konštrukcia bázových povrchov a morfológických línií

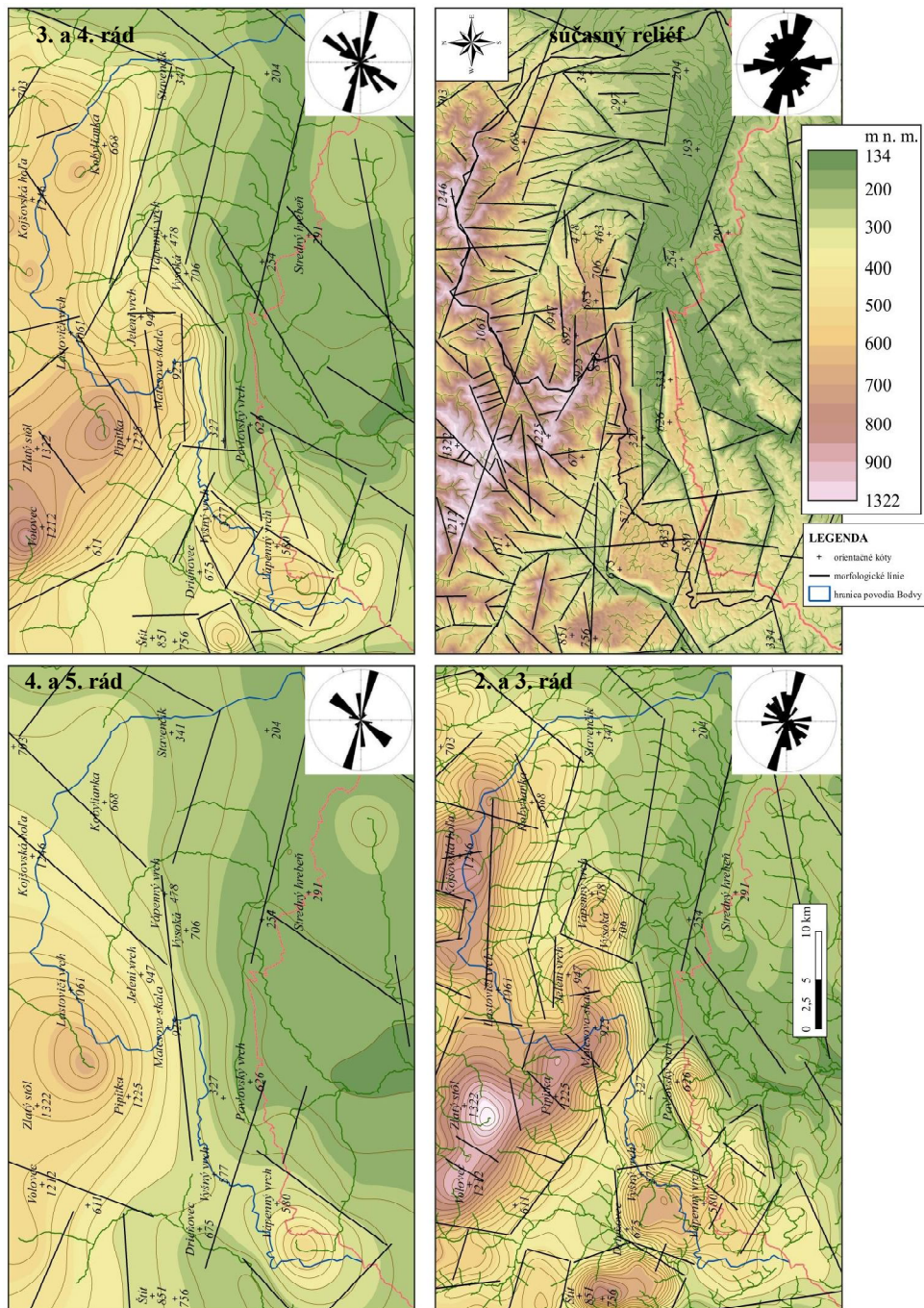
Ide o pomyselnú rekonštrukciu povrchu, kde boli súčasné formy odstránené ku eróznej báze určitého rádu. Naznačujú morfológické štruktúry, ktoré sú inak maskované formami nižších rádo. Ich vek je relatívny, reflektujú hierarchiu údolníc a zobrazujú morfológické štruktúry staršie ako tie, čo vystupujú v súčasnom reliéfe. Izobázový povrch 4. a 5. rádu zobrazuje najstaršie a najvýraznejšie morfológické štruktúry. Najdominantnejšie vystupuje oblasť Slovenského rudohoria a to hlavne elevácia Zlatého stola, a dnešná Silická planina. Črty Turnianskej kotliny sú zaniknuté, za výraznú eleváciu možno označiť aj eleváciu na území dnešnej Bodvianskej pahorkatiny, badateľné je uklonenie intenzity procesov smerom na juh. Na izobázovom povrchu 3. a 4. rádu sú výrazne morfológické štruktúry stále identifikovateľné, ale v menších detailoch. Oproti predošlému povrchu badať zmenu tektonických síl, blok Zlatého stola sa už delí na časti Volovca a Pipitky, prejavuje sa aj Kojšovská hoľa. Planiny Slovenského krasu sa javia ako tektonické súčasť rudohoria (rovnaké morfológické pole). Turnianska kotlina a Aggtelegský kras sa stále neprejavujú, elevácia Bodvianskej pahorkatiny je výraznejšia, a podľa pozície najvyššej časti je jej

predpokladaný smer vývoja od JV na SZ. Vývojom naznačuje oddelenie bazénu Bodvy a Hornádu, ktorý sa tu javí ako jeden celok. Na izobázovom povrchu 2. a 3. rádu, ktorý je podľa Grohmana (2011) najlepším výsledkom, sa už dajú interpretovať morfoštruktúry na regionálnej úrovni. Jednotlivé vyzdvihnuté časti Slovenského rudohoria sú výraznejšie, hlavne Zlatý stôl. Izolovanejšie od rudohoria sa javí už aj Jasovská planina, a tiež aj planina Dolného vrchu a Aggtelegský kras. Oblasť Turnianskej kotliny je eleváciou oddelená od Košickej kotliny, a mohla byť v geologickej minulosti jazerom, resp. poljom (Jakál, 1975). Bodvianska pahorkatina nadobúda črty súčasného tvaru, a oddeľuje priebeh bazéna Bodvy od Hornádu.

Z hodnotenia smeru orientácie jednotlivých morfológických línií vyplýva, že pri líniách všetkých rádov pomerne prevláda smer $Z \leftrightarrow V$. Znamená to, že tento smer sledujú rozhrania medzi najväčšími a najstabilnejšími morfoštruktúrami. Medzi líniami nájdeme aj také, ktoré sa prejavujú pomerne rovnako pri všetkých rádoch, a to hlavne línie $SZ \leftrightarrow JV$, a $SV \leftrightarrow JZ$ smeru ohraničujúce Bodviansku pahorkatinu; blok Volovských vrchov v smere $SZZ \leftrightarrow JVV$; ohraničenie Slovenského krasu voči Slovenskému rudohoriu a Košickej kotliny v smere $Z \leftrightarrow V$; ohraničenie Silickej planiny. Niektoré morfológické línie korešpondujú s priebehom geologických zlomov a rozhraniami neotektonickej mapy, čím sa dá vysloviť predpoklad neotektonickej hypotézy. Ide hlavne o líniu prebiehajúcu rožňavskou zlomovou zónou so začiatkom v doline Miglinc; línie ohraničujúce S a J svahy Jasovskej a Zádielskej planiny, na S je to línia nasunutia Silického príkrovu (Zacharov, 2013), a na juhu línie pokračujúce až do Turnianskej kotliny; línia $SV \leftrightarrow JV$ smeru ohraničujúca Bodviansku pahorkatinu, podľa Zacharova ide o skupinu zlomov stotožňovaných so zlomovou zónou Darnó so začiatkom v Maďarsku a koncom pri Drienovci na zlome rieky Bodvy; línie so smerom $V \leftrightarrow Z$ situované na zlomoch ohraničujúcich J okraj Slovenského krasu od Košickej kotliny; línie situované v Medzevskej pahorkatine, a väčšinu línií pozorovaných v údoliach Volovských vrchov.



Obr. 5. Údolnice povodia Bodvy odvodené z DMR rozdelené podľa rádov so smerovými diagramami orientácie línií jednotlivých rádov normalizované podľa dĺžky línie.



Obr. 6. Izobázové povrchy povodia Bodvy jednotlivých rádov s naloženými morfológickými líniami a smerovými diagramami ich orientácie normalizované podľa dĺžky línie.

6 Diskusia a záver

Tento príspevok sa zaoberal možnosťami digitálnej morfometrickej a morfotektonickej analýzy reliéfu povodia Bodvy a jeho blízkeho okolia v prostredí GIS, za účelom rekonštrukcie prejavov morfotektoniky v geomorfologickom vývoji územia so zreteľom na hydrografickú sieť. Celkovo na základe morfometrického zhodnotenia reliéfu povodia a vytvorených izobázových povrchov a ich morfologických mriežok vieme povedať, že ako dominantné štruktúry sa javia územie Silickej planiny a centrálna a východná časť Volovských vrchov. Planiny Slovenského krasu sú indikované ako tektonické súčasti Slovenského rudohoria a Turnianska kotlina ako uzavretá depresia. Zo smeru orientácie morfologických línií vyplýva, že pri líniách všetkých rádoch pomerne prevláda smer $Z \leftrightarrow V$, ktorý sleduje rozhrania medzi najväčšími a najstabilnejšími morfoštruktúrami. Niektoré línie sa pri všetkých rádoch prejavujú pomerne rovnako. Ide o línie ohraničujúce eleváciu Bodvianskej pahorkatiny; blok Volovských vrchov; ohraničenie Slovenského krasu voči Slovenskému rudohoriu a Košickej kotline. Niektoré morfologické línie korešpondujú s priebehom geologických zlomov, čo vytvára predpoklad pre vyslovenie neotektonickej hypotézy vývoja záujmového územia. Ide hlavne o línie prebiehajúce rožňavskou zlomovou zónou; línie ohraničujúce severné a južné svahy Jasovskej a Zádielskej planiny; lineárne rozhrania situované na území Medzevskej pahorkatiny; línie zachytávajúce väčšinu pozorovaných dolín vo Volovských vrchoch. Vykonanými analýzami sme dokázali identifikovať niektoré významne vystupujúce morfoštruktúry na našom území a pokúsili sa dať systém do orientácie vytvorených geomorfologických línií a tým určiť prevládajúci smer tektonických procesov. Hodnotným výstupom práce je vytvorená GIS databáza vhodná na ďalšie použitie, vykonanou digitálnou morfotektonickou analýzou povodia sme naznačili smer pôsobenia neotektonického poľa v najmladšej etape jeho geomorfologického vývoja. Námetom pre ďalšie pokračovanie je hlbšia integrácia týchto výsledkov s odbornými geologickými poznatkami

Referencie

1. Bajaník, Š., et al. *Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského rudohoria – východná časť*. GÚDŠ, 1983, Bratislava.
2. Barabas, D. *Bilancia vody geosystému povodia Bodvy v kontexte klimatickej zmeny*. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, 2009, Košice.
3. Beták, J. Neotektonika v geomorfológii, geomorfológia v Neotektonike. *Geomorphologia Slovaca*, 2/2005. Bratislava 2005.
4. Beták, J. Konštrukcia izočiarových povrchov indikujúcich tektonicky podmienené formy reliéfu. *Geomorphologia Slovaca*, 2/2006. Bratislava 2006
5. Beták, J., Vojtko, R. Implementácia nástrojov tektonickej geomorfológie v neotektonickom výskume (na príklade pohoria Považský Inovec). *Geografický časopis* 61/1. Bratislava 2009.
6. Burbank, D., Anderson, R., S. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, 2001.

7. Grohmann, C., H. Morphometric analysis in GIS: application of free software GRASS and R. *Computers and Geosciences*, 30/2004.
8. Grohmann, C., H., et al. Regional scale analysis of landform configuration with base-level (isobase) maps. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15/2011.
9. Hofierka, J. Spatial interpolation of elevation data with available density: A new methodology to derive quality DEMs. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4/1, IEEE, 2007.
10. Jakál, J. *Kras Silickej planiny*. Osveta, Martin, 1975.
11. Jakál, J. Vývoj reliéfu Slovenského krasu v etape neotektonického vyzdvihnutia územia. *Slovenský kras*, 39/2001. SSS Liptovský Mikuláš, 2001. [1]
12. Jasiewicz, J., Metz, M. A new GRASS GIS toolkit for Hortonian analysis of drainage networks. *Computers & Geosciences*, 37/2011.
13. Kobulský, J., et al. *Geologická mapa Spišsko-gemerského rudohoria*. ŠGÚDŠ, 2009, Bratislava.
14. Kvitkovič, J., Plančár, J., *Analýza morfoštruktúr z hľadiska súčasných pohybových tendencií vo vzťahu k hlbínnej geologickej stavbe Západných Karpát*. Geografický časopis, 27/4. Bratislava, 1975.
15. Lacika, J. Progressive evolution of the Bodva drainage basin. *Acta Universitatis Carolinae geographica*, 1/2004. Praha, 2004.
16. Mazúr, E., Lukniš, M. *Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Časť Slovensko*. Slovenská kartografia, Bratislava.
17. Mello et al. *Geologická stavba Slovenského krasu*. GSSR, 1996, Bratislava.
18. Mello et al. *Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu*. GSSR, 1997, Bratislava
19. Minár, J., Sládek, J. Morphological network as an indicator of a morphometric field in the central Western Carpathians (Slovakia). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 53/2009, Supplement 2.
20. Urbánek, J. Od geomorfologickej mriežky k mriežke neotektonickej. *Lacika ed. Zborník referátov, 1. konferencia ASG pri SAV*, Bratislava, 2000.
21. Urbánek, J. Geomorfologická analýza neotektonických foriem. *Geografický časopis*, 57/1, Bratislava, 2005.
22. Vojtko, R., et al. Neotectonic evolution of the northern Laborec drainage basin. *Geomorphology*, 138/2011.
23. Vojtko, R. *Základy neotektoniky*.
http://geopaleo.fns.uniba.sk/vojtko/archive/sm/neo_kap02_v.0.1.pdf
24. Zacharov, M. Význam regionálnych tektonických štruktúr vo Východnej časti Slovenského krasu pre vznik a vývoj jaskýň. *Slovenský kras – Acta Carsologica Slovaca*, 50/1, SMOPaJ a SSS Liptovský Mikuláš, 2013.