

DYNAMICKY ORIENTOVANÝ HIERARCHICKÝ GMIS (PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA ĽUBIETOVÁ)

ALŽBETA MEDVEĎOVÁ*, JOZEF MINÁR**, ROBERTA PROKEŠOVÁ***

Alžbeta Medveďová, Jozef Minár, Roberta Prokešová: Dynamically oriented hierarchic geomorphological information system (Ľubietová case study). Geomorphologia Slovaca et Bohemica, 8, 2008, 1, 6 figs., 2 tabs., 38 refs.

Geomorphological information system (GmIS) is a special type of GIS suitable for collection, elaboration and presentation of geomorphological data. GmIS is an excellent tool for efficient storage and generating new geomorphological information as well as for visualization of outputs. In our contribution the build-up of a tool for complex (temporal and spatial) study of gravitational deformations in the Ľubietová territory is presented. The hierarchical system approach is applied to the investigation of one of the most active subsystems in the context of the whole supersystem. In our case the basic system corresponds to a paradyamic gravity-fluvial system (Hutná stream with its tributaries and neighbouring slopes), its most active subsystem is the system of the gravitational deformation (i.e. the last landslide activated in 1977), and the supersystem refers to a higher-order system, i.e. to the neotectonical system of the territory.

All dynamic processes have certain temporal and spatial hierarchy. Neotectonics are considered as a processes of several million years time-scale described within the spatial scale of 1:50 000. Gravity-fluvial system is studied in the scale of 1:10 000 in the range of $10^5 - 10^6$ years. The most detailed temporal (few decades) and spatial (1:5 000) scales are used for the subsystem of the active landslide. The vertical scale (in our case expressed in meters to kilometers) plays also an important role in the study of landslide processes. Both spatial hierarchies are mutually related (not deterministically) – processes of smaller extent are described in the larger scale.

The dynamically oriented hierarchic GmIS focuses on morphodynamic phenomena as well as on the multilevel hierarchy of geomorphological database. Geomorphological data can be digitally stored as a powerful database with thematic layers and attribute tables. ESRI ArcGIS is suggested to manage the geomorphological data.

Key words: geomorphological information system (GmIS); morphodynamic phenomena; hierarchy; geomorphological database; geomorphic network; elementary forms; digital elevation model (DEM)

1 ÚVOD

Ak definujeme formu georeliéfu ako objekt a komplexný geomorfologický výskum ako účel budovania GIS, môžeme *Geomorfologický informačný systém* (GmIS) označiť ako špecifický GIS, určený na zber, spracovanie a generovanie geomorfologických údajov o regióne, ako aj ich vizualizáciu, verifikáciu a aktualizáciu (MINÁR et al. 2005). GIS je podľa viacerých autorov nielen výborným nástrojom pre geomorfologické analýzy (BARSCH, DIKAU 1989; DIKAU 1992; MINÁR 1996; KUSEDOVÁ 2000; VOŽENÍLEK et al. 2001), ale aj vhodným podkladom pre štúdium krajiny, rekonštrukciu jej vývoja a špecifické tematické aplikácie (GUSTAVSSON et al. 2006).

Geomorfologický informačný systém (GmIS) je špeciálny typ geografického infor-

mačného systému (GIS) zameraný na geomorfológiu. Medzi základné funkcie GmIS-u radíme podporu zberu dát, ich ukladanie a organizáciu v geomorfologickej databáze (GmDB). GmIS poskytuje nástroje pre spracovanie dát a geomorfologickú analýzu, umožňuje užívateľovi pomocou špeciálnych nástrojov vytvárať korektné (karto)grafické, štatistické a ďalšie výstupy (JEDLIČKA 2008).

V príspevku prezentujeme využitie konceptu GmIS ako základného metodologického nástroja pre synteticky ponímaný geomorfologický výskum gravitačnej deformácie, ktorej aktivácia v r. 1977 výrazne ohrozila Ľubietovú (FUSSGÄNGER et al. 1978) a dodnes predstavuje pre obec významné potenciálne riziko. Syntetický prístup spočíva predovšetkým v reflexii hierarchických vzťahov medzi rôznymi formami a najmä geomorfologickými proces-

* Katedra geografie a krajinskej ekológie, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica, Slovenská republika; e-mail: medvedov@fpv.umb.sk

** Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina, Bratislava, Slovenská republika; e-mail: minar@fns.uniba.sk

*** Ústav vedy a výskumu Univerzity Mateja Bela, Cesta na Amfiteáter 1, Banská Bystrica, Slovenská republika; e-mail: roberta.prokesova@umb.sk

mi, ktorých centrálnym sledovaným výstupom je spomenutá gravitačná deformácia. Pre tento účel bolo potrebné pristúpiť k istým modifikáciám – rozšíreniam a doplneniam konceptu GmIS, na ktorom dlhodobo pracujeme.

2 KONCEPT GMIS

V našej štúdií nadväzujeme na koncept GmIS-u vyvíjaný tímom geomorfologov a geoinformatikov najmä na pracoviskách Univerzity Komenského v Bratislave a Západočeskej univerzity v Plzni. (MINÁR et al. 2005, MENTLÍK et al. 2006, MENTLÍK 2006, JEDLIČKA 2008). GmIS s jeho geomorfologickými nástrojmi a postupmi možno použiť v rôznych situáciách; pri terénnom výskume (napr. mobilné GIS riešenie pre zber údajov), pri ukladaní a organizácii dát v štruktúrovanej geomorfologickej databáze. Jadro funkcií GmIS-u však predstavujú geomorfologické analýzy, pri ktorých GmIS umožňuje efektívne uplatnenie geomorfologických metód v počítačovom prostredí. Okrem toho slúži tiež ako nástroj pre prezentovanie výstupov (mapy, grafy, a pod).

Ku GmIS možno pristupovať z dvoch hľadísk, geomorfologicky alebo technologicky (JEDLIČKA 2008). Z *geomorfologického hľadiska* je náš koncept GmIS založený na koncepcii elementárnych foriem reliéfu (MINÁR, E-VANS 2008), ktoré sú základnými priestorovými jednotkami reprezentujúcimi záujmové územie. Potrebné atribúty sa k elementárnym formám pripájajú v priebehu geomorfologického výskumu. Alternatívou k ešte len vyvíjanému (polo)automatizovanému vyhraničovaniu elementárnych foriem (PACINA 2008) je v súčasnosti ich expertné vyhraničovanie vizuálnou analýzou digitálneho modelu reliéfu (DEM) a z neho odvodených povrchov, sklonov, orientácií, či horizontálnej a normálovej spádnicovej krivosti. Tieto formy sú následne overované terénnym výskumom (geomorfologickým mapovaním). Problematike geomorfologického mapovania s využitím elementárnych foriem sa explicitne, alebo implicitne venuje viacero prác (napr. MINÁR 1996, URBÁNEK 1997, MENTLÍK 2006). Vrstvy elementárnych foriem, DEM a z nich odvodené vrstvy tvoria jadro štruktúrovanej geomorfologickej databázy.

Z *technologického hľadiska* je GmIS prostredím, ktoré umožňuje užívateľovi (geomorfológovi) zber a uchovávanie dát v GmDB a podporuje samotnú GmDB. Dovoľuje užívateľovi využívanie a vytváranie geomorfologických nástrojov pre analýzy a prezentáciu výsledkov. Požiadavky na technológiu sú vysoké, zvolená technológia musí pokryť takmer všetky typy geografického softvéru. Aplikáciou

všeobecných funkcií GIS (LONGLEY et al. 2001) môžeme definovať funkcie GmIS nasledovne:

- zber geomorfologických dát – vrstiev a ich uchovávanie v GmDB (možno využiť mobilné GIS a GPS pre zber údajov, geografickú databázu pre uchovávanie dát),
- spracovanie a analýzy geomorfologických a geografických vrstiev (možno využiť profesionálne GIS alebo užívateľské PC),
- programovanie špecifických geomorfologických analýz (pre tento účel sú najvhodnejšie komponentové GIS),
- podpora editácie viacerými užívateľmi, publikovanie dát a výsledkov/výstupov (distribučné GIS).

Tvorba GmIS (návrh štruktúry, náplň databázy, vnútorné vzťahy i prepojenia zabezpečujúce fungovanie IS) predpokladá využívanie takmer všetkých typov geoinformačných technológií. Preto sme ako technologickú platformu zvolili robustnú ESRI technológiu v súlade s argumentmi obsiahnutými v práci JEDLIČKA (2007).

Štruktúrnym základom celého GmIS je geomorfologická databáza. Jej štruktúra musí byť zrozumiteľná, logická a dobre dokumentovaná. Otvorenosť a možnosť rozširovania o ďalšie, nové vrstvy je ďalšou dôležitou požiadavkou na GmDB. Kľúčovú úlohu v štruktúre databázy hrá umožnenie vyjadrovania atribútových, priestorových (geometrických a topologických) a časových vzťahov medzi vrstvami.

Logický model GmDB je podrobne opísaný v práci MINÁRA et al. (2005), jej detailná štruktúra v práci MENTLÍKA et al. (2006) a JEDLIČKA (2007). Atribútový model vzájomných vzťahov medzi entitami v GmDB uvádza vo svojich prácach JEDLIČKA (2007 a 2008). Štruktúra GmDB podľa MINÁRA et al. (2005) je rozdelená na tri základné skupiny vrstiev: prevzaté, základné (geomorfologické) a špeciálne (geomorfologické) vrstvy. V našej prípadovej štúdií aplikujeme práve túto databázovú štruktúru. GmDB determinuje štruktúru GmIS-u. Štruktúra má prirodzene statický charakter.

Dynamickou časťou informačného systému sú procesy. Práve procesy (spolu s databázou) „posúvajú“ systém z jedného stavu do druhého. Podľa vyššie definovaných funkcií GmIS možno v priebehu budovania geomorfologickej databázy rozlišovať dve skupiny procesov: *geomorfologické a geoinformačné*. Ku geomorfologickým radíme terénny výskum a zber tematických geomorfologických údajov, geomorfologické a iné analýzy; medzi geoinformačné – procesy prebiehajúce pri importe dát z existujúcich zdrojov (tvorba prevzatých

vrstiev), spracovanie dát (ukladanie dát do GmDB, priebežné úpravy štruktúry databázy, tzv. dataprocessing).

Z uvedeného vyplývajú dva druhy úloh kladených na užívateľa: *geoinformatická* (získanie a spracovanie údajov z existujúcich zdrojov a ich uloženie v štruktúre) a *geomorfologická* (vyplýva z účelu, pre ktorý je konkrétny GmIS vyvíjaný). Geomorfológ môže GmIS využívať pri terénnom výskume (napr. VOŽENÍLEK et al. 2001, VOŽENÍLEK, SEDLÁK 2004), alebo pri geomorfologických analýzach. Tieto aktivity sú často špecifické, a preto štandardné nástroje GIS možno pri nich použiť len v obmedzených prípadoch (JEDLIČKA 2008). V priebehu riešenia úlohy je zvyčajne nevyhnutné reťaziť nástroje GIS alebo skonštruovať algoritmus, ktorý štandardný GIS neposkytuje. Tieto nástroje je potrebné často kombinovať s interaktívnymi vstupmi užívateľa-experta, geomorfológa.

3 DYNAMICKY ORIENTOVANÝ HIERARCHICKÝ GMIS

Od vyššie zmieneného dynamického aspektu fungovania informačných systémov je potrebné odlišiť dynamický aspekt údajov, ktoré obsahujú. Všetky prírodné procesy majú istú časovú a priestorovú hierarchiu. Na inej priestorovej, resp. časovej hierarchickej úrovni študujeme globálnu tektoniku, lokálnu neotektoniku, vývoj jednotlivých zosuvov alebo eróziu dopadajúcich kvapiek.

Konštrukcia každého konkrétneho GmIS-u závisí od špecifik územia, ku ktorému sa vzťahuje. Pre niektoré je potrebné vytvoriť špeciálne vrstvy, pre iné naprogramovať analytické algoritmy.

Cieľom tohto príspevku je prezentovať budovanie nástroja pre komplexné časopriestorové štúdium gravitačnej deformácie v oblasti Ľubietovej uplatňovaním hierarchického systémového prístupu. Pri konštruovaní GmIS-u záujmového územia kladieme dôraz na hierarchický aspekt informačného systému v časopriestorových súvislostiach. Dynamickou orientáciou GmIS-u rozumieme priority naplňania databázy, ktorými sú predovšetkým dynamické aspekty vývoja a fungovania geomorfosystémov.

3.1 DYNAMIKA

Tradičný prístup k výskumu súčasných geomorfologických procesov je z hľadiska ich dynamiky zameraný na sledovanie intenzity a rýchlosti ich priebehu v relatívne krátkych časových úsekoch, akými sú dni, mesiace, ro-

ky, resp. desaťročia. Dynamiku zdanlivo stacionárneho reliéfu dokumentujú jeho zmeny po katastrofických udalostiach (zosuvy, povodne, ľudská činnosť, atď.). Nevyhnutnosť monitoringu zmien reliéfu možno doložiť neaktuálnosťou výškopisu máp veľkých mierok často používaných v aplikáciách slúžiacich pri rozhodovaní o využívaní krajiny.

Koncept GmIS (MINÁR et al. 2005) definuje všeobecne vrstvu *morfodynamických fenoménov*, ktorá vzniká na základe informácií z dokumentačných materiálov (ktorých zdrojom je terénny výskum, alebo adaptované vrstvy). Možno pritom rozlíšiť viacero spôsobov naplňania a charakteru výsledných produktov vrstvy morfodynamických fenoménov. Vždy však ide v princípe o bodové, líniové, alebo plošné sledovanie zmien reliéfu v čase, respektíve bilancie hmoty a energie pri reliéfových procesoch. Súčasné geomorfologické procesy sú priamo sledovateľné celou plejádou metód (pozri napr. MIDRIAK 1983), avšak existujú aj metódy hodnotenia dlhodobých geomorfologických procesov, ktoré vychádzajú z ich zápisu v sedimentoch a formách reliéfu (pozri napr. MAZÚR, KVITKOVIČ 1980). GmIS tak môže byť efektívnym nástrojom k vyhodnocovaniu dynamiky reliéfu v kratších časových intervaloch, ale tiež podkladom štúdia dlhodobých zmien.

Pre náš účel sú preto pre vrstvy morfodynamických fenoménov generované informácie nielen o rôznych aspektoch súčasných pohybových tendencií sledovanej gravitačnej deformácie, ale aj dynamické fenomény fluvialnej a neotektonickej zložky morfosystému, ktoré ich ovplyvňujú a vysvetľujú.

3.2 HIERARCHIA

Hierarchický systémový prístup v rámci metód geomorfologickej analýzy nie je žiaľ bežný, na Slovensku ho však už dlhodobo presadzuje vo svojich prácach najmä URBÁNEK (1986, 2000a a 2000b). Príkladom takéhoto hierarchického systémového prístupu je aj jeho geomorfologická analýza neotektonických foriem (URBÁNEK 2005) kde lineárne formy (geomorfologické línie) utvárajú zložitejšie a hierarchicky nadradené priestorové kompozície (geomorfologická mriežka, mozaika, atď.).

V prípade gravitačnej deformácie predstavuje neotektonika územia základný riadiaci hierarchicky nadradený prvok (proces) geomorfosystému. Preto je potrebné do GmIS v tomto prípade zakomponovať štruktúrne prejavy neotektonických procesov.

V našom prípade sa tak zameriame na najnižšie články hierarchického reťazca Urbánkovej hierarchickej štruktúry: „klen-

ba“ – „blok“ – geomorfologická mozaika – geomorfologická mriežka – geomorfologická línia. Z hľadiska nášho cieľa (detailný geomorfologický výskum) je hierarchická úroveň „geomorfologická línia – geomorfologická mriežka“ rámcom, a teda najvyššou hierarchickou úrovňou nami konštruovaného GmIS-u.

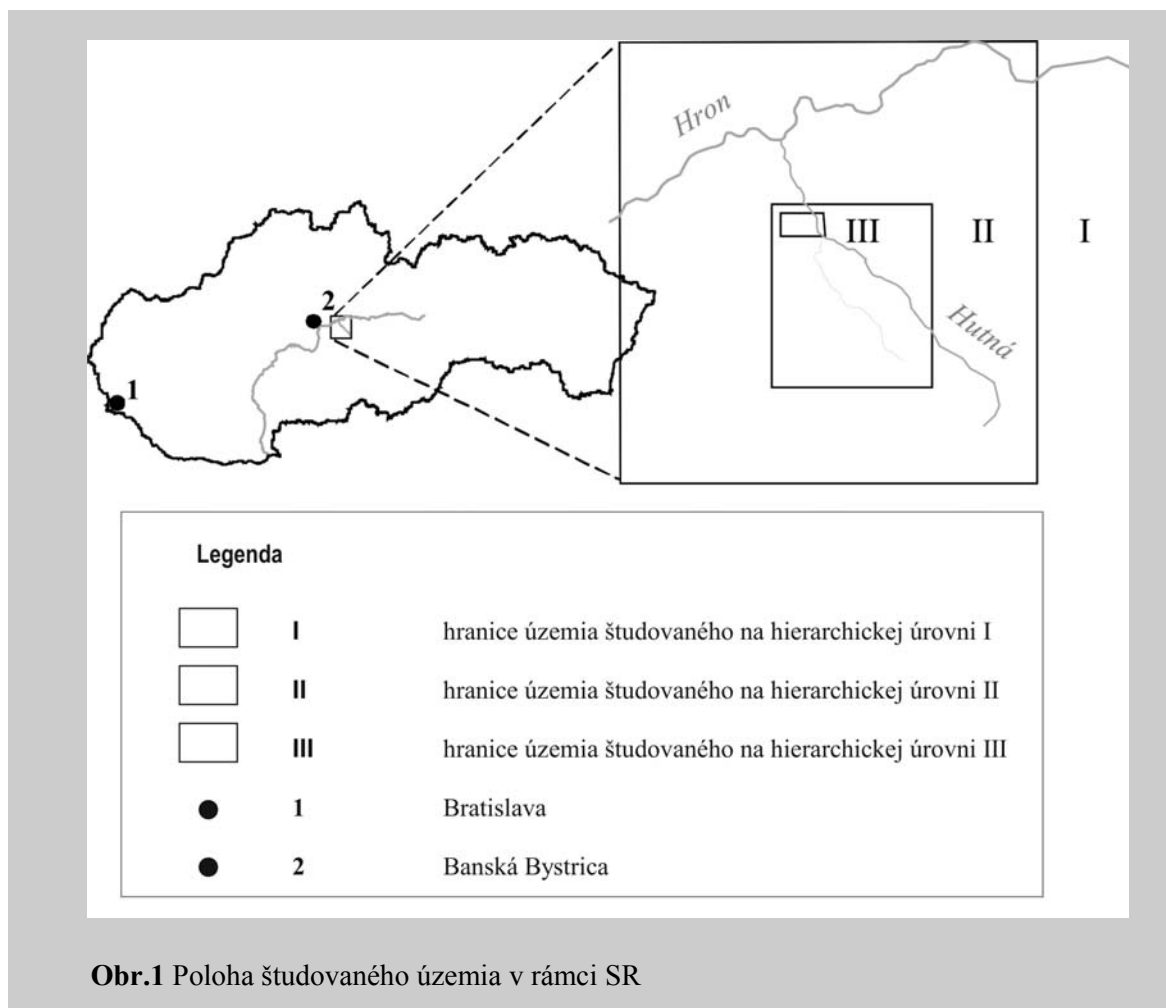
Medzi nadradeným neotektonickým segmentom a sledovaným gravitačným segmentom geosystému zohráva významnú sprostredkujúcu, regulačnú a transformačnú úlohu fluviálny segment morfosystému. Na zvolenom povodí a jeho blízkom okolí preto aplikujeme metódu geomorfologickej analýzy, zameranú na zisťovanie úlohy neotektoniky a fluviálnych procesov pri formovaní územia a jeho gravitačných deformácií.

4 PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA ĽUBIETOVÁ

Okolie Ľubietovej, situované na okraji severného výbežku stratovulkánu Poľana (obr. 1), je charakteristické nestabilitou svahov a výskytom svahových pohybov. Genéza svahových pohybov v tejto oblasti bola pomerne detailne opísaná vo viacerých prácach (napr.

MALGOT 1969, 1978, FUSSGÄNGER et al. 1978). Primárnym (pasívnym) faktorom, spôsobujúcim daný stav, je samotný charakter geologickej stavby na ľavom brehu toku Hutná. Superpozícia rigidných aglomerátových tufov neogénneho veku nad plastickejšími paleogénnymi flyšovými sedimentmi vytvára priaznivé geologické prostredie pre rozvoj svahových deformácií. Krehký rovnovážny stav v takomto prostredí sa môže ľahko narušiť niektorým zo spúšťacích faktorov (zrážková anomália, topenie veľkého množstva snehu, podrezanie svahu a pod.).

Povodie Hutnej zaberá rozlohu 45,17 km², hlavný tok – Hutná má dĺžku 16,2 km. Podľa geomorfologického členenia Vnútroňných Západných Karpát (MAZÚR, LUKNIŠ 1980) je povodie súčasťou dvoch oblastí: Slovenského rudohoria (celok Veporské vrchy; podcelok Čierťaž) a Slovenského stredohoria (celok Poľana; podcelok Vysoká Poľana a celok Zvolenská kotlina; podcelky Bystrická vrchovina a Povraznícka brázda). Užšie vymedzené modelové územie, na ktoré vzťahujeme prípravu detailného GmIS-u na najnižšej hierarchickej úrovni, tvorí teleso katastrofálneho zosuvu s nepravidelným tvarom a pozdĺžnou osou JZ-



Obr.1 Poloha študovaného územia v rámci SR

Prevzaté vrstvy	topografické: základné mapy, výškopis (vrstevnice, výškové body), ortofotomapy	I, II, III
	geologické: typy hornín, litologické hranice; zlomy, vrty	I; I, II, III
	hydrologické: pramene, riečna sieť, vodné plochy	
	ostatné: klimatické, ...	I, II, III
Základné vrstvy	digitálny výškový model (DEM) a z neho odvodené charakteristiky (sklon, orientácia, krivosti, profily)	(I), II, III
	dokumentačný materiál: body, línie, plochy, merané profily	I, II, III
	terénny výskum	II, III
	elementárne formy: elementárne formy (plochy, resp. polygóny), línie diskontinuity (nespojitosť)	II
	charakteristiky povodí: povodia, časti povodí, línie (rozvodnice, chrbátnice, údolnice)	I, II
	morfodynamika: permanentné stanice, formy mapované v teréne	II, III
	geneticky späté skupiny foriem	I, II
Špeciálne vrstvy	geomorfologická sieť	I, II
	geomorfologické analýzy	I, II, III
	morfoštruktúrne analýzy	I

Tab. 1 Hierarchická databáza GmIS so špecifikovanými vrstvami utváranými v jednotlivých hierarchických úrovniach dynamicky orientovaného GmIS na študovanom území

DEM	<ul style="list-style-type: none"> - DEM podľa ZM 1:10 000 (**) - DEM vyhotovený fotogrametrickými metódami z LMS (*)
dokumentačný materiál: body, línie, plochy, merané profily	<ul style="list-style-type: none"> - geodetická sieť - merania polohy jednotlivých bodov v hĺbkach 60, 150 a 300 cm (*) - jadrové vrty, hydrogeologické vrty (zvislé, šikmé) (*, **) - opakovane merané geoelektrické profily (5 línií) (*) - údaje zo zrážkomernej stanice (denné úhrny) (**)
morfodynamika: permanentné stanice, opakované statické merania, formy mapované v teréne	<ul style="list-style-type: none"> - časové rady DEM (krokovanie po 10 rokoch), - stacionárna sieť geodetických bodov (vyhodnocovanie 3D vektorov pohybu v polročných intervaloch v hĺbkach 0,6 m, 1,5 m, 3m), - stacionárna sieť HG vrto - meranie HPV v dvojtýždňových intervaloch mimo zimného obdobia (so snehovou pokrývkou) - mapa elementárnych foriem reliéfu – geneticky späté formy

Tab. 2 Dynamický aspekt územia v databáze GmIS na hierarchickej úrovni III

* základné vrstvy

** prevzaté vrstvy

SV smeru. Prúdový zosuv (dĺžka 1200 m, najväčšia šírka cca 500 m, plocha 0,32 km², max. aktivita v r. 1977) leží z hľadiska geomorfologického členenia Slovenska v podcelku Povraznícka brázda (celok Zvolenská kotlina). Je súčasťou širšieho zosuvného územia, postihnutého rozsiahlymi svahovými deformáciami.

Tvorba hierarchického informačného systému je založená na vrstvovej štruktúre geodatabázy. IS je koncipovaný v časopriestorových súvislostiach na troch hierarchických úrovniach, a to na základe špecifickej črty územia – jeho intenzívnej morfodynamiky (**tab. 1**, **tab. 2**).

Najdetailnejšiu pozornosť venujeme základnému a detailnému výskumu najaktívnejšieho subsystému v kontexte celého nadsystému. Základným systémom v našom prípade je paradynamický gravitačno-fluviálny systém (tokov Hutná a Vôdka s príľahlými svahmi), jeho (v súčasnosti) najaktívnejším subsystémom rozumieame systém gravitačnej deformácie (najmladší zosuv aktivovaný v r. 1977), pričom nadsystém tvorí systém vyššieho rádu – neotektonický systém územia (**obr. 2**).

V rámci neotektoniky uvažujeme v našom území (Lubietová a jej širšie okolie) s procesmi v časovom horizonte do niekoľko miliónov rokov v priestorovej mierke 1:50 000. Fluviálno-gravitačný systém (časť povodia Hutnej, toku 3. rádu v zmysle Strahlerovej klasifikácie) študujeme v mierke 1:10 000 v intervale posledných niekoľko 100 000 rokov. V najdetailnejšej časovej (desiatky rokov) i priestorovej (1:5 000) mierke študujeme zmieneny subsystém aktívneho zosuvu. Pri štúdiu procesov má pritom špecifickú úlohu aj ich vertikálna mohutnosť (dosah), v našom prípade od kilometrov (neotektonika) po metre (subsystém zosuvu). Obe priestorové hierarchie, horizontálna aj vertikálna, sú vzájomne späté (nie deterministicky) – vo väčšej mierke sa zobrazujú procesy menšej mohutnosti.

4.1 HIERARCHICKÁ ÚROVEŇ I – NEOTEKTONICKÝ NADSYSTÉM

Na hierarchickej úrovni I uvažujeme v našom území s procesmi v časovom horizonte do niekoľko miliónov rokov v priestorovej mierke 1:50 000. Pracovne nazvaný „neotektonický nadsystém“ je logickou súčasťou úrovne ešte vyššieho rádu, ktorému sa však z nedostatku priestoru nebudeme venovať. Líniu výskumu vo vyšších hierarchických úrovniach na širšom území (severná časť Slovenského stredohoria) načrtol URBÁNEK (2006).

Ak budeme vychádzať zo správnosti predpokladu „neotektonickej hypotézy“ formulova-

nej URBÁNKOM (2005) podľa štúdie MAZÚRA (1965), že povrchové tvary v Západných Karpatoch (predovšetkým veľké tvary; pohoria a kotliny) sú výsledkom tektonických pohybov germanotypného charakteru v neogéne a kvartéri, môžeme na hierarchickej úrovni I (prípadne vyššej) sformulovať túto hypotézu v mierke 1:50 000, resp. 1:100 000. Z metodického hľadiska to znamená skonštruovať pre sledované územie sieť geomorfologických línií (geomorfologickú mriežku) a túto následne konfrontovať s potvrdenými geologickými a tektonickými rozhraniami, resp. zlomovými líniami. V prípade, že sa nami skonštruovaná morfologická mriežka bude priestorovo zhodovať so smermi poruchových línií, môžeme ju označiť za pravdepodobnú „morfotektonickú“ mriežku. Na podklade morfologických línií (**obr. 3**, **obr. 4**) možno následne vymedziť hranice morfoštruktúr najnižšieho rádu; pasívne, resp. aktívne „morfologické bloky“. Recentnú aktivitu línií (blokov) potvrdzuje lokalizácia epicentier a počet zemetrasení s intenzitou 6° alebo viac (podľa makroseizmickej stupnice) v minulých desaťročiach, resp. storočiach. (BROUČEK 1980a, 1980b; MOCZO, LABÁK 2000).

Vplyv tektonických pohybov na formovanie súčasného reliéfu v modelovom území je evidentný. Formy identifikované počas terénneho výskumu, napr. tektonické poruchy v odkryve pyroklastických sedimentov v doline Vôdky, facetové (pravdepodobne zlomové) svahy na zlomovej línii, zosuvné bloky a blokové polia, odlučné steny na geomorfologických líniách totožných s tektonickými, rozplavované akumulčné čelá zosuvov, svahové deformácie atď., boli spoluvytvárané tektonickými pohybmi pretrvávajúcimi dodnes. Podiel tektoniky na tvárnosti reliéfu sme zatiaľ nedokázali s určitosťou stanoviť, nakoľko povrchové tvary sú tiež odrazom pasívnej geologickej stavby, prejavujúcej sa rozdielnou geomorfologickou hodnotou hornín. Hoci geologická stavba územia je veľmi pestrá, sieť rozhraní medzi horninami rozdielnej geomorfologickej hodnoty „neličuje“ v dostatočnej miere s priebehom línií v geomorfologickej sieti, čo poukazuje na relatívne nižší význam tohto fenoménu. Najlepšiu koreláciu vykazuje geomorfologická sieť so sieťou zlomov a puklín regionálnych geologických máp (DUBLAN et al. 1997, PÓLÁK et al. 2003) a so smermi dvoch zlomových systémov rôznej generácie (vrchný pliocén: SSZ-JJV, kvartér: SV-JZ) v Západných Karpatoch (VOJTKO et al. 2008).

V mierke 1:50 000 je geomorfologická mriežka diferencovaná. Geomorfologické línie severnej a severovýchodnej časti územia majú smer totožný so staršou, vrchnopliocénnou populáciou konjugovaných zlomových systémov

Hierarchická úroveň		Mierka procesov		
		časová	priestorová horizontálna	priestorová vertikálna
I	neotektonický nadsystém	niekoľko miliónov rokov	1 : 50 000	kilometre
II	fluviálno-gravitačný systém	posledných niekoľko 100 000 rokov	1 : 10 000	metre až kilometre
III	subsystém aktívneho zosuvu	desiatky rokov	1 : 5 000	metre

Obr.2 Schéma dynamicky orientovaného hierarchického GmIS (konštruovaného na modelovom území v okolí Ľubietovej)

smeru SSZ-JJV, resp. VVS-ZJZ (obr. 3, **obr. 5**). Z hľadiska geomorfologického členenia sa jedná o semimasívny mierne vyklenutý blok Veporských vrchov tvorený horninami mezozoického a paleozoického veku. V severozápadnej a západnej časti riešeného územia je situácia zložitejšia. Napriek evidencii súhlasných línií so zlomovými systémami SSZ-JJV a SV-JZ sa na dolných úsekoch mladých dolín „V“ vyúsťujúcich z juhu do Hrona zreteľne prejavuje i smer ZSZ-VJV. Na niekoľkých kratších líniách dominuje smer Z-V.

V centrálnej časti územia identifikujeme obe skupiny „neotektonických“ línií: SSZ-JJV (na hornom toku Vôdky, na strednom toku Driekyne) a SV-JZ (na strednom toku Vôdky). Pre východnú časť územia sú typické SSZ-JJV (a na ne kolmé) smery geomorfologických línií. V južnej a juhovýchodnej časti územia možno rozoznať smery SSZ-JJV, a smer ZSZ-VJV približujúci sa až k smeru Z-V. Toto územie je súčasťou stratovulkánu Poľana.

Databáza GmIS na hierarchickej úrovni I pozostáva v súčasnosti z:

- prevzatých vrstiev (riečna sieť, výškopis, geologické mapy 1:50 000; línie – hranice, zlomy, polygóny – horniny, body – vrty, letecké meračské snímky, hydrometeorologické údaje – zrážky, prietoky).
- základných vrstiev (terénny výskum – geomorfologické mapy, línie, geomorfologická mriežka, dokumentačné materiály o morfordynamických fenoménoch, genetické typy foriem).

Optimálny (výhľadový) stav: kvantitatívne alebo aspoň semikvantitatívne ohodnotenie ne-

otektonických pohybových tendencií blokov a línií.

Vstupné údaje pri tvorbe digitálnych modelov reliéfu sme získavali z rôznych zdrojov – vektorizáciou vrstevníc z topografických máp, z údajov diaľkového prieskumu Zeme (letecké meračské snímky), klasickým geodetickým meraním aj diferenciálnymi meraniami pomocou geodetických GPS (Global Positioning System). Súvisí to s nárokmi na kvalitu vstupných dát pri naplňaní databázy na jednotlivých hierarchických úrovniach.

4.2 HIERARCHICKÁ ÚROVEŇ II – FLUVIÁLNO-GRAVITAČNÝ SYSTÉM

V našom prípade je predmetom štúdia fluviálno-gravitačný systém tvorený paradynamickým systémom tokov Hutná a Vôdka s priloženými svahmi. Na hierarchickej úrovni II uvažujeme v našom území s procesmi v časovom horizonte posledných niekoľko 100 000 rokov a v priestorovej mierke 1:10 000, resp. 1:25 000. Paradynamický systém je súčasťou úrovne vyššieho rádu, v tomto prípade neotektonického nadsystému, ktorý determinuje charakter väčších foriem (erózo-tektonický poklesnutý „blok“ Ľubietovskej kotliny, zlomové svahy Čierťáže na pravom brehu Hutnej).

Na tomto hierarchickom stupni študujeme fluviálne formy a procesy a s nimi späté rozsiahle gravitačné svahové poruchy pravdepodobne tektonicky podmienené. Zodpovedá tomu priestorové rozmiestnenie a smery zlomových línií identifikovaných geologickými metódami (FUSÁN et al. 1980, DUBLAN et al. 1997, POLÁK et al. 2003), blízkosť epicentier historických zemetrasení, rozdielna intenzita



Obr. 3 Geomorfologické línie identifikované v mierke 1:50 000)

mladých pohybov (MAZÚR, KVIKOVIC 1980). Hodnoty vertikálnych pohybov vrchnobádenského zarovnaného povrchu sa na sledovanom území pohybujú od +400 m na dolnom toku Hutnej (dolina Hrona), +700 až +800 na strednom toku Hutnej od sútoku s Vôdkou vyššie a +900 do +1200 m na horných tokoch Hutnej a Vôdky (Vysoká Poľana).

Podrobnejšie sa o výsledkoch výskumu fluviaľno-gravitačného systému v hierarchickej úrovni II zmienujeme v štúdiu MEDVEĐOVA et al. (2007).

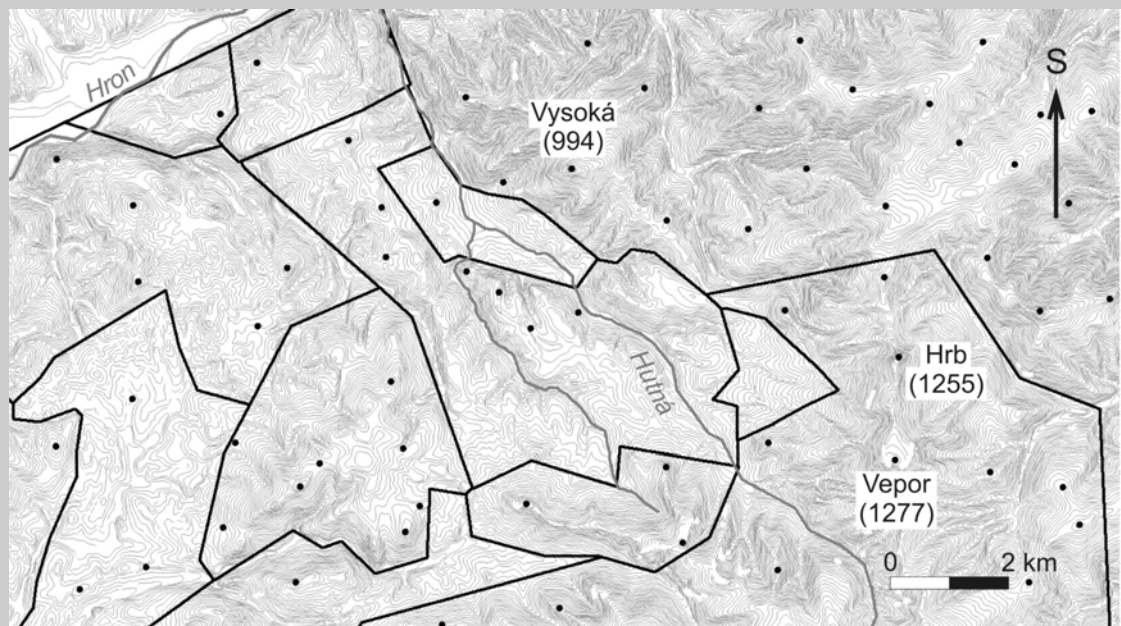
Databázu GmIS-u na hierarchickej úrovni II (zatiaľ) tvoria nasledovné súčasti:

- elementárne formy (**obr. 6**) v mierke 1:25 000, (resp. 1:10 000); hranice manuálne vyhraničených foriem prepojené databázou (tabuľky s genézou a prevlá-

dajúcimi súčasnými procesmi jednotlivých foriem),

- pozdĺžne a priečne profily (tokov, resp. dolín a ich prítokov; tabuľky, grafy),
- výsledky korytových analýz (granulometria; tabuľky),
- systém terás,
- genetické skupiny foriem,
- odkryvy (opis, fotodokumentácia),
- geologické vrty (prevzaté údaje z hlbinných, piezometrických a i. prieskumných vrto),
- geologické hranice aj línie (prevzaté vrstvy geologickej mapy SR, mierky 1:50 000).

Optimálny (výhľadový) stav: kvantitatívne alebo aspoň semikvantitatívne ohodnotenie flu-



Legenda

	vodný tok
	vrstevnice (výškový rozostup po 5 m)
	hranica morfoštruktúry najnižšieho rádu (vedená po geomorfologických líniách)
	Hrb (1255) kóta (nadmorská výška v metroch)

Obr. 4 Morfoštruktúry najnižšieho rádu - morfologické bloky (identifikované podľa geomorfologických línií v mierke 1:50 000)

viálnej aktivity jednotlivých segmentov riečnej siete.

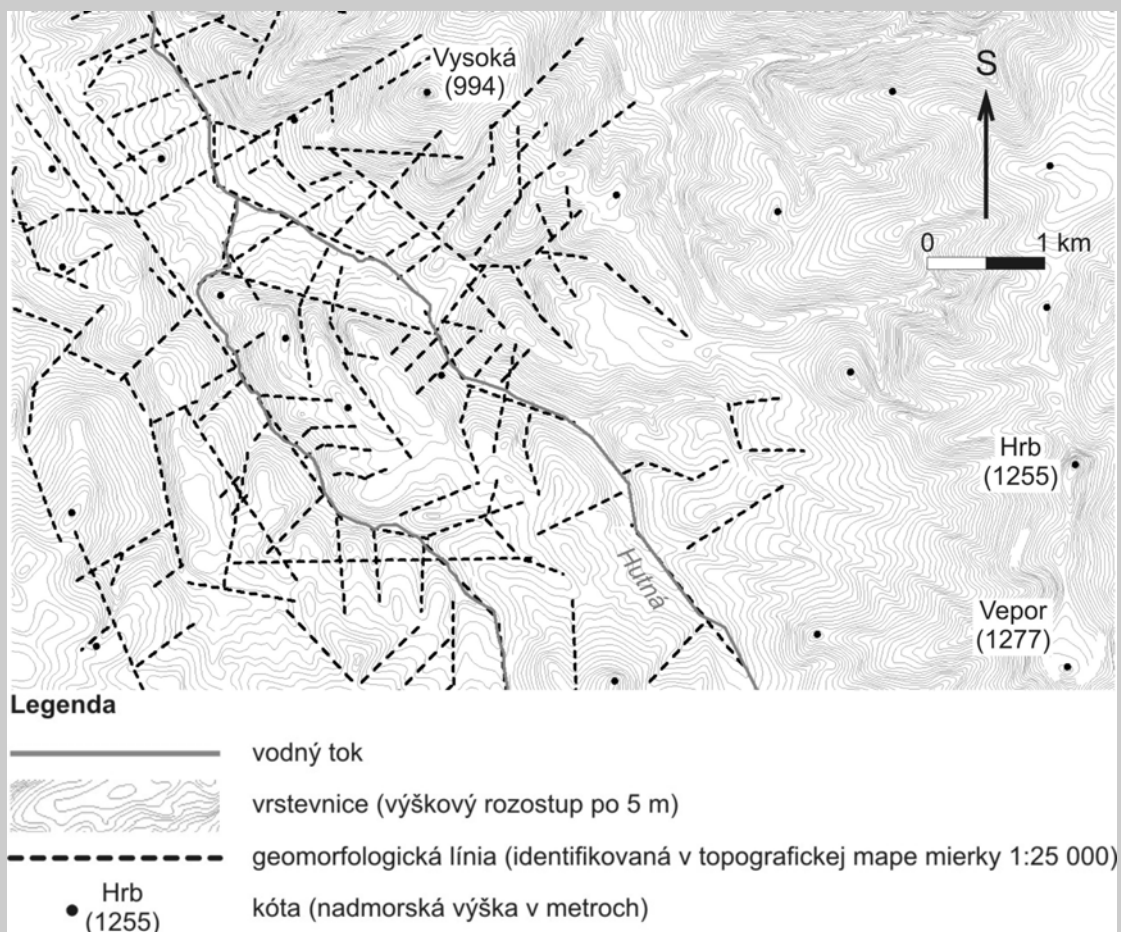
4.3 HIERARCHICKÁ ÚROVEŇ III – SUB-SYSTÉM AKTÍVNEHO ZOSUVU

V najdetailnejšej časovej i priestorovej mierke (desiatky rokov, 1:5 000, mohutnosť procesov: centimetre až metre) študujeme subsystém aktívneho zosuvu. Je súčasťou systému menších zosuvov lokalizovaných na najsevernejšom výbežku Poľany. Objektom výskumu je teleso „katastrofálneho“ zosuvu aktivizované v r. 1977 v dĺžke cca 1 200 m v intraviláne Ľubietovej a jeho bezprostredné okolie (v detailných mierkach 1:10 000, 1: 5 000, 1: 2 000, prípadne aj vo väčších).

Špecifickú úlohu pri štúdiu procesov má na tejto hierarchickej úrovni ich vertikálna mohutnosť. V subsystéme zosuvu monitorujeme hĺbkový dosah procesov v pripovrchovej hĺbke aj pod úrovňou premŕzania pôdy, a to v polročných intervaloch na sieti geodetických bodov.

Súčasťou GmIS-u hierarchickej úrovni III sú:

- elementárne formy (mapy) v mierke 1:5 000, resp. 1:2 000, prepojené s tabuľkovou databázou (genéza, procesy/dynamika, ...)
- statické bodové merania v reálnom čase:
 - pohyby v sieti geodetických bodov založených v rôznych hĺbkach pre sledovanie pohybu v jednotlivých horizontoch (hĺbky 60 cm, 150 cm a 300 cm),
 - dynamika hladiny podzemnej vody počas roka v piezometrických vrtoch (HGV),
 - dynamika prietokov subhorizontálnych odvodňovacích vrtov počas roka,
- merania na líniách: (geodetické profily, geoelektrické profily, a pod.)
- plošné „merania“ : dynamika reliéfu telesa zosuvu (rozdielové modely DEM získané z časových radov DEM metódami digitálnej leteckej fotogrametrie),
- vzťahy v reťazci: reliéf – zrážky – hľad-



Obr. 5 Geomorfologické línie (identifikované v mierke 1: 25 000)

na podzemnej vody (dáta z aktualizovaného DEM, zrážkomernej stanice, pravidelných statických meraní na HGV).

Všetky horeuvedené súčasti GmIS-u hierarchickej úrovne III sú ukladané priebežne v pravidelných časových intervaloch, a preto umožňujú efektívnu interpretáciu dynamiky územia.

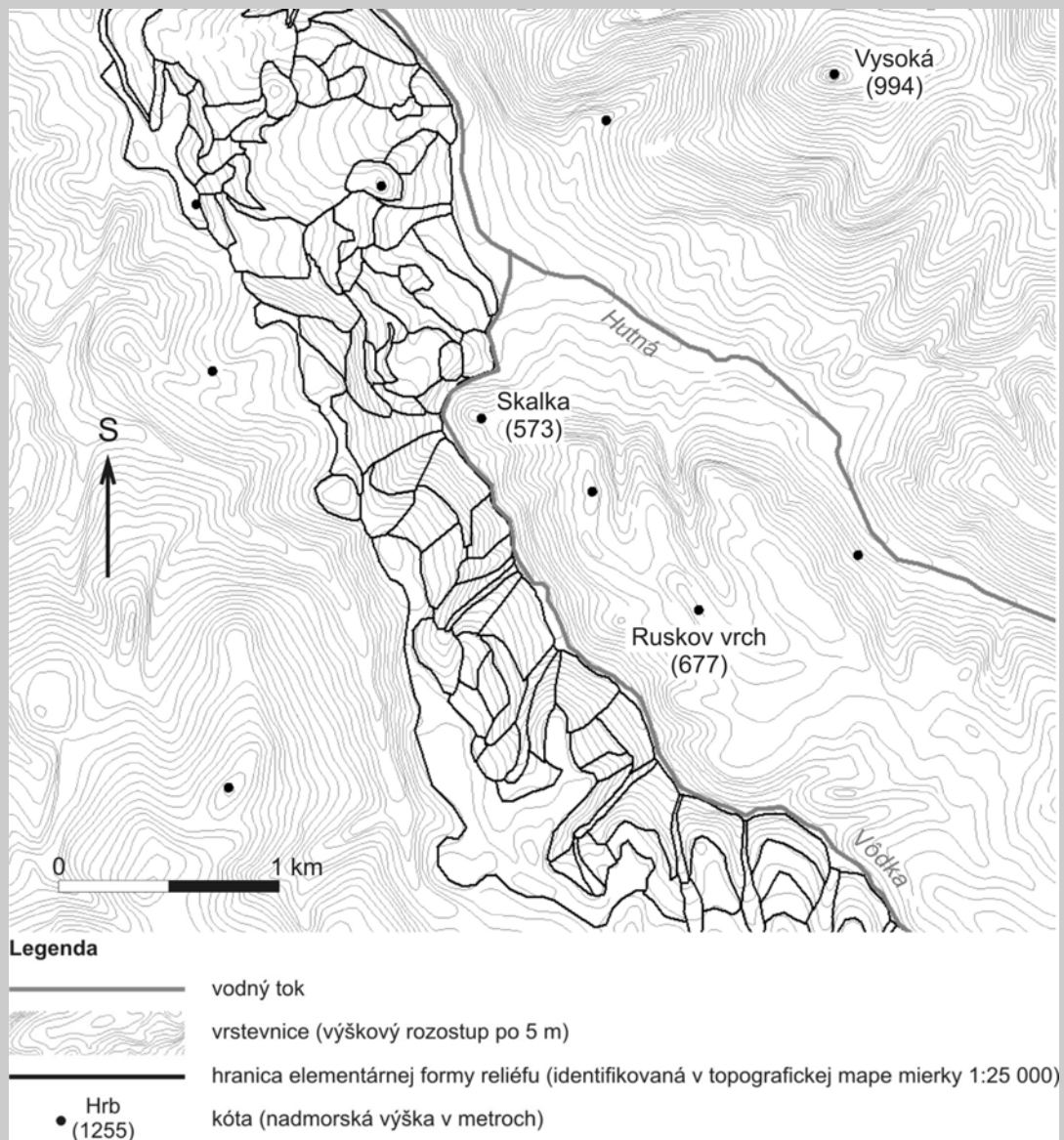
Pri hodnotení dynamiky reliéfu na najdetailnejšej hierarchickej úrovni by sme chceli upozorniť na výhody presného DEM konštruovaného metódami digitálnej leteckej fotogrametrie:

- možnosť postihnúť výraznej dynamiky reliéfu (vertikálnej mohutnosti 1,5 m a viac) v časových odstupoch po desaťročiach
- možnosť aktualizácie detailného výškopisu po každom leteckom snímkovaní územia
- väčšiu presnosť DEM ako pri modeloch získaných vektorizáciou vrstevníc základných máp veľkých mierok.

ZÁVER

GmIS je významným a v mnohých prípadoch efektívnym nástrojom napomáhajúcim pri geomorfologickom výskume. Možno ho uplatniť v rôznych jeho etapách. V prípadovej štúdií v okolí Lubietovej sme GmIS využili pri:

- tvorbe štruktúry geomorfologickej databázy,
- importe prevzatých vrstiev,
- tvorbe digitálneho výškového modelu a z neho odvodených povrchov (sklony, orientácie),
- elementarizácii územia,
- terénnom výskume,
- spracovaní informácií z dokumentačných materiálov,
- tvorbe geomorfologickej siete,
- výpočte špecifických morfometrických parametrov povodia.



Obr. 6 Elementárne formy reliéfu (identifikované v mierke 1: 25 000)

GmIS možno však aplikovať aj pri tvorbe vyšších hierarchických úrovní, delimitácii povodí, určovaní atribútov hraníc elementárnych foriem, línií diskontinuity, výpočte morfometrických charakteristík elementárnych foriem, atď. (JEDLIČKA 2008).

Dynamicky orientovaný hierarchický GmIS zdôrazňuje pri naplňaní databázy jednotlivých vrstiev a ich funkčných vzťahov časopriestorové súvislosti. Popri hierarchickom usporiadaní IS zohrávajú kľúčovú úlohu morfodynamické špecifiká územia. Aspekt dynamiky reliéfu významne ovplyvňuje proces výstavby GmIS, od návrhu štruktúry, náplň databázy až po vzájomné prepojenia predpokladajúce správne fungovanie celého systému.

Široké možnosti využitia GmIS vidíme pri príprave špeciálnych geomorfologických vrstiev účelovým spracovaním prevzatých a základných geomorfologických vrstiev (napr. pri tvorbe komplexných geomorfologických máp, morfoštruktúrnych máp, odhade geomorfologických rizík a ďalších aplikácií).

Naša štúdia nepredstavuje výsledky uzavretého výskumu, časové rady sledovania procesov nie sú ešte optimálne a nedospeli sme zatiaľ ani k optimálnym morfodynamickým interpretáciám informácií zozbieraných a utváraných vo vyšších hierarchických úrovniach GmIS. Predpokladáme však, že i tieto parciálne výsledky dokumentujú potenciál dynamicky orientovaného hierarchického GmIS, ktorý by

sa v budúcnosti mal stať oporným systémom geomorfologického výskumu. GmIS by mal perspektívne zautomatizovať najčastejšie geomorfologické postupy v prostredí GIS (napr. vyhraničovanie hraníc elementárnych foriem reliéfu; PACINA 2008) a umožniť rozšírenie systému o nové moduly. Hoci aplikácia GmIS na konkrétnom území môže byť najmä spočiatku náročnejšia než klasická práca geomorfológa (prepojenie geoinformatiky s geomorfológiou predpokladá dobré osvojenie si nových technológií), v dlhšom časovom horizonte znamená zjednodušenie, urýchlenie práce a väčšiu objektivitu výsledkov. GmIS môže zautomatizovať a pomôcť dokumentovať proces analýzy a tiež ponúknuť prehľadné a komfortné interaktívne užívateľské rozhranie.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/4052/07 a čiastočne aj projektu 1/4042/07. Autori ďakujú Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR a SAV za finančnú podporu.

LITERATÚRA

- BARSCHE, D., DIKAU, R. (1989). Entwicklung einer Digitalen Geomorphologischen Basiskarte (DGmBK). *Geo-informations Systeme*, 2 (3), 12-18.
- BROUČEK, I. (1980a). Zemetrasná činnosť. In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Bratislava, SAV a SÚGK, s.32.
- BROUČEK, I. (1980b). Maximálna intenzita zemetrasení. In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Bratislava, SAV a SÚGK, s.32.
- DIKAU, R. (1992). Aspects of constructing a digital geomorphological base map. *Geologisches Jahrbuch*, A122, 357-370.
- DUBLAN, L., BEZÁK, V., BUJNOVSKÝ, A., HALOUZKA, R., HRAŠKO, Ľ., VOZÁROVÁ, A., VOŽAR, J. (1997). *Geologická mapa Poľany, 1: 50 000*, Bratislava, GSSR.
- DUBLAN, L., BEZÁK, V., BIELY, A., BUJNOVSKÝ, A., HALOUZKA, R., HRAŠKO, Ľ., KOHLEROVÁ, M., MARCIN, D., ONAČILA, D., SCHERE, S., VOZÁROVÁ, A., VOŽAR, J., ŽÁKOVÁ, E. (1997). *Vysvetlivky ku geologickej mape Poľany, 1: 50 000*. Bratislava, GSSR, 238 s.
- FUSÁN, O., KODYM, O., MATĚJKA, A., URBÁNEK, J. (1980). Geológia. In Mazúr, E. ed. *Atlas SSR*. Bratislava, SAV a SÚGK, s.18.
- FUSSGÄNGER, F., JADROŇ, D., BANSKÝ, M., TYLEČEK, B. (1978). *Lubietová – prúdový zosun. Záverečná správa z predbežného inžiniersko-geologického prieskumu zosunu*. Žilina: IGHP, 77 s.
- GUSTAVSSON, M., KOLSTRUP, E., SEJMONSBERGEN, A. C. (2006). A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77, 90 - 111.
- JEDLIČKA, K. (2007). *Geomorfologický informačný systém*. Tézys dizertačnej práce, Ostrava, Technická univerzita Ostrava.
- JEDLIČKA, K. (2008). Geomorphologic information system – use cases, *GIS Ostrava 2008*, online http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/index.htm (2.4.2008)
- KUSENDOVÁ, D. (2000). Digitálna legenda pre geomorfologické mapy. *Kartografické listy*, 8, 45-54.
- LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W. (2001). *Geographic information systems and science*. New York, Wiley.
- MALGOT, J. (1969). *Vývoj zosuvných území na okrajoch vulkanických pohorí*. Manuskript (kandidátska dizertačná práca). Bratislava, Stavebná fakulta STU, 167 s.
- MALGOT, J. (1978). Deformácie svahov v okolí Lubietovej. *Geologický Průzkum*, 20, 1, 11-14.
- MAZÚR, E. (1965). Major features of West Carpathians as a result of young tectonic movements. In Mazúr, E., Stehlik, O., eds. *Geomorphological problems of West Carpathians, 1*. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 9-53.
- MAZÚR, E., KVITKOVIČ, J. (1980). Mladé pohyby. In Mazúr, E., (ed.) *Atlas SSR*. Bratislava, SAV a SÚGK, mapa č. 4, s. 21.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. (1980). Geomorfologické jednotky. In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Bratislava, SAV a SÚGK, 54-55.
- MEDVEĎOVÁ, A., PROKEŠOVÁ, R., KRÁTKA, E. (2007). Morfológia bystrinného toku – príklad potoka Vôdka, *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 7, 2, 25-36.
- MENTLÍK, P. (2006). *Geomorfologická analýza a tvorba GmIS pro okolí Prášílského jezera a jezera Laka na Šumavě*. Česká republika. Dizertačná práca, Bratislava, Univerzita Komenského v Bratislave.
- MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., MINÁR, J., BARKA, I. (2006). Geomorphological infor-

- mation system: physical model and options of geomorphological analysis, *Geografie*, 111, 1, 15-32.
- MIDRIAK, R. (1983). *Morfogenéza povrchu vysokých pohorí*. Bratislava, Veda.
- MINÁR, J. (1996). Niektoré teoreticko-metodologické problémy geomorfológie vo väzbe na tvorbu komplexných geomorfologických máp. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae*, 36, 7-125.
- MINÁR, J., MENTLÍK, P., JEDLIČKA, K., BARKA, I. (2005). Geomorphological information system: idea and options for practical implementation, *Geografický časopis*, 57, 3, 247-266.
- MINÁR, J., EVANS, I.S. (2008). Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95, 236-259.
- MOCZO, P., LABÁK, P. (2000). Mapa epicentier dokumentovaných zemetrasení s makroseizmickými účinkami na území Slovenska od r. 1034. In: *Zemetrasenia a seizmické ohrozenie*, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, http://www.nuqa.ke.eu/Earthquakes/Moczo_Labak_2000.pdf (10.9.2008).
- NOVOTNÝ, J. (2006). Geomorfologická analýza Kysuckých bradiel, *Geographia Slovaca*, 22, Geografický ústav SAV, Bratislava, 158 s.
- PACINA, J. (2008). Algorithms for automated border delimitation of elementary forms of georelief as a part of geomorphologic information system. *GIS Ostrava 2008*, online http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2008/sbornik/Lists/Papers/036.pdf (2.4.2008).
- POLÁK, M., FILO, I., HAVRILA, M., BEZÁK, V., KOHÚT, M., KOVÁČ, P., VOZÁR, J., MELLO, J., MAGLAY, J., ELEČKO, M., OLŠAVSKÝ, M., PRISTAŠ, J., SIMAN, P., BUČEK, S., HÓK, J., RAKÚS, M., LEXA, J., ŠIMON, L. (2003). *Geologická mapa Starohorských vrchov, Čierťaž a severnej časti Zvolenskej kotliny, 1: 50 000*. Bratislava, ŠGÚDŠ.
- URBÁNEK, J. (1986). Geomorfologické pomery Bestín a príľahlej časti Bošáckych bradiel. *Geografický časopis*, 38, 4, 300-321.
- URBÁNEK, J. (1997). Geomorfologická mapa: niektoré problémy geomorfologického mapovania na Slovensku. *Geografický časopis*, 49, 175-186.
- URBÁNEK, J. (2000a). Geomorfologická analýza: hľadanie systému. *Geografický časopis*, 52, 197-210.
- URBÁNEK, J. (2000b). Geomorfologická analýza: hľadanie pravdy. *Geografický časopis*, 52, 291-301.
- URBÁNEK, J. (2005). Geomorfologická analýza neotektonických foriem, *Geografický časopis*, 57, 1, 57-70.
- URBÁNEK, J. (2006). Tektonické formy severnej časti Slovenského stredohoria. *Geografický časopis*, 58, 4, 303-316.
- 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*, 1, 19-30.
- VOŽENÍLEK, V., KIRCHNER, K., KONEČNÝ, M., KUBÍČEK, P., LÉTAL, A., PETROVÁ, A., ROTHOVÁ, A., SEDLÁK, P. (2001). *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Univerzita Palackého Olomouc, v Olomouci, 185 s.
- VOŽENÍLEK, V., SEDLÁK, P. (2004). Mobilní geoinformační technologie v geomorfologickém mapování. *Geografický časopis*, 56, 65-81.

