

MORFOGRAFICKO-MORFOMETRICKÁ TYPIZÁCIA ZÁPADNÝCH KARPÁT A SLOVENSKA PRE POTREBY GEOEKOLOGICKÝCH APLIKÁCIÍ

MARIÁN ŠABO*, JOZEF MINÁR**

Marián Šabo, Jozef Minár: Morphographic-morphometric typification of the Western Carpathians and Slovakia for geoeological application use. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. 15, 2015, 2, 15 figs., 5 tabs., 45 refs.

In the contribution we present new comprehensive database of elementary topographic units for the territory of the Western Carpathians and Slovakia in the scale 1 : 100 000. The Western Carpathians cover the territory of Slovakia, Hungary, Austria, Czech Republic and Poland. In the first step we made morphographic-morphometric typification of study area, i.e. delimitation of morphographic types (plains, hilly lands, lower uplands, higher uplands, lower highlands, higher highlands, giant highlands). For the delimitation of spatial units we used expert method, i.e. visual detection of the most significant discontinuities in the image of morphometric characteristics (like expert division of objects from space and aerial photography). The units were typified on the basis of vertical dissection and drainage density. In the second step we made division more detailed by using of traditional geomorphological units. In the third step we computed set of morphometric variables (average altitude, vertical dissection, drainage density, slope gradient and aspect) and other environmental characteristics (average annual precipitation, temperature, abundance of forest and farmland, etc.) for delimited units. Results can be used for the evaluation of particular landscape ecological characteristics (ecological stability, resistance, susceptibility, vulnerability, etc.), for the creation of territorial systems of ecological stability, natural hazard assessment, morphostructural analysis, analysis of barrier effect or availability analysis and another types of geographical, geoeological and geomorphological regionalizations.

Key words: Western Carpathians, morphographic-morphometric typification, vertical dissection, drainage density

ÚVOD

Pre štúdium vlastností krajiny využívame v geografii najčastejšie dva základné prístupy. Je to buď prístup založený na vnímaní vlastností krajiny ako poľa (kontinuálny model), na ktorom je založená všeobecná geomorfometria (EVANS 1972, KRCHO 1973) alebo objektovo orientovaný prístup (diskrétny model), ktorý popisuje špecifická geomorfometria. Prístup poľa vyjadruje vlastnosti geografickej sféry pomocou gridu, ktorý je charakterizovaný priestorovou spojitou (pre lepšie znázornenie hodnôt sa niekedy využívajú izolínie). Naproti tomu diskrétny model predstavuje súbor regiónov, vyčlenených podľa určitého klasifikačného kritéria. Hranice regiónov sú definované na základe priebehu najväčšej zmeny vybranej vlastnosti prírodného prostredia a regióny sa vyznačujú nespojitou, pričom je pravdepodobné, že na hraniciach sa mení charakter geografického prostredia. V určitej mierke a pre danú rozlišovaciu úroveň sú dané areály homogénne (majú vnútornú homogenitu). Ako hranicovotvorný faktor sa vo fyzickej geografii najčastejšie

volí georeliéf alebo určitá jeho vlastnosť pretože georeliéf má úzky vzťah s rôznymi endogénnymi aj exogénnymi procesmi.

Na základe objektovo orientovaného prístupu sme vytvorili databázu **elementárnych prírodných jednotiek** (prirodzených indivíduí) pre územie celých Západných Karpát v referenčnej mierke 1 : 100 000, ktorá môže byť využitelná v geoeologických aplikáciách. Vyhraňované elementárne jednotky majú charakter tradičných morfografických typov georeliéfu. Sú to regióny s podobným vzťahom metrikou a vplyvom georeliéfu na priebeh prírodných procesov.

Kvôli potrebe cezhraničného hodnotenia a rešpektovania prirodzených hraníc prírodného prostredia má databáza nadregionálny charakter a prekračuje umelé, administratívne hranice jedného štátu a zasahuje na územie Slovenska, Rakúska, Česka, Poľska a Maďarska. Bola vytvorená pre oblasť Západných Karpát v širokom slova zmysle, ktorých hranice boli definované v práci MINÁR et al. (2011) s okrajovou zónou 5 kilometrov. Aby mohla byť databáza využiteľná aj na analýzy vykonávané na území Slovenska,

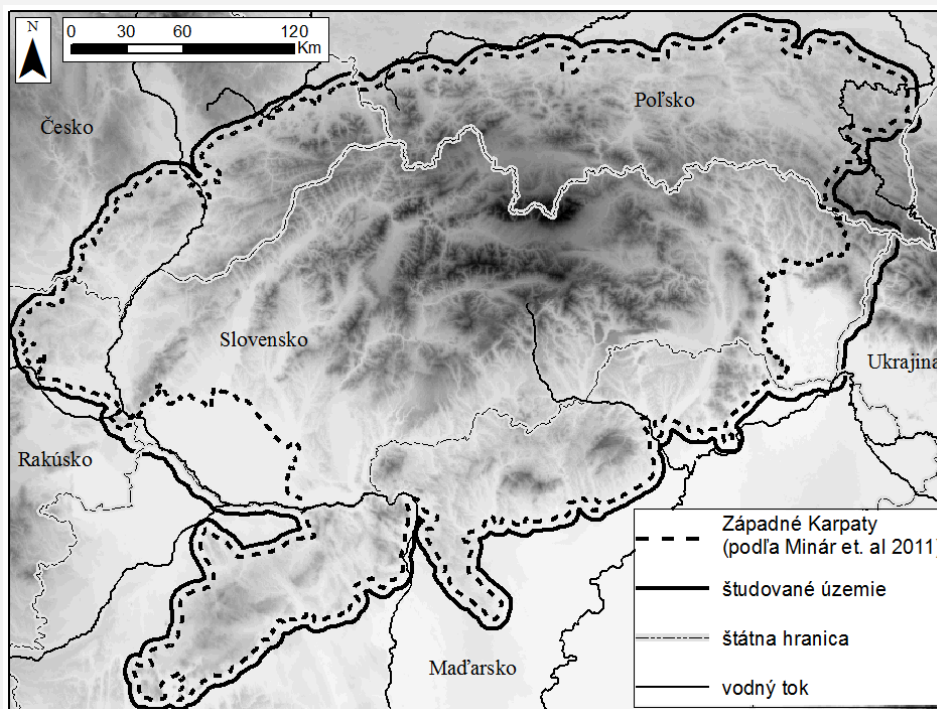
* J. C. Hronského 12, 831 02, Bratislava, Slovensko, e-mail: sabo385@gmail.com

** Katedra fyzickej geografie a geoeológie, Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15, Bratislava 4, Slovensko, e-mail: minar@fns.uniba.sk

bolo navyše spracované aj celé územie Podunajskej a Východoslovenskej nížiny (**Obr. 1**). Z databázy je možné vyselektovať akúkoľvek časť územia, bolo by však vhodné, aby vyrezané územie rešpektovalo hranice elementárnych jednotiek, aby tak nevznikali neprirodzené areály.

priamočiara ako pri jednoduchom využití základných drsnostných charakteristík georeliéfu.

V príspevku je prezentovaný výsledok jednoduchého expertného GIS-om podporovaného spôsobu segmentácie. Relevantné dátové vrstvy, a to hlavne grid vertikálnej členitosti boli odvodené z DEM, aby sme tak v čo najväčšej



Obr. 1 Poloha študovaného územia

TEORETICKÉ A METODOLOGICKÉ VÝCHODISKÁ

Z prác, ktoré sa venujú morfológicko-morfometrickej typizácii prevládajú dnes vo svetovej literatúre tie, ktoré využívajú automatizované postupy vykonávané v geografických informačných systémoch. Je to napr. práca autorov DOBOS et al. (2007), v ktorej autori vyvinuli kvantitatívnu metódu na definovanie terénnych jednotiek. Vznikla tak databáza SOTER (World SOil and TERain Digital Database). Autori využili štyri základné vrstvy odvodené z DEM (nad-morská výška, sklon, vertikálna a horizontálna členitosť), ktorých kombináciou získali elementárne jednotky. Existuje však aj množstvo ďalších sofistikovanejších algoritmov na generovanie morfológických objektov z DEM (MACMILLAN et al. 2000, HAY et al. 2005, VAN NIEKERK 2010, DRÁGUT a EISANK 2011, DRÁGUT et al. 2011, JASIEWICZ et al. 2014), interpretácia ich výsledkov však často nie je tak

miere eliminovali subjektivitu pri stanovovaní typov reliéfu. Pri vyhraničovaní priestorových jednotiek sme však použili expertnú metódu - vizuálnu detekciu najvýraznejších nespojitostí v obraze morfológických charakteristík (obdobu expertného vyhraničovania objektov z kozmických a leteckých snímok). Takto vyčlenené jednotky (morfografické typy) však nie sú ideálne na použitie v detailnejších geologických analýzach. Napr. morfografický typ rovina predstavoval na celom území len niekoľko plošne veľmi rozsiahlych areálov, pričom tieto zasahovali príliš hlboko do pohorí a mali veľmi úzky a pretiahnutý tvar. Kvôli tomuto sme morfografické typy detailnejšie rozčlenili pomocou databázy tradičných geomorfologických jednotiek (na úrovni celkov a podcelkov), aby sme tak definovali individuálne jednotky, ktoré majú odlišný charakter ako zvyšné okolité územia (odstránenie výbežkov rovin z nížin až do kotlín). Porovnali sme celkové zastúpenie morfografických typov na území Slovenska, koefi-

cient plošnej korelácie a vzťah geomorfologických jednotiek k morfografickým typov s výsledkami prác MAZÚR (1980a) a TREMBOŠ a MINÁR (2002). Posledným krokom metodického postupu bolo naplnenie databázy morfometrickými charakteristikami (priemerná nadmorská výška, vertikálna a horizontálna členitosť, sklon, orientácia, atď.) a inými charakteristikami prírodného prostredia (priemerný ročný úhrn zrážok, priemerná teplota vzduchu, podiel poľnohospodárskej alebo lesnej pôdy, atď.). Pokúsili sme sa takto nielen o priestorové rozšírenie, ale aj o vylepšenie tradičných prác, ktoré sa venovali členeniu georeliéfu Slovenska na základe vertikálnej členitosti. Prvou bola mapa Energie reliéfu (MAZÚR a MAZÚROVÁ 1965, MAZÚR 1980a), v ktorej boli areály definované na základe izolínií (izaritiema je čiara s rovnakou relatívnou výškou) reklasifikovaných hodnôt vertikálnej členitosti (vertikálna členitosť bola využitá ako hraničotvorný faktor). Takýmto spôsobom vyhraničené areály však nemajú prirodzené hranice. V mape Morfológicko-morfometrických typov reliéfu (TREMBOŠ a MINÁR 2002) bola vertikálna členitosť využitá až ako charakterizačný faktor, t. j. autori najskôr definovali hranice elementárnych jednotiek pomocou najkontrastnejších reliéfových hrán (ako podklad slúžili analógové mapy v mierke 1 : 50 000) a následne areály charakterizovali vertikálnou členitosťou. Tento postup sme sa snažili objektivizovať s využitím GISov. Na rozdiel od analógových máp použitých v spomínaných prácach sme využili voľne dostupný digitálny model reliéfu SRTM (JARVIS et al. 2008). Postup z práce TREMBOŠ a MINÁR, (2002) sme obohatili o charakteristiku vyhraničených areálov pomocou zonálnej štatistiky. Aj keď MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) použili na výpočet vertikálnej členitosti analógové mapy mierke 1 : 25 000, ktoré sú presnejšie ako náš digitálny model, ich vyjadrenie vertikálnej členitosti je priestorovo menej homogénne. Prekryv kruhov, v ktorých sa počítala členitosť, bol totiž v práci MAZÚR (1980a) relatívne malý. My sme použili výrazne väčší prekryv - stredy kruhov, pre ktoré sa počítala vertikálna členitosť boli od seba vzdialené len 78 metrov. Získali sme tak oveľa viac kontinuálny obraz oproti práci MAZÚR (1980a) charakteristickej skokovitými zmenami hodnôt členitosti.

Pre územie Slovenska je zaužívaná morfografická typizácia autorov MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) resp. LUKNIŠ (1972). Najväčší rozdiel v hodnotách vertikálnej členitosti jednotlivých morfografických typoch zaužívaných na území Slovenska oproti medzinárodnej klasifikácii sú hodnoty pre určenie pahorkatín. Na

Slovensku je to rozpätie 31 – 100 m, pričom vo svete sa používa rozpätie 31 – 150 m. Rozpätie určil MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) na základe zálomov na hodnotách sumačnej krivky vertikálnych členitostí pre územie Slovenska. V novšej klasifikácii sa TREMBOŠ a MINÁR (2002) priklonili k medzinárodnej klasifikácii. V tejto práci sme sa však rozhodli použiť na Slovensku zaužívanejšiu klasifikáciu MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965).

Keďže študované územie zasahuje na územia piatich štátov, v ktorých sa využívajú rôzne súradnicové systémy, zvolili sme ako referenčný systém WGS 1984 UTM Zone 34N. Stredový pás zobrazenia pre tento systém prechádza približne stredom záujmového územia. Pre transformáciu dát zo systému S-JTSK (napr. máp Energie reliéfu, Morfológicko-morfometrické typy georeliéfu) sme využili v prostredí ArcGIS 9.3 transformačný kľúč 1 (HRDINA 1997).

Najdôležitejšou podkladovou vrstvou bol digitálny model reliéfu, ktorý sme získali z geoportálu CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org>) (*Consultative Group for International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information*), ktorý je poskytovateľom SRTM dát (*Shuttle Radar Topographic Mission*) vytvorených organizáciou NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (JARVIS et al. 2008). Digitálny model bol v rozlíšení 90 x 90 metrov a s vertikálnou odchýlkou menej ako 16 metrov. Dáta boli stiahnuté ako 4 datasety vo formáte GeoTiff a v súradnicovom systéme WGS84. Tieto sme exportovali do gridu a spojili pomocou funkcie Mosaic to New Raster (*Data Management Tool – Raster – Raster Dataset – Mosaic to New Raster*). Pri zmene súradnicového systému z WGS 1984 do rovinného systému WGS 1984 UTM Zone 34N (*Data Management Tool – Projections and Transformations – Raster – Project Raster*) došlo k zmene rozlíšenia na 78x78 metrov.

Keďže pri použití takto získaného a upraveného digitálneho modelu v procese automatického generovania údolnic (pre výpočet horizontálnej členitosti) dochádzalo k tvorbe zhlukov údolnic - ich nereálnej siete (najmä zhlukovanie v rovinných územiach, priamočiare vodné toky, ktoré nerešpektujú predispozície reliéfu) digitálny model sme upravili, aby bol čo najviac hydrologicky korektný. Hydrologicky korektný model zaručuje, že sieť vodných tokov vytvorená nad týmto modelom bude konzistentná, vodné toky nebudú neprirodzene končiť v bezodtokových oblastiach (pokiaľ nie sú prirodzené) a nebude dochádzať k vytváraniu nereálnej siete.

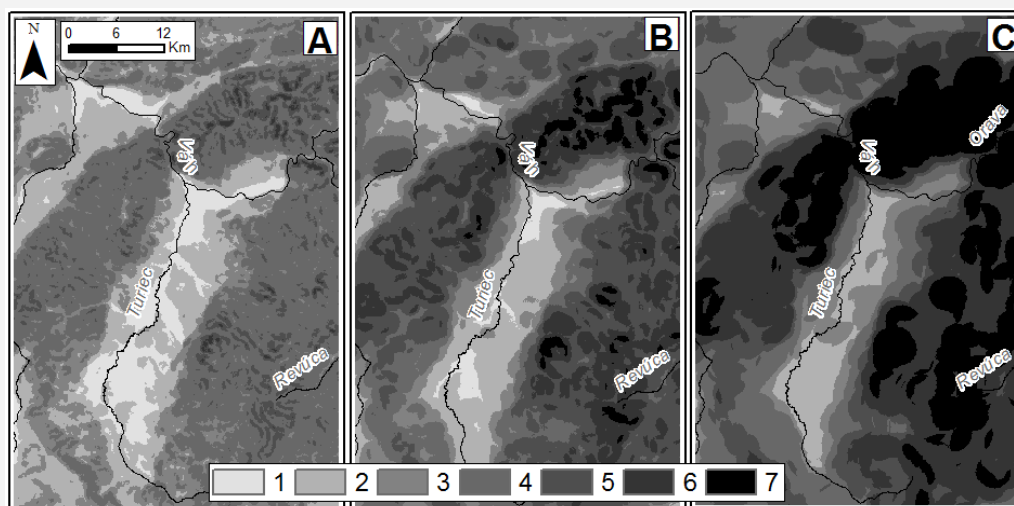
Na úpravu sme využili metódu Topo to raster (*Spatial Analyst Tool – Interpolation – Topo to Raster*), ktorá bola využitá napr. v prácach ŠILHAVÝ (2010) alebo HRONČEK a KOŠICKÝ (2007). Do výpočtu sme zaradili body s hodnotami nadmorskej výšky a vrstevnice, ktoré sme vytvorili z pôvodného digitálneho modelu (*Conversion Tools – From Raster – Raster To Point a Spatial Analyst Tools – Surface – Contour*). Ďalej bola pridaná sieť vodných tokov, ktorú sme získali z Catchment Database (VOGT et al. 2007). Avšak ani touto úpravou sa nám nepodarilo odstrániť vznik nereálnej siete údolnic v rovinných oblastiach (Podunajská a Východoslovenská nížina). Preto nebolo možné detailnejšie rozčleniť morfolofický typ roviny pomocou hodnoty horizontálnej členitosti.

V samotnom procese vyhraničovania morfolofických typov sme v prvom kroku nášho výsledného postupu získali z upraveného digitálneho modelu vrstevnice s rôznymi intervalom (10, 20 a 50 metrov). Pomocou nich sme mohli definovať hranice nespojitosti a najväčšej zmeny v charaktere georeliéfu (úpätnice a terénne hrany). V druhom kroku sme vytvorili grid vertikálnej členitosti, ktorý sme vypočítali pomocou nástroja Focal Statistic (*Spatial Analyst Tools – Neighborhood*) ako rozdiel najvyššej a najnižšej nadmorskej výšky pre kruh s priemerom 2 km, resp. 1 950 metrov (pri rozlíšení DMR 78 x 78 metrov sme použili pre definovanie daného priemeru 25 pixlov). Testovali sme aj použitie gridu vertikálnej členitosti vypočítaného pre priemery kruhov 1, 3, a 4 km, podobne ako v práci MAŽÚR a MAŽUROVÁ (1965). Potvrdili sa nám závery z danej práce, že použí-

tie kruhu s priemerom 1 km pre sa javí ako najvhodnejšie pre vykreslenie menej členitejších území, ako sú roviny a pahorkatiny. Takéto nastavenie však splošňuje základnú vertikálnu členitosť územia Slovenska. Na modelovom území v okolí Turčianskej kotliny podľa tohto nastavenia prevládajú vyššie vrchoviny, pričom podľa MAŽÚR a MAŽUROVÁ (1965) aj TREMBOŠ a MINÁR (2002) má územie charakter vyšších hornatín až veľhornatín. Pri použití kruhu s priemerom 3 a 4 km vznikali nedostatky opačného charakteru. Z celého územia sa takmer úplne vytratila kategória rovín a v ostatnom území prevládala kategória hornatín (nižších a vyšších) až veľhornatín. Ako najvhodnejšie sa preto javilo použitie priemeru 2 km, ktorý na jednej strane dovoľuje vyjadriť hrubé členenie územia do makroforiem, resp. základných typov reliéfu a na druhej strane umožňujú v odpovedajúcej miere znázorniť ich vnútornú rozmanitosť (Obr. 2).

Grid vertikálnej členitosti sme reklasifikovali pomocou intervalov, ktoré boli použité v práci MAŽÚR a MAŽUROVÁ (1965), keďže väčšinu študovaného územia zaberá územie Slovenska a chceli sme naše výsledky porovnávať s danou prácou. Definovali sme teda roviny (0 – 30 m), pahorkatiny (31 – 100 m), nižšie vrchoviny (101 – 180 m), vyššie vrchoviny (181 – 310 m), nižšie hornatiny (311 – 470 m), vyššie hornatiny (471 – 640 m) a veľhornatiny (641 a viac metrov).

Sieť vodných tokov (VOGT et al. 2007) sme využili pri vyhraničovaní rovín - nív, ktoré sa nachádzali v kotlinách. V prípadoch, keď podľa gridu vertikálnej členitosti už nešlo o rovinu,



Obr. 2 Grid vertikálnej členitosti vypočítaný pre kruhy s priemerom 1 km (A), 2 km (B) a 4 km (C) v okolí Turčianskej kotliny (1 – roviny, 2 – pahorkatiny, 3 – nižšie vrchoviny, 4 – vyššie vrchoviny, 5 – nižšie hornatiny, 6 – vyššie hornatiny, 7 – veľhornatiny)

ale podľa priebehu vrstevníc a prítomnosti vodného toku sme dokázali určiť, že sa jedná o nivu širšiu ako 500 m zaradili sme ju do kategórie rovín. Vyhraničovanie ostatných morfografických jednotiek prebiehalo na základe expertného odhadu naložením vrstvy vertikálnej členitosti a vrstevníc, ktoré boli vygenerované v niekoľkých intervaloch (10, 20, 50 a 100 metrov). Pokiaľ by jeden z faktorov bol braný ako hranicovotvorný, napr. grid vertikálnej členitosti, mohli by sme získať areály, ktoré nerešpektujú prirodzený charakter ohraničenia jednotiek. Je to spôsobené aj tým, že sa pole hodnôt vertikálnej členitosti v niektorých miestach nemusí vyznačovať náhlymi zmenami a naše kategórie teda nemusia predstavovať prirodzené hranice (**Obr. 3**). Minimálna šírka areálu bola stanovená na 500 metrov, minimálna veľkosť areálu bola stanovená na 2 km².

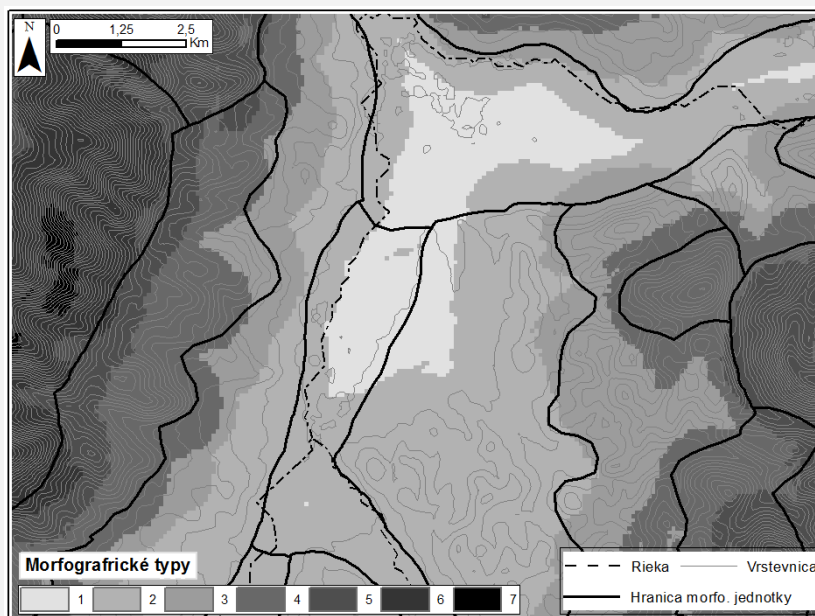
VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSIA

MORFOGRAFICKÁ TYPIZÁCIA NA ZÁKLADE VERTIKÁLNEJ ČLENITOSTI

Typizácia jednotiek do morfografických typov prebiehala v prostredí ArcGIS pomocou nástrojov Zonálnej štatistiky (definovanie rozpätia, mediánu, priemernej hodnoty, najčastejšie sa vyskytujúcej hodnoty, atď.) na podklade ne-

reklasifikovaného aj reklasifikovaného gridu vertikálnej členitosti. Jednotky patriace do kategórie rovín sme typizovali už pri vyčleňovaní, na základe priebehu vrstevníc (niv) a prítomnosti vodného toku. Pomocou zonálnej štatistiky sme teda typizovali pahorkatiny, vrchoviny (nižšie a vyššie), hornatiny (nižšie a vyššie) a veľhornatiny. Pri typizácii sme narazili na niekoľko obmedzení, vyplývajúcich z použitia podkladových dát, ktoré sme mali k dispozícii. Pre územie Slovenska sme mali k dispozícii aj presnejšie podkladové vrstvy (napr. mapy v mierke 1 : 10 000), pomocou ktorých by sme vedeli lepšie identifikovať nivu (čím by sme vedeli detailnejšie rozdeliť roviny), nepoužili sme ich však preto, lebo pre ostatné územie neboli rovnocenné mapové podklady k dispozícii. Použili sme voľne prístupný DEM, ktorý bol homogénny pre celé územie, aj keď sme tak stratili časť informácie.

Prvé obmedzenie sa vzťahovalo na oblasť rovín (najmä Podunajská a Východoslovenská nížina), kde je DEM značne nepresný. Na týchto územiach nebolo možné detailnejšie rozčleniť roviny. TREMBOŠ a MINÁR (2002) vo svojej práci v rámci rovín vyčlenili rovinné depresie (depresie na okraji agadačných valov veľkých riek, staré riečne ramená), nečlenené roviny (fluviálne nivné roviny) a horizontálne rozčlenené roviny (široké pásy meandrov a mŕtvych riečnych ramien pozdĺž väčších tokov). V tomto príspevku by sme roviny detailnejšie vedeli



Obr. 3 Morfografické typy (ako v **obr. 2**) na podklade gridu vertikálnej členitosti v severnej časti Turčianskej kotliny ((1 – roviny, 2 – pahorkatiny, 3 – nižšie vrchoviny, 4 – vyššie vrchoviny, 5 – nižšie hornatiny, 6 – vyššie hornatiny, 7 – veľhornatiny))

rozčleniť iba na základe ich mapových výstupov, prípadne detailnejších základných máp. Keďže sme rovnaké podklady nemali dostupné pre celé územie, tak sme k tomuto kroku neprišli. Ďalšie nepresnosti vznikali pri nivách v kotlinových oblastiach, ktoré sa vyznačovali atypickým tvarom (veľmi úzky, v jednom smere pretiahnutý a s malou rozlohou – do 5 km²). Takéto nivy patria do kategórie rovín, no podľa výpočtu vertikálnej členitosti sa tu roviny nevyskytujú. Je to spôsobené tým, že do výpočtu vertikálnej členitosti (kruh s priemerom 2 km) spadali aj okolité pohoria a preto hodnoty vertikálnej členitosti spadali do kategórie pahorkatín, vrchovín, v extrémnych prípadoch až hornatín. Väčšie nivy, ktoré patria do kategórie rovín (so šírkou minimálne 500 m) sme vyhraničovali na základe priebehu vrstevníc (terénne hrany a úpätnice) a prítomnosti vodného toku. Na základe rovnakého prístupu by sme takto mohli uvažovať aj nad vyhraničením rovín v pohoriach (napr. vrcholové časti), v tomto prípade bol pre nás smerodajný údaj prítomnosť vodného toku.

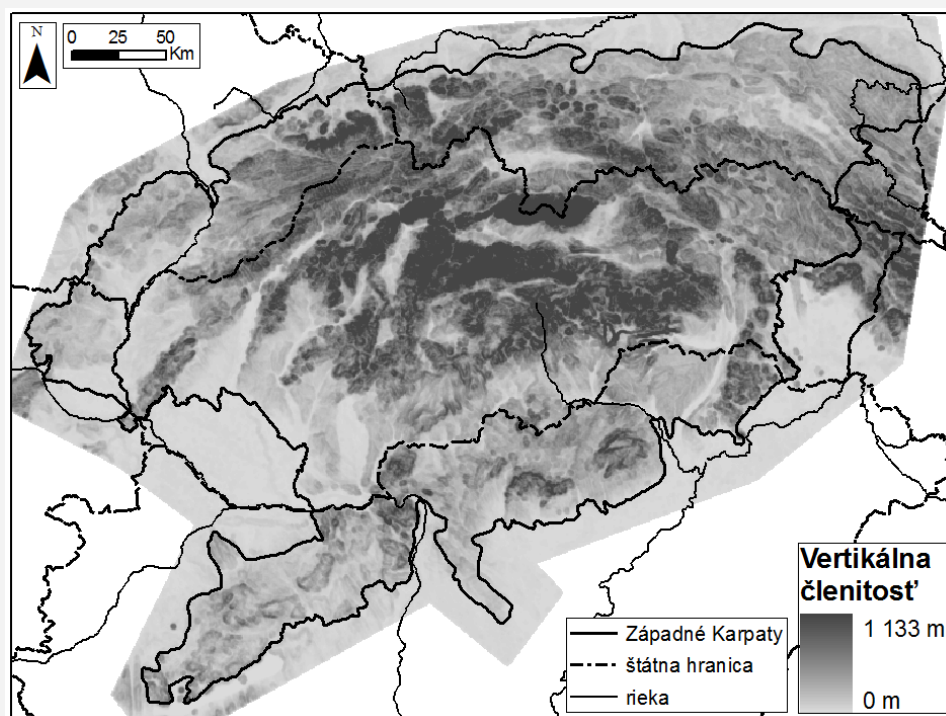
Typizácia pomocou nereklasifikovaného gridu vertikálnej členitosti

Testovali sme použitie nereklasifikovaného gridu vertikálnej členitosti (pôvodného), v ktorom neboli hodnoty reklasifikované do zaužívaných 7 tried. V tomto gride sa hodnoty vertikál-

nej členitosti pohybovali od 0 metrov (vodné plochy) po 1 133 metrov (**Obr. 4**). Výpočet priemerných hodnôt (Zonal Statistic) bol vypočítaný z gridu typu Integer (Spatial Analyst – Math – Integer). Vyskúšali sme niekoľko ukazovateľov ako napr. range (rozpätie), median (medián – stredná hodnota znaku), mean (priemerná hodnota) a majority (najčastejšia vyskytujúca sa hodnota). Priemerné hodnoty vertikálnej členitosti v každej jednotke vypočítané z pôvodného gridu sme reklasifikovali do zaužívaných tried podľa práce MAZÚAR a MAZÚROVÁ (1965) a vizuálne porovnali s mapou Energia reliéfu (MAZÚR 1980a) a Morfológico-morfometrickými typmi georeliéfu (TREMBOŠ a MINÁR 2002). Najmenej sa zhodovalo vyjadrenie pomocou ukazovateľa range, pri ktorom väčšina študovaného územia spadala do kategórie vyšších vrchovín. Pri použití tohto ukazovateľa dosahovala vertikálna členitosť hodnoty od 10 m po 778 metrov, pri majority 0 – 735 m, pri mediáne 1 – 717 m, a pri priemere 7 – 720 metrov. Ukazovatele median, mean a majority priniesli približne rovnaké zastúpenie morfológických typov v študovanom území.

Typizácia pomocou reklasifikovaného gridu

Grid vertikálnej členitosti sme reklasifikovali do 7 zaužívaných tried podľa práce MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965). Každé triede sme pri-



Obr. 4 Nereklassifikovaný grid vertikálnej členitosti

radili hodnotu od 1 po 7. Týmto sa nám podarilo odstrániť extrémne hodnoty vertikálnej členitosti v súbore dát. Pomocou zonálnej štatistiky sme vyjadrili pre každú jednotku rozpätie, medián, priemernú hodnotu a najčastejšie sa vyskytujúcu hodnotu. Typizácia pomocou každého ukazovateľa priniesla takmer rovnaké výsledky. Rozdiel v zaradení do jednotlivých kategórií sa vyskytol iba v niekoľkých ojedinelých jednotkách. Ako referenčný ukazovateľ pre zaradenie jednotiek do jednotlivých morfografických typov na základe vertikálnej členitosti sme zvolili ukazovateľ majority, teda najčastejšie sa vyskytujúcu hodnotu. Pri porovnaní s prácami MAZÚR (1980a) a TREMBOŠ a MINÁR (2002) je zrejmé, že na študovanom území sa takmer vytratila kategória veľhornatín. Príčinou je zrejme menej presný DEM, ktorý nedokázal zachytiť menší plošný rozsah plôch (pixelov), ktoré vo vrcholových častiach patrili do kategórie veľhornatín.

MORFOGRAFICKÁ TYPIZÁCIA NA ZÁKLADE HORIZONTÁLNEJ ČLENITOSTI

Horizontálna členitosť ako ďalší typizačný prvok bola použitý aj v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002). Pomocou horizontálnej členitosti sme chceli detailnejšie rozdeliť jednotlivé morfografické typy typizované v prvok kroku na základe vertikálnej členitosti. Horizontálnu členitosť sme definovali ako dĺžku údolnic (v km) na plochu elementárnej jednotky (km^2). Údolnice sme automaticky vygenerovali z upraveného DEM v prostredí ArcGIS a nástrojov Hydrology Toolset. Problematike automatického generovania údolnic sa venuje veľa autorov, využili sme najmä práce JEDLIČKA a MENTLÍK (2002), ŠINKA (2008), JEDLIČKA a SLÁDEK (2009), JEDLIČKA (2010) alebo ŠILHAVÝ (2010).

V rámci Hydrology toolset sme využili nástroje *Sink* na identifikáciu priehlbín, bezodtokových oblastí, znížení alebo depresí, nástroj *Fill*, ktorý takéto priehlbiny vyplňa, *Flow Direction*, ktorý určuje smer prúdenia a *Flow Accumulation* určujúci akumuláciu prietoku, t.j. určí pre každú bunku koľko do nej vteká ostatných buniek. Vodný tok sa určí pomocou minimálnej, tzv. prahovej hodnoty. Čím je menšia, tým je sieť vodných tokov podrobnejšia a naopak. Táto prahová hodnota závisí od charakteru územia. V práci JEDLIČKA a SLÁDEK (2009) použili autori pre Fatransko-Turčiansky región prahovú hodnotu 205 buniek, čo predstavovalo prispievajúcu plochu $0,15 \text{ km}^2$. Na našom úze-

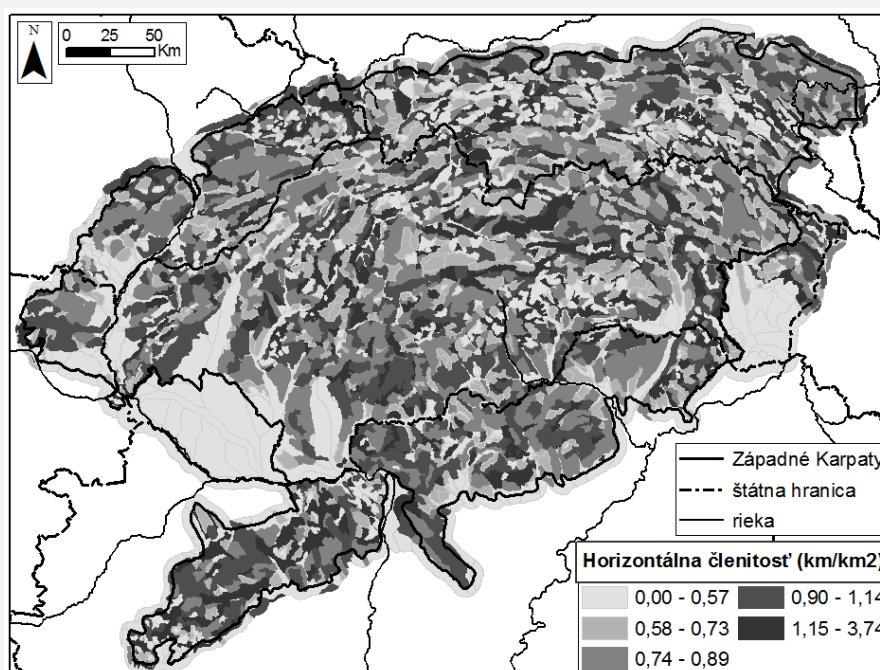
mí sme experimentovali s rôznymi hodnotami ($0,15$; $0,30$; $0,45$ a $0,60 \text{ km}^2$), nakoniec sme zvolili veľkosť prispievajúcej plochy $0,45 \text{ km}^2$ a prahovú hodnotu 75. Údolnice v rastri boli definované tak, že sme im priradili hodnotu 1 a ostatným bunkám hodnotu NoData. Do vektorej podoby sme grid vodných tokov previedli pomocou nástroja *Stream to feature* Definovanie. Pre vyjadrenie dĺžky údolnic v jednotke sme využili nástroj *Spatial Join (Analysis Tools - Overlay)* s prienikom líniovej vrstvy údolnic a polygónovej vrstvy elementárnych jednotiek (*Analysis Tools - Overlay - Intersect*). Týmto sme rozsekli vodné toky hranicami jednotiek. Dĺžku jednotlivých úsekov sme vypočítali pomocou nástroja *Calculate Geometry*. Vrstvy sme spojili nástrojom *Spatial Join* s použitím týchto nastavení: *target = polygon, joined = line, join one to one method*. Pre input *Field Map of Join Features* definujeme po pravom kliknutí na myš *merge rules (sum)* a v *match options* definujeme *contain*. Tento príkaz spočíta dĺžku úsekov, ktoré sa nachádzajú v danom polygóne.

Aj keď sme použili upravený DEM, ktorý by mal byť hydrologicky korektný, v rovinatých územiach ako je Podunajská a Východoslovenská nížina stále vznikali nepresnosti vo vygenerovanej sieti údolnic (vznik zhlukov a nereálnej siete vodných tokov).

Kvôli tomuto sme horizontálnou členitosťou netypizovali roviny. V Mazúrových prácach (MAZÚR 1974, MAZÚR 1980b) autor definoval 5 stupňov horizontálnej členitosti ($0,0 - 0,49$; $0,50 - 1,25$; $1,26 - 1,75$; $1,76 - 2,50$; $>2,50$), TREMBOŠ (1994) definoval 6 kategórií ($0,00$; $0,01 - 0,50$; $0,51 - 1,25$; $1,26 - 1,75$; $1,76 - 2,50$; $>2,50$). V príspevku sme nepoužili konkrétne intervaly, pretože hodnoty sú ovplyvnené dolinovou sieťou, ktorá vstupuje do výpočtu. Hodnoty vertikálnej členitosti vypočítané pomocou nášho postupu sa pohybovali v rozmedzí od $0 - 3,74 \text{ km/km}^2$. Znáznornenie hodnôt v celom území do piatich tried zobrazuje Obr. 5.

FINÁLNA MORFOGRAFICKÁ TYPIZÁCIA ZÁPADNÝCH KARPÁT

Pre definovanie morfografického typu každej jednotky na základe vertikálnej členitosti sme použili štatistický ukazovateľ „majority“ (najčastejšie sa vyskytujúca hodnota) vypočítaný reklasifikovaného gridu. Na území Západných Karpát majú roviny, pahorkatiny, nižšie vrchoviny a vyššie vrchoviny približne rovnaké percentuálne zastúpenie plochy ($22,8 \%$;



Obr. 5 Horizontálna členitosť v elementárnych jednotkách

24,1 %; 21,1 %; a 21,3%), nižšie hornatiny zaberajú 8,9 %, vyššie hornatiny 1,5 % a veľhornatiny len 0,2 %).

Morfografické typy definované vertikálnou členitosťou sme na základe hodnôt horizontálnej členitosti rozdelili do troch tried pomocou metódy kvantilov (netypizovali sme typy roviny a veľhornatiny). Do každej triedy bolo zaradených rovnaký počet jednotiek, ktoré však mali mierne odlišné zastúpenie plochy. Napr. pri pahorkatinách tvoria pahorkatiny so slabou horizontálnou členitosťou 29,5 % plochy, so strednou 42,4 % a silnou 28,1 % plochy, pri nižších vrchovinách zaberajú jednotky so slabou hori-

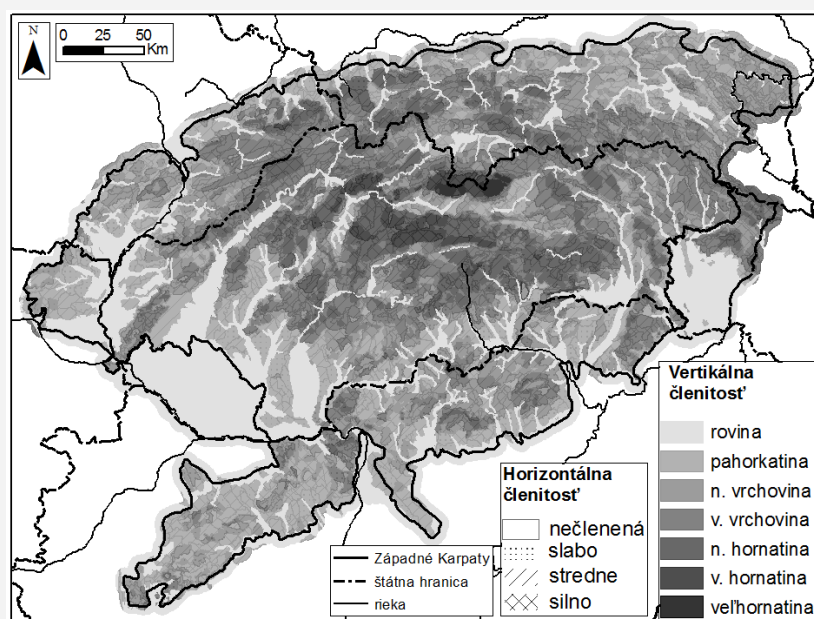
zontálnou členitosťou 28,8 %, so strednou 42,5 % a so silnou 28,7 %. Hodnoty pre ostatné morfografické typy sú uvedené v **Tab. 1**, **Obr. 6** a **Obr. 7** predstavuje rozloženie morfografických typov na území Západných Karpát spolu s definovaním jednotlivých tried vertikálnej členitosti.

ANALÝZA MORFOGRAFICKÝCH TYPOV

Pre územie Slovenska sme porovnali výsledky morfografickej typizácie s výsledkami prác MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) a TREMBOŠ

ver. čl. - kategória	ver. čl. - rozpätie (m)	horizontálna členitosť					
		slabá		stredná		silná	
		rozpätie km/km ²	% plochy z kat.	rozpätie km/km ²	% plochy z kat.	rozpätie km/km ²	% plochy z kat.
rovina	0 - 30	0,16 - 4,17					
pahorkatina	31 - 100	0,00 - 0,87	29,5	0,88 - 1,11	42,4	1,12 - 3,74	28,1
nižšia vrchovina	101 - 180	0,00 - 0,72	28,8	0,73 - 0,99	42,5	1,00 - 3,15	28,7
vyššia vrchovina	180 - 310	0,00 - 0,64	28,6	0,65 - 0,87	45,6	0,88 - 3,06	25,8
nižšia hornatina	311 - 470	0,00 - 0,49	20,4	0,50 - 0,69	45,7	0,70 - 3,38	33,9
vyššia hornatina	471 - 640	0,18 - 0,46	18,4	0,47 - 0,60	32,1	0,61 - 1,08	49,5
veľhornatina	641 >	0,37 - 0,64					

Tab. 1 Kategórie horizontálnej a vertikálnej členitosti



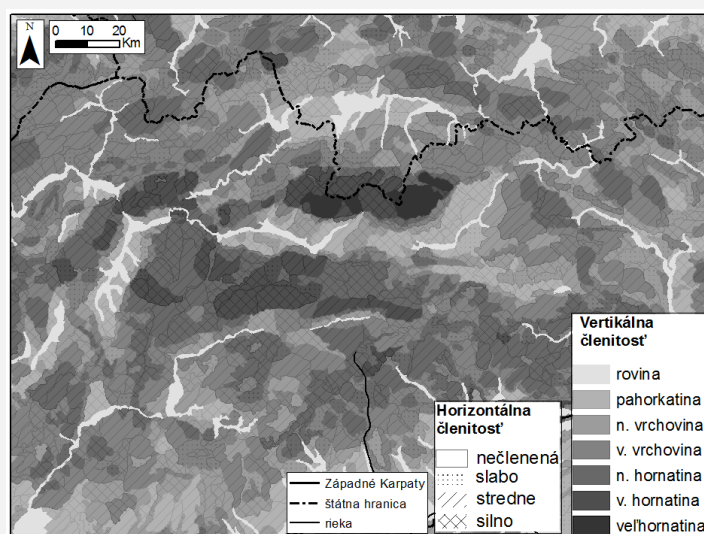
Obr. 6 Morfografická typizácia Západných Karpát a Slovenska

a MINÁR (2002). Aj keď sú v metodikách všetkých troch prác menšie rozdiely, výsledné informácie o priestorovom rozložení morfografických typoch by však mali byť rovnaké. MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) používajú vertikálnu členitosť ako hranicotvorný faktor, TREMBOŠ a MINÁR (2002) ako charakterizačný prvok. Aj intervaly vertikálnej členitosti sú mierne odlišné. V analýze sme použili na reklasifikáciu gridu vertikálnej členitosti intervaly zhodné s prácou MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965). TREMBOŠ a MINÁR (2002) definovali pahorkatiny vertikálnou členitosťou v roz-

medzi 31 – 140 metrov nie 31 – 100 m ako v práci MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965), vrchoviny v rozmedzí 141 – 310 m, pričom MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) ich rozdelili na nižšie vrchoviny (101 – 180 m) a vyššie vrchoviny (181 – 310 m) (Tab. 2). Pri analýze sme dve kategórie vrchovín zlúčili do jednej aby sme tak dostali čo najpodobnejšie rozpätie.

Celkové zastúpenie na území Slovenska

Porovnávali sme celkovú rozlohu morfografických typov georeliéfu na území Slovenska



Obr. 7 Morfografická typizácia Západných Karpát a Slovenska – výrez

morfolofický typ	Mazúr a Mazúrová 1965		Výsledky práce		morfolofický typ	Tremboš a Minár 2002	
	rozpätie (m)	% z územia SR	rozpätie (m)	% z územia SR		rozpätie (m)	% z územia SR
rovina	0 - 30	22,4	0 - 30	24,8	rovina	0 - 30	26,2
pahorkatina	31 - 100	18,4	31 - 100	15,8	pahorkatina	31 - 140	31,2
nižšia vrchovina	101 - 180	17,3	101 - 180	16,2	vrchovina	141 - 310	25,2
vyššia vrchovina	181 - 310	20,6	181 - 310	26,3			
nižšia hornatina	311 - 470	14,8	311 - 470	13,6	nižšia hornatina	311 - 470	11,1
vyššia hornatina	471 - 640	4,7	471 - 640	2,9	vyššia hornatina	471 - 640	4,2
veľhornatina	641 >	1,7	641 >	0,5	veľhornatina	641 >	2,1

Tab. 2 Celkové zastúpenie morfolofických typov na území Slovenska

(**Tab. 2**). Najväčšie rozdiely môžeme pozorovať pri kategórii pahorkatín. V práci MAZÚR (1980a) predstavujú 18,4 % rozlohy, v našej práci 15,8 % a v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) až 31,2 %, čo je spôsobené hlavne väčším rozpätím vertikálnej členitosti. Pokiaľ spočítame rozlohu nižších a vyšších vrchovín v práci MAZÚR (1980a) dostaneme hodnotu 37,9 %, v našej práci 42,5 % a v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) iba 25,2 %. Menšie zastúpenie vrchovín v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) je spôsobené nižším rozpätím tohto morfolofického typu v porovnaní s našimi výsledkami alebo prácou MAZÚR (1980a). V prípade, že spojíme morfolofický typ rovina s vrchovinami (resp. nižšími a vyššími vrchovinami) dostaneme vo všetkých troch prácach rovnaké rozpätie (31 – 310 m). Rozloha takto definovaného typu je takmer rovnaká, čo poukazuje na metodologickú jednotnosť všetkých troch prác (naše výsledky: 58,3 %, MAZÚR (1980a): 56,3 % a TREMBOŠ a MINÁR (2002): 56,4 %). V našich výsledkoch pozorujeme menšie zastúpenie plôch vyšších hornatín, ktoré podľa starších prác (MAZÚR 1980a, TREMBOŠ a MINÁR 2002) zaberajú približne rovnakú plochu (4,7 % resp. 4,2 %), pričom v našej práci zaberá táto kategória iba 2,9 % plochy územia Slovenska. Menšie zastúpenie v našej typizácii majú aj veľhornatiny (0,5 %), v práci MAZÚR (1980a) predstavujú 1,7 % plochy územia a v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) 2,1 % plochy.

Koeficient plošnej korelácie

Na porovnanie výsledkov našej klasifikácie s výsledkami z prác MAZÚR (1980a) a TREMBOŠ a MINÁR (2002) sme použili koeficient plošnej korelácie (CLC – *Coefficient of Areal*

Correspondence (HANZALOVÁ et al. 2007), ktorý je založený na prekryvnej analýze. Areál_A predstavuje plochu areálu z prvej vrstvy, bez jeho prekryvu s areálom z druhej vrstvy. Areál_B plochu areálu z druhej vrstvy bez jeho prekryvu z prvej vrstvy a Areál_C plochu areálu vzniknutého prienikom (prekryv) oboch vrstiev. Hodnoty tohto parametra sa pohybujú v rozmedzí od 0 (najmenšia korelácia) po 1 (najväčšia korelácia) a sú počítané podľa nasledovného vzorca:

$$CAC = \text{Areál}_C / (\text{Areál}_A + \text{Areál}_B + \text{Areál}_C)$$

Prienik sme vyjadrili pomocou nástroja Union (Spatial Analyst) pri použití ktorého obsahu je nová vrstva všetky kombinácie vstupných vrstiev. Vypočítali sme zastúpenie jednotlivých typov areálov (Areál_A, Areál_B, Areál_C) (**Tab.3**).

Koeficient plošnej korelácie je najnižší v kategórii veľhornatín. Prekryv nami vyčlenených veľhornatín s prácou TREMBOŠ a MINÁR (2002) dosahuje hodnotu 0,23 a prekryv s prácou MAZÚR (1980a) 0,24. V kategórii vyšších hornatín je prekryv s prácou TREMBOŠ a MINÁR (2002) 0,27 a s prácou MAZÚR (1980a) len 0,22. Najvyšší prienik nastal pri rovinách, kde v prenik s prácou TREMBOŠ a MINÁR (2002) nadobúda hodnotu 0,78 a s rovinami vyčlenenými v práci MAZÚR (1980a) hodnotu 0,71 (**Tab. 3**). Podobne ako pri analýze celkového zastúpenia predpokladáme silný prienik v prípade spojenia kategórie pahorkatín a vrchovín.

Vzťah geomorfologických jednotiek a morfolofických typov

Analyzovali sme tie geomorfologické jednotky, ktoré v názve obsahujú morfolofický typ pahorkatina alebo vrchovina (Cerová, Kysucká, Laborecká, Ľubovnianska, Ondavská,

Morfografický typ	Tremboš a Minár 2012 (Areál _A)	Výsledky práce (Areál _B)	Prienik (Areál _C)	CAC	Morfografický typ	Mazúr 1980a (Areál _A)	Výsledky práce (Areál _B)	Prienik (Areál _C)	CAC
roviny	2 303	771	10 600	0,78	roviny	1 301	3 095	10 700	0,71
pahorkatiny	8 785	1 470	6 537	0,39	pahorkatiny	2 947	2 150	6 284	0,55
vrchoviny	1 650	10 439	10 700	0,47	nižšie vrchoviny	3 903	1 905	5 245	0,47
					vyššie vrchoviny	2 685	5 889	8 236	0,49
nižšie hornatiny	1 733	3 194	3 701	0,43	nižšie hornatiny	3 331	2 687	4 557	0,43
vyššie hornatiny	1 309	697	742	0,27	vyššie hornatiny	1 700	815	720	0,22
veľhornatiny	795	5	239	0,23	veľhornatiny	702	28	228	0,24

Tab. 3 Analýza prekryvu morfografických typov

Oravská, Podbeskydská, Revúcka, Šarišská a Turzovská vrchovina a Bodvianska, Chvojnicka, Myjavská, Podunajská a Východoslovenská pahorkatina). Analýza bola robená na úrovni celkov, t. j. napr. v prípade Podunajskej pahorkatiny boli zahrnuté aj podcelky Nitrianska alebo Žitavská niva.

Vychádzali sme z geomorfologického členenia Slovenska (MAZÚR a LUKNIŠ 1978), v ktorom autori rozdelili územie Slovenska do povrchových jednotiek ako neopakovateľných individuí na základe komplexného vnímania reliéfu a syntézy poznatkov v danom období. Porovnávali sme priestorové zastúpenie morfografických typov (teda kategórií vertikálnej členitosti) definovaných podľa našej práce, práce TREMBOŠ a MINÁR (2002) a MAZÚR (1980a). Nepredpokladali sme, že by mal mať každý celok 100 % zastúpenie morfografického typu, ktorý je v jeho názve, daná kategória by však mala prevládať.

Pri analýze **vrchovín** sme v našom prípade a u MAZÚRA (1980a) spojili kategóriu nižších (101 – 180 m) a vyšších (181 – 310 m) vrchovín do jednej (s hodnotu vertikálnej členitosti 101 – 310 m), pretože v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) kategória vrchovín nie je rozdelená a je definovaná vertikálnou členitosťou v rozmedzí 141 – 310 m. Pri väčšine celkov môžeme konštatovať, že priestorový výskyt vrchovín v našom príspevku a v práci MAZÚR (1980a) zväčša koreluje s názvami geomorfologických jednotiek avšak v práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) morfografický typ vrchovina s názvami celkov zväčša nekoreluje. Je to evidentne dané iným výškovým rozpätím vrchovín v práci TREMBOŠ, MINÁR (2002). Napr. u

Šarišskej vrchoviny je podľa tohto príspevku a práce MAZÚR (1980a) zastúpenie vrchovín takmer 100 %, v práci TREMBOŠ, MINÁR (2002) len 50 % (podobne je to aj pri Turzovskej, Podbeskydskej a Cerovej vrchovine). Príbližne rovnaké zastúpenie morfografického typu vrchovín (80 %) v rámci všetkých troch typizácií sledujeme iba pri Lubovnianskej vrchovine (82 %). Žiadny celok nemá podľa práce TREMBOŠ, MINÁR (2002) väčšie zastúpenie vrchovín ako podľa našich výsledkov, prípadne podľa práce MAZÚR (1980a) (Tab. 4 a Obr. 8).

Pri **pahorkatinách** sledujeme opačný trend. A to taký, že podľa práce TREMBOŠ a MINÁR (2002) zvyčajne zaznamenávame väčší podiel pahorkatín v jednotke ako v našich výsledkoch, prípadne podľa práce MAZÚR (1980a), čo je opäť spôsobené najmä iným rozpätím hodnôt vertikálnej členitosti. Napr. pri Myjavskej pahorkatine je rozdiel najväčší 90 % zastúpenie podľa TREMBOŠ a MINÁR (2002), 33 % podľa našej klasifikácie a 26 % podľa MAZÚR (1980a). Podobne je to aj pri Bodvianskej pahorkatine. Rovnaké zastúpenie podľa všetkých troch autorov má napr. Chvojnicka pahorkatina (71 %). Zastúpenie pahorkatín na Podunajskej pahorkatine je tiež približne rovnaké (50 %) (Tab. 4 a Obr. 8).

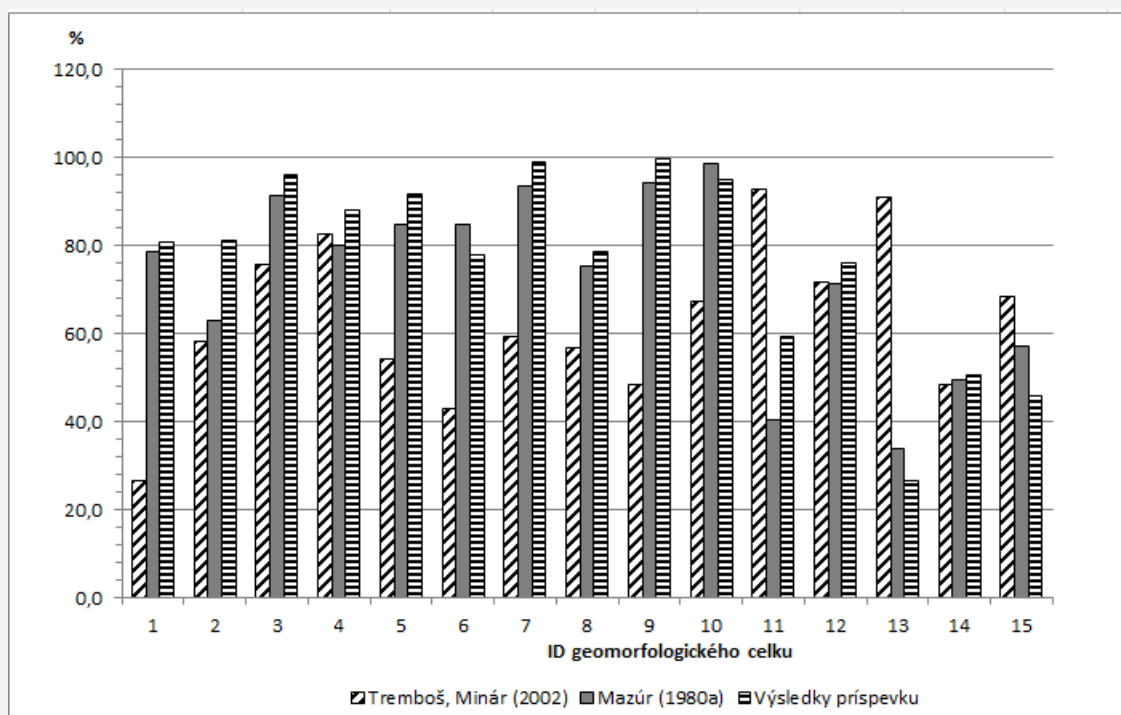
Analýzou vzťahu názvov geomorfologických jednotiek a kategórií vertikálnej členitosti, ktoré by ich mali tvoriť sme chceli poukázať na to, že morfografická typizácia sa dá použiť pri revízií názvoslovia geomorfologických jednotiek. Na problém nesúlady názvov geomorfologických celkov (v tomto prípade pahorkatín a vrchovín), v ktorých by mal prevládať daný

Geomorfologický celok	ID geomorfologického celku	Rozloha (km ²)	Tremboš a Minár (2002) v %	Mazúr a Mazúrová (1965) v %	Výsledky práce v %
Cerová vrchovina	1	499,5	26,5	78,6	80,7
Kysucká vrchovina	2	436,8	58,4	62,8	81,4
Laborecká vrchovina	3	1 125,7	75,7	91,4	96,3
Ľubovnianska vrchovina	4	196,0	82,7	80,0	88,2
Ondavská vrchovina	5	1 804,3	54,4	84,8	91,7
Oravská vrchovina	6	296,1	43,0	84,9	77,8
Podbeskydská vrchovina	7	267,1	59,5	93,7	99,0
Revúcka vrchovina	8	966,8	56,9	75,2	78,5
Šarišská vrchovina	9	296,3	48,4	94,1	99,8
Turzovská vrchovina	10	250,4	67,4	98,8	95,1
Bodvianska pahorkatina	11	155,9	92,8	40,4	59,4
Chvojnícka pahorkatina	12	354,3	71,8	71,5	76,2
Myjavská pahorkatina	13	352,6	90,9	33,8	26,8
Podunajská pahorkatina	14	6 362,0	48,6	49,4	50,6
Východoslovenská pahorkatina	15	797,9	68,5	57,3	45,8

Tab. 4 Rozloha vrchovín a pahorkatín vo vybraných geomorfologických celkoch (%)

morfolofický typ sa môžeme pozeráť z dvoch rôznych pohľadov. Ak nastane nesúlad, môžeme si povedať, že nesprávne sú názvy jednotiek, alebo že nesprávne sú definované hodnoty

vertikálnej členitosti, ktoré definujú morfolofický typ. Keďže MAZÚR (1980a) bol autor morfolofickej typizácie a aj jedným z autorov geomorfologického názvoslovia súlad názvov a



Obr. 8 Grafické vyjadrenie rozlohy vrchovín a pahorkatín vo vybraných geomorfologických celkoch (názvy celkov vid' Tab. 4).

typov sa dá logicky predpokladať. V prípade vrchovín je tento súlad zrejмый (takmer všetky jednotky majú viac ako 70 % zastúpenie vrchovín podľa MAZÚR (1980a) i našej typizácie), pri pahorkatinách je výrazný nesúlad iba v prípade Myjavskej pahorkatiny, ktorú tvorí podľa MAZÚR (1980a) len 34 % pahorkatín a podľa našich výsledkov dokonca len 27 % pahorkatín. V práci TREMBOŠ a MINÁR (2002) pozorujeme (vzhľadom na iné definičné hodnoty) systematicky podhodnotené zastúpenie vrchovín, na druhej strane výraznejšie zastúpenie pahorkatín je tu adekvátne názvom najmä Bodvianskej a Myjavskej pahorkatiny.

ROZČLENENIE AREÁLOV

Morfografické typy nie sú vždy vhodné na použitie v geoekologických aplikáciách ako databáza elementárnych jednotiek. Rozčleňovali sme roviny, pri ktorých nastávajú dva problémy. Buď zaberajú jednotky veľmi rozsiahle územia (napr. na Podunajskej a Východoslovenskej nížine), alebo zasahujú hlboko do pohorí vo forme úzkych pretiahnutých areálov (najmä údolie Váhu, a Hrona). Je to spôsobené na jednej strane nepresným DEM a následným nepresným výpočtom gridu vertikálnej členitosti (grid nebol dostatočne detailný v rovinatých územiach). Aby sme získali databázu vhodnejšiu pre geoekologické analýzy, bolo potrebné tieto areály ďalej rozčleniť (individualizovať regióny). Ako najvhodnejšie sa zdalo použitie databázy geomorfologických jednotiek jednotlivých štátov. Geomorfologické členenie je typ regionalizácie reliéfu, ktoré je najviac zaužívané aj v okolitých krajinách a je v stredných mierkach často využívané ako databáza elementárnych jednotiek pre rôzne geoekologické aplikácie. Ako klasifikačné kritérium pri vyčleňovaní geomorfologických jednotiek nie je zvyčajne zvolené jedno kritérium, ale súbor viacerých (hovoríme vtedy o syntéze poznatkov v čase vyčleňovania).

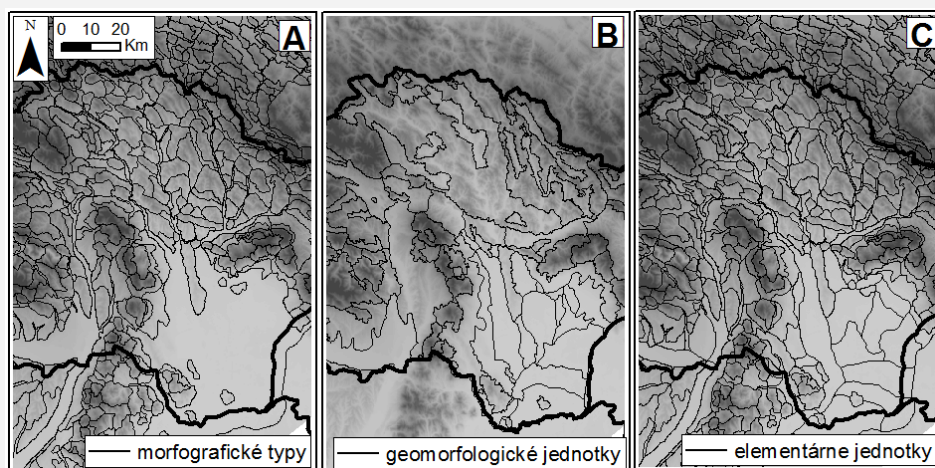
Pre územie Slovenska bolo geomorfologické členenie vykonané autormi Mazúr a Lukniš (MAZÚR a LUKNIŠ 1978), ktorí sa snažili o vymedzenie povrchových jednotiek ako neopakovateľných individuí na základe komplexného vnímania reliéfu. Vychádzali z analytickej regionalizácie s cieľom klasifikovať a vymedziť geomorfologické povrchy ako neopakovateľné individuá do taxonomického systému. Individu-

alita každého prvku tohto systému je daná jeho tvarovou náplňou a polohou. Finálnej fáze vymedzenia geomorfologických individuí predchádzala objektivizačná operácia, ktorou bola typizácia. Je to proces symplifikácie a generalizácie, ktorý umožňuje objektivizáciu diferenčiacnych kritérií a triedenie povrchov na báze klasifikačných princípov. Ako klasifikačné kritériá pre určenie hraníc geomorfologických jednotiek boli použité rôzne líniové rozhrania: úpätnice, doliny, terénne hrany, prielazy, priechyby, ako aj iné morfoštruktúrne a morfoskulptúrne línie. V príspevku sme využili toto členenie, ktoré je v súčasnosti dostupné aj v digitálnej podobe v referenčnej mierke 1 : 50 000 (URBANEK et al. 2009). Pre územie Českej republiky sme vychádzali z geomorfologického členenia BALATKA et al. (1972), ktoré bolo zdigitalizované do mierky 1 : 100 000 v práci UTÍKALOVÁ (2001). Pre územie Maďarska sme mali k dispozícii geomorfologické členenie spracované autorom Pécsi (PÉCSI 1970). Pre územie Poľska sme využili mapu fyzickogeografických regiónov Poľska (KONDRACKI 1978). Dáta sú dostupné na serveri Poľského geologického inštitútu. Tieto sme v programe Corel Draw zjednotili do jednej rastrovej vrstvy, ktorú sme zdigitalizovali. Pre územie Rakúska sa nám geomorfologické členenie nepodarilo získať, ide však o plošne zanedbateľné územie.

Pomocou naloženia hraníc geomorfologických jednotiek a morfografických typov sme snažili zosúladiť priebeh hraníc nami vyčlenených morfografických typov s geomorfologickými jednotkami na úrovni celkov, príp. podcelkov. Je to spôsob verifikácie, zahustenia a dočistenia databázy, pretože geomorfologické jednotky využívajú pri svojom členení komplexné vlastnosti georeliéfu a preto by hranice mali byť približne rovnaké. Pokiaľ nenastala zmena v charaktere vrstevníc alebo vertikálnej členitosti, snažili sme sa pri rovinách hranice morfografických typov zjednotiť s geomorfologickými jednotkami (Obr. 9).

CHARAKTERISTIKA ELEMENTÁRNYCH JEDNOTIEK

Vyjadrenie fyzickogeografických charakteristík (zvyčajne ako priemerných hodnôt v elementárnej jednotke) môže slúžiť napr. na hod-



Obr. 9 Hranice morfolofických typov (A), geomorfologických jednotiek (B) a elementárnych jednotiek (C) vo východnej časti Slovenska

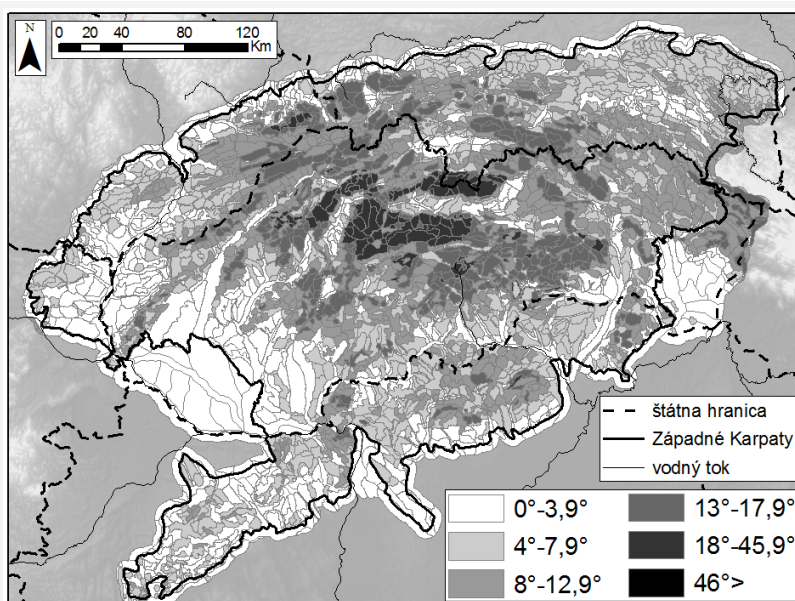
notenie prírodných hrozieb a rizík (ŠABO et al. 2012), prípadne môže byť databáza využitá v rôznych geoekologických aplikáciách. V príspevku sme mapovo vyjadrili iba niektoré fyzickogeografické charakteristiky, ostatné sú súčasťou databázy.

Hodnoty **vertikálnej členitosti** boli použité ako jeden z hranicotvorných faktorov pri vyčleňovaní morfolofických typov a taktiež ako charakterizačný prvok v morfolofickej typizácii. Priemerné hodnoty vertikálnej členitosti v elementárnych jednotkách sa pohybujú v rozmedzí od 0 po 735 metrov (vypočítané z gridu pomocou štatistického ukazovateľa majority). Hodnoty **horizontálnej členitosti** (Obr. 5) sa na území pohybovali v rozmedzí od 0 – 3,74 km/km². Boli použité pri morfolofickej typizácii, no kvôli nepresnému výpočtu údolnic z DEM sme ich nepoužili pre typizáciu rovín. Hodnoty absolútnej **nadmorskej výšky** sa v krajine prejavujú najmä cez vplyv na klímu, vegetáciu a ostatné geografické zložky. Nadmorskú výšku sme vypočítali z DEM a vyjadrili ako priemernú hodnotu pre každý elementárny areál (v m n. m.). Hodnoty sme reklasifikovali podľa práce LUKNIŠ (1972), kvôli porovnaniu percentuálneho zastúpenia plochy jednotlivých kategórií (nížina, nízka vysočina, stredovysočina, vysoká vysočina) na území Slovenska. Plocha jednotlivých kategórií (Tab. 5) je pre Slo-

vensko v našej analýze takmer rovnaká ako v práci LUKNIŠ (1972), nevyskytli sa žiadne extrémne rozdiely. Nekvalitné mapové výstupy z práce LUKNIŠ (1972) nám nedovoľovali analyzovať aj priestorový prekryv. **Sklon** v smere spádnic určuje okamžitú intenzitu gravitačne podmienených geomorfologických procesov. Od jeho hodnoty závisí normálová sila, pritláčajúca hmotnú časticu (balvan, sneh...) k povrchu svahu a tým zvyšujúca silu trenia pri jej pohybe po ňom (so zväčšovaním sa sklonu svahu sa zmenšuje), ako i sila, pôsobiaca v smere sklonu svahu proti stabilite častice a indukujúca jej pohyb nadol (zväčšuje sa so zväčšeným sklonom). Sklon má teda vplyv na celý rad procesov, ktoré sa v krajine odohrávajú. Na vyjadrenie priemerného sklonu v elementárnej jednotke sme použili nástroj Slope (Spatial Analyst Tools – Surface). Takéto vyjadrenie môže znamenať, že vo vnútri areálu sa môžu vyskytovať aj plochy s odlišným sklonom. Pre grafické vyjadrenie vypočítaných hodnôt sme použili škálu ktorá sa podľa práce LACIKA (1999) využíva v prácach komplexného geografického alebo environmentálneho charakteru: 1. stupeň: 0°– 3°; 2. stupeň: 4°– 7°; 3. stupeň: 8 – 12°; 4. stupeň: 13 – 18°; 5. stupeň: 19 – 45° a 6. stupeň: nad 46° (Obr. 10). Hodnoty **orientácie** (vypočítané ako priemerné hodnoty v rámci jednotky) majú veľký význam z hľadiska pôsobenia usmerne-

kategória	nížina		nízka vysočina		stredovysočina		vysoká vysočina	
rozpätie (m n. m.)	do 300		301 - 800		801 - 1 500		1501 a viac	
Autor	Lukniš (1972)	Výsledky práce	Lukniš (1972)	Výsledky práce	Lukniš (1972)	Výsledky práce	Lukniš (1972)	Výsledky práce
podiel (%)	40	40,4	45	47,6	14	11,3	1	0,5

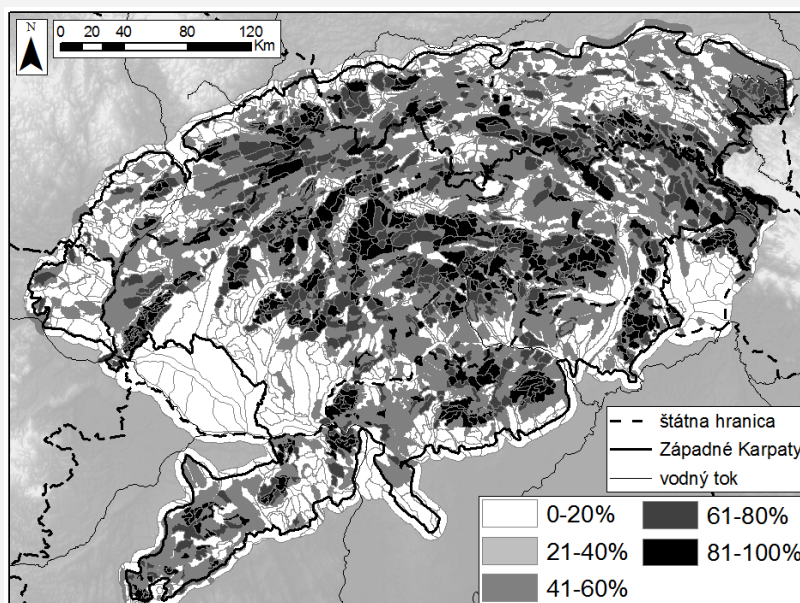
Tab. 5 Podiel výškových stupňov na území Slovenska



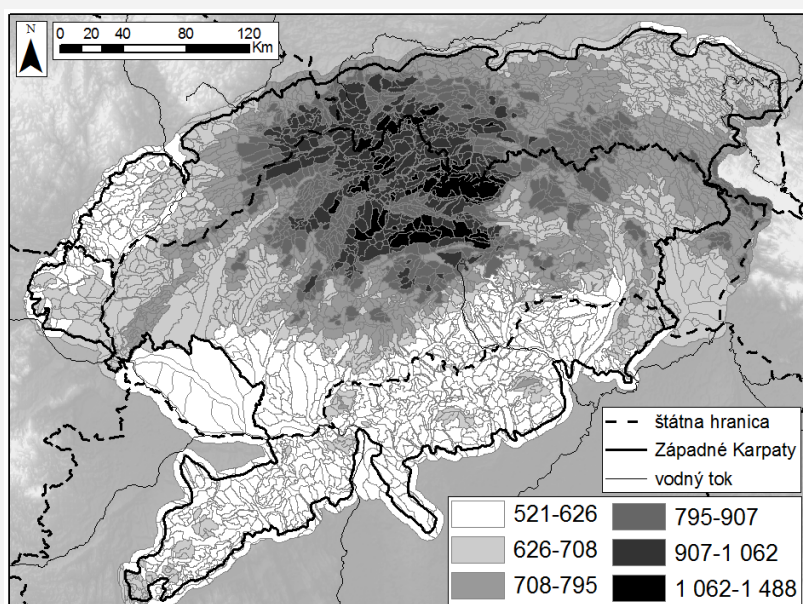
Obr. 10 Priemerný sklon (°)

ných procesov v krajine. Hlavne príjem priameho slnečného žiarenia (bezprostredne ovplyvňuje napr. rýchlosť procesov zvetrávania) a pôsobenie prevládajúcich vetrov sú silne ovplyvnené orientáciou georeliéfu voči svetovým stranám ako aj sklonom georeliéfu. Význam orientácie pritom zväčša stúpa so zväčšovaním sklonu georeliéfu. **Podiel lesa a podiel poľnohospodárskej pôdy** ovplyvňuje rôzne geomorfologické procesy. Les svojou ochranou funkciou zabráňuje vzniku vodnej erózie pôdy, veternej erózií, povodňovej hrozbe. Areály s vysokým zastúpením

poľnohospodárskej pôdy na druhej strane tieto procesy urýchľujú. Percentuálny podiel lesa a poľnohospodárskej pôdy v elementárnej jednotke sme vyjadrili pomocou dát z Corine Land Cover (EEA 2010). Európska Environmentálna agentúra poskytuje dáta v rastrovej podobe s rozlíšením 100 x 100 metrov. Na prvej úrovni je definovaných 5 tried krajinnnej pokrývky na druhej 15 a tretej 44. Z dát sme vyčlenili na prvej úrovni Lesné a poloprirodné areály a na druhej úrovni lesy spolu s krovinami a trávnatými porastmi. Raster sme upravili tak, že sme týmto



Obr. 11 Podiel lesa (%)



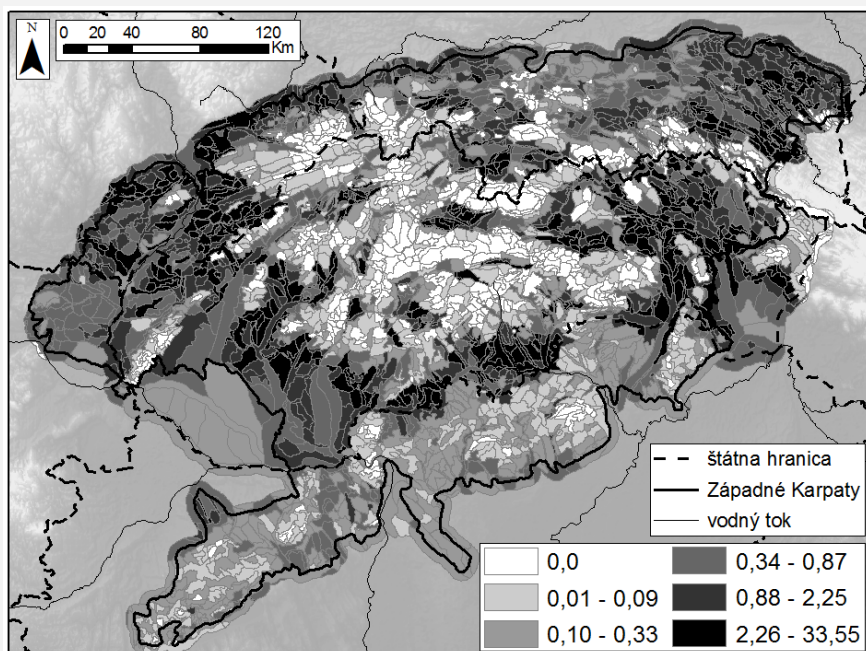
Obr. 12 Priemerný ročný úhrn zrážok (mm)

areálom priradili hodnotu 100, ostatným areálom 0 a pomocou zonálnej štatistiky sme vypočítali percentuálne zastúpenie lesa v každej jednotke (Obr. 11). Na vypočítanie podielu poľnohospodárskej pôdy sme použili kategóriu poľnohospodárske areály (1. úroveň), pod ktorú patria: orná pôda, trvalé plodiny, areály tráva a heterogénne poľnohospodárske areály. **Úhm zrážok a teplotu vzduchu** sme získali z databázy WorldClim (HIJMANS et al. 2005), kde sú dáta dostupné vo forme gridu s rozlíšením 1 x 1 km a vyjadrené ako priemerné mesačné teploty a úhrny zrážok za obdobie rokov 1950 – 2000. Pomocou nástroja Raster Calculator sme vypočítali priemerné ročné hodnoty. V záujmovom území sa priemerná ročná teplota pohybuje v rozmedzí $-2,7^{\circ}$ – $11,3^{\circ}\text{C}$ a priemerný ročný úhrn zrážok v intervale 509 – 1 760 mm (Obr. 12). Priemerné hodnoty **vodnej erózie pôdy** v elementárnych jednotkách sme získali z programu PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assessment). Na vyjadrenie veľkosti vodnej erózie pôdy bol použitý fyzikálny a priestorovo založený model, ktorý kombinoval vplyv klímy (denné merania zrážok, teploty a potenciálnej evapotranspirácie z programu MARS), pôdných pomerov (erodovateľnosť pôdy, retenčná kapacita z Európskej pôdnej databázy a vrstva krajiny pokrývky z Corine Land Cover) a topografie (KIRKBY et al. 2004). Vodná erózia je vyjadrená v $\text{t}\cdot\text{ha}\cdot\text{rok}^{-1}$. Na študovanom území sa hodnoty pohybovali v rozmedzí 0 – $33 \text{ t}\cdot\text{ha}\cdot\text{rok}^{-1}$ (Obr. 13). Priemerné hodnoty **makroseizmickkej intenzity** sme získali z programu GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program)

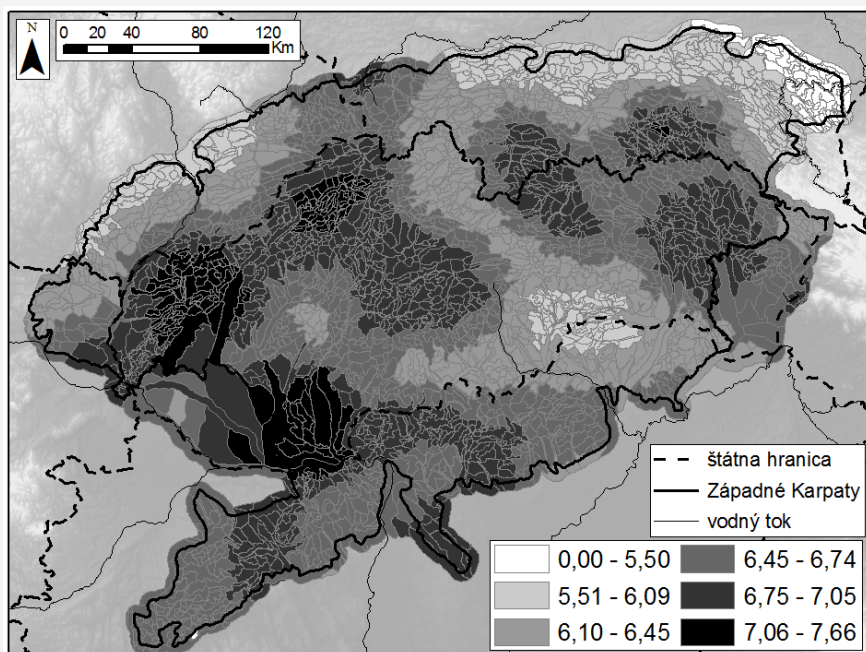
(GIARDINI et al. 1999), v rámci ktorého boli dostupné v hodnotách špičkového zrýchlenia na skalnom podloží. Keďže pre naše územie sa častejšie využíva ma-kroseizmická intenzita previedli sme pôvodné hodnoty do stupnice MSK. Detailnejší popis tohto metodického postupu je uvedený v práci ŠABO (2012). Hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 0 – 7,6 MSK (Obr. 14). Percentuálny podiel **svahových deformácií** bol použitý v práci (ŠABO et al. 2012) na vyjadrenie hrozby svahových deformácií (Obr. 15), ktoré sú v študovanom území pomerne rozšírené a predstavujú veľkú hrozbu. Vychádzali sme z predpokladu, že areály s najvyššou koncentráciou svahových deformácií sú najnáchylnejšie na ich vznik aj v budúcnosti. Pre tento účel sme spojili národné databázy svahových deformácií a následne sme vyjadrili ich plochu na plochu elementárnej jednotky (ŠABO et al. 2012, HOLEC et al. 2013). Percentuálny podiel **lavínových dráh** sme na území Slovenska vyjadrili pomocou databázy lavínových dráh (ŽIAK 2012), na území Poľska sme použil zvektorizovanú mapu lavínových dráh autorky Marie Kłapowej (KŁAPOWA 1969). V práci ŠABO et al. (2012) bola takýmto spôsobom vyjadrená hrozba snehových lavín.

ZÁVER

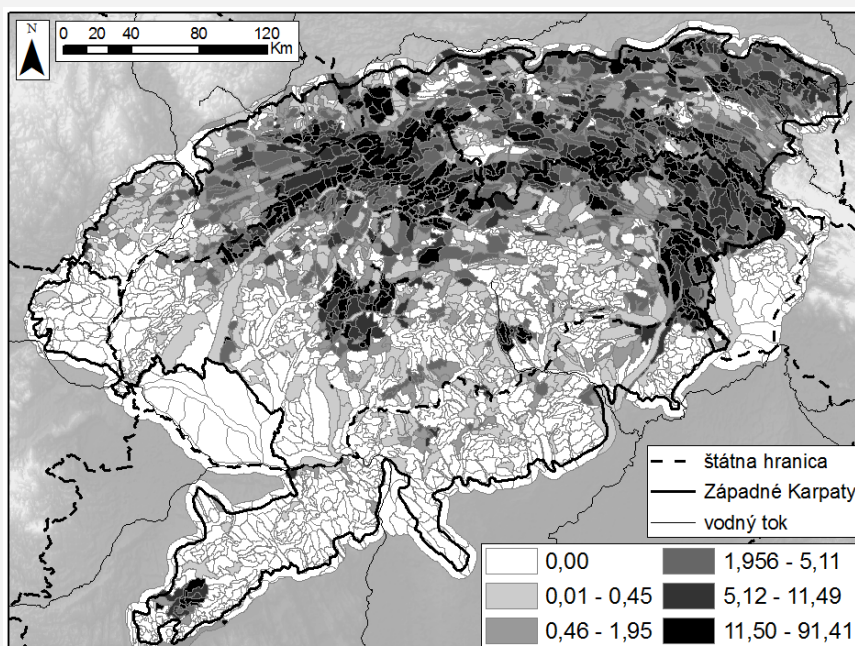
Vytvorená databáza morfolofických typov obsahuje takmer 3 100 areálov. Databáza elementárnych jednotiek, ktorá vznikla jej detailnejším rozčlenením pomocou geomorfologické-



Obr. 13 Vodná erózia pôdy (t.ha.rok⁻¹)



Obr. 14 Makroseizmická intenzita (I) v stupňoch MSK



Obr. 15 Podiel svahových deformácií (%)

ho členenia obsahuje viac ako 3 500 jednotiek pri celkovej ploche územia 105 000 km². Hranica Západných Karpát bola definovaná na základe práce MINÁR et al. (2011). Kvôli celistvosti databázy pre územie Slovenska sme doplnili aj územie Podunajskej a Východoslovenskej roviny. Študované územie teda zaberá územie Slovenska ale aj časť Poľska, Česka, Maďarska a Rakúska.

Na vytvorenie databázy elementárnych jednotiek pre územie Západných Karpát sme v príspevku použili manuálny, ale GIS-om podporovaný spôsob segmentácie. Regióny sa vyznačujú podobným vzhľadom, metrikou a vplyvom georeliéfu na priebeh prírodných procesov. V prvom kroku bola uskutočnená morfológicko-morfometrická typizácia územia do siedmich typov: rovina, pahorkatina, nižšia vrchovina, vyššia vrchovina, nižšia hornatina, vyššia hornatina a veľhornatina. Pri samotnom vyhraničovaní priestorových jednotiek sme použili expertnú metódu – vizuálnu detekciu najvýraznejších nespojitostí v obraze morfometrických charakteristík (obdobu expertného vyhraničovania objektov z kozmických a leteckých snímok). Relevantné dátové vrstvy a hlavne grid vertikálnej členitosti boli odvodené z DEM, aby sme tak v čo najväčšej miere eliminovali subjektívu pri stanovovaní morfografických typov.

Pri typizácii morfografických jednotiek na základe vertikálnej členitosti sme testovali použitie niekoľkých štatistických ukazovateľov (rozpätie, stredná, priemerná, najčastejšia hod-

nota) vypočítaných z reklasifikovaného, prípadne nereklasifikovaného gridu. Ako referenčný ukazovateľ sme použili najčastejšie sa vyskytujúcu sa hodnotu vypočítanú z reklasifikovaného gridu. Roviny sme definovali už pri vyčleňovaní areálov na základe prítomnosti vodného toku a rovinatého charakteru územia odčítaného na základe priebehu vrstevníc. Konfrontovali sme výsledky s tými prácami, z ktorých metodických postupov sme vychádzali a boli spracované pre naše územie. Teda s mapou Morfológicko-morfometrických typov georeliéfu (TREMBOS a MINÁR 2002) a mapou Energia reliéfu (MAZÚR a MAZÚROVÁ 1965 a MAZÚR 1980a). V práci TREMBOS a MINÁR (2002) bola vertikálna členitosť použitá ako charakterizačný prvok, v práci MAZÚR a MAZÚROVÁ (1965) a MAZÚR (1980a) ako hranicotvorný prvok, podstatnú informáciu o morfografických typoch na území Slovenska by však obe práce mali mať rovnakú. Porovnávali sme celkové zastúpenie a koeficient plošnej korelácie. Celkové zastúpenie je takmer totožné, rozdiely vznikali pri pahorkatinách a vrchovinách, pri ktorých TREMBOS a MINÁR (2002) používa iné definičné rozpätie. Pri analýze plošnej korelácie bol prienik plôch u všetkých troch prác takmer rovnaký.

Takto vyčlenené typologické jednotky nie sú optimálne pre geoeologické aplikácie, pretože roviny tvoria plošne rozsiahle areály a zasahujú hlboko do pohorí v podobe úzkych, jednostranne pretiahnutých areálov. Rozčlenili sme ich

preto pomocou databázy tradičných geomorfologických jednotiek a následne sme jednotky charakterizovali celým radom fyzickogeografických charakteristík (vertikálna členitosť, nadmorská výška, sklon, orientácia, podiel lesa a poľnohospodárskej pôdy, priemerný úhrn zrážok a teploty vzduchu, priemerné hodnoty vodnej erózie pôdy, makroseizmickej intenzity, percentuálny podiel svahových deformácií a lavínových dráh).

Databáza môže byť využiteľná na hodnotenie krajinnokoekologických vlastností (ekologickej stability, únosnosti, citlivosti, zraniteľnosti a pod.), pri tvorbe územných systémov ekologickej stability, hodnotení prírodných hrozieb, morfoštruktúrnej analýze, analýza bariérového efektu, prípadne analýze dostupnosti. Tak isto môže byť využitá pri regionalizáciách rôzneho typu (geografická, geoekologická, geomorfologická). Referenčná mierka pre použitie databázy je 1 : 100 000.

Prvá verzia databázy bola použitá na syntetické hodnotenie prírodných hrozieb a rizík v oblasti Západných Karpát (ŠABO 2012, ŠABO et al. 2012). V týchto prácach bolo nutné vytvoriť databázu elementárnych jednotiek slúžiacu ako zjednocujúci prvok pre vyjadrenie čiastkových prírodných hrozieb (hrozba zemetrasenia, hrozba svahových pohybov, špecifické hrozby krasovej krajiny, hrozba snehových lavín, hrozba vodnej erózie pôdy, povodňová hrozba a hrozba silných vetrov) a v konečnom dôsledku aj pre definovanie hrozbových regiónov v procese syntetického hodnotenia. V elementárnych jednotkách boli vyjadrené priemerné hodnoty ukazovateľov, ktoré determinujú vznik prírodnej hrozby (napr. % zastúpenie plochy lavínových dráh, ktoré určuje lavínovú hrozbu), pretože vyhraničené jednotky sú v danej mierke za homogénne a teda rovnako náchylné na vznik hrozieb.

Možnosti využitia databázy pre regionalizačné účely, napr. pre úpravu geomorfologického názvoslovia sme načrtli v časti príspevku, v ktorej sme zhodnotili percentuálny podiel pahorkatín a vrchovín v geomorfologických jednotkách, ktoré vo svojom názve obsahujú daný typ (napr. Podunajská a Východoslovenská pahorkatina, Šarišská, Laborecká vrchovina).

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č.

APVV-0625-11 a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) – projekt č. 1/0602/16.

LITERATÚRA

- BALATKA, B., CZUDEK, T., DEMEK, J., IVAN, A., KOUSAL, J., LOUČKOVÁ, J., PANOŠ, V., SLÁDEK, J., STEHLÍK, O., ŠTECL, O. (1972). *Geomorfologické členění ČSR (1:500 000)*. Studia geographica, 23. Československá akademie věd, Geografický ústav, Brno.
- DOBOS, E., DAROUSSIN, J., MONTANA-RELLA, L. (2007). A Quantitative Procedure for Building Physiographic Units for the European SOTER Database. In Peckham, R. J., Jordan, G., eds. *Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment*. Springer, Berlin – Heidelberg, 227 – 258.
- DRÄGUT, L., EISANK, C. (2011). Object representations at multiple scales from digital elevation models. *Geomorphology*, 129, 3 – 4, 183 – 189.
- DRÄGUT, L., EISANK, C., STRASSER, T. (2011). Local variance for multi-scale analysis in geomorphometry. *Geomorphology*, 130, 3 – 4, 162 – 172.
- EEA (2010). *Corine Land Cover 2000 raster data (version 13)*. The European Topic Centre on Land Use and Spatial Information, European Environment Agency. <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster>>. On-line [December 17th 2015].
- EVANS, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In Chorley, R. J., ed. *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen, London, 17 – 90.
- GIARDINI, D., GRÜNTAL, G., SHEDLOCK, K. M., ZHANG, P. (1999). The GSHAP Global Seismic Hazard Map. *Annali di Geofisica/Annals of Geophysics*, 42, 6, 1225 – 1230.
- HANZALOVÁ, M., HORÁK, J., HALOUNOVÁ, L., ŽIDEK, D., HELLER, J. (2007). Překryvné analýzy rastrových dat typu využití a pokryvu území. In Horák, J., Děrgel, P., Kapias, A., eds. *Symposium GIS Ostrava 2007 (Ostrava, Česká republika, 28. – 31. január*

- 2007). Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta hornicko-geologická, Ostrava, 153 – 164.
- HAY, G. J., CASTILLA, G., WULDER, M. A., RUIZ, J. R. (2005). An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 4, 339 – 359.
- HIJMANS, R. J., CAMERON, S. E., PARRA, J. L., JONES, P. G., JARVIS, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 15, 1965 – 1978.
- HOLEC, J., BEDNARIK, M., ŠABO, M., MINÁR, J., YILMAZ, I., MARSCHALKO, M. (2013). A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians. *Natural Hazards*, 69, 1, 1081 – 1107.
- HRONČEK, S., KOŠICKÝ, D. (2007). *Záverečná správa DMR20-SK_1*. Esprit, Banská Štiavnica. <http://www.esprit-bs.sk/stranka_data/subory/dem-zaverecna-sprava.pdf>. On-line [December 17th 2015].
- HRDINA, Z. (1997). *Transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK (vysokoškolská skripta)*. České Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechnická, Katedra radioelektroniky, Praha, 21 p.
- JARVIS, A., REUTER, H. I., NELSON, A., GUEVARA, E. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4. *SRTM 90m Digital Elevation Database v4.1*. CGIAR-CSI, Washington, DC, USA. <<http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>>. On-line [December 17th 2015].
- JASIEWICZ, J., NETZEL, P., STEPINSKI, T. F. (2014). Landscape similarity, retrieval, and machine mapping of physiographic units. *Geomorphology*, 221, 104 – 112.
- JEDLIČKA, K. (2010). *Geomorfologický informační systém*. PhD thesis, Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava, 148 p.
- JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2002). Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In Balej, M., Oršulák, T., eds. *Geoinformatika: sborník tematického okruhu K/GIS - XX. jubilejní sjezd ČGS Evropská integrace - česká společnost a krajina* (Ústí nad Labem, Česká republika, 28. – 30. august 2002). Česká Geografická Společnost, Ústí nad Labem, 46 – 58.
- JEDLIČKA, K., SLÁDEK, J. (2009). Automation of the base surface delimitation – Case Study in Fatransko-Turčiansky region. In Mentlík, P., Hartvich, F., eds. *Geomorfologický sborník 8. 10. mezinárodní konference Stav geomorfologických výzkumů v roce 2009 (Kašperské Hory, Česká republika, 15. - 17. apríl 2009)*. Západočeská univerzita v Plzni – Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i. – Česká asociace geomorfologů – Tribun EU s. r. o., Plzeň – Praha – Brno, 21 – 22.
- KIRKBY, M. J., JONES, R. J. A., IRVINE, B., GOBIN, A., GOVERS, G., CERDAN, O., VAN ROMPAEY, A. J. J., LE BISSONNAIS, Y., DAROUSSIN, J., KING, D., NTANARELLA, L., GRIMM, M., VIEILLEFONT, V., PUIGDEFABREGAS, J., OER, M., KOSMAS, C., YASSOGLOU, N., TSARA, M., MANTEL, S., VAN LYNDEN, G. J., HUTING, J. (2004). Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). *European Soil Bureau Research Report*, 16, EUR21176. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 18 p. + 1 map.
- KŁAPOWA, M. (1969). Obserwacje śnieżnych lawin w Tatrach. *Wierchy*, 38, 137 – 154.
- KONDRACKI, J. (1978). *Physical Geography of Poland*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- KRCHO, J. (1973). Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. *Acta Geographica Universitatis Comenianae, Geographico-physica*, 1, 7 – 233.
- LACIKA, J. (1999). *Geomorfológia – Návod na cvičenia (vysokoškolské skriptá)*. Vydavateľstvo Technickej Univerzity vo Zvolene, Zvolen, 67 p.
- LUKNIŠ, M. (1972). Reliéf. In Lukniš, M., ed. *Slovensko 2 – Príroda*. Obzor, Bratislava, 124 – 202.
- MACMILLAN, R. A., PETTAPECE, W. W., NOLAN, S. C., GODDARD, T. W. (2000). A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 113, 1, 81 – 109.

- MAZÚR, E. (1974). Horizontálna členitosť reliéfu Slovenska. *Geografický časopis*, 26, 4, 353 – 358.
- MAZÚR, E. (1980a). Energia reliéfu (1:750 000). In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Slovenská akadémia vied – Slovenský úrad geodézie a kartografie, Bratislava, 42 – 43.
- MAZÚR, E. (1980b). Horizontálna členitosť reliéfu (1:750 000). In Mazúr, E., ed. *Atlas SSR*. Slovenská akadémia vied – Slovenský úrad geodézie a kartografie, Bratislava, 42 – 43.
- MAZÚR, E., MAZÚROVÁ, V. (1965). Mapa relatívnej výškovej členitosti Slovenska a možnosti jej použitia pre geografickú rajonizáciu. *Geografický časopis*, 17, 1, 3 – 18.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. (1978). Regionálne geomorfologické členenie Slovenskej socialistickej republiky. *Geografický časopis*, 30, 2, 101 – 125.
- MINÁR, J. (2009). Geografické polia a priestorová organizácia krajiny (pokús o vyjasňovanie základných konceptov). *Geografický časopis*, 61, 3, 179 – 198.
- MINÁR, J., EVANS, I. S. (2008). Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, 95, 3 – 4, 236 – 259.
- MINÁR, J., BIELIK, M., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D., BARKA, I., STANKOVIAN-SKY, M., ZEYEN, H. (2011). New morphostructural subdivision of the Western Carpathians: An approach integrating geodynamics into targeted morphometric analysis. *Tectonophysics*, 502, 1 – 2, 158 – 174.
- PÉCSI, M. (1970). *Geomorphological regions of Hungary*. Studies in Geography in Hungary, 6. Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Science – Akademiai Kiado, Budapest, 45 p.
- ŠABO, M. (2012). *Syntetické hodnotenie prírodných hrozieb a rizík v oblasti Západných Karpát*. PhD thesis, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovakia, 131 p.
- ŠABO, M., MINÁR, J., HOLEC, J., ŽIAK, M. (2012). *Syntetické hodnotenie vybraných prírodných hrozieb v oblasti Západných Karpát – prvé priblíženie*. *Geografický časopis*, 64, 4, 335 – 355.
- ŠILHAVÝ, J. (2010). *Hydrologické analýzy v distribuovanom prostredí*. Master's thesis, Fakulta Aplikovaných vied, Západočeská Univerzita, Plzeň, Czech republic, 85 p.
- ŠINKA, K. (2008). Aplikácie geografických informačných systémov v pozemkových úpravách – erózne a hydrologické modelovania. *15 rokov vojenskej geografie na Slovensku (Podbanské, 13. – 14. november 2008)*. Topografický ústav plukovníka Jána Lipského, Banská Bystrica.
- TREMBOŠ, P. (1994). Morfometrická typizácia georeliéfu Slovenska pre aplikované účely. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 5, 129 – 137.
- TREMBOŠ, P., MINÁR, J. (2002). Morfologicko-morfometrické typy reliéfu (1:500 000). In Hrnčiarová, T., ed. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Ministerstvo životného prostredia SR – Slovenská agentúra životného prostredia, Bratislava – Banská Bystrica, 90 – 91.
- URBÁNEK, J., BETÁK, J., JÁKAL, J., LACIKA, J., NOVOTNÝ, J. (2009). Regional geomorphological division of Slovakia: Old problem in new perspective. *Geographia Slovaca*, 26 (Ira, V., Lacika, J., eds. *Slovak Geography at the Beginning of the 21st Century*), 237 – 259.
- UTÍKALOVÁ, J. (2001). Vektorizace autorských originálů geomorfologického členění České republiky v měřítku 1:100 000. *Kartografické listy*, 9, 73 – 78.
- VAN NIEKERK, A. (2010). A comparison of land unit delineation techniques for land evaluation in the Western Cape, South Africa. *Land Use Policy*, 27, 3, 937 – 945.
- VOGT, J., SOILLE, P., DE JAGER, A., RIMAVICIUTE, E., MEHL, W., FOISNEAU, S., BODIS, K., DUSART, J., PARACCHINI, M. L., HAASTRUP, P., BAMP, C. (2007). *A pan-European River and Catchment Database*. JRC Reference Reports. <<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC40291>>. Online [December 17th 2015].
- ŽIAK, M. (2012). *Lavínová hrozba, bilancia energie a hmoty vo vysokohorskom prostredí*. PhD thesis, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Bratislava, Slovakia.