GEOGRAFICKÝ ČASOPIS / GEOGRAPHICAL JOURNAL 64 (2012) 4, 335-355

SYNTETICKÉ HODNOTENIE VYBRANÝCH PRÍRODNÝCH HROZIEB V OBLASTI ZÁPADNÝCH KARPÁT – PRVÉ PRIBLÍŽENIE

Marián Šabo*, Jozef Minár, Juraj Holec*, Miroslav Žiak***

* Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, sabo385@gmail.com, holec@fns.uniba.sk, miroziak@gmail.com

** Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geokológie, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, minar@fns.uniba.sk
Ostravská university v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geokologie, Chittusiho 10, 710 00 Ostrava – Slezská Ostrava, Česká republika, josef.minar@osu.cz

Synthetic evaluation of selected natural hazards in the Western Carpathians area – first approximation

A spatial synthesis of selected natural hazards (seismic, landslide, snow avalanche, water erosion, flooding and specific karst hazards) in the Western Carpathians is the aim of this article. The total hazard value, probability of cumulative effect formation and dominant genetic type of hazards were used as classification criteria for the regionalization. In line with the synthetic evaluation of natural hazards of Slovakia (Minár et al. 2006 and 2009) an object-based approach was selected. Original morphological-morphometrical landform types were used as elementary units. Differences between the final regionalization and the result of Minár et al. 2006 arose from different definitions of areas (natural unit vs. administrative region), different primary segmentation of area and different input database for the evaluation. However, they are not essential. Similarity of regionalization and their morphotectonic interpretability suggests that the results may reflect objective features of the specific hazardous regions of the Western Carpathians area.

Key words: natural hazards, Western Carpathians, synthetics evaluation, morphological-morphometrical landform types

ÚVOD A STAV SKÚMANÉHO PROBLÉMU

Prírodné hrozby (hazardy) a riziká sú fenomény, ktorým sa v súčasnosti venuje zvýšená pozornosť nielen v odbornej, ale aj laickej verejnosti. Súvisí to s čoraz väčšou interakciou človeka s prírodným prostredím a z nej vyplývajúcimi negatívnymi vplyvmi prírodných procesov na majetok a zdravie obyvateľstva.

Na hodnotenie parciálnych prírodných hrozieb existuje množstvo kvantitatívnych a kvalitatívnych metód. Najprogresívnejšie kvantitatívne metódy sú založené na určení frekvencie výskytu procesov určitej intenzity, ktoré spôsobujú hrozby, prostredníctvom priamych meraní kľúčových charakteristík týchto procesov. Sú najnáročnejšie na dáta a využívajú sa najmä pri hodnotení povodňovej hrozby (meranie prietokov a výšok vodných hladín a ich extrapolácia do priestoru, t. j. vypočítanie hladín pri očakávanej storočnej, tisícročnej vode... – napr. Trizna 1998 a Horrit a Batest 2002) alebo seizmickej hrozby (meranie charakteristík zemetrasných vĺn s následným určením rekurentného intervalu – pravdepodobnosti návratu pre zemetrasenia danej intenzity – napr. Giardini et al. 1999 a Schenk et al. 2000). Zatiaľ čo pri seizmickej hrozbe možno vcelku vierohodne extrapolovať do priestoru údaje získané z relatívne malého počtu

seizmických staníc, pri povodňovej hrozbe by bola takáto jednoduchá extrapolácia zavádzajúca. Preto sa pre väčšinu území s chýbajúcimi dlhodobými hydrologickými pozorovaniami využívajú odhady n-ročných prietokov s využitím analógie a fyzicko-geografických atribútov krajiny, alebo sa frekvencia extrémnych prietokov určí prostredníctvom štatistiky vyhlásených povodňových stavov (Solín 2011).

Priame inštrumentálne merania intenzity hrozbotvorných procesov sú časovo i ekonomicky spravidla veľmi náročné. Väčšinou sa preto využívajú metódy nepriameho odhadu hrozby na základe väzieb medzi intenzitou či frekvenciou výskytu procesu (často reprezentovanou jeho prejavmi v krajine) a relevantnými vlastnosťami krajiny (faktory podmieňujúce narušenie stability svahu či intenzity vodnej erózie pôdy – napr. Pauditš 2005, Bednárik a Liščák 2010, Mancini et al. 2010 a Saksa a Minár 2012). Pri týchto postupoch sa využívajú niekedy veľmi sofistikované postupy zahŕňajúce fyzikálne i štatisticky definované vzťahy medzi procesom (jeho subprocesmi) a prostredím a výsledky môžu byť kvantitatívne odhadované ako z hľadiska intenzity, tak aj frekvencie (napr. model RUSLE odhadujúci intenzitu erózie pôdy v t/ha/rok ako priemerné ročné, ale aj n-ročné hodnoty – Renard et al. 1997).

Napriek tomu sa nazdávame, že v prehľadných mierkach je často vhodnejšie jednoduchšie, ale priamočiarejšie vyjadrenie hrozby. Ide o skupinu relatívne najjednoduchších metód, ktoré sú založené na meraní hustoty prejavov hrozby (prírodného procesu) napr. v reliéfe (mapovanie hustoty svahových deformácií, lavínových dráh, kolapsov v krase či výmoľov). Takéto vyjadrenie hrozby je veľmi jednoduché a nerieši vyjadrenie hrozby v detailných mierkach v miestach bez sledovaného prejavu (napr. potenciálne zosuvné územia mimo samotných zosunov), ale v malých, prehľadných mierkach (čo je aj náš prípad) ho možno pokladať za veľmi účinné za predpokladu, že prejavy sledovaných procesov odrážajú potenciál pre ich vznik a istú intenzitu aj v súčasnosti. Najmä v prípadoch, ak z frekvencie výskytu daného prejavu vychádzajú aj metódy predošlej skupiny (veľmi časté napr. pri hodnotení hrozby zosúvania) a sme schopní definovať elementárne priestorové jednotky potenciálne rovnorodé pre danú hrozbu, je jednoduchá hustota zosuvov či výmoľov v takýchto jednotkách priamočiarejším a tým aj vierohodnejším odhadom hrozby.

Práce, ktoré hodnotia na jednom území viacej hrozieb súčasne využívajú rôzne stupne integrovaného prístupu a syntézy. Zrejme aj vzhľadom na metodickú nerovnorodosť analytických hodnotení je najviac takých, ktoré sú len sumáciou priestorového výskytu a kombináciou tried prírodných hrozieb (*multihazards maps*). Príkladom sú práce: Izakovičová et al. (2002), Klukanová et al. (2002), Micu et al. (2010), Balteanu et al. (2011) či mapy Map showing Multi Hazard Zones in India (2009) a Panjab Multi Hazard Map (2012). Práce, ktoré sa snažia o syntézu nad rámec jednoduchého naloženia parciálnych hrozieb sa vo väčšej miere začínajú objavovať až v posledných rokoch (napr. Bell a Glade 2004, Dilley et al. 2005, Minár et al. 2006 a 2009 a Delmonaco et al. 2007). Základom takejto syntézy vo všetkých citovaných príkladoch je vážená sumácia jednotlivých hazardov s ohľadom na zraniteľnosť územia hazardotvornými procesmi – teda vyplývajúce prírodné riziko. Časť autorov (Minár et al. 2006 a 2009 a Delmonaco et al. 2007) považuje za významnú

súčasť takejto syntézy aj posúdenie možného kumulatívneho efektu (súbežného vplyvu) kauzálneho zreťazenia hazardotvorných procesov.

Hlavným cieľom tohto príspevku je prvý pokus o priestorovú syntézu vybraných prírodných hrozieb (zemetrasení, svahových pohybov, snehových lavín, vodnej erózie pôdy, povodní a špecifických hrozieb krasovej krajiny) v referenčnej mierke 1:500 000 pre oblasť Západných Karpát na základe troch charakteristík: celková hodnota hrozby, pravdepodobnosť vytvorenia kumulatívneho efektu a genetický typ hrozby.

Metodický postup, odvodený z prác Minára et al. (2006 a 2009), sme sčasti modifikovali (inovovali) na úrovni čiastkových analýz – vstupov do celkovej syntézy. Ide o nový spôsob vyčlenenia homogénnych areálov, hodnotenie v rámci prírodných hraníc na území viacerých štátov s nerovnorodými národnými databázami, využitie kvalitnejších, resp. nadnárodných databáz a sofistikovanejšie spôsoby vyjadrenia niektorých parciálnych hrozieb.

Cieľom bolo overenie využiteľnosti metodiky prvotne aplikovanej len pre územie Slovenska v širšom stredoeurópskom priestore a porovnanie skôr definovaných hrozbových regiónov Slovenska s regiónmi utvorenými pri analýze celých Západných Karpát. Toto umožňuje identifikovať relatívne stabilné (objektívnejšie) črty oboch regionalizácií, ako aj subjektívne momenty a problémy pri syntézach tohto typu. Taktiež sme podrobili falzifikácii hypotézy, ktoré implicitne vyplývajú z mapy syntetických hrozbových regiónov Slovenska (možné spojenie regiónov cez územie Poľska alebo Maďarska) a pokúsili sme sa načrtnúť aj možné morfotektonické pozadie identifikovanej štruktúry hrozbových regiónov.

Použitý pojmový aparát je odvodený z relevantnej svetovej a domácej literatúry (Natural Disasters ... 1979, Drdoš 1992, Minár a Tremboš 1994, White et al. 2001 a Smith a Petley 2008). Anglický termín *hazard* neprekladáme do slovenčiny ako *hazard*, ale ako *hrozba*, pod ktorou chápeme pravdepodobnosť výskytu potenciálne škodlivého prírodného javu, ktorý definujeme v priestore a čase. Pri hodnotení povodňovej hrozby vychádzame z práce Minára et al. (2005), ktorá definuje tri typy povodňového potenciálu, pričom celkový syntetický geoekologický potenciál je možné na kvalitatívnej úrovni pokladať za istú analógiu povodňovej hrozby (územie s vyšším potenciálom by sa malo vyznačovať vyššou, kvantitatívne však nešpecifikovanou frekvenciou výskytu povodní). Vzhľadom na výraznú koncepčnú i kvalitatívnu odlišnosť od bežne používaných hodnotení povodňovej hrozby však používame v tomto prípade namiesto termínu hrozba termín potenciál.

MATERIÁL A METÓDY

Definovanie Západných Karpát vychádza z práce Minára et al. (2011). Zatiaľ čo severná hranica územia je pomerne jednoznačná, pre južnú je typický fuzzy charakter. Z tohto dôvodu je súčasťou analyzovaného územia aj prechodná oblasť pahorkatín Panónskej panvy a oblasť Zadunajských vrchov v Maďarsku. Naopak, Vonkajšiu karpatskú zníženinu považujeme za protipól vyzdvihnutého územia Západných Karpát, a preto nie je predmetom našej analýzy. Takto definované územie zaberá takmer celú časť územia Slovenska a časť Maďarska, Rakúska, Českej republiky a Poľska.

V geografii rozoznávame dva základné prístupy k štúdiu krajiny: objektovo orientovaný prístup – diskrétny model a kontinuálny model založený na teórii poľa (Minár 2009). V práci sme využili objektovo orientovaný prístup založený na predpoklade, že v danej mierke majú elementárne jednotky tendenciu byť relatívne homogénne aj z hľadiska výskytu a intenzity prírodných hrozieb. Elementárne jednotky (viac ako 3 300) charakteru morfologicko-morfometrických typov georeliéfu sme vyčlenili na základe vlastností georeliéfu (terénne hrany odčítané z priebehu vrstevníc ako hranice týchto jednotiek a vertikálna členitosť reliéfu vypočítaná pre kruhy s polomerom dva km ako ich základná klasifikačná charakteristika) na podklade digitálneho modelu reliéfu SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) s rozlíšením 78×78 metrov (Jarvis et al. 2008), v súradnicovom systéme WGS 1984 UTM Zone 34N a referenčnej mierke 1:100 000.

Pomocou databázy elementárnych jednotiek sme vyjadrili všetky relevantné dáta (prevažne ako stredné hodnoty) potrebné na určenie parciálnych hrozieb. Dáta sme škálovali do troch kategórií (1 – nízky, 2 – stredný a 3 – vysoký stupeň hrozby), najmä na základe výskytu prirodzených zlomov na ich histogramoch. Takýmto vyjadrením sa na jednej strane síce oberáme o časť informácií (najmä pokiaľ máme k dispozícii kvantitatívne údaje), na druhej strane generalizujeme údaje, ktoré nie sú rovnako detailné a zvyšujeme tak ich prehľadnosť a čitateľnosť.

Hrozba zemetrasenia

Oblasť Západných Karpát môžeme charakterizovať ako oblasť so strednou mierou zemetrasnej aktivity. Seizmická aktivita je koncentrovaná pozdĺž hlavných aktívnych zlomových systémov, hlavne na hraniciach medzi Karpatmi a Panónskou panvou a medzi Vonkajšími a Vnútornými Západnými Karpatmi. V práci Minára et al. (2006) autori vyjadrili túto hrozbu na základe mapy Maximálnej očakávanej seizmickej intenzity na území Slovenska v mierke 1:500 000 (Klukanová et al. 2002). V predkladanej štúdii sme využili dáta z programu GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) – Giadrini et al. (1999), ktoré sú dostupné vo formáte grid a veľkosti buniek 0,1° (7,5×10 km). Tieto vyjadrujú hrozbu zemetrasenia v hodnotách špičkového zrýchlenia na skalnom podloží (*peak ground acceleration*) pre desaťpercentnú pravdepodobnosť prekročenia v období 50 rokov, ktoré korešponduje s periódou návratnosti 475 rokov (Giardini et al. 1999). Pre naše vyjadrenie seizmickej hrozby sme hodnoty špičkového zrýchlenia ($m.s^{-2}$) previedli pomocou vzťahu uvedeného v práci Schenka et al. (2000) do hodnôt makroseizmickej intenzity Medvedevovej-Sponheuerovej-Karnikovej stupnice (MSK). Priemerné hodnoty makroseizmickej intenzity v elementárnych jednotkách sme škálovali do troch kategórií na základe klasifikácie účinkov zemetrasení podľa Modifikovanej Mercalliho stupnice, ktorú môžeme stotožniť so stupnicou MSK (Panza 2012). Do prvej kategórie (nízka hrozba) sme na základe prejavov popísaných v MSK škále zaradili elementárne jednotky s hodnotami v rozmedzí 5-6,5º MSK, do druhej kategórie (stredná) 6,5-7º MSK a do tretej kategórie (vysoká) jednotky s hodnotami nad 7º MSK.

Hrozba svahových pohybov

V práci Minára et al. (2006) bola táto hrozba vyjadrená pomocou mapy náchylnosti územia na zosúvanie v mierke 1:2 000 000, ktorá bola vytvorená zohľadnením vplyvu geologickej štruktúry a typu hornín, charakteru reliéfu (sklon svahov), hydrologických a klimatických pomerov na vznik svahových pohybov (Liščák 2002). V predkladanej práci sme pri vyjadrení tejto hrozby vychádzali z jednoduchého predpokladu, že morfometricky rovnorodé oblasti, v ktorých existuje najviac svahových deformácií, majú najväčší predpoklad pre ich vznik aj v budúcnosti. Využili sme dostupné katalógy svahových deformácií okolitých krajín. Pre územie Slovenska to bol Atlas máp stability svahov (Šimeková et al. 2006) v mierke 1:50 000. Pre územie Západných Karpát v Českej republike sme zdigitalizovali register svahových deformácií z mapovej služby Geofondu Českej republiky (Česká geologická služba – Geofond 2010) v mierke 1:75 000. Okrem tejto vrstvy je dostupná aj vrstva svahových deformácií v Atlase krajiny ČR (Čápová et al. 2009), ktorá je však menej podrobná. Pre územie Poľska sme využili mapu Osuwisk polskich Karpat fliszowych 1:400 000 (Rączkowski 2007), ktorá vznikla kompiláciou viacerých zdrojov. Pre územie Maďarska sme databázu svahových deformácií spracovali pomocou mapy v mierke 1:500 000 (Scharek 2005) a katalógu dostupnom v Maďarskom geologickom ústave. Keďže v mape neboli jednotlivé zosuvy zobrazené plošne, pre každý zosuv sme pomocou dĺžky a šírky uvedenej v katalógu vypočítali rozlohu, ktorú sme vyjadrili ako kruh. Pre územie v Rakúsku sme využili mapovú službu Rakúskej geologickej služby dostupnú na internete (Geologische Bundesanstalt 2010) a rozlohu sme určili na základe mapy od Bachmayera (1949). Hrozbu svahových pohybov sme vyjadrili ako podiel (%) svahových deformácií na celkovej ploche jednotky (nízka hrozba do 3 %, stredná 3,1-16,5 % a vysoká 16,9-91,5 %).

Špecifické hrozby krasovej krajiny

Jakál vo svojich prácach (2000 a 2006) definoval nasledujúce kritériá pre vznik hrozieb v krase: rozpukanosť, priepustnosť horniny, pripovrchová zóna horniny, tektonika územia, stupeň povrchového a podzemného skrasovatenia a najmä podrobný a dlhoročný speleologický výskum. Ako štyri hlavné typy hrozieb určil:

1) poklesávanie blokov a krýh ohraničených tektonickými puklinami,
2) rútenie, náhly kolaps vzniknutý zrútením sa jaskynných stropov do podzemia po prekročení prahu stability horninovej jaskynnej klenby,
3) zrútenie medziúrovňových jaskynných stropov,
4) záplavy kontaktného krasu, slepých dolín, polí a jaskýň.

V práci Minára et al. (2006) autori definovali špecifické hrozby krasovej krajiny podľa mapy rozšírenia stupňov geomorfologickej hrozby krasových regiónov Slovenska a sprístupnených jaskýň (Jakál 2006), ktorá vznikla na základe spomenutých kritérií. V našej práci nebolo možné definovať hrozby v krase na základe kritérií podľa Jakála, preto sme vychádzali z geologickej mapy Západných Karpát (Lexa et al. 2000) a z geologickej mapy Maďarska (Fülöp 1984). Vyčlenili sme krasovú krajinu na základe percentuálneho zastúpenia

útvaru *vnútrokarpatské, austroalpínske a dinarické jednotky – meozozikum* (viac ako 65 %). Keďže na území Slovenska sú podľa Jakála (2006) najviac ohrozené oblasti v Slovenskom krase a Spišsko-gemerskom krase, v ktorých prevláda litologický komplex *vápence a dolomity veku anis-karn*, percentuálne zastúpenie tohto komplexu (nízka hrozba do 3 %, stredná 4-10 % a vysoká 11-30 %) v jednotke sme škálovali tak, aby sme získali čo najväčšiu priestorovú zhodu s mapou Jakál (2006).

Hrozba snehových lavín

Na území Západných Karpát sa snehové lavíny vyskytujú iba v geomorfologických celkoch, ktoré majú aspoň časť územia charakteru vysokohorskej krajiny (najmä Vysoké Tatry, Nízke Tatry, Malá a Veľká Fatra). V práci Minára et al. (2006) autori využili na vyjadrenie tejto hrozby Atlas lavínových dráh na Slovensku (Kňazovický 1978) a lavínový register. V predkladanej práci sme túto hrozbu vyjadrili ako podiel lavínových dráh (%) na celkovej ploche jednotky (bez hrozby do 10 %, nízka hrozba 11-32 %, stredná 33-65 % a vysoká nad 65 %). Pre územie Slovenska sme využili najnovšiu databázu lavínových dráh získanú z lavínového geografického informačného systému, na ktorého tvorbe sme sa podieľali (Žiak 2012). Lavínové dráhy tu boli identifikované v mierke 1:50 000 pomocou rektifikovaných ortofotosnímok (vegetácie) a digitálneho modelu reliéfu (DMR). Pre územie Poľska sme využili mapu lavínových dráh (Klapowa 1969).

Hrozba vodnej erózie poľnohospodárskej pôdy

V práci Minára et al. (2006) bola táto hrozba vyjadrená pomocou mapy Šúriho et al. (2002) v mierke 1:500 000. My sme hrozbu vodnej erózie vyjadrili z dát získaných z modelu PESERA (Pan European Soil Erosion Risk Assesment), ktorý pokrýva územie celej Európy (Kirkby et al. 2004). Pre vytvorenie modelu boli použité denné merania zrážok, teploty a potenciálne evapotranspirácie, vrstvy erodovateľnosti pôdy a retenčnej kapacity pôdy, krajinnej pokrývky a digitálny model reliéfu. Výsledná mapa odhaduje rýchlosť straty pôdy ako množstvo odnesenej pôdy v t. ha.rok^{-1} v rozlíšení 1×1 km. Keďže proces vodnej erózie sa stáva hrozbou až po prekročení určitej limitnej hodnoty, ktorou je zvyčajne rýchlosť pôdotvorného procesu, hrozbu sme vyjadrili ako pomer erózie pôdy a povolenej straty pôdy v závislosti od hĺbky pôdy (nízka hrozba do 0,01, stredná 0,02-0,23 a vysoká 0,24-5,0). Hodnotu prípustnej erózie pôdy pre jednotlivé kategórie hĺbky pôdy z európskej pôdnej databázy (Panagos et al. 2012) sme definovali na základe normy STN 75 4501 Hydromeliorácie (Zsideková 2009).

Povodňová hrozba (potenciál)

Pre vyjadrenie tejto hrozby sme vzhľadom na neexistenciu adekvátneho celoplošného hodnotenia povodňovej hrozby v území ako aj prílišnú dátovú náročnosť iných metodických postupov vychádzali z práce Minára et al. (2005), avšak s určitými modifikáciami pre nedostatok relevantných dát. Autori hodnotili potenciál špeciálne pre väčšie nivy, ktoré predstavujú vyššiu hierarchickú úroveň ovplyvnenú sezónnymi povodňami, a zvlášť pre ostatné územie – nižšiu hierarchickú úroveň ovplyvnenú bleskovými povodňami. Využili sme ich algo-

ritmus na hodnotenie nižšej hierarchickej úrovne, pričom sme výsledné hodnoty povodňového potenciálu rozdelili na tri kategórie na základe výskytu prirodzených zlomov na ich histogramoch (kat. 1: 0-0,16, kat. 2: 0,17-0,30 a kat. 3: 0,31-1,03). Keďže geoekologický potenciál vyjadruje mieru povodňovej hrozby len kvalitatívne (teda rovnako veľké intervaly potenciálu nezabezpečujú rovnomerné rozlíšenie hrozby), pokladáme takéto škálovanie za najvhodnejšie, pretože zabezpečuje aspoň vyššiu mieru kontrastu medzi vyčlenenými triedami. Pre nedostatok relevantných dát za celé územie Západných Karpát sme vyššiu hierarchickú úroveň povodňovej hrozby (regionálne povodne) nerozdiferencovali a na základe predpokladu, že na veľkých nivách sa kumulujú lokálne i regionálne vplyvy, sme im všetkým priradili tretí (najvyšší) stupeň hrozby.

SYNTETICKÉ HODNOTENIE HROZIEB

V súlade s prácami Minára et al. (2006 a 2009) sme syntetické hodnotenie vybraných prírodných hrozieb realizovali pomocou troch charakteristík: *celková hodnota hrozby*, *pravdepodobnosť vytvorenia kumulatívneho efektu* a dominancia hrozieb určitého *genetického typu*.

Každá parciálna hrozba bola prvotne škálovaná do troch kategórií (1 – nízky, 2 – stredný a 3 – vysoký stupeň hrozby). V niektorých prípadoch (hrozby krasovej krajiny a snehových lavín), bola časť územia definovaná ako 0 – územie bez hrozby (bližšie kapitola Výsledky a diskusia). S cieľom stanoviť celkovú hodnotu hrozby a jej kumulatívny efekt boli tieto kategórie (vzhľadom na významovú nerovnocennosť analyzovaných parciálnych hrozieb) váhovo reklasifikované v súlade s prácami Minára et al. (2006 a 2009) – tab. 1.

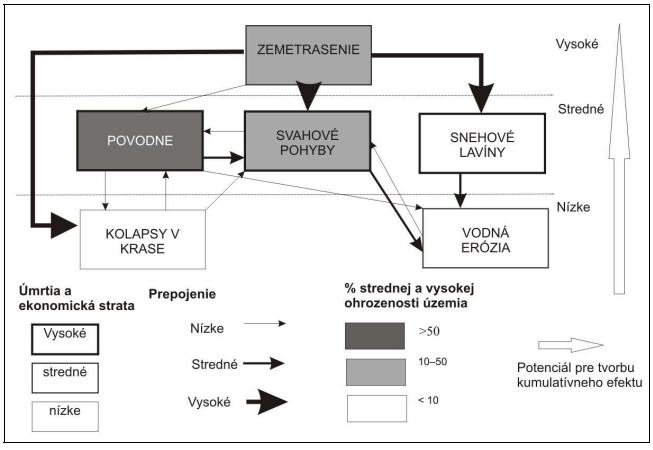
Tab. 1. Váhové hodnoty pre stanovenie celkovej hodnoty hrozby (CHH) a pravdepodobnosti vytvorenia kumulatívneho efektu (KE) podľa Minára et al. (2006)

Názov/ kategória	Zemetrasenie		Svahové pohyby		Hrozby v krase		Snehové lavíny		Vodná erózia		Povodňová hrozba	
	KE	CHH	KE	CHH	KE	CHH	KE	CHH	KE	CHH	KE	CHH
nízka	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1
stredná	3	1	2	3	1	2	1	3	0	2	2	3
vysoká	6	2	4	5	2	3	3	5	0	3	3	5

Celková hodnota hrozby predstavuje súčet reklasifikovaných hodnôt parciálnych hrozieb v každej elementárnej jednotke. Tieto reklasifikované hodnoty boli v práci Minára et al. (2006) odvodené z porovnania odhadu reálnych dosahov procesov predstavujúcich hrozby pre ľudské životy a majetok na základe vtedy dostupných dát (úmrtia a ekonomické straty v obr. 1). Ďalším kritériom bol rozsah územia v strednej a vysokej kategórii hrozby.

Kumulatívny efekt predstavuje schopnosť prírodného procesu (hrozby) indukovať ďalšie procesy (hrozby), teda podmieniť vznik reťazového efektu. Reklasifikácia hodnôt sa v tomto prípade realizovala na základe všeobecných poznatkov o vzájomných vzťahoch medzi procesmi podmieňujúcimi hrozby (systémová schéma na obr. 1). Napríklad zemetrasenia môžu vyvolať svahové

pohyby alebo snehové lavíny, ktoré môžu ďalej iniciovať vznik vodnej erózie, prípadne aj vznik povodní a kolapsov v krase. Majú teda najväčší predpoklad vyvolať kumulatívny efekt. Samotné hodnoty váh boli následne určené ako konsenzuálny odhad skupiny šiestich participujúcich expertov.



Obr. 1. Systémová schéma vzťahov uvažovaných parciálnych hrozieb podľa Minára et al. (2006); modifikované

Genetický typ je charakteristika, ktorá hovorí o pôvode prírodných procesov predstavujúcich hrozby. Hrozbu zemetrasenia, svahových pohybov a špecifických hrozieb krasovej krajiny zaraďujeme do skupiny lito-štrukturálne podmienených hrozieb, hrozbu snehových lavín, vodnej erózie a povodní do klimaticky podmienených hrozieb. V každej elementárnej jednotke sa skúmalo zaradenie každej parciálnej hrozby do primárnej kategórie ohrozenia (kat. 0,1,2 a 3). Pokiaľ najvyššiu kategóriu dosahovali hrozby zo skupiny lito-štrukturálnych hrozieb, jednotka bola definovaná ako lito-štrukturálne podmienená. Analogicky sa definovala skupina klimaticky podmienených hrozieb. Pokiaľ mal najvyššiu hodnotu rovnaký počet lito-štrukturálne aj klimaticky podmienených hrozieb, definovali sme jednotku ako zmiešaný genetický typ.

Hodnoty *celkovej hrozby* a *kumulatívneho efektu* sme rozškálovali do troch kategórií metódou prirodzených zlomov (*natural breaks*) v prostredí ArcGIS 9.3 (Spatial Analyst Tools – Reclass). Základné priestorové (morfologicko-morfometrické) jednotky tak boli charakterizované jednou z troch kategórií *celkovej hrozby*, *kumulatívneho efektu* a *genetického typu hrozby*.

Následne sme v súlade s prácami Minára et al. (2006 a 2009) utvorili individuálnu regionalizáciu územia. Pre syntetické vnímanie všetkých troch atribútov sme utvorili syntetickú typologickú mapu (obr. 5 – farebný variant uvedený len v elektronickej verzii článku) v ktorej zmiešaný genetický typ je vyjadrený farebným prechodom (modrá) medzi klimatickým (zelenomodrá) a lito-štrukturálnym typom (fialová), celková hodnota hrozby odtieňom danej farby (tmavší, výraznejší odtieň predstavuje vyššiu hodnotu) a vyšší kumulatívny efekt výraznejším šrafovaním. Takéto vyjadrenie umožňuje súbežne vnímať všetky charakteristiky v ich semikvantitatívnej škále (tmavší obraz = vyššia suma cel-

kovej hodnoty a kumulatívneho efektu + farebné odlíšenie dominancie genetického typu).

Hranice regiónov boli potom vedené v miestach najväčšieho celkového farebného kontrastu, čo zabezpečovalo zároveň maximálny sumárny kontrast z hľadiska sledovaných atribútov. Keďže takýto kontrast sa utvára nielen na hranici rôzne homogénnych areálov, ale aj areálov s rôznou mozaikou základných plôch, výsledné regióny sú buď celoplošne relatívne homogénne v sledovaných atribútoch (napr. A2 v obr. 5), častejšie sa však vyznačujú homogénnou mozaikou týchto atribútov. Tento tradičný regionalizačný prístup sme využili preto, že sme chceli porovnať vzniknuté regióny s prácou Minára et al. (2006) a pracovali sme s kvalitatívnymi dátami, ktoré sa problematicky uplatňujú v metódach regionálnej taxonómie (Bezák 1993).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Parciálne vyjadrenie prírodných hrozieb

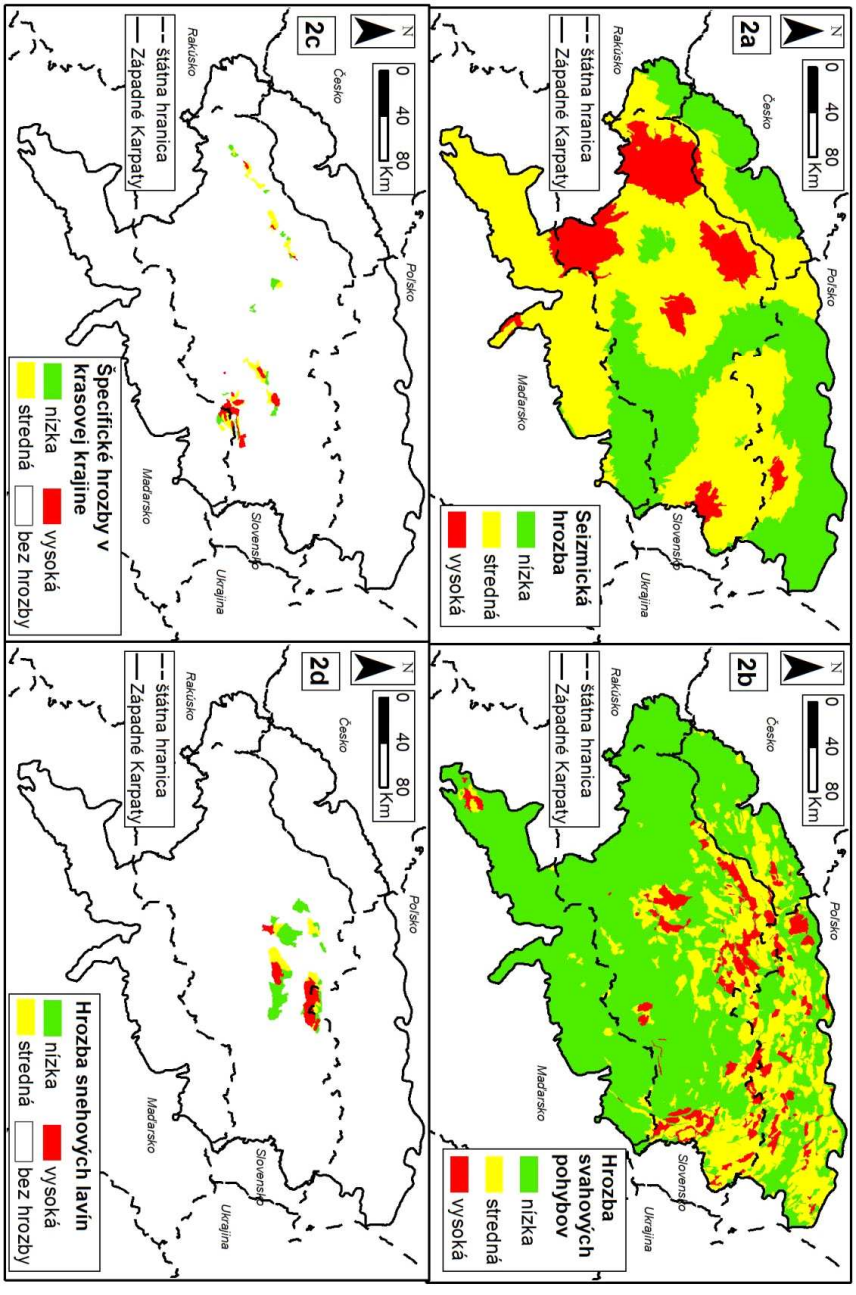
Parciálne hrozby, ktoré boli vyjadrené troma kategóriami sú zobrazené na obr. 2 a 3.

Použitie špičkového zrýchlenia na skalnom podloží (*pga*) ako ukazovateľa na vyjadrenie *seizmickej hrozby* (obr. 2, časť a) je v súčasnosti najexaktnejším vyjadrením hrozby. Prevedenie týchto hodnôt do hodnôt makroseizmickej intenzity umožnilo relatívne objektívne rozškálovať hrozbu do troch základných kategórií. V porovnaní s prácou Minára et al. (2006) sme použili dáta síce s menším rozlíšením, no na základe jednoduchej lineárnej regresie oboch dátových zdrojov ich môžeme považovať za rovnocenné (koeficient korelácie je 0,90 a modifikovaný koeficient determinácie je 81,27 %) – Šabo (2012).

Na vyjadrenie *hrozby svahových pohybov* (obr. 2, časť b) sme použili jednoduchú metódu hustoty svahových deformácií, keďže ju pokladáme v tejto mierke a pri využití morfometricky rovnorodých areálov ako operačných jednotiek za najlepšie priamočiare a relatívne objektívne škálovateľné vyjadrenie hrozby. Nami vytvorená databáza nie je úplne homogénna (rozdiel vo vyjadrení pre Maďarsko a menšia mierka pre Poľsko), je to však kompilácia najpodrobnejších dostupných zdrojov (Holec 2011). Rozdiely na administratívnych hraniciach (najmä maďarsko-slovenských a poľsko-slovenských) sa však vo výsledku markantne neprejavujú, keďže základnými mapovacími jednotkami boli prírodné jednotky, ktoré nerešpektujú administratívne hranice.

Vyjadrenie *špecifických hrozieb krasovej krajiny* (obr. 2, časť c) extrapoláciou pomocou geologických štruktúr je, naopak, menej optimálny spôsob ako vyjadrenie pomocou mapy (Jakál 2006). Keďže ale pre celé územie Západných Karpát nebolo možné získať všetky potrebné dáta, pokladáme takýto postup za prípustné zjednodušenie.

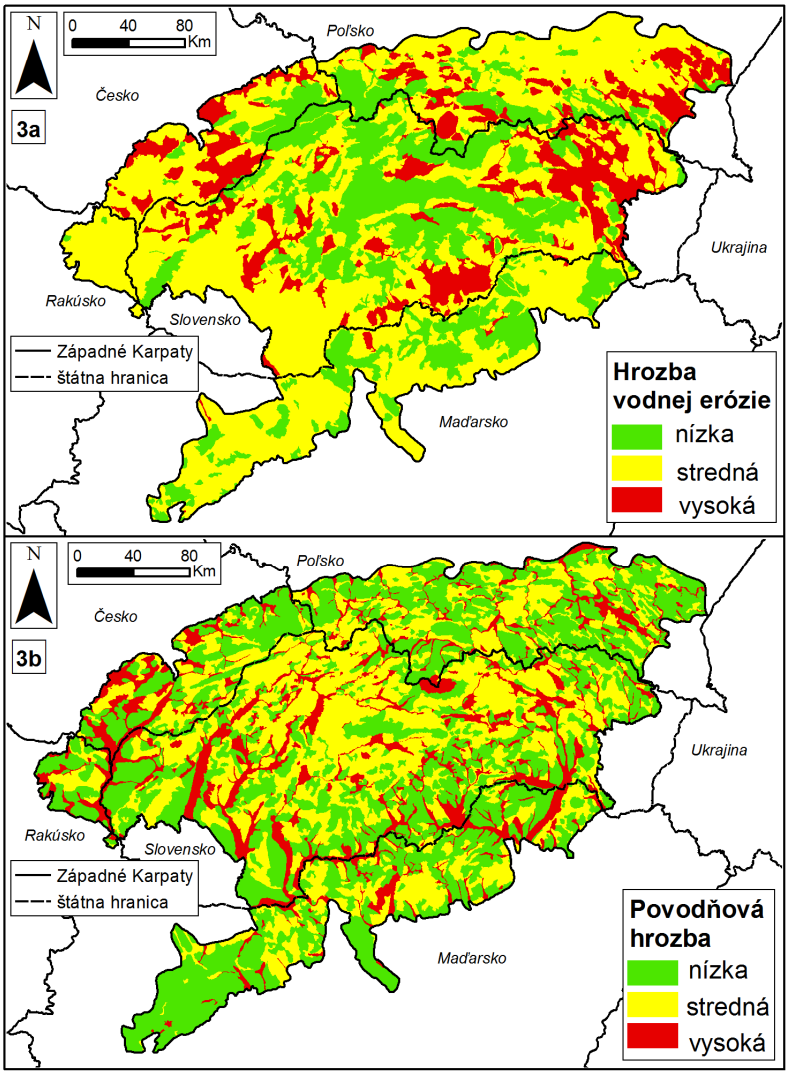
Využitie hustoty lavínových dráh (metóda hodnotenia prejavu hrozby) na vyjadrenie *hrozby snehových lavín* (obr. 2, časť d) opäť pokladáme v danej mierke za najvhodnejší spôsob. Oproti práci Minára et al. (2006) sme pre územie Slovenska použili inovovaný atlas lavínových dráh, kde boli dráhy určené na základe aktuálnych ortofotosnímok a DMR. Pre dosiahnutie vyššej objektivity by bolo vhodné doplniť lavínové dráhy na území Poľska rovnakým



Obr. 2. Vyjadrenie seizmickej hrozby (časť a), hrozby svahových pohybov (časť b), špecifických hrozieb v krase (časť c) a hrozby snehových lavín (časť d)

metodickým postupom. Vznik diskrepancií na administratívnych hraniciach bol opäť eliminovaný vyjadrením hrozby v rámci prírodných jednotiek, ktoré nerešpektujú administratívne hranice.

Inovatívnym momentom pri vyjadrení *hrozby vodnej erózie pôdy* (obr. 3, časť a) oproti práci Minára et al. (2006) bolo použitie pomeru erózie a povolenej straty pôdy. Takéto vyjadrenie opäť umožňuje objektívnejšie výsledné škálovanie hrozby a zároveň do istej miery eliminuje pomerne malú priestorovú presnosť dát z programu PESERA.



Obr. 3. Vyjadrenie hrozby vodnej erózie pôdy (časť a) a povodňovej hrozby (časť b)

Inováciou metodického postupu oproti práci Minára et al. (2005) pri vyjadrení *povodňovej hrozby* (obr. 3, časť b) bolo automatické vygenerovanie siete údolníc, určenie hodnôt CN kriviek pomocou nástroja ArcCN-Runoff (Zhan et al. 2004), použitie DMR s väčším priestorovým rozlíšením (Jarvis et al. 2008) a podrobnejšej databázy krajinnej pokrývky (CORINE ... 2010). Pre nedostatok iných relevantných dát sme však museli použiť menej kvalitnú, ale pre celé územie existujúcu databázu pôdnych jednotiek (Panagos et al. 2012) a pre celé územie Západných Karpát chýbajúce hodnoty denného maximálneho úhrnu zrážok sme boli nútení z územia Slovenska extrapolovať do celej oblasti Západných Karpát pomocou ich väzby na morfometrické charakteristiky (Šabo 2012).

Vyjadrenie parciálnych hrozieb tak v niektorých prípadoch viedlo popri kvalitatívnych vylepšeniach aj k negatívnym momentom podmieneným absenciou niektorých vstupných dát alebo ich horšou kvalitou.

Individuálna regionalizácia

Pomocou individuálnej regionalizácie sme získali deväť vhodne generalizovaných a dobre interpretovateľných regiónov (obr. 5) a niekoľko subregiónov.

Centrálny – najmenej ohrozený región sa skladá z troch subregiónov (A1, A2 a A3) a predstavuje najmenej ohrozenú oblasť Západných Karpát. Je typický nízkymi celkovými hodnotami hrozby a kumulatívneho efektu (okrem časti A1 so strednými hodnotami) a dominanciou klimaticky podmienených hrozieb. Lito-štrukturálne podmienené hrozby sa v ňom takmer nevyskytujú (okrem subregiónu A3 – Slovenský kras so špecifickými hrozbami v krase).

Južný – kontrastný región (B) sa nachádza najmä v maďarskej časti Západných Karpát. Je typický nízkymi až strednými hodnotami celkovej hrozby a strednými hodnotami kumulatívneho efektu. Vyskytujú sa v ňom relatívne rovnomerne zastúpené všetky genetické typy.

Severný – kontrastný región (C1, C2) sa nachádza severne od regiónu A. Podobne ako v južnom kontrastnom regióne v ňom neprevládajú žiadne genetické typy hrozieb. Je však charakteristický strednými až vysokými hodnotami celkovej hrozby aj kumulatívneho efektu. V subregióne C1 mierne prevládajú lito-štrukturálne podmienené a v subregióne C2 klimaticky podmienené hrozby.

Medzi *extrémne ohrozené regióny* patrí región D (severozápadná časť územia) a región E (východná časť). S výnimkou subregiónu E2 sa viažu na flyšové pásmo a nadobúdajú najvyššie hodnoty celkovej hrozby a kumulatívneho efektu s prevládajúcimi lito-štrukturálne podmienenými hrozbami. Subregión D1 predstavuje okrajovú prechodnú zónu regiónu so zastúpením aj klimaticky podmienených hrozieb a nižšími hodnotami kumulatívneho efektu a celkovej hrozby.

Medzi *okrajové málo ohrozené regióny* zaraďujeme región F (západná časť) a región G (severná časť). Vyznačujú sa absenciou lito-štrukturálnych typov s prevahou klimatických (F) alebo zmiešaných (G) hrozbových typov, so strednými hodnotami celkovej hrozby a nízkymi hodnotami kumulatívneho efektu.

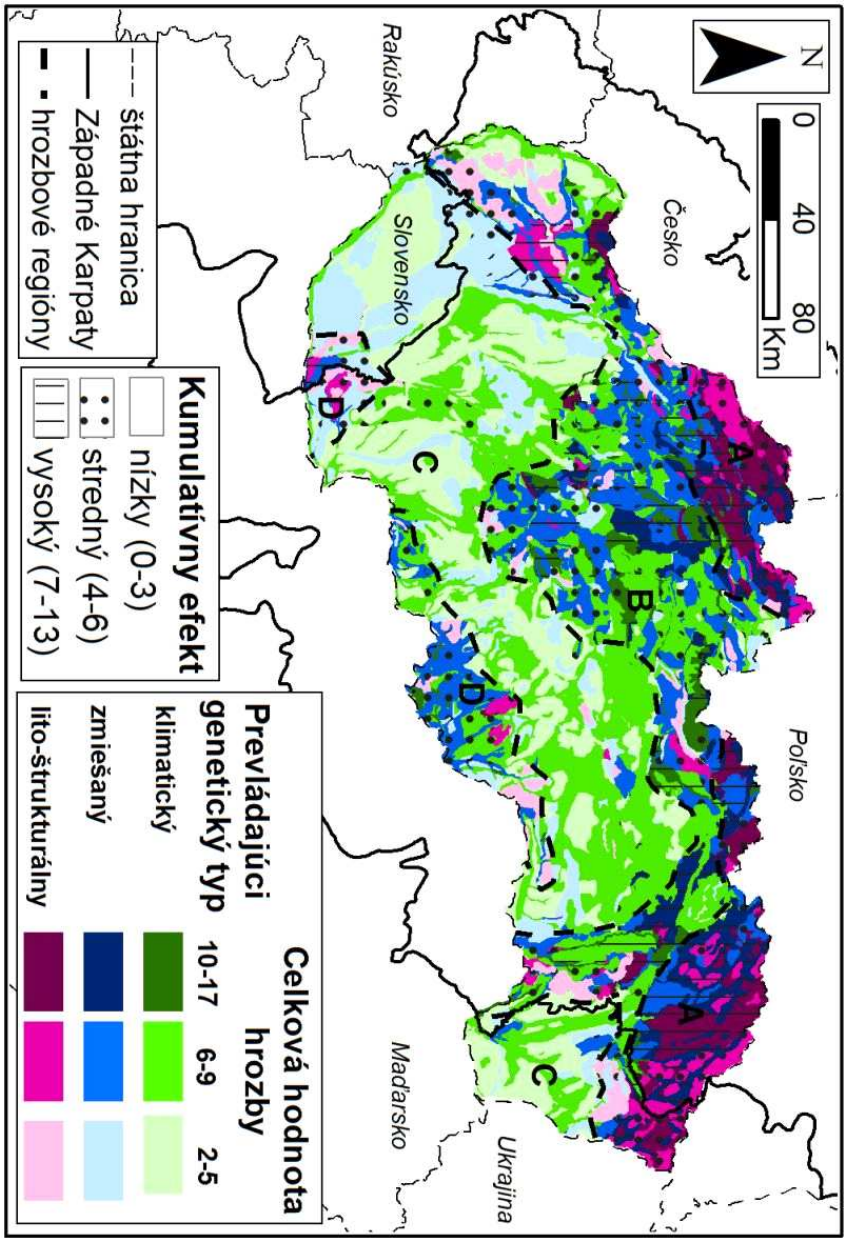
Okrajové vysoko hrozbové regióny H a I sú charakteristické vysokými hodnotami kumulatívneho efektu a kombináciou lito-štrukturálne podmienených hrozieb (stredné hodnoty) a vysokými hodnotami klimaticky podmienených hrozieb (povodňová hrozba – nivy veľkých riek).

Porovnanie s hrozbovými regiónmi Slovenska a morfotektonická interpretácia

Pri porovnaní vzniknutých hrozbových regiónov s prácami Minára et al. (2006 a 2009) môžeme identifikovať určité stabilné črty regionálnej štruktúry, ale aj oblasti, kde došlo k zmenám, ktoré vyplývajú z odlišnej databázy elementárnych jednotiek, vstupných údajov a čiastočne aj zo subjektivity pri definovaní regiónov (obr. 4). Najväčšiu zhodu v priebehu hraníc v oboch prácach si zachoval najmenej ohrozený región (región C – obr. 4 a región A – obr. 5). Južný kontrastný región je v regionalizácii Slovenska (D – obr. 4) rozdelený na dve časti: Komárno a Cerová vrchovina, pričom sa predpokladalo ich prepojenie na území Maďarska. V regionalizácii Západných Karpát sa prepojenie nepotvrdilo, časť v okolí Cerovej vrchoviny sa transformovala do subregiónu A3 a časť v okolí Komárna bola definovaná spolu s regiónom H ako okrajový vysoko ohrozený región (I – obr. 5). Je to spôsobené hlavne plošne rozsiahlejšími kategóriami (druhá a tretia) pri vyjadrení seizmickej hrozby. V regionalizácii Západných Karpát sa objavuje podobný typ kontrastného regiónu (región B) ako južný kontrastný región v regionalizácii Slovenska (D – obr. 4) – na území Maďarska. Severný kontrastný región má v oboch prácach (B – obr. 4 a C – obr. 5) na strednom Slovensku podobný priebeh hraníc, v regionalizácii Západných Karpát sa však jeho východná časť (Slanské vrchy) pričlenila k vysoko ohrozenému regiónu E (obr. 5). Najviac ohrozený región (A – obr. 4 a D a E – obr. 5) je v oboch regionalizáciách podobne ohraničený, pričom nedošlo k jeho predpokladanému spojeniu cez územie Poľska, ako by sa to mohlo javiť podľa obr. 4.

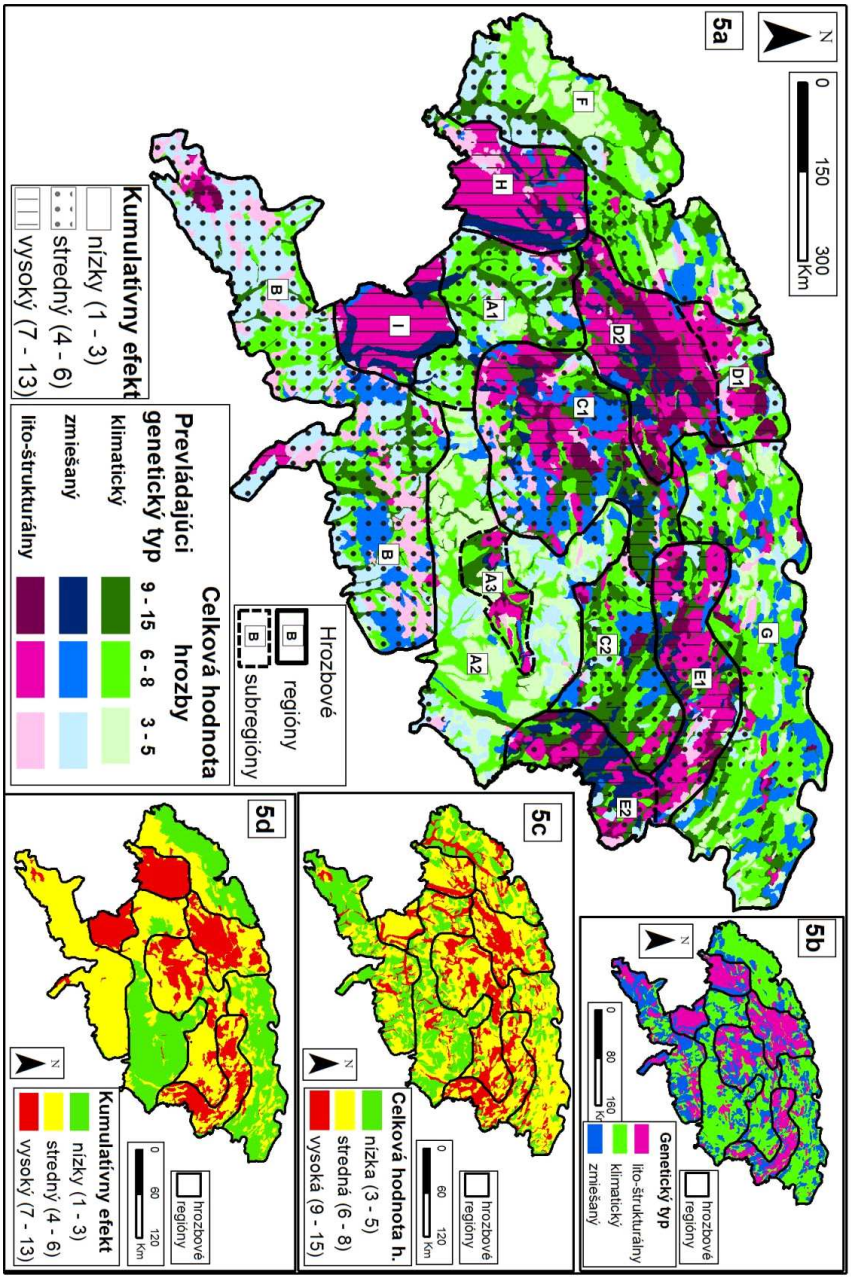
Porovnanie regionálnych štruktúr oboch prác poukazuje na to, že zmena kvality dát regionálnu štruktúru principiálne nezmenila, došlo však k miernym posunom hraníc, prípadne k modifikácii vnútornej charakteristiky regiónov. Ak by sa však zásadnejšie zmenili určité kroky metodického postupu (pridanie iných hrozieb do hodnotenia, prípadne využitie klastrových analýz pri definovaní regiónov), je možné očakávať ďalšie zmeny. Objektívnejší výsledok by mohol byť získaný aj v prípade definovania váhových hodnôt podľa aktuálnych štatistických údajov o ekonomických škodách a stratách na životoch spôsobených v danej oblasti hodnotenými prírodnými procesmi. Pri definovaní významu jednotlivých hrozieb týmto spôsobom je potrebné brať do úvahy aj plošné zastúpenie kategórií parciálnych hrozieb v skúmanom území. Takýto spôsob určenia celkovej hodnoty hrozby je vlastne krokom k transformácii syntetického hodnotenia hrozieb na syntetické hodnotenie prírodných rizík.

V prípade určovania váh pre vyjadrenie kumulatívneho efektu je ich jednoduché expertné priradenie subjektívnym momentom, ktorý by bolo možné čiastočne eliminovať využitím niektorej z metód multikriteriálnej analýzy. Metódy umožňujúce vyjadriť váhy ako pravdepodobnostnú kategóriu (napr. Hovanov et al. 2009) by umožnili prezentovať aj výsledné štruktúry hrozbových regiónov rovnako ako pravdepodobnostné kategórie. V tomto kontexte treba vnímať aj náš výsledok ako jeden z možných variantov pravdepodobnostného kontinua,



Obr. 4. Syntetické hrozbové regióny na území Slovenska podľa Minára et al. (2006)

A – extrémne ohrozený flyšový región, B – severný kontrastný región, C – centrálny nízko ohrozený región a D – južný kontrastný región



Obr. 5. Syntetické hrozbové regióny (časť a), prevládajúci genetický typ hrozieb (časť b), vyjadrenie celkovej hodnoty hrozby (časť c) a kumulatívneho efektu (časť d)

ktorý by však (vzhľadom na expertnú zhodu) mal predstavovať jeho najviac pravdepodobný variant.

V priestorovej štruktúre nami definovaných regiónov (obr. 5) možno pozorovať viacero zaujímavých vzťahov s morfotektonickým charakterom Západných Karpát. Existuje istý generálny trend zvyšovania celkovej hodnoty hrozby, kumulatívneho efektu ako aj dominancie lito-štrukturálnych hrozieb smerom k najviac vyzdvihnutej centrálnej oblasti západokarpatskej klenby, dajú sa však pozorovať aj výraznejšie a menej triviálne väzby. Ide najmä o lokalizáciu najviac ohrozených regiónov D a E, ktoré siahajú až do periférnych oblastí pohoria. Región E leží v prechodnej oblasti medzi Západnými a Východnými Karpatmi, ktorá sa vyznačuje veľmi špecifickým morfotektonickým vývojom a extrémnymi hrúbkami zemskej kôry i litosféry v hodnotenom území. Rovnako región D je na kontakte Západných Karpát, Českého masívu a Východoeurópskej platformy so zvýšenou hrúbkou kôry a litosféry, kde možno predpokladať kolíziou spôsobené výrazné neotektonické napätie. Naopak, minimálne ohrozený región A so značne diferencovaným reliéfom sa vyznačuje najmenšou vzdialenosťou od aktívnych morfotektonických rozhraní. Badať aj vplyv stredoslovenského zlomového systému (tiahne sa od Budapešti na sever až na Oravu) na diferenciácii hrozbových regiónov, keď na západ od neho rastie celková hodnota i kumulatívny efekt hrozieb.

ZÁVER

Syntetické vnímanie prírodných hrozieb v oblasti Západných Karpát umožňuje 3-stupňová regionalizácia vytvorená na základe troch, relatívne od seba nezávislých charakteristík: *celková hodnota hrozby*, *pravdepodobnosť vytvorenia kumulatívneho efektu* a *dominantný genetický typ*. Toto nám umožňuje identifikovať relatívne homogénne hrozbové regióny pre potreby rizikového manažmentu.

Definovali sme deväť hrozbových regiónov najvyššieho rádu: centrálny, najmenej ohrozený región (A), južný (B) a severný (C) kontrastný región, dva extrémne ohrozené regióny (D a E), okrajové málo ohrozené regióny (F a G) a okrajové vysoko ohrozené regióny (H a I).

Keďže sme použili takmer rovnaký metodický postup (s inováciami na úrovni čiastkových analýz) ako v prácach Minára et al. (2006 a 2009), bolo možné porovnať vzniknuté hrozbové regióny a nájsť tak viaceré stále črty, ktoré odrážajú objektívne momenty takto definovanej regionálnej štruktúry oboch prác. Nepotvrdili sa hypotézy, že najviac ohrozený región A v regionalizácii Slovenska (obr. 4) je prepojený cez územie Poľska a takisto sa nepotvrdilo ani prepojenie južného kontrastného regiónu D (obr. 4) cez územie Maďarska.

Oproti prácam Minára et al. (2006 a 2009) sme hodnotenie vykonali v rámci prírodných hraníc, rozšírili sme hodnotené územie, vytvorili sme a využili kvalitnejšiu databázu elementárnych jednotiek. Na vyjadrenie seizmickej hrozby, hrozby svahových pohybov a hrozby snehových lavín sme využili kvalitnejšie zdrojové dáta. Niektoré podklady boli z určitého hľadiska nižšej kvality (povodňová hrozba a hrozba vodnej erózie), čo sme sa snažili kompenzovať použitím metodickej inovácie (napr. zohľadnenie rýchlosti pôdotvorby pri vyjadrení hrozby vodnej erózie).

Vo vytvorenej regionalizácii vidíme nielen vedecký ale aj praktický význam. Vedecký spočíva najmä v utvorení prvého modelu priestorovej štruktúry syntetických hrozbových regiónov Západných Karpát s definovaním jej viac a menej stabilných čŕt, pričom hrozbové regióny môžeme morfotektonicky interpretovať a poukázať na signifikantný vzťah medzi ich formovaním a morfotektonickým vývojom územia. Praktický význam vidíme vo využití v environmentálnom manažmente. Tri klasifikačné kritériá poukazujú na tri aspekty hrozieb. Celková hodnota hrozby hovorí o jednoduchej nesystémovej kumulácii – výskyte rôzneho typu hrozieb v priestore, t. j. ako často môžeme očakávať relevantné problémy. Pravdepodobnosť vytvorenia kumulatívneho efektu vypovedá o riziku realizovania hrozieb v jednom okamihu a genetický typ upozorňuje do budúcnosti na mieru rizika zmien prírodných hrozieb vplyvom klimatickej zmeny (klimaticky podmienené hrozby sú na takéto zmeny najviac náchylné, smerom k litoštrukturálne podmieneným hrozbám táto náchylnosť klesá).

Podrobný popis tu použitých metodických postupov je možné nájsť v dizertačnej práci Šaba (2012). V tomto príspevku prezentované syntetické hodnotenie a regionalizácia sú len jedným (prvým) z možných variantov, ktorý nadväzuje na staršie analogické hodnotenie územia Slovenska (Minár et al. 2006). Prezentácia ďalších variantov s významnými inováciami v oblasti syntetického hodnotenia parciálnych hrozieb bude obsahom samostatnej štúdie.

Ďakujeme p. Guzikovi za poskytnutie databázy lavínových dráh.

Príspevok vznikol s podporu Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. ESF-EC-0006-07 a č. APVV-0625-11.

LITERATÚRA

BACHMAYER, F. (1949). Erdrutschung im Gebiete vom Ernstbrunn – Dörfles, Niederösterreich. *Geologie und Bauwesen*, 17, 4-7.

BALTEANU, D., MICU, M., CHENDES, V., MICU, D., SIMA, M., DRAGOTA, C. (2011). Multi-hazard analysis in Vrancea Seismic Region: complexity and uncertainties within a qualitative – semi-quantitative approach. In Hradecký, J., Šilhán, K., eds. *Book of Abstract (Carpatho-Balkan-Dinaric Conference on Geomorphology), Ostravice, 17-20. 10. 2011*. Ostrava (University of Ostrava, Faculty of Science), p. 20.

BEDNÁRIK, M., LIŠČÁK, P. (2010). Landslide susceptibility assessment in Slovakia. *Mineralia Slovaca*, 42, 193-204.

BELL, R., GLADE, T. (2004). Multi-hazard analysis in natural risk assessment. In Brebbia, C. A., ed. *Risk analysis IV*. Southampton, Boston (WIT Press), pp. 196-206.

BEZÁK, A. (1993). *Problémy a metódy regionálnej taxonómie*. Geographia Slovaca, 3. Bratislava (Geografický ústav SAV).

CORINE Land Cover 2000 raster data (version 13). (2010). *The European Topic Centre on Land Use and Spatial Information, European Environment Agency*. Dostupné na: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster (cit: 2010-10-25).

ČÁPOVÁ, D., KREJČÍ, O., KREJČÍ, Z., SEDLÁČEK, J. (2009). Zosuvy 1:1 000 000. *Atlas krajiny České republiky*. Praha, Průhonice (MŽP ČR,VÚKOZ), pp. 262.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA – GEOFOND (2010). *Mapový server. Vrstva sesuvy*. Dostupné na: http://www.geofond.cz/mapsphere/MapWin.aspx?M_WizID=24&M_Site=geofond&M_Lang=cs (cit: 2010-09-21).

DELMACO, G., MARGOTTINI, C., SPIZZICHINO, D., eds. (2007). *Applied multi risk mapping of natural hazards for impact assessment. WP3: methodology for a harmonised integrated map and development of a guideline for an EU directive on harmonisation of multi-hazard risk mapping*. ARMONIA project. Dostupné na: http://www.t-6.it/download/Armonia/D.3.3_%20Guideline%20for%20an%20EU%20directive%20on%20harmonisation%20of%20multi-hazard%20risk%20mapping.pdf (cit: 2012-11-10).

DILLEY, M., CHEN, S. R., DEICHMANN, U., LERNER-LAM, L. A., ARNOLD, M., AGWE, J., BUYS, P., KJEKSTAD, O., LYON, B., YETMAN, G. (2005). *Natural disaster hotspots: a global risk analysis* (Synthesis Report). Washington, D.C. (The International Bank for Reconstruction and Development).

DRDOŠ, J. (1992). Prírodné prostredie: zdroje – potenciály – únosnosť – hazardy – riziká. *Geografický časopis*, 44, 30-39.

FÜLÖP, J. (1984). *Geological map of Hungary*. Budapest (Hungarian Geological Institute).

Geologische Bundesanstalt (2010). *Mass Movements*. Dostupné na: http://geomap.geolba.ac.at/MASS/MASS_main.cfm?Init=false (cit: 2010-05-19).

GIARDINI, D., GRÜNTHAL, G., SHEDLOCK, K., ZHANG, P. (1999). The GSHAP global seismic hazard map. *Annali di Geofisica*, 42, 1225-1228.

HOLEC, J. (2011). *Hodnotenie hrozby a rizika svahových pohybov v Západných Karpatoch*. Diplomová práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava.

HORRIT, M. S., BATES, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268, 87-99.

HOVANOV, N., YUDAEVA, M., HOVANOV, K. (2009). Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge. *European Journal of Operational Research*, 195, 857-863.

IZAKOVIČOVÁ, Z. (2002). Zaťaženie územia stresovými faktormi 1:1 000 000. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava a Banská Bystrica (MŽP SR, SAŽP).

JAKÁL, J. (2000). Extrémne geomorfologické procesy v krase. *Geografický časopis*, 52, 211-219.

JAKÁL, J. (2006). Geomorfologické hrozby a riziká v krase Slovenska. *Slovenský kras* 44, 5-22.

JARVIS, A., REUTER, H. I., NELSON, A., GUEVARA, E. (2008). *Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database*. Dostupné na: http://srtm.csi.cgiar.org (cit: 2010-09-01).

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., MONTANARELLA, L., GRIMM, M., VIEILLEFONT, V., PUIGDEFABREGAS, J., BOER, 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*. Luxembourg (Office for Official Publications of the European Communities).

KŁAPOWA, M. (1969). Obserwacje snieznych lawin w Tatrach. *Wierchy*, 38, 137-154.

KLUKANOVÁ, A., LIŠČÁK, P., HRAŠINA, M., STREĎANSKÝ, J. (2002). Vybrané geodynamické javy 1:500 000. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava, Banská Bystrica (MŽP SR, SAŽP), pp. 282-283.

KŇAZOVICKÝ, L. (1978). *Atlas lavínových dráh SSR*. Bratislava (HS SÚV ČSZTV).

LIŠČÁK, P. (2002). Náchylnosť územia na zosúvanie 1:2 000 000. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava a Banská Bystrica (MŽP SR, SAŽP), p. 283.

LEXA, J., BEZÁK, V., ELEČKO, M., MELLO, J., POLÁK, M., POTFAJ, M., VOZÁR, J. (2000). G*eologická mapa Západných Karpát a priľahlých území v mierke 1:500 000*. Digitálne dáta vo formáte .shp. Bratislava (ŠGÚDŠ).

MANCINI, F., CEPPI, C., RITROVATO, G. (2010). GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1851-1864.

Map showing Multi Hazard Zones in India. BMTPC – Building Materials and Technology Promotion Council, Ministry of Housing and Urban Alleviation, Government of India. Dostupné na: http://www.bmtpc.org/disasterand mitigation.htm (cit: 2009-10-10).

MICU, M., CHENDES, V., SIMA, M., BALTEANU, D., MICU, D., DRAGOTA, C. (2010). Multi-hazard assessment in the Bend Carpathians of Romania. In Glade, T., Casagli, N., Malet, J. P, eds. *Mountain risks: bringing science to the society*. Strasbourg (CERG Editions), pp. 11-19.

MINÁR, J. (2009). Geografické polia a priestorová organizácia krajiny (pokus o vyjasňovanie základných konceptov). *Geografický časopis*, 61, 179-198.

MINÁR, J., BARKA, I., HOFIERKA, J., HREŠKO, J., JAKÁL, J., STANKOVIANSKY, M., TRIZNA, M., URBÁNEK, J. (2009). Natural geomorphological hazards in Slovakia. *Geographia Slovaca*, 26, 201-220.

MINÁR, J., BARKA, I., JAKÁL, J., STANKOVIANSKY, M., TRIZNA, M., URBÁNEK, J. (2006). Geomorphological hazards in Slovakia. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40, 61-78.

MINÁR, J., BIELIK, M., KOVÁČ, M., PLAŠIENKA, D., BARKA, I., STANKOVIANSKY, M., ZEYEN, H. (2011). New morphostructural subdivision of the Western Carpathians: an approach integrating geodynamics into targeted morphometric analysisanalysis. *Tectonophysics*, 502, 158-174.

MINÁR, J., TREMBOŠ, P. (1994). Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. *Acta Facultatis Rerum Naturialum Universitatis Comenianae, Geographica*, 35, 173-193.

MINÁR, J., TRIZNA, M., BARKA, I., BONK, R. (2005). *Povodňový potenciál na území Slovenska*. Bratislava (Geo-grafika).

Natural Disasters and Vulnerability Analysis. (1979). *Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator* (UNDRO). Report of Expert Group Meeting, Geneva, June 9-12,1979.

PANAGOS, P., Van LIEDEKERKE, M., JONES, A., MONTANARELLA, L. (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29, 329-338.

Panjab Multi Hazard map. Dostupné na: http://jalandhar.nic.in/html/earthquake_punjab_at_risk.htm (cit: 2012-05-05).

PANZA, F. G. (2012). *Correlation among intensity scales*. Dostupné na: http://www.isprambiente.gov.it/site/_files/Progetti/INQUA/Correlation_among_intensity_scales_-_Panza.pdf (cit: 2012-02-02).

PAUDIŠ, P. (2005). *Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava.

RĄCZKOWSKI, W. (2007). Landslide hazard in the Polish flysh Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho – Balcanica*, 41, 61-75.

RENARD, K. G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., McCOOL, D. K., YODER, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703*. Washington D.C. (USDA).

SAKSA, M., MINAR, J. (2012). Assessing the natural hazard of gully erosion through a Geoecological Information System (GeIS): a case study from the Western Carpathians. *Geografie*, 117, 152-169.

SCHAREK, P. (2005). Map of detected surface movements 1:500 000. *Geological atlas of Hungary*. Budapest (Magyar Állami Földtani Intézet, p. y.).

SCHENK, V., SCHENKOVÁ, Z., KOTTNAUER, P., GUTERCH, B., LABÁK, P. (2000). Earthquake hazards for the Czech Republic, Poland and Slovakia – contribution to the ILC/IASPEI global seizmic hazard assessment program. *Natural Hazards*, 21, 331-345.

SMITH, K., PETLEY, N. D. (2008). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. London (Taylor & Francis e-Library).

SOLÍN, Ľ. (2011). Regionálna variabilita povodňovej hrozby malých povodí na Slovensku. *Geografický časopis*, 63, 29-52.

ŠABO, M. (2012). *Syntetické hodnotenie prírodných hrozieb a rizík v oblasti Západných Karpát*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava (manuskript).

ŠIMEKOVÁ, J., MARTINČEKOVÁ, T., ABRAHÁM, P., GEJDOŠ, T., GRENČÍKOVÁ, A., GRMAN, D., HRAŠNA, M., JADROŇ, D., ZÁTHURECKÝ, A., KOTRČOVÁ, E., LIŠČÁK, P., MALGOT, J., MASNÝ, M., MOKRÁ, M., PETRO, Ľ., POLAŠČINOVÁ, E., SOLČIANSKY, R., KOPECKÝ, M., ŽABKOVÁ, E., WANIEKOVÁ, D. (2006). Atlas *máp stability svahov Slovenskej republiky (1:50 000)*. Žilina (Ingeo).

ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., FULAJTÁR, E., HOFIERKA, J. (2002). Aktuálna vodná erózia pôdy. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava, Banská Bystrica (MŽP SR, SAŽP), pp. 286-287.

TRIZNA, M. (1998). *Identifikácia povodňovej hrozby a povodňového rizika*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava.

WHITE, G. F., KATES, R. W., BURTON, I. (2001). Knowing better and losing even more: the use of knowledge in hazards management. *Environmental Hazards*, 3, 81-92.

ZHAN, X., HUANG, M. (2004). ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number an runoff maps. *Environmental Modelling and Software*, 19, 875-879.

ZSIDEDKOVÁ, B. (2009). Využitie GIS pri návrhu protieróznych opatrení v povodí. *8. konferencia mladých vodohospodárov* (zborník príspevkov). Bratislava (SHMÚ).

ŽIAK, M. (2012). *Lavínová hrozba, bilancia energie a hmoty vo vysokohorskom prostredí*. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava.

Marián Š a b o, Jozef M i n á r, Juraj H o l e c, Miroslav Ž i a k

SYNTHETIC EVALUATION OF SELECTED NATURAL HAZARDS IN THE WESTERN CARPATHIANS AREA – FIRST APPROXIMATION

The spatial synthesis of selected natural hazards (seismic, landslide, snow avalanche, water erosion, flooding and specific karst hazards) running over the common multihazard maps is the main goal of this article. The analysis was realized for the Western Carpathians in the reference scale of 1:500 000.

The methodological approach has been inspired by the work of Minár et al. 2006. However, some of its aspects were reworked: a more detailed database of elementary units and input data of better quality for some partial hazards evaluation were used. The object-based approach was used for the synthesis. Morphological-morphometrical landform types delimited on the basis of the terrain edges and relief dissection were used as elementary (hazardously homogeneous) units. All relevant data were subsequently assigned to these units including the particular analysed hazards (Figs. 2-3).

Three classification criteria were used for the synthetic hazard evaluation: the total hazard value, the probability of cumulative effect formation and the dominant genetic

type of the hazardous region. Weights for the determination of the total hazard value resulted from the statistics of material losses and human casualties and the cumulative effect was derived from the system relationship between the particular hazards (Tab. 1 and Fig. 1). The genetic type of elementary unit (litho-structural, climatic and mixed) was defined according to the genetic classification of the ultimate hazards.

The three-stage synthetic hazardous regionalization of the Western Carpathians is the main result. Nine hazardous regions were determined on the highest level (Fig. 5): central low hazardous region (A), south (B) and north (C) contrast region, two extremely hazardous regions (D and E), slightly hazardous marginal regions (F and G) and highly hazardous marginal regions (H and I).

As the used method was similar to that of Minár et al. 2006 and 2009, it was possible to compare hazardous regions in Slovakia (Fig. 4) and in the whole Western Carpathians (Fig. 5). Several stable features confirming an existence of objective elements of regional hazardous structure were found. The most distinctive features of hazardous regionalization are possibly also linked with the morphotectonic characters. The most hazardous regions formed next to the boundaries between the Western and the Eastern Carpathians, the Bohemian Massif and Eastern-European platform interface. On the contrary, the least hazardous region is connected with the most stable inner part of the Western Carpathians with a relatively contrasting relief.