

## Vyčleňovanie krajinnoekologických jednotiek s využitím viacrozmernej zhlukovej analýzy – prípadová štúdia Malé Karpaty

Marián GÁBOR

**Abstract:** *The aim of the article is to delineate a set of homogenous and coherent natural landscape units within the Malé Karpaty Mountains for the purpose of capturing the heterogeneity of natural landscape components in the area. Such a classification may serve as the base for detailed geo-ecological research or in planning and land management efforts. Six variables were considered in the analysis: elevation, slope, solar radiation, topographical wetness index, temperature and precipitation. The information from these variables was processed with Factor analysis, which extracted two components. These components were used in K-means cluster analysis to define ten landscape units. The strength of the grouping procedure was tested by using Discriminant analysis, which revealed that 95.43 percent of the cells were correctly classified and that the whole classification process was significant. Our findings were used to define five transect for detailed geo-ecological research.*

**Keywords:** *landscape units, cluster analysis, regionalization, geo-ecological research, Malé Karpaty Mountains.*

### Úvod

Cieľom príspevku je vyčleniť relatívne homogénne krajinnoekologické jednotky v Malých Karpatoch pre potreby zachytenia priestorovej heterogenity prírodných zložiek krajiny územia. Výsledky výskumu budú použiteľné pre potreby výberu výskumných plôch pre detailný geoekologický výskum stanovištných podmienok biotopov. Krajinnoekologické jednotky definuje Zonneveld (1995), ako homogénne jednotky, ktoré sú unikátne z hľadiska štruktúry, fyziografie a fyziognómie krajiny. Krajinnoekologické jednotky viacerí autori považujú za ekoregióny (Hargrove a Hoffman 2005, Soto a Pintó 2010). V našom prostredí môžeme krajinnoekologické jednotky prirovnať k mezochóram (Minár et al. 2001, Mičian 2008).

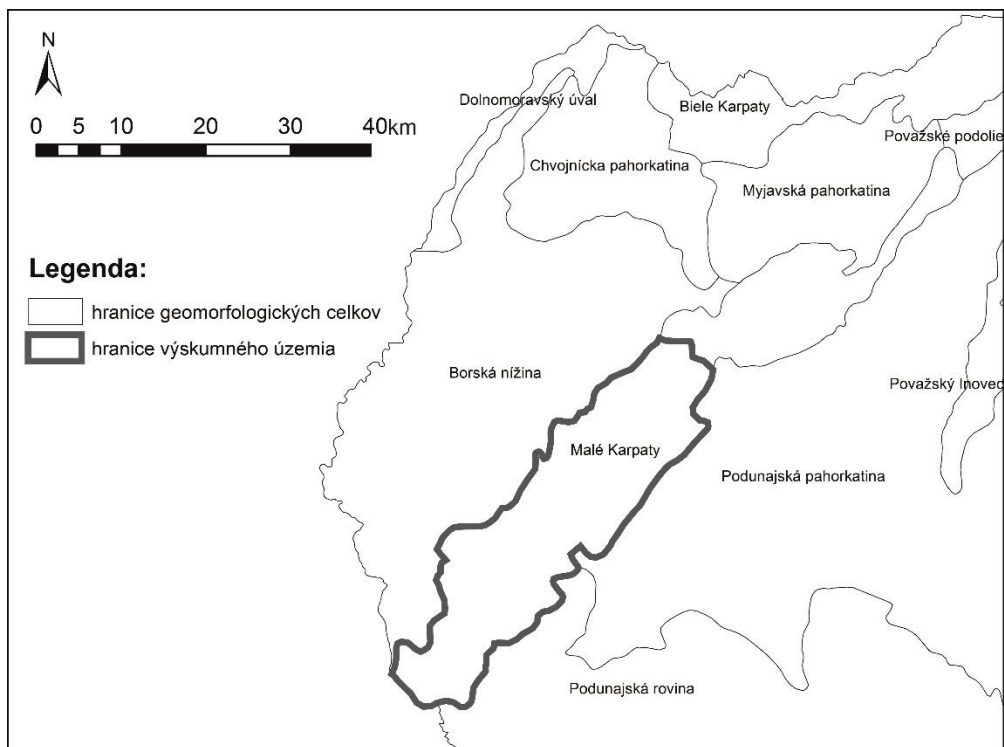
Na vyčleňovanie krajinnoekologických jednotiek sa často využívajú postupy fyzickogeografickej regionalizácie, ktorej hlavným cieľom je kategorizovanie priestorových jednotiek – objektov do priestorovo homogénnych jednotiek, pričom úroveň väzieb medzi prvkami v rámci jedného zhluku je silnejšia, ako úroveň väzieb medzi prvkami odlišných zhlukov (Chorley a Hagget 1967). Historicky najpoužívanejšou metódou regionalizácie je kvalitatívna regionalizácia, založená na syntéze viacerých abiotických alebo environmentálnych dát (Leathwick et al. 2003). Kvalitatívne prístupy sú z veľkej časti založené na subjektívnom názore autora, napr. Čech a Kunáková (2012) a mnohí ďalší. Avšak v súčasnej dobe sa do popredia dostávajú kvantitatívne postupy regionalizácie, pričom hlavná výhoda kvantitatívnych metód je podľa Hargrovea a Hoffmana (2005) v tom, že výsledná regionalizácia je objektívnejšia, opakovateľnejšia, priestorovo presnejšia a obhájiteľnejšia. V súčasnosti je často používanou metódou kvantitatívnej regionalizácie zhluková analýza, reprezentovaná metódou k-priemerov, ktorú využili pre vyhraničenie akvatických regiónov Jenerette et al. (2002), pre vyhraničenie ekoregiónov Hargrove a Hoffman (2005), pre vyhraničenie regiónov v suchých a teplých údoliach v Číne Xu et al. (2008), pre vytvorenie typológie v Belgicku Van Eetvelde a Antrop (2009) a pre vyčlenenie prírodných krajinnoekologických jednotiek ostrova Puerto Rico Soto a Pintó (2010).

Pri vyčleňovaní krajinnoekologických jednotiek v našom priestore sa najčastejšie uplatňujú kvalitatívne postupy (Mičian 1981, Čech 2010, Čech a Kunáková 2012), práce využívajúce postupy kvantitatívne regionalizácie sú v menšom počte a súčasne aj na špecifické prípad ako sú jaskyne (Ratkovský 2013). V oblasti Malých Karpát boli vyčlenené krajinnoekologické jednotky (Miklos et al. 2002a), avšak majú nedostatočnú kvalitu pre potreby detailného geoekologického výskumu, pre časť územia

boli detailne vyčlenené fyzickogeografické jednotky Kroupová (1976). Miklos et al. (2002b) vyčlenil aj typy abiokomplexov, ktoré ale taktiež nemajú dostatočnú kvalitu. V detailnej mierke pre dané územie nebola vytvorená analýza krajinnoekologických jednotiek pre dané územie.

### Opis záujmového územia

Záujmové územie sa nachádza v geomorfologickom celku Malé Karpaty, konkrétne zahŕňa jeho dva podcelky Devínske Karpaty a Pezinské Karpaty (obr. 1). Výber územia pre prácu bol viazaný na územie, kde bude realizovaný detailný geokologický výskum biotopov. Územie sa nachádza v CHKO Malé Karpaty, čiže sa v ňom nachádza väčšia koncentrácia prírodných a poloprírodných areálov, ktoré sú podmienkou pre ďalší výskum. V území dominujú najmä dubové, dubovo-hrabové a bukové lesy.



Obr. 1. Lokalizácia výskumného územia

### Dáta

Vstupné údaje, ktoré boli použité pre regionalizáciu, sú zobrazené v tab. 1. Informácie o nadmorskej výške, sklone, oslnení a topografický index vlhkosti boli vypočítané na základe digitálneho modelu reliéfu (DTM). Topografický index vlhkosti (TIV) bol vypočítaný na základe vzťahu publikovaného v práci Beven a Kirkby (1979), ktorý počíta index na základe sklonu svahu a smerov prúdenia vody určeného z vrstevnic pre každé povodie. TIV slúži na opis vlhkostných podmienok v povodiach, avšak berie do úvahy iba informácie o povrchových vodách. Priemerný ročný úhrn zrážok a priemerná ročná teplota vzduchu boli interpolované do priestoru na základe dát Slovenského hydrometeorologického ústavu, pri teplotách to bolo na základe práce Fries et al. (2012) a pri zrážkach na základe množstva zrážok dopadajúceho na jednotku plochy pod sklonom územia (Minár et al. 2001). Pri vyhraničovaní transektov boli použité aj informácie o krajinskej pokrývke interpretované z ortofoto snímok na druhej hierarchickej úrovni (Feranec a Ořahel 1999). Všetky dátové vrstvy boli vypracované v gride s rozlíšením 50 m z dôvodu dosiahnutia čo najväčšej presnosti, avšak pretože tento grid obsahoval 228 286

buniek musel byť pre potreby spracovania údajov zjednodušený na veľkosť 200 m, ktorý obsahoval 13 693 buniek, čo je z hľadiska času a náročnosti výpočtu už vhodný počet buniek. Každá bunka v gride obsahuje priemerné hodnoty všetkých charakteristík.

**Tab. 1.** Vstupné atribúty použité pre regionalizáciu s priemernými, minimálnymi a maximálnymi hodnotami pre jednotlivé atribúty

názov atribútu	minimum	maximum	priemer
nadmorská výška [m n.m.]	116	735	379
sklon [°]	0,5	34,6	11,2
oslnenie počas vegetačného obdobia [Kw/h]	543	988	847
celoročné oslnenie [kW/h]	596	1202	987
TIV	-5,81	4,77	-1,72
zrážky [mm]	675	1018	832
teplota [°C]	7,3	10,9	9,3

### Metodický postup

V práci sme postupovali podľa uvedených krokov: 1) výber kritérií pre zhlukovú analýzu na základe faktorovej analýzy, 2) vyčlenenie krajinnoekologických jednotiek na základe zhlukovej analýzy, 3) stanovenie tesnosti väzieb prírodných jednotiek pomocou diskriminačnej analýzy, 4) vyhraničenie transektov pre detailný geoeologický výskum, tak aby zachytávali čo najväčšiu heterogenitu krajiny.

Výber vstupných atribútov pre regionalizáciu sa najčastejšie viaže na výber pomocou štatistických metód (Williams et al. 2008, Xu et al. 2008, Serra et al. 2011, Ratkovský 2013, Soto a Pintó 2010, Xu et al. 2014). V prvom kroku bola aplikovaná korelačná matica, ktorá zvyrazňuje korelácie medzi jednotlivými atribútmi, pričom atribúty s príliš silnou koreláciou môžu byť vylúčené z nasledujúcich výpočtov. Zjednotenie rôznorodých vzájomne závislých atribútov bolo realizované pomocou faktorovej analýzy pomocou ktorej je znížený počet A vzájomne závislých atribútov na B vzájomne nezávislých faktorov. Výpočtom matice faktorovej záťaže po rotácii metódou varimax je pre každú dimenziu určená skupina premenných, ktoré sú s ňou najtesnejšie späté. Následne sú vypočítané hodnoty faktorového skóre, ktoré je priradené faktorovým dimenziám, pričom pre každú bunku sú vypočítané hodnoty faktorového skóre na základe ktorého je vytvorená zhluková analýza.

Prvým krokom pri nehierarchickej zhlukovej analýze bolo stanovenie optimálneho počtu krajinnoekologických jednotiek. Na základe práce (Zhao a Fránti 2014) bol za optimálnu metódu výpočtu zhlukov zvolený WB-index (Zhao et al. 2009) ktorý stanoví optimálny počet zhlukov v tom mieste, kde je jeho hodnota najmenšia. Výpočet bol opakovaný pre meniace sa počty zhlukov od 2 po tú hodnotu, kedy nastane postupný nárast hodnoty WB-indexu, respektíve hodnota WB-indexu začne stagnovať okolo určitej hodnoty. Stanovenie optimálneho počtu zhlukov je subjektívny krok, kedy nie je možné stanoviť ho exaktne len na základe hodnoty WB-indexu, ale je potrebné brať do úvahy aj charakter územia, pre ktoré je regionalizácia vypracovaná a taktiež aj ciele regionalizácie.

Samotná regionalizácia bola vytvorená na základe viacrozmernej zhlukovej analýzy metódy k-priemerov (Hartigan 1975), ktorá sa široko využíva pri zhlukovaní dát (Hargrove a Hoffman 2005, Soto a Pintó 2010, Browne a McNicholas 2012, Ratkovský 2013, Xu et al. 2014). Princíp metódy k-priemerov je založený na rozdelení n objektov s m znakmi do k zhlukov tak aby suma štvorcov medzi zhlukmi bola minimalizovaná. Metóda k-priemerov je opakovací algoritmus, ktorý sa opakuje dovtedy kým nezíska vopred zadaný počet zhlukov. Každý zhluk sa vyznačuje vysokou podobnosťou v rámci objektov, ktorými je tvorený a rozdielnosťou zhlukov navzájom, pričom podobnosť zhlukov je vyjadrená ako vzdialenosť k centru zhluku. Snahou je zaradiť objekty do zhlukov tak, aby bola minimalizovaná variabilita vnútri zhluku.

Viacrozmerná diskriminačná analýza bola použitá na kontrolu tesnosti väzieb medzi jednotlivými členmi zhlukov. Pri environmentálne orientovaných výskumoch sa kontrola sily a kvality zhlukovej analýzy a taktiež aj štatistickej dôvery pre jednotlivé členy pomocou diskriminačnej analýzy objavuje v prácach: Hessburg et al. (2000) ju použili pre kontrolu kvality ekologických regiónov vytvorených pomocou zhlukovej analýzy v povodí rieky Columbia; Bakhsh a Kanwar (2005) ju použili na kontrolu kvality skupín regiónov s rovnakou stratou nitrátov z polí; Soto a Pintó (2010), ju použili na kontrolu

kvality krajinoekologických jednotiek vytvorených pomocou zhlukovej analýzy pre ostrov Portoriko a iné. Diskriminačná analýza určuje percento správneho zaradenia členov do jednotlivých zhlukov na základe klasifikačnej matice, pričom správnosť zaradenia je vypočítaná na základe porovnania zadefinovanej a vyrátanej príslušnosti k zhluku. Výpočet vzdialeností v diskriminačnej analýze je vytváraný na základe mahalabisovej vzdialenosti, ktorá je počítaná na základe korelácií medzi parametrami a je nezávislá od rozsahu hodnôt parametrov, pričom bunky sú vždy priradené k tomu zhluku, od ktorého centroidu ich delí najmenšia vzdialenosť.

Na záver boli pomocou výsledných zhlukov vyčlenené krajinoekologické jednotky Malých Karpat. Počas vyčleňovania výsledných krajinoekologických jednotiek boli súčasne brané do úvahy aj výsledky diskriminačnej analýzy. Pri vyčleňovaní samotných transektov, ktoré sú primárnym cieľom regionalizácie, boli brané do úvahy aj informácie o krajinej pokrývke a na základe porovnania s ortofoto snímkami boli vylúčené tie bunky, ktoré sú tvorené: urbanizovanými a technizovanými areálmi; poľnohospodárskymi areálmi; krovinami alebo trávnatými porastmi; holinami a areálmi s nesúvislou vegetačnou pokrývkou; zamokrenými areálmi; a vodami. Transekty boli umiestňované tak, aby zachytávali čo najväčšiu heterogenitu územia, čím môže byť vytvorená charakteristika stanovištných podmienok čo najväčšieho počtu biotopov, ktoré sú typické pre Malé Karpaty.

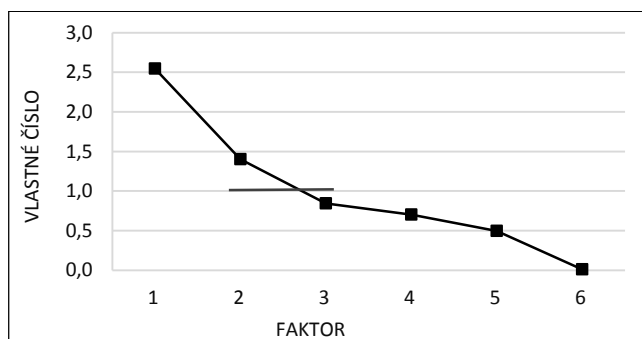
## Výsledky a diskusia

Na základe výsledku korelačnej matice (tab. 2) bola odstránená ako vstupná vrstva informácia o celoročnom oslnení reliéfu, pretože na 100 % korelovala s hodnotou oslnenia za vegetačné obdobie.

**Tab. 2.** Korelačná matica zobrazujúca tesnosť väzieb medzi jednotlivými atribútmi.

	nadmorská výška	sklon	celoročné oslnenie	oslnenie za vegetačné obdobie	TIV	zrážky	teplota
nadmorská výška [m n.m.]	1,00	0,35	0,09	0,09	-0,32	-0,19	-0,99
sklon [°]	0,35	1,00	-0,30	-0,34	-0,28	-0,39	-0,36
oslnenie1 [Kw/h]	0,09	-0,30	1,00	1,00	0,01	0,18	-0,02
oslnenie2 [kW/h]	0,09	-0,34	1,00	1,00	0,02	0,20	-0,03
TIV	-0,32	-0,28	0,01	0,02	1,00	0,23	0,31
zrážky [mm]	-0,19	-0,39	0,18	0,20	0,23	1,00	0,20
teplota [°C]	-0,99	-0,36	-0,02	-0,03	0,31	0,20	1,00

Na základe faktorovej analýzy bol určený ako ideálny počet faktorov, dva faktory, pretože ďalšie faktory mali hodnotu vlastného čísla menšiu ako 1 (obr. 2). Prvý faktor vysvetľuje 42% celkového rozptylu a druhý faktor 24% z celkového rozptylu, teda kumulatívny rozptyl pre oba faktory je 66%. Na základe tab. 3 je vidieť, že faktor 1 je najvýznamnejšie viazaný na nadmorskú výšku a teplotu v území a faktor 2 je najvýznamnejšie viazaný na sklon, zrážky a oslnenie.

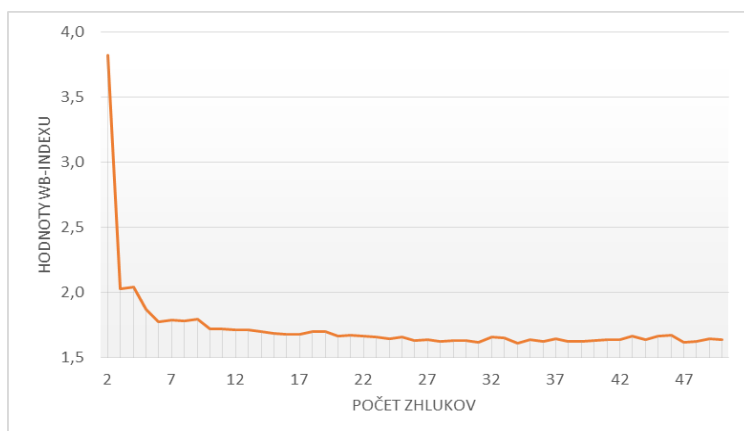


**Obr. 2.** Hodnoty vlastného čísla vo vzťahu k hodnotám faktorov s vyznačenou hodnotou optimálneho počtu faktorov

**Tab. 3.** Hodnoty faktorového skóre pre jednotlivé vstupné atribúty

atribúty	faktor	
	1	2
nadmorská výška	0,442569	0,104737
sklon	0,069727	-0,424720
TIV	-0,181777	0,124057
zrážky	-0,006408	0,401603
teplota	-0,429731	-0,073998
oslňenie počas vegetačného obdobia	0,206308	0,520579
vlastné číslo	2,544496	1,403412
celkový rozptyl	42,408260	23,390190
kumulatívny rozptyl	42,408260	65,798460

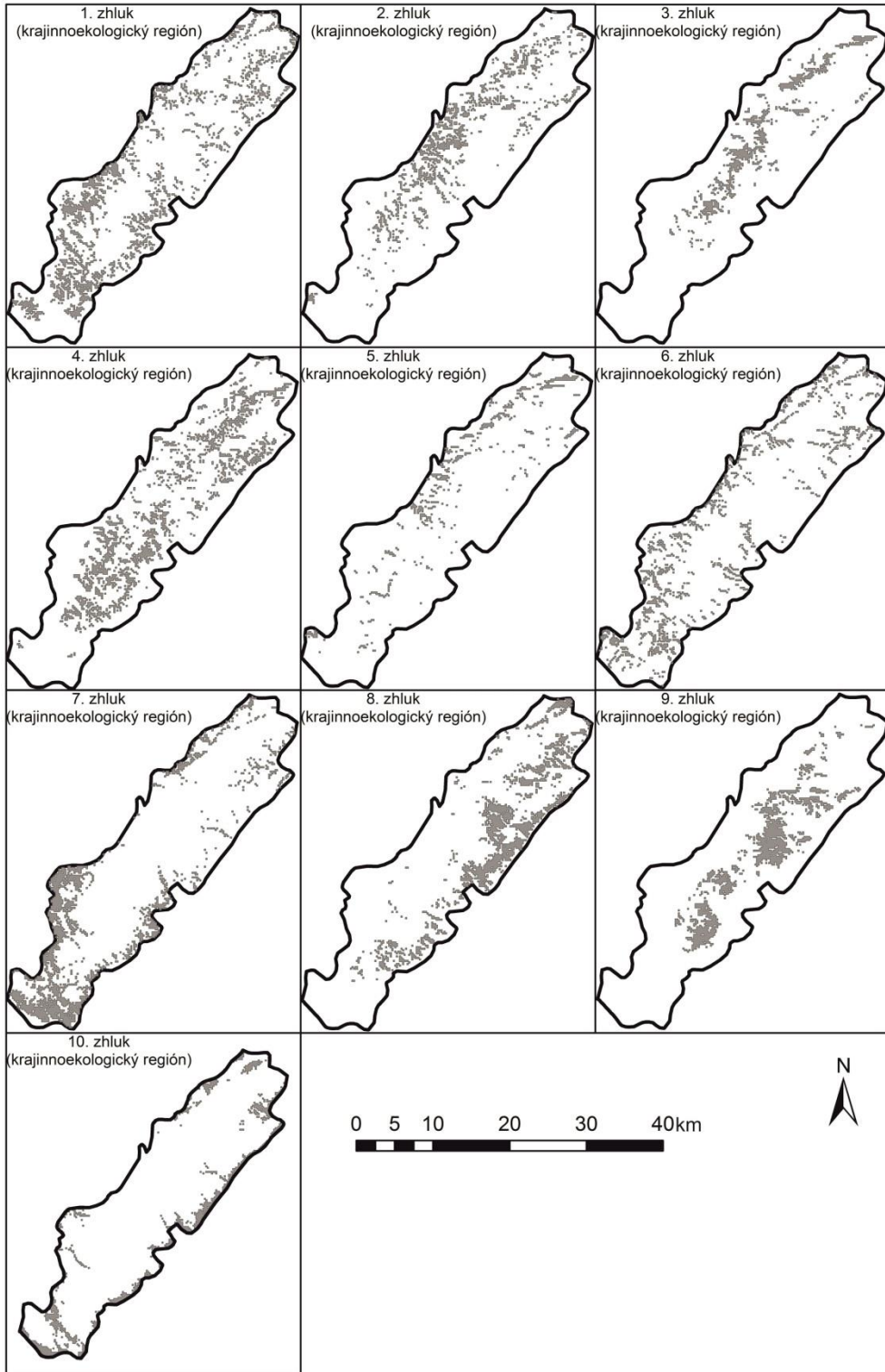
Na základe hodnôt WB-indexu je ideálny počet zhlukov možné stanoviť pre viaceré hodnoty (obr. 3), preto bolo potrebné pri stanovení optimálneho počtu zhlukov vychádzať aj z poznania územia a cieľov regionalizácie. Na základe detailného poznania krajiny a výpočtu diskriminačnej analýzy, ktorá stanovila väčšiu tesnosť väzieb pre 10 zhlukov ako pre 3 alebo 6 zhlukov, bol ideálny počet zhlukov (krajinnokoekologických jednotiek) pre dané územie stanovený na 10. Taktiež aj WB-index dosahuje svoje tretie minimum pre túto hodnotu. Výsledkom zhlukovej analýzy metódy k-priemerov je 10 zhlukov zobrazených v obr. 4 a podrobne opísaných v tab. 4.



**Obr. 3.** Ideálny počet zhlukov na základe WB-indexu s počtom zhlukov od 2 po 50

**Tab. 4.** Detailný opis vyčlenených krajinnokoekologických jednotiek s vyznačením rozsahu minimálnych a maximálnych hodnôt jednotlivých atribútov

Krajinnokoekologická jednotka	Nadmorská výška [m n. m.]	Sklon [°]	Oslňenie počas vegetačného obdobia [kW/h]	TIV	Zrážky [mm]	Teplota [°C]
1	283 – 470	6,8 - 25,5	849 - 944	od - 4,3 do 1,3	804 - 981	9,3 - 10,2
2	337 – 704	7,9 - 33,3	691 - 961	od -5,8 do 0,28	680 - 923	7,4 - 9,6
3	462 – 735	3,4 - 31,8	758 - 988	od -5,4 do 0,2	699 - 942	7,2 - 8,9
4	326 – 559	2,1 - 25,3	775 - 961	od - 5,3 do 1,3	720 - 974	8,2 - 9,6
5	214 – 695	15,6 - 34,6	543 - 838	od - 5,5 do - 0,1	675 - 897	7,4 - 10,2
6	175 – 448	6,3 - 26,8	679 - 928	od -5,2 do 0,7	704 - 946	8,8 - 10,7
7	146 – 348	0,9 - 20,6	732 - 921	od -4,6 do 2,3	748 - 983	9,3 - 10,8
8	220 – 486	1,1 - 18,6	782 - 935	od -4,8 do 1,9	770 - 998	8,7 - 10,2
9	381 – 708	1,2 - 21,3	807 - 970	od -4,7 do 1,6	773 - 983	7,4 - 9,3
10	116 – 329	0,5 - 14,1	795 - 908	od -3,2 do 4,7	782 - 1018	9,4 - 10,9



*Obr. 4. Výsledné krajinoekologické jednotky s ich podrobnou lokalizáciou v území*

Bunky v rámci každého zhľuku vytvárajú krajinnokoologické jednotky s najpodobnejšími vlastnosťami. Na základe obrázkov a tabuliek môžeme opísať jednotlivé krajinnokoologické jednotky. Krajinnokoologická jednotka č. 1 sa viaže najmä na svahy dolín, sporadicky sa viaže na vrcholové formy, ale len na tie, ktoré sú v nižších nadmorských výškach a majú východnú alebo južnú orientáciu. Krajinnokoologická jednotka č. 2 sa dominantne viaže na západne orientované svahy, najmä v najvyšších častiach pohoria. Krajinnokoologická jednotka č. 3 zaberá najvyššie časti územia a viaže sa najmä na rovinnaté formy v týchto častiach. Krajinnokoologická jednotka č. 4 zaberá územia na svahoch, pričom sa viaže hlavne na transportné svahy, kde dochádza k najväčšiemu pohybu materiálu a nedochádza tu k jeho výraznej akumulácii. Krajinnokoologická jednotka č. 5 sa taktiež viaže na svahy, ale tentoraz sú to svahy so severnou orientáciou, ktoré majú najmenšie množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia. Krajinnokoologická jednotka č. 6 sa vyskytuje v nižšej časti svahov a rovnako ako jednotka č. 1 sa viaže najmä na svahy dolín, avšak viaže sa najmä na severne a západne orientované protihľlé svahy. Krajinnokoologická jednotka č. 7 sa viaže na úpätné polohy Malých Karpát, kde dochádza k akumuláciám materiálov zo svahov a súčasne sú to aj najnižšie položené časti územia. Krajinnokoologická jednotka č. 8 sa viaže hlavne na východnú časť pohoria, na rovinnaté nižšie položené časti územia. Krajinnokoologická jednotka č. 9 sa viaže na vrcholové časti pohoria, hlavne do oblastí, kde sa vyskytujú svahy s väčším sklonom. Krajinnokoologická jednotka č. 10 sa viaže na najnižšie časti územia a na rovinnaté časti dolín, najmä na tie časti, kde sa vyskytujú nivy vodných tokov.

Krajinnokoologické jednotky sú vyčlenené tak, aby čo najlepšie zobrazovali morfometrické charakteristiky územia, a teda za hlavný prvok pri vyčleňovaní jednotiek môžeme považovať reliéf. Ten bol hlavným prvkom aj pri vyčleňovaní jednotiek, ktoré realizovali Miklos et al. (2002a), ktorí vyčlenili krajinnokoologické jednotky pre celé územie Slovenska na základe charakteristiky reliéfu, Leathwick et al. (2003), ktorí okrem morfometrických a klimatických charakteristík použili aj charakteristiky pôdotvorného substrátu, Castillo-Rodriguez et al. (2010), ktorí ale okrem geomorfologických charakteristík pridali aj charakteristiky pôd a využívania krajiny, Soto a Pintó (2010), ktorí okrem parametrov reliéfu pridali aj informácie o geológii, a Xu et al. (2014), ktorí okrem morfometrických charakteristík pridali aj hydrologické charakteristiky a charakteristiky pôdných pomerov.

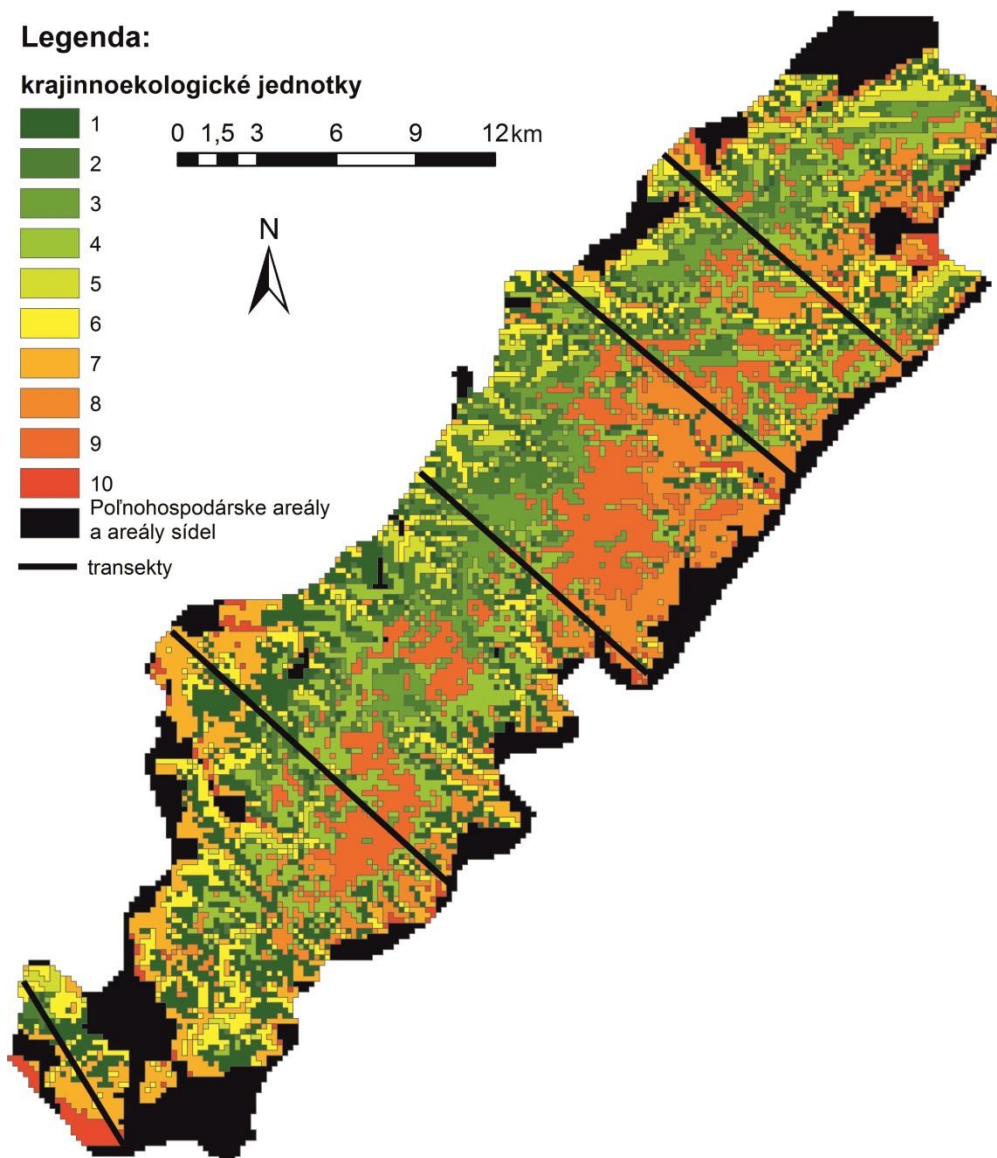
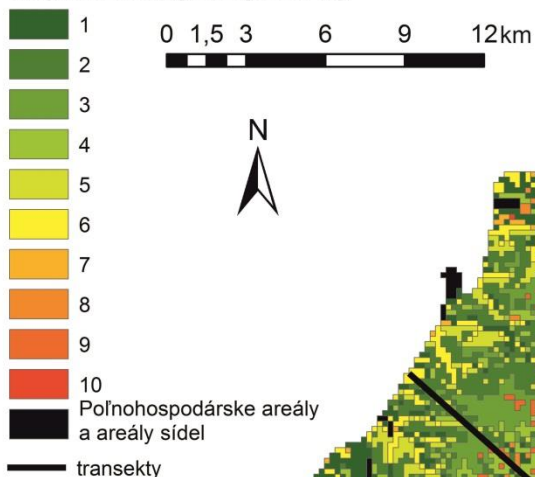
Pri porovnaní s už existujúcimi krajinnokoologickými jednotkami pre oblasť Malých Karpát vytvorených Miklosom et al. (2002a) je zásadný rozdiel v detailnosti oboch postupov, kedy Miklos et al. (2002) spracovali krajinnokoologické jednotky pre celé územie Slovenska, ďalší rozdiel je v tom, že autori využívali kvalitatívne dáta a postupy kvalitatívnej regionalizácie, pričom v tejto práci boli použité len kvantitatívne dáta a postupy kvantitatívnej regionalizácie.

Na základe diskriminačnej analýzy bola zistená celková presnosť 95,43 %, čo je v porovnaní s podobne zameranými prácami vyššia presnosť. Je to spôsobené najmä tým, že pri práci boli použité kvantitatívne údaje, pričom pri všetkých nižšie spomenutých prácach bol použitý minimálne jeden kvalitatívny údaj, ktorý znižuje presnosť regionalizácie. Bakhsh a Kanwar (2005) má výslednú presnosť 86 %, pri 36 vstupných areáloch, čo je oveľa menšie množstvo a nízka presnosť môže byť spôsobená najmä tým, že boli použité neupravené vstupné dáta. Soto a Pintó (2010), majú výslednú presnosť 86 %, čo môže byť spôsobené najmä tým, že v práci neboli použité len kvantitatívne charakteristiky ale aj kvalitatívne charakteristiky o geológii a potenciálnej prirodzenej vegetácii, čo znižuje výslednú presnosť štatistického spracovania údajov. Hessburg et al. (2000) dosiahli výslednú presnosť 89 %, čo je ale spôsobené najmä plochou územia, keďže regionalizácia bola aplikovaná na ploche 78 miliónov ha. Relatívne vysoká presnosť v práci je spôsobená najmä tým, že neboli použité žiadne kvalitatívne či semikvalitatívne dáta a súčasne ani dáta, ktoré by mali jednotky len na základe pomernej škály, ktoré boli použité vo všetkých vyššie spomenutých prácach. V prípade využitia kvalitatívnych dát v tejto štúdií by taktiež došlo k výraznému poklesu presnosti výstupov regionalizácie.

Návrh transektov je uvedený v obr. 5, kde je zobrazených päť vyčlenených transektov, ktoré zachytávajú čo najväčšiu heterogenitu územia, a teda by mali priniesť čo najdetailnejší pohľad na stanovištné podmienky a zachytiť čo najväčšiu heterogenitu biotopov v oblasti Malých Karpát. Každý transekt je umiestnený tak, aby zachytával minimálne 8 krajinnokoologických jednotiek. Krajinnokoologických jednotka č. 10 sa viaže na rovinnaté územia, ktoré sa vyskytujú na úpätí Malých Karpát a je reprezentovaná najmä sídelnými a poľnohospodárskymi areálmi, a teda sa v transektoch nevyskytuje.

## Legenda:

### krajinnoekologické jednotky



*Obr. 5. Lokalizácia transektov v rámci krajinnoekologických jednotiek s vyznačením buniek, ktoré nezapadajú do potenciálnych výskumných areálov*

## Záver

V práci je navrhnutá poloha transektov pre detailný geoekologický výskum na základe klasifikácie krajinnoekologických jednotiek pomocou viacrozmernej zhlukovej analýzy a typov krajinej pokrývky. To prináša nový pohľad na vyčleňovanie výskumných plôch na základe metód, ktoré kombinujú prácu s geografickými informačnými systémami, štatistiku a zároveň zmiernujú vplyv subjektívneho názoru autora. V práci je kladený dôraz na aplikáciu kvantitatívnych charakteristík, ktoré najvýznamnejšie ovplyvňujú stanovištné podmienky biotopov, a to sklon, teplota, zrážky, relatívna vlhkosť vyjadrená pomocou TIV, nadmorská výška a oslnenie. Vo väčšine prác sú výsledné krajinnoekologické



jednotky využívané ako podklad pre manažment krajiny (Hargrove a Hoffman 2005, Van Eertvelde a Antrop 2009, Soto a Pintó 2010). Celkovo bolo vyčlenených 10 krajinnoeologických jednotiek, v rámci ktorých bolo vyčlenených 5 transektov, z ktorých každý zachytáva každú krajinnoeologickú jednotku. Štúdia vytvára podklad pre ďalší výskum detailne zameraný na geoeologické stanovištné podmienky biotopov.

## Literatúra

- BAKSHSH, A., KANWAR, R. S. 2005: Spatial clusters of subsurface drainage water NO<sub>3</sub>-N leaching losses. *Journal of the American water resources association* 41, 333 – 341.
- BROWNE, R. P., MCNICHOLAS, P. D. 2012: Model-based clustering, classification, and discriminant analysis of data with mixed type. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 142, 2976 – 2984.
- BEVEN K. J., KIRKBY M. J. 1979: A physically based variable contributing area model of catchment hydrology. *Hydrological Science Bulletin*, 24, 43 – 69.
- CASTILLO-RODRÍGUEZ, M., LÓPEZ-BLANCO, J., MUÑOZ-SALINAS, E. 2010: A geomorphologic GIS-multivariate analysis approach to delineate environmental units, a case study of La Malinche volcano (central México). *Applied Geography*, 30, 629 – 638.
- ČECH, V., KUNÁKOVÁ, L. 2012: Geoeologický výskum a geoeologická databáza (na príklade katastrálneho územia obce Kolinovce). *Geografický časopis*, 64, 29 – 46.
- ČECH, V. 2010: Geoeologický výskum a geoeologická typizácia krajiny (na príklade krasovej planiny Slovinská skala). *Acta facultatis studiorum humanitatis et naturae Universitatis Prešovensis*, 16, 164 – 185.
- FERANEC, J., OŤAHEL, J. 1999: Mapovanie krajiny pokrývky metódou CORINE v mierke 1:50 000: návrh legendy pre krajiny programu Phare. *Geografický časopis*, 51, 19 – 44.
- FRIES, A., ROLLENBECK, R., NAUß, T., PETERS, T., BENDIX, J. 2012: Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152, 17 – 30.
- HARGROVE, W. W., HOFFMAN, F. M. 2005: Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environmental Management*, 34, 39 – 60.
- HARTIGAN, J. A. 1975: *Clustering algorithms*. New York (John Wiley & Sons).
- HEINO, J., MUOTKA, T., PAAVOLA, R., HÄMÄLÄINEN, H., KOSKENNIEMI, E. 2002: Correspondence between regional delineations and spatial patterns in macro invertebrate assemblages of boreal headwater streams. *Journal of the North American Benthological Society*, 21, 397 – 413.
- HESSBURG, P. F., SALTER, R. B., RICHMOND, M. B., SMITH, B. G. 2000: Ecological subregions of the interior Columbia Basin, USA. *Applied Vegetation Science*, 3, 163 – 180.
- CHORLEY, R. J., HAGETT, P. 1967: *Models in geography*. London (Methuen).
- JENERETTE GD, LEE J, WALLER DW, CARLSON RE 2002: Multivariate analysis of the ecoregion delineation for aquatic systems. *Environ Manage*, 29, 67 – 75.
- KROUPOVÁ, V. 1976: Komplexný fyzickogeografický profil a náčrt regionalizácie profilového územia v Malých Karpatoch. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographico-physica*, 2, 47 – 105.
- LEATHWICK, J. R., OVERTON, J. M. C. C., LEOD, M. M. C. 2003: An Environmental Domain Classification of New Zealand and Its Use as a Tool. *Conservation Biology*, 17, 1612 – 1623.
- MIČIAN, L. 2008: *Všeobecná geoeológia*. Bratislava (Geografika), 88 p.
- MIČIAN, L., PLESNÍK, P. 1981: Fyzickogeografická regionalizácia Borskej nížiny. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, 19, 249 – 267.
- MIKLÓS, L., KOČICKÁ, E., KOČICKÝ, D. 2002a: Krajinnoeologické komplexy. In *Atlas krajiny SR*, Bratislava (MŽP SR), Banská Bystrica (SAŽP).

- MIKLÓS, L., KOČICKÁ, E., KOČICKÝ, D. 2002b: Typy abiotických komplexov. In *Atlas krajiny SR*, Bratislava (MŽP SR), Banská Bystrica (SAŽP).
- MINÁR, J., et al. 2001: *Geoekologický (komplexný fyzickogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach. Geografické spectrum (3)*. Bratislava (Geografika), 212 p.
- RATKOVSKÝ, Š. 2013: Vyčleňovanie a typizácia geoekologických jednotiek jaskýň s využitím multivariačných štatistických metód. *Geografický časopis*, 65, 171 – 185.
- SERRA, J. M., CRISTOBAL, J., NINYEROLA, M. 2011: A Classification Procedure for Mapping Topo-climatic Conditions for Strategic Vegetation Planning. *Environmental Modeling & Assessment*, 16, 77 – 89.
- SOTO, S., PINTÓ, J. 2010: Delineation of natural landscape units for Puerto Rico. *Applied Geography*, 30, 720 – 730.
- VAN EETVELDE, V., ANTROP, M. 2009: A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium. *Landscape and Urban Planning*, 91, 160 – 170.
- WILLIAMS, C., HARGROVE, W., LIEBMAN, M., JAMES, D. 2008: Agro-ecoregionalization of Iowa using multivariate geographical clustering. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, 161 – 174.
- XU, X.-L., MA, K.-M., FU, B.-J., SONG, C.-J., LIU, W. 2008: Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. *Catena*, 75, 138 – 145.
- XU, C., SHENG, S., CHI, T., YANG, X., AN, S., LIU, M. 2014: Developing a quantitative landscape regionalization framework integrating driving factors and response attributes of landscapes. *Landscape and Ecological Engineering*, 10, 295 – 307.
- ZHAO, Q., XU, M., FRÄNTI, P. 2009: Sum-of-square based cluster validity index and significance analysis. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms*, 313 – 322.
- ZHAO, Q., FRÄNTI, P. 2014: WB-index: A sum-of-squares based index for cluster validity. *Data & Knowledge Engineering*, 92, 77 – 89.
- ZONNEVELD, I. S. 1995: *Land ecology*. Amsterdam (SPB Academic publishing).

### **Delineation of landscape units with using cluster analysis: The case study of Malé Karpaty Mountains**

Marián GÁBOR

**Summary:** *The aim of this paper is to delineate landscape units in the case study of Malé Karpaty Mountains in purpose to create a basis for assigning territories, where the detailed geo-ecological research of site conditions for biotopes could be realized. Delineation of landscape units is based on quantitative methodology of physical-geography regionalization. Input data for the process of regionalization include information about: elevation, slope, solar radiation for the whole year, solar radiation during growing seasons, topographic wetness index, temperature and precipitation. The methodology of landscape delineation process consists of five steps. Firstly, the strength of linkage between variables was determined based on correlation matrix. Secondly, the two factors based on factor analysis were determined which were constantly used in cluster analysis. Thirdly, an optimal number of clusters for k-means cluster analysis was computed based on WB-index and expert knowledge. Fourthly, the process of k-means cluster analysis celling into the landscape units was presented. The fifth step was to test the strength in procedure of grouping realized by discriminant analysis. Results of k-means cluster analysis are 10 landscape units, while the strength of the group-*

ing procedure was 95.43%, what are significant results. Transects' delineation was created by landscape units and expert knowledge. Areas specific by intensive agricultural activity (arable lands, vineyards), build-up areas (villages, towns, industrial areas and cottage areas) and areas with water surface, were excluded, as they are not interesting for detailed geo-ecological research of site conditions for biotopes. For the detailed geo-ecological research site conditions of biotopes five transects were delineated based on mentioned conditions.

**Tab. 1.** Input attributes used for regionalization with average, minimal and maximal values for individual attributes

**Tab. 2.** Correlation matrix showing strength of linkage between individual attributes

**Tab. 3.** Values of factors score for individual input attributes

**Tab. 4.** Detailed description of landscape delineation units with minimum and maximum value for individual landscape attributes

**Fig. 1.** Location of researched area

**Fig. 2.** Scree plot of eigenvalue values showing also the limit value for ideal number of factors

**Fig. 3.** Ideal numbers of clusters based on WB-index with number of clusters from 2 to 50

**Fig. 4.** Resulting landscape units based on k-means cluster analysis

**Fig. 5.** Location of transects for geo-ecological research with highlighted cells, which are not suitable for further geo-ecological research

---

**Adresa autora:**

Mgr. Marián Gábor  
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta  
Katedra fyzickej geografie a geoekológie  
Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4  
[gabor9@uniba.sk](mailto:gabor9@uniba.sk)