

RÓBERT PAZÚR, JÁN OŤAHEL, MARTIN MARETTA

## ANALÝZA PRIESTOROVEJ HETEROGENITY TRIED KRAJINNEJ POKRÝVKY V ODLIŠNÝCH PRÍRODNÝCH PODMIENKACH

**PAZÚR, R., OŤAHEL, J., MARETTA, M. (2012): Analysis of spatial heterogeneity of land cover classes in different natural conditions. Geografie, 117, No. 4, pp. 371–394.** – The aim of this paper is the analysis of landscape heterogeneity in different natural conditions by identification of the composition and spatial configuration of CORINE land cover classes on the 2<sup>nd</sup> classification level. The results of the analysis by spatial correlogram and more advanced multi-class indicator and semantic variogram pointed out the limitation of a binary (presence/absence) evaluation. Despite the differences, all approaches revealed that natural conditions determine the occurrence and compositions of land cover classes in different ways.

**KEY WORDS:** heterogeneity – natural landscape – auto-correlation – semantic – land cover.

Príspevok je jedným z výstupov dosiahnutých riešení vedeckého projektu č. 2/0018/10 „Časovo-priestorová analýza využívania krajiny: hodnotenie dynamiky zmien, fragmentácie a stability aplikáciou dátových vrstiev CORINE land cover“ v Geografickom ústave SAV za podpory grantovej agentúry VEGA.

### 1. Úvod

Ak predpokladáme, že krajinná pokrývka („land cover“) predstavuje zhmotnenie prírodných a socio-ekonomických vlastností krajiny, t.j. kontinuálnych, nehmotných priestorových javov, podlieha lokalizácia objektov (tried) krajinskej pokrývky určitým priestorovým zákonitostiam. Triedy krajinskej pokrývky takto chápeme ako základné jednotky krajiny (krajinskej štruktúry, landscape pattern). Skúmaním priestorovej závislosti jednotlivých tried krajinskej pokrývky v kvázi homogénnom prírodnom prostredí možno okrem celkovej kompozície identifikovať aj určitú špecifickú charakteristickú vlastnosť, najmä ak sa náš výskum zameriava na územia a triedy ležiace mimo určitého všeobecného trendu (odfahlých hodnôt). Skúmanie konfigurácie zasa prináša možnosti identifikácie faktorov vplývajúcich na lokalizáciu, alebo identifikáciu zmien v lokalizácii jednotlivých tried.

Heterogenitu krajiny môžeme vyjadriť a kvantifikovať pomocou priestorového usporiadania jej základných jednotiek. Dokazuje to množstvo (krajinných) metrík skúmajúcich usporiadanie a heterogenitu krajiny (McGarigal a kol. 2002) i rozdielnosť ich použitia (Uuemaa, Antrop, Marja 2009). So stupňujúcou sa dôležitosťou skúmania a vďaka jednoduchej „user-friendly“ aplikácii krajinných metrík sa výskum heterogenity krajiny stal súčasťou nielen všeobecného krajinoekologického výskumu (Wu 2004), ale napríklad aj urbanistických (Yeh, Huang 2009), geologických (Raines 2002), pedologických (Uuemaa a kol. 2008,

Wang a kol. 2009), botanických (Marsden a kol. 2002) alebo zoológických (de Beer, van Aarde 2008) štúdií. Veľký význam nadobúdajú krajinné metriky pri porovnávaní alternatívnych konfigurácií krajinných elementov (Botequilha-Leitão a kol. 2006). Väčšina týchto analýz však identifikuje heterogenitu na základe špecifickej kvantitatívnej vlastnosti (napríklad pôdy), alebo využíva charakteristiku výskytu – absencie (triedy krajinej pokrývky, geologické podložie) skúmaného javu. Charakteristika heterogenity, ako aj priestorový výskum sa tak často prezentujú na úrovni kategorických premenných, čoho dôsledkom je zjednodušovanie rozdielov medzi jednotlivými triedami (Ahlqvist, Shortridge 2010). Pri analýze dynamiky krajiny môžu kategorické premenné ovplyvniť explanáciu identifikovaných javov (Jansen, Veldkamp 2012). Dominancia kategorického vnímania sa odráža aj v hlavných axiómoch súčasnej krajinej ekológie (Botequilha-Leitão a kol. 2006). Častým javom je takisto použitie nerelevantných kategórií alebo kategórií, ktoré boli vytvorené na iné účely ako je výskumný zámer (Li, Wu, Hobbs 2007). Ponúkaným riešením je transformácia kategorických premenných pomocou špecifických atribútov na premenné spojité. Jednou z možností takejto transformácie je popis vlastností dátových štruktúr a prírodných konceptov (v literatúre uvádzaných tiež ako konceptuálny priestor, aproximačný priestor alebo domény). Jej cieľom nie je tvorba inej hierarchickej taxonómie, ale generovanie popisu vlastností, umožňujúceho kvantifikáciu ich prekrytia (Comber 2008). Príkladom je index kontrastnosti (Uuemaa a kol. 2008) kvantitatívne charakterizujúci príbuznosť dvojíc kategórií pôdnych typov na základe ich fyzikálnych vlastností. V prípade krajinej pokrývky sú však tieto fyzikálne vlastnosti spoločnosťou pretvorené (kultivované objekty) alebo vytvorené (umelé objekty), z čoho vyplýva náročnosť takejto transformácie. Väčší dôraz na atribúty samotných tried ako na ich názov zaviedli vo svojej klasifikácii napríklad Di Gregorio a Jansen (2000), popisujúci triedy krajinej pokrývky na základe skupiny nezávislých atribútov. Podľa autorov podlieha výber atribútov jasnej a systematickej diferenciacii, z čoho však vyplýva problém ich komplexnosti, t.j. snahy vybrať také atribúty, ktoré by s rovnakou váhou dokázali popísať všetky triedy klasifikačnej schémy krajinej pokrývky. Riešením môže byť práve modelovanie významnosti pomocou samotného váhovania jednotlivých vlastností (Ahlqvist 2004). Výskum heterogenity krajiny obvykle zovšeobecňuje určité závery na základe jedného, prípadne nízkeho počtu území. Častým nedostatkom pri výbere skúmaného územia je nezohľadnenie variability krajinného prostredia. Presná identifikácia rozdielnosti v heterogenite krajinných typov je preto kritickým limitom výskumu nielen v oblasti krajinej ekológie, ale aj v inak zameraných veľkomierkových výskumoch (Li, Wu, Hobbs 2007).

Cieľom tohto príspevku bolo analyzovať heterogenitu krajiny v rôznych prírodných podmienkach. Na základe výsledkov sme sa pokúsili identifikovať a zovšeobecniť vplyv prírodných podmienok na determináciu výskytu a priestorového usporiadania tried krajinej pokrývky. Výsledok analýzy priestorových dát závisí od spôsobu ich agregácie a lokality ich zberu (Uuemaa, Antrop, Marja 2009). Na dosiahnutie relevantných výsledkov sme preto využili okrem klasického kategorického priestorového hodnotenia tried krajinej pokrývky aj inovatívny významový prístup, kvantifikujúci množstvo a šírku prekrytia dvojice navzájom odlišných tried v rámci 56 reprezentatívnych území, homogénnych z hľadiska typu prírodnej krajiny.

## 2. Dáta a metódy

### 2.1. Krajinná pokrývka

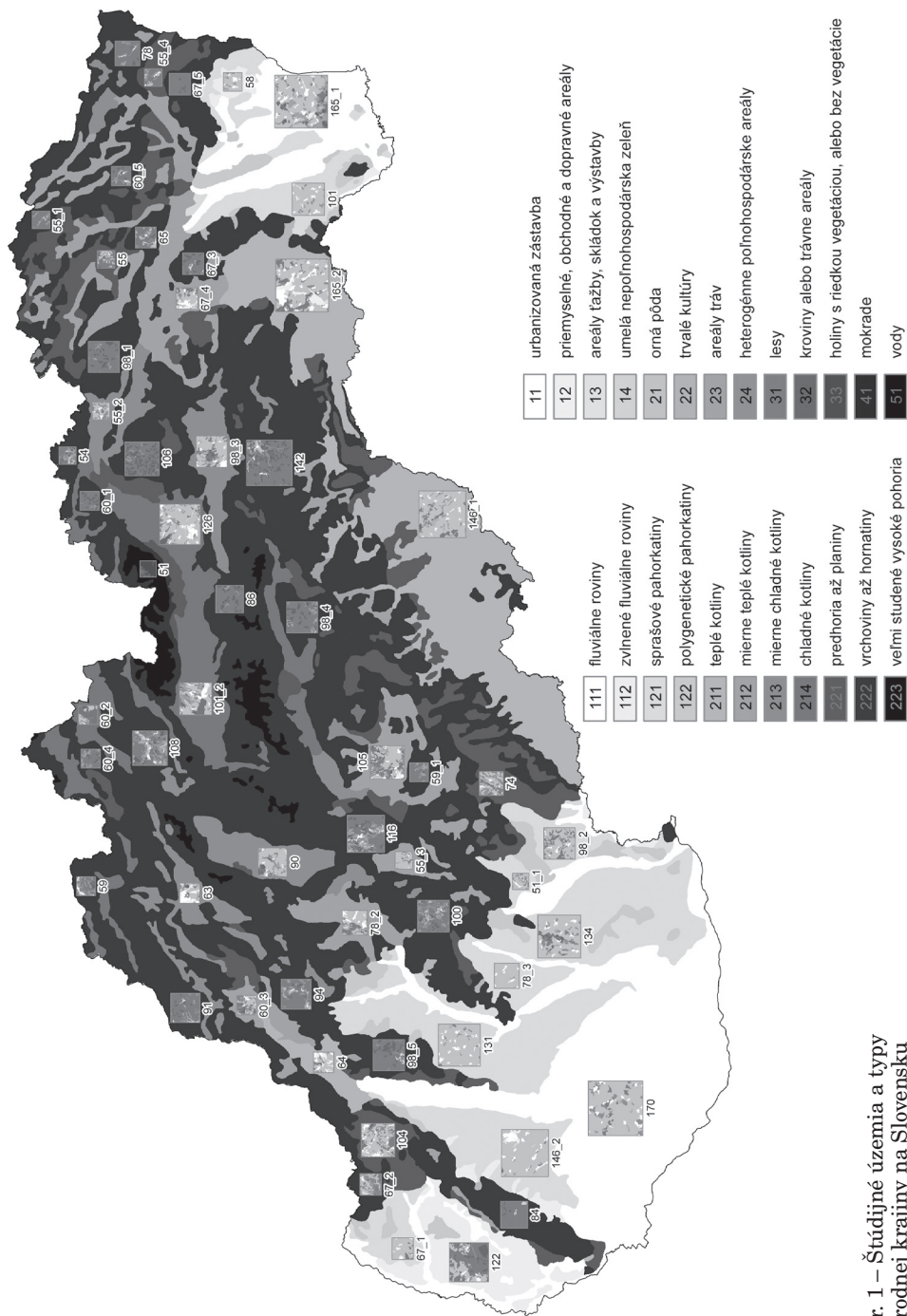
Krajinná pokrývka predstavuje zhmotnený priemet prírodných priestorových daností a využívania krajiny („land use“), pričom prírodné, modifikované a vytvorené objekty reálnej krajiny identifikujeme ako jeho fyzický stav (Oťaheľ a kol. 2004). Na identifikáciu a vymedzenie tried krajinnej pokrývky v tomto príspevku bola použitá vrstva krajinnej pokrývky vytvorená metódou *CORINE Land Cover* (CLC) reprezentujúca stav z roku 2006, ktorá pozostáva na Slovensku (na najnižšej – tretej úrovni) z 31 tried. CLC2006 vznikla kombináciou aktualizovanej dátovej vrstvy CLC2000 so zmenami identifikovanými na základe interpretácie multitemporálnych (z dvoch rôznych období) satelitných snímok. Významným podporným prostriedkom interpretácie boli takisto topografické mapy a letecké snímky. Z charakteristických vlastností CLC2006 je vhodné spomenúť, že mapované jednotky predstavujú areály s minimálnou rozlohou 25 ha a minimálnou integrovanou zmenou (oproti roku 2000) s rozlohou 5 ha. Detailná metodika tvorby dátovej vrstvy je dokumentovaná napríklad v prácach Heymann a kol. (1994); Bossard, Feranec, Oťaheľ (2000); Feranec, Oťaheľ (2001); Büttner a kol. (2004) a European Environmental Agency (2007). Na zvýšenie prehľadnosti boli jednotlivé triedy krajinnej pokrývky v rastrovej podobe generalizované zlúčením na druhú klasifikačnú úroveň (obr. 1).

### 2.2. Prírodná krajina

V súčasných podmienkach kultúrnej krajiny je identifikácia prírodnej krajiny (PK) rekonštrukciou prírodných podmienok, ktorá má blízko napr. k mapovaniu potenciálnej prirodzenej vegetácie (Tüxen, 1956; Michalko, Berta, Magic 1986). Geoekologickou analýzou (Minár a kol. 2001) prírodnej krajiny sa identifikujú kľúčové vlastnosti a synergické vertikálne vzťahy relevantných interagujúcich prvkov krajiny. Vytvorené priestorové jednotky s relatívne homogénnymi vlastnosťami (hlavne georeliéfovými, bioklimatickými a pôdnosubstrátovými) majú potenciál na adekvátne poľnohospodárske a lesohospodárske využitie (vyžívania krajiny / krajinná pokrývka) a boli predstavené prostredníctvom regionálnej taxonómie v mape prírodnej krajiny Slovenska (Mazúr a kol. 1977; Oťaheľ 2000; Oťaheľ, Pazúr 2009). Upravená verzia mapy prírodnej krajiny (Oťaheľ 2000) v mierke 1:500 000 má 27 tried klasifikovaných na štyroch hierarchických úrovniach, pričom v príspevku bola použitá treťourovňová klasifikácia s 11 odlišnými typmi prírodnej krajiny v dvoch hlavných kategóriách (obr. 1).

### 2.3. Skúmané územia

Jedným z predpokladov úspešnej implementácie priestorových metód je dostatočná veľkosť a správna lokalizácia územia. Kritický význam pri diferenciacii krajinnej štruktúry však majú aj prírodné dispozície týchto lokalít (Balej, Anděl 2011). V našom prípade predstavujú skúmané územia 56 štvorcových areálov, lokalizovaných takmer (okrem jedného) vo všetkých typoch prírodnej krajiny



Obr. 1 – Študijné územia a typy prírodnej krajiny na Slovensku

Slovenska. Výnimku tvorí typ polygenetických pahorkatín (PK 122) pokrývajúci iba 1,67 % celkovej rozlohy Slovenska. Celkovú početnosť území stanovila metodika, na základe ktorej sme sa pokúšali v 50metrových intervaloch pomocou pohybujúceho sa okna („moving window“) lokalizovať v rámci každého polygónu dátovej vrstvy prírodnej krajiny územia v tvare štvorca s maximálnou možnou veľkosťou hrany. V snahe zamedziť nepresnostiam lokalizácie typu prírodnej krajiny v dôsledku mierky vstupnej dátovej vrstvy prírodnej krajiny (1 : 500 000), bola vzdialenosť každého skúmaného územia od hranice typu prírodnej krajiny stanovená na minimálne 500 metrov. Vzhľadom na rozlíšenie dátovej vrstvy *CORINE Land Cover* (CLC) bola takisto prijatá podmienka minimálnej veľkosti hrany takto zostrojeného územia 5 km. Nazdávame sa totiž, že na takejto úrovni je možné zachytiť krajinnú štruktúru v danom prírodnom type. Nevýhodou uvedeného postupu selekcie je vplyv odlišnej veľkosti územia na výsledky celkovej analytického postupu. Naopak, veľkou výhodou, ktorú táto metodika zohľadňuje, je možnosť komplexného zachytenia konfigurácie tried krajinej pokrývky v homogénnych (z hľadiska prírodných podmienok) územiach jednotného (štvorcového) tvaru. Pre komparabilitu bola limitovaná takisto veľkosť hrany štvorcového územia lokalizovaného v Podunajskej nížine na 17 km. Metodickú výnimku výberu predstavuje lokalizácia skúmaných území v type vrchovín až hornatín (PK 222) pokrývajúcего až 38,5 % rozlohy Slovenska. Lokalizácia primeraného množstva skúmaných území stanovenou metódou v tomto type prírodnej krajiny by totiž nebola možná pre dominanciu jediného spojitého areálu tvoriaceho až 76,8 % jeho celkového podielu. V tomto prípade boli skúmané územia lokalizované s ohľadom na dostatočnú vzájomnú vzdialenosť a pravidelnosť priestorovej distribúcie. Vzhľadom na celkovú početnosť území budeme získané výsledky pre daný prírodný typ považovať za reprezentatívne. Na dosiahnutie prehľadnosti sa preto snažíme cielene vyhnúť ich konkretizácii. V niektorých prípadoch (porovnanie, zvýraznenie špecifickosti) však považujeme ich konkretizáciu za žiaducu. Podrobné znázornenie území a výsledkov spojených s ich analýzou sme preto sprístupnili interaktívne na webovej stránke <http://www.geography.sav.sk/sk/personal/pazur/analysis/mapa.html>.

#### 2.4. Hodnotenie priestorovej heterogenity

V prípade binárnej schémy výskytu/absencie skúmanej triedy sme priestorovú závislosť a vplyv vzdialenosti jednotlivých tried krajinej pokrývky kvantifikovali na základe Moranovho I indexu (MI indexu). Tento azda najpoužívanejší index priestorovej autokorelácie predstavuje štandardizované priestorové vyjadrenie nepriestorového koeficientu korelácie medzi skúmanými hodnotami v určitých úrovniach susedstva (O'Sullivan, Unwin 2002; Shortridge 2007) vyjadrujúc tak zhlukovitosť, rozptýlenosť alebo náhodnosť skúmaného javu. Z hľadiska interpretácie indikujú kladné hodnoty MI indexu celkovú pozitívnu závislosť a záporné hodnoty celkovú negatívnu závislosť skúmaného javu, pričom o dokonalej pozitívnej, resp. negatívnej závislosti možno hovoriť pri hodnotách blízkych  $\pm 1$ . Absenciu akejkoľvek priestorovej závislosti, t. j. náhodnosť skúmaného javu, zasa vyjadruje hodnota blízka 0. Kým horný a dolný limit tohto indexu závisí od celkovej konfigurácie použitých váh, hodnota



vyjadrujúca náhodnosť závisí od hodnoty  $n$  (de Smith, Goodchild, Longley 2009) v našom prípade počtu buniek rastra vstupujúcich do výpočtu. Matica váh pre výpočet MI indexu sa v našom prípade opiera o tzv. binárnu štruktúru reprezentujúcu bunky hodnotami rôznymi od nuly v prípade, ak ich vzájomná vzdialenosť je nižšia ako vopred stanovená prahová hodnota. Zmenami prahových hodnôt tak možno prostredníctvom korelogramu skúmať distribúciu jednotlivých tried na rôznych vzdialenostiach. Pre každé skúmané územie boli vytvorené korelogramy na 22 rôznych úrovniach prahovej, resp. separačnej euklidovskej vzdialenosti od 200 do 2600 metrov (200, 250–500, 600–1400, 1600–2600). Na dosiahnutie prehľadnosti sme aplikovali jednoduchú metriku polovičnej vzdialenosti:  $hI = 0,5$  (Uemaa, Antrop, Marja 2008) identifikujúcu vzdialenosť, pri ktorej hodnota MI indexu klesne pod 0,5 (v našom prípade index  $MI_{0,5}$ ), doplnenú o prahové hodnoty MI indexu 0,4 a 0,6 (indexy  $MI_{0,4}$  a  $MI_{0,6}$ ). V prípade vybraných tried boli výsledné hodnoty indexov spracované pomocou hierarchickej klastrovej analýzy na základe euklidovskej vzdialenosti jednotlivých tried krajinnej pokrývky v 4 klastroch definovaných prostredníctvom Wardovej metódy. Vizualizácia hierarchie roztriedenia týchto klastrov pomocou dendrogramu bola doplnená o priemerné hodnoty kofenetického korelačného koeficientu vyjadrujúceho hodnoty korelácie medzi maticou euklidovských vzdialeností a maticou vzdialeností identifikovaných dendrogramom. Hodnoty kofenetického korelačného koeficientu boli následne priemerované pre každé skúmané územie, na ktorom sa daná trieda nachádzala. Obdobným spôsobom využili tieto metódy Balej a Anděl (2011), ktorí na základe hierarchickej klastrovej analýzy krajinných metrick typizujú okresy na území Česka. Na explanáciu priestorových charakteristík jednotlivých tried krajinnej pokrývky boli použité aj jednoduché krajinné metriky identifikujúce početnosť areálov danej triedy krajinnej pokrývky a koeficient variácie veľkosti areálov danej triedy krajinnej pokrývky normalizujúci štandardizovanú odchýlku veľkosti areálov pomocou ich priemernej veľkosti. Podľa McGarigala a Marksa (1995) je práve veľkosť areálov často najdôležitejšou a najužitočnejšou informáciou, ktorú je možné pomocou krajinných metrick získať, pričom vysokú výpovednú schopnosť dosahuje aj štatistika druhého rádu (Botequilha-Leitão a kol. 2006) akou je koeficient variácie veľkosti areálov danej triedy krajinnej pokrývky. Navyše, medzi týmito metrikami a zmenou mierky neexistuje štatisticky opísateľný vzťah (Pazúr, Oťaheľ, Hurbánek 2010). Iným komplexnejším riešením hodnotenia je modifikácia pôvodne binárneho indikátorového variogramu (Goovaerts 1997) v súlade s prácou Ahlqvist a Shortridge (2006), charakterizujúca priestorovú variabilitu všetkých tried vyskytujúcich sa na určitom území pomocou jednej funkcie. Aj keď autori sami hodnotia takúto modifikáciu pre štandardnú geoštatistiku („kriging“) ako nevhodnú, veľký potenciál vidia práve v jej využití pri deskripcii priestorovej heterogenity krajiny.

## 2.5. Identifikácia významových vzdialeností

Aj keď pri väčšine analýz je binárna schéma (výskyt/absencia) postačujúca, v prípade skúmania tried krajinnej pokrývky sa tak často informácie o skutočnej heterogenite stráca. Vhodným nahradením jednotlivých tried hodnotami kvantifikujúcimi ich popisné vlastnosti možno dospieť k presnejšej charakteristike

rozsahu ich vzájomnej rozdielnosti. Práve identifikácia významovej konzistentnosti je podľa Gärdenforsa (2000) a ďalších (Ahlqvist 2004) kľúčová pri vnímaní a osvojovaní si danej kategorizácie. Významová podobnosť tak môže byť hodnotená na základe aplikácie prieniku alebo rozdielu vlastnosti medzi dvoma kategóriami, pričom každou z týchto vlastností je možné charakterizovať akúkoľvek kategóriu vyskytujúcu sa v danom hodnotení. V našom prípade sú tieto vlastnosti vo formáte významovej vyhľadávacej tabuľky prevzaté z práce Combera (2008), ktorý tieto tzv. dátové znaky (data primitives) aplikuje s cieľom štatisticky oddeliť koncepty využívania krajiny a krajinnej pokrývky. Dátové znaky, dimenzie alebo merania v tomto prípade vyčleňujú a popisujú skúmaný objekt s cieľom kvantifikácie množstva vzájomného významového prekrytia jednotlivých tried. Triedy krajinnej pokrývky sú tak v súlade s týmto autorom charakterizované pomocou 14 dimenzií:

1. prirodzenosť – do akej miery ide o prirodzene sa vyskytujúcu triedu alebo výsledok ľudskej aktivity
2. výška vegetácie – minimálna výška vegetácie v metroch
3. vegetačná pokrývnosť – minimálne percento vegetačného pokryvu
4. homogenita vzhľadu
5. sezónnosť – do akej miery má trieda sezónny, resp. trvalý charakter
6. štruktúrnosť – komplexnosť vegetačnej štruktúry
7. vlhkosť – závislosť triedy od špecifických vlhkosťných podmienok
8. produkcia biomasy – množstvo energie v danej triede viazanej prostredníctvom fotosyntézy
9. ľudská činnosť – množstvo ľudskej aktivity v danej triede
10. narušenie ľudskou činnosťou – rozsah narušenia triedy aktivitami spojenými s ľudskou činnosťou
11. ekonomická hodnota – ekonomická významnosť triedy – rozsah ziskovosti a nákladov, produkcia úrody spojená s obživou
12. produkcia úrody spojená so živočíšnou produkciou
13. umelosť – rozsah umelo vytvoreného povrchu v skúmanej triede.

Informácia o významovej podobnosti každej dvojice tried krajinnej pokrývky je generovaná na základe štatistického vyhodnotenia expertného pridelovania skóre jednotlivým atribútom v rozmedzí od 0 (absencia) po 9 (úplné členstvo). Výsledné hodnoty pritom upravuje aj váha jednotlivých atribútov v danej triede v rozmedzí hodnôt 0 až 1 (s minimálnou možnou zmenou o jeden desatinný bod). Kým atribúty s poradovým číslom 1 až 7 identifikujú triedy krajinnej pokrývky z hľadiska fyzického stavu krajiny, vlastnosti s poradovým označením 8 až 14 skúmajú povahu využívania jednotlivých tried. Z pohľadu fuzzy logiky môže vzostupne zoradené skóre jednotlivých vlastností priradené na základe expertného hodnotenia vytvárať tzv. fuzzy intervaly charakteristické ohraničujúcim párom hodnôt (L,R) a parametrami definujúcimi tzv. jadro („core“) a podporu („support“). Celkové vyhodnotenie vzájomnej významovej vzdialenosti jednotlivých tried krajinnej pokrývky sa opiera o identifikáciu konceptuálnej vzdialenosti (Ahlqvist 2004).

Váhovanie jednotlivých faktorov bolo založené na alokačnej metóde, kde celkový súčet váh všetkých ukazovateľov pri danej triede krajinnej pokrývky dosahoval hodnotu 1. Celková významová vzdialenosť skúmanej dvojice tried pritom vyplýva z agregácie pomocou uvedeného vzťahu a tvorí bunku vo

štvorcovej významovej matici rozmerovo definovanej množstvom skúmaných tried na danom území.

Aj keď modifikáciou indikátorového variogramu možno celkovú priestorovú heterogenitu na určitom území čiastočne identifikovať pomocou jednej krivky, binárna povaha jednotlivých tried multilaterárne zohľadnená v tomto ukazovateli zákonite znižuje jeho analytické schopnosti. Hodnotenie heterogenity vybraných území sa preto v našom príspevku zakladá aj na analýze variácie významových vzdialeností pomocou tzv. významového variogramu (Ahlqvist 2004). Hoci významový variogram na indikátorový prístup čiastočne nadväzuje, v tomto prípade sa analýza závislosti a kontrastnosti usporiadania tried krajinej pokrývky opiera o poznanie významových vzťahov medzi jednotlivými triedami.

### 3. Výsledky a diskusia

#### 3.1. M I i n d e x

Rozloha skúmaných území predstavovala 10 % z celkovej rozlohy Slovenska. Na nami skúmaných prahových vzdialenostiach sa hodnoty MI indexu pohybovali v rozmedzí od 0,09 až 0,81. Okrem proporcie vplývala na hodnotu tohto indexu aj lokalizácia sledovaného indikátora v rámci vymedzeného územia. V prípade jeho lokalizácie v bezprostrednej blízkosti hranice územia ovplyvňoval hodnoty skúmaných indexov tzv. okrajový efekt („edge effect“).

V prípade urbanizovanej zástavby (11) ovplyvnila odlišná veľkosť sledovaných území kompozične najmä početnosť areálov tried krajinej pokrývky (obr. 2). Priemerné hodnoty koeficientu variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky však dosahovali práve najmenšie územia lokalizované v mierne teplých kotlinách až horských územiach. Výskyt tejto triedy sme zaznamenali až na 46 sledovaných územiach. Výraznou podobnosťou boli charakteristické územia ležiace v nížinných a kotlinových typoch prírodnej krajiny. Charakter heterogenity tejto triedy narušali územia s jej nízkym podielom v spojení s výskytom menej koncentrovaných plôch indikovaných prekročením prahovej hodnoty  $MI_{0,6}$  v rozsahu vzdialenosti 200 až 250 metrov. Výskyt menej koncentrovaných plôch tejto triedy indikuje prekročenie prahovej hodnoty  $MI_{0,6}$  v rozsahu vzdialenosti 200 až 250 metrov. Naopak, výraznejšiu kompaktnosť urbanizovaných areálov regionálneho významu identifikujú vyššie hodnoty tohto indexu (400 až 500 metrov). Významnosť kotlinových typov prírodnej krajiny na Slovensku z pohľadu lokalizácie urbanizovaných celkov dokazujú okrem početnosti areálov aj vysoké hodnoty koeficientu variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky indikujúce vysokú variabilitu vo veľkosti areálov (Cushman, McGarical, Neel 2008). Sledovaním indexov s viacerými prahovými hodnotami je možné presnejšie identifikovať priestorové väzby. Dokazuje to rozdielnosť indexov  $MI_{0,5}$  a  $MI_{0,4}$  v prípade území s označením u\_98\_3 a u\_126 vyznačujúcich sa zhodnými hodnotami  $MI_{0,6}$ . Vyššia vzdialenosť prekročenia  $MI_{0,5}$  a  $MI_{0,4}$  na území u\_98\_3 identifikuje zhlukovitejšiu formu zástavby s menším počtom areálov, a to aj napriek tomu, že na území u\_126 bol celkový podiel rozlohy zastavaných plôch podstatne väčší. Územie u\_98\_4 zasa dokazuje, že okrem podielu tried krajinej pokrývky má dôležitý vplyv na hodnotu skúmaných indexov aj ich lokalizácia

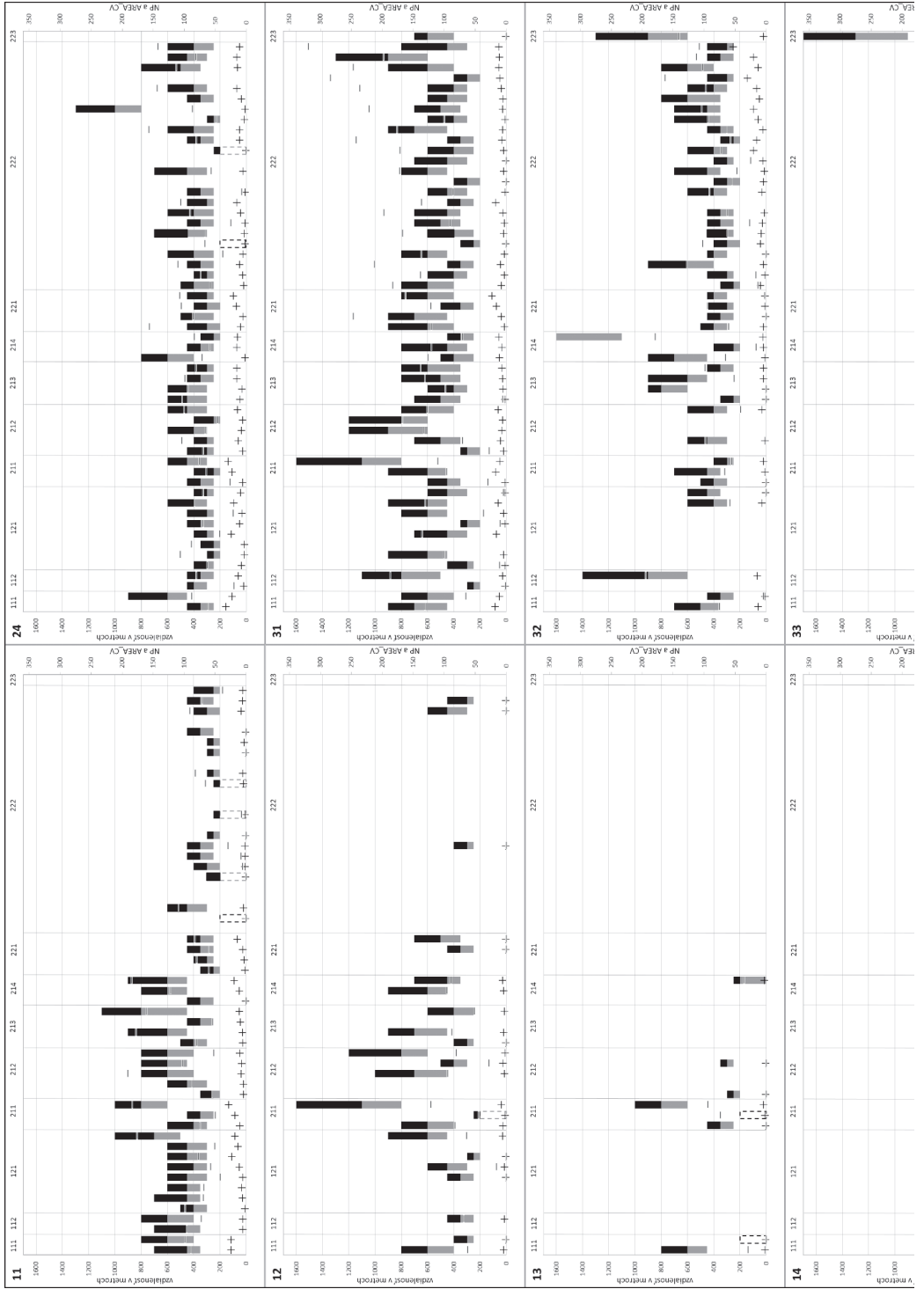


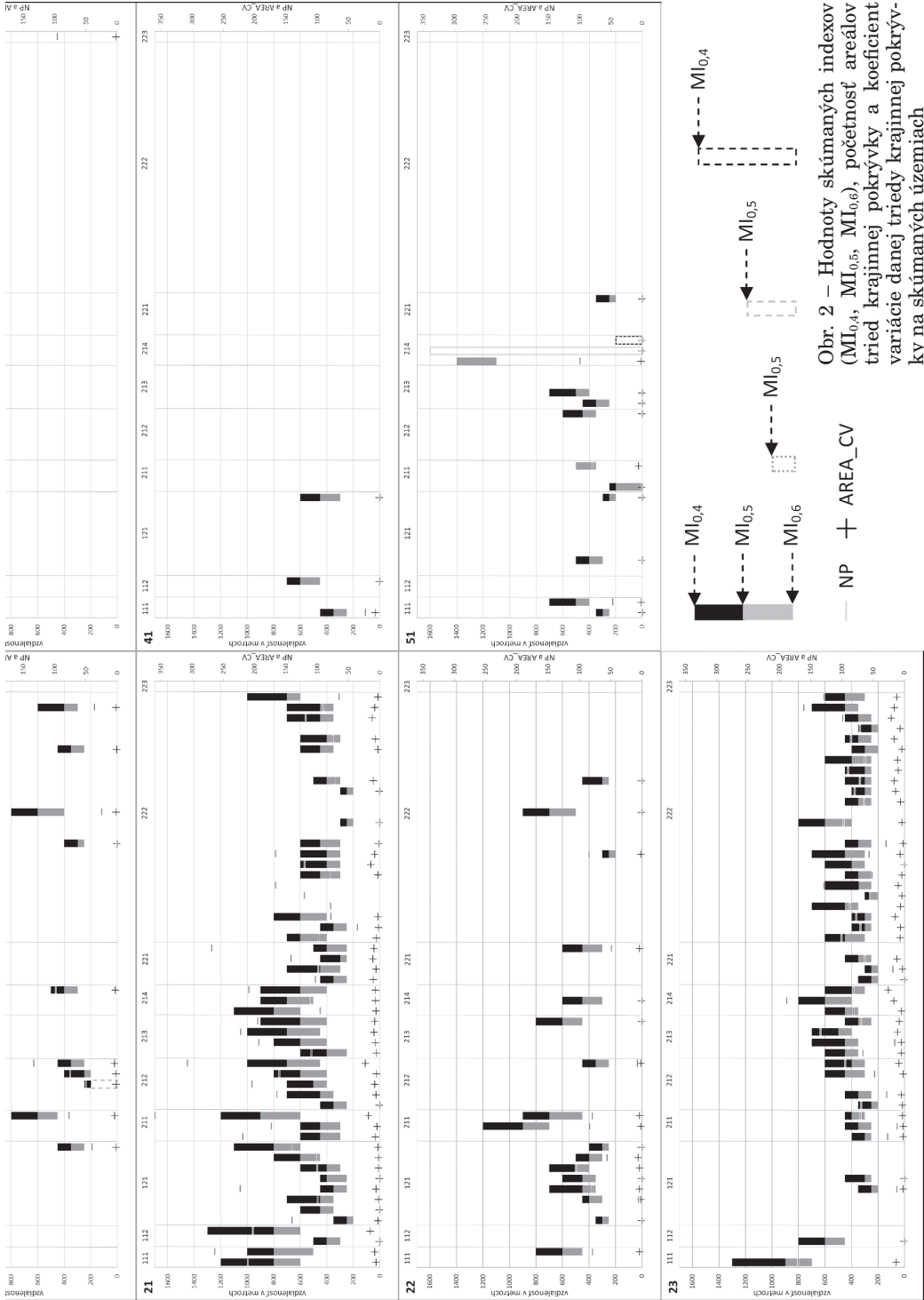
v rámci sledovaného územia. Okrajový efekt možno v súlade s prácou Shortridge (2007) do určitej miery považovať za dôsledok minimalizácie dĺžky hraníc medzi rozdielnymi bunkami, v tomto prípade zastavanými a nezastavanými plochami. Nízke hodnoty indexov a sledovaných metrík (početnosť areálov tried krajinej pokrývky, koeficient variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky) v ostatných typoch prírodnej krajiny (PK 221, 222, 223) odrážajú morfológiu a koncentráciu výskytu zastavaných plôch takmer výlučne pozdĺž vodných tokov. Nízke hodnoty indexov boli charakteristické aj pre prvý a druhý klastor (obr. 3), tvorený prevažne horskými územiaми (PK 221, 222). Dokazujú to vysoké priemerné hodnoty kofenetického korelačného koeficientu. Významnosť kotlinových typov z pohľadu tejto triedy krajinej pokrývky charakterizuje zastúpenie týchto území v poslednom, štvrtom klastri.

Morfometria kotlín determinuje koncentráciu a pestrosť využitia krajiny prejavujúcu sa v zvýšenej pravdepodobnosti výskytu danej triedy v nami vybraných územiach. Dôkazom je početnosť území s výskytom priemyselných areálov (subtrieda areálov priemyslu, obchodu a dopravy) v slovenských kotlinách (typ PK 211, 212, 213, 214). V porovnaní so zastavanými plochami mali hodnoty a rozsah skúmaných indexov v tomto prípade zostupnejší charakter. Iné ako priemyselné (komercia, transport) využitie identifikovali len územia s nižšími hodnotami indexov. Okrem priemyselných komplexov v blízkosti väčšej koncentrácie zastavaných plôch táto trieda krajinej pokrývky v predhoriach až pohoriach (PK 221, 222, 223) značne absentovala.

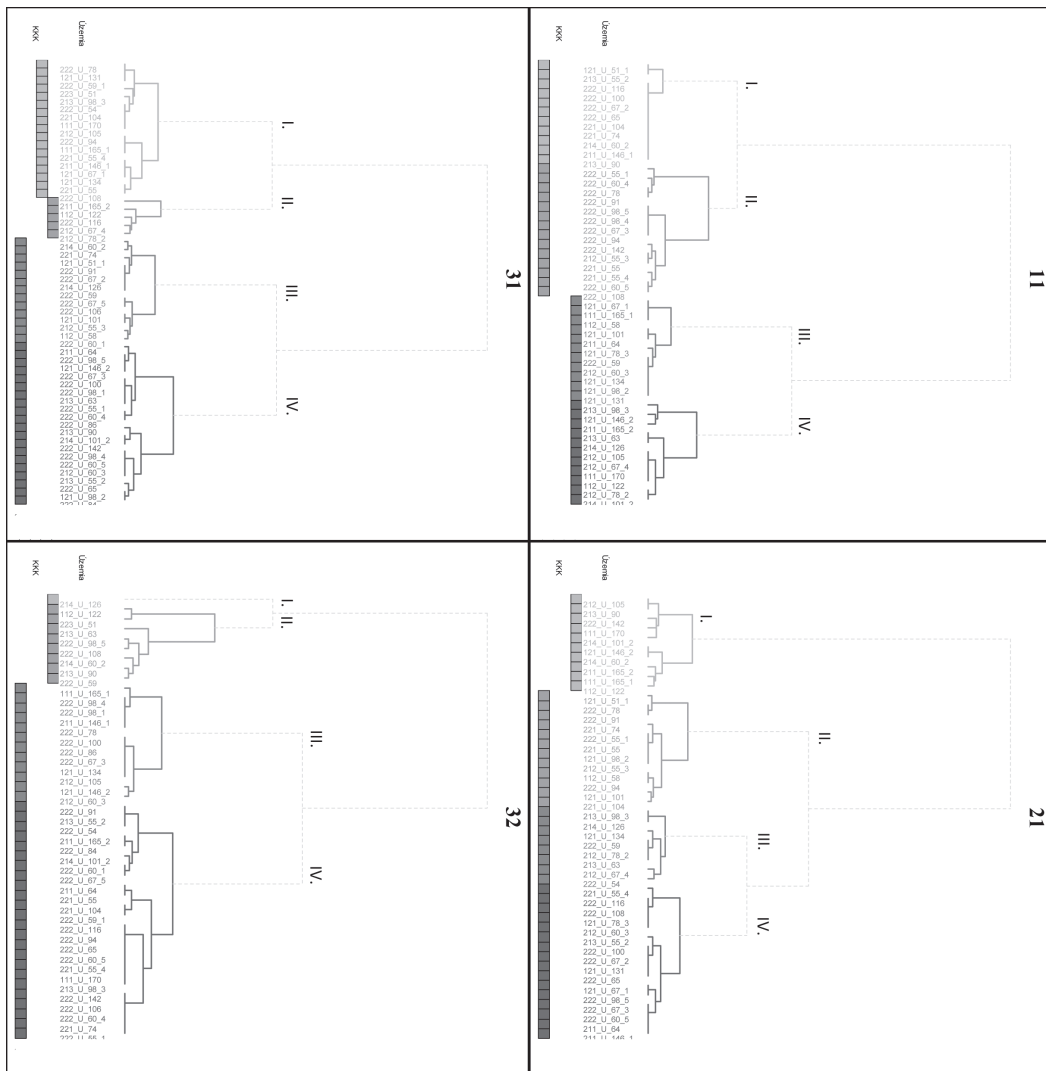
Ojedinelý bol aj výskyt ostatných tried krajinej pokrývky reprezentujúcich umelé povrchy (13, 14). Až na jednu výnimku sa výskyt areálov ťažby, skládok a výstavby (13) generalizoval výhradne na kotlinové typy prírodnej krajiny. Výraznú autokoreláciu dosahovala trieda krajinej pokrývky reprezentujúca umelú nepoľnohospodárska (sídlnú) zeleň (14) najmä v kotlinách.

Početný výskyt bol zaznamenaný aj v prípade areálov ornej pôdy (21). Kontrastne k územiám s vysokou kompaktnosťou a nízkym počtom areálov tried krajinej pokrývky pôsobia územia vrchovín až hornatín charakteristické nízkym počtom areálov a nízkym podielom na celkovej rozlohe. Práve táto trieda krajinej pokrývky však dokazuje, že výrazná dominancia podielu nemusí explicitne znamenať vysoké hodnoty indexov. Dôležitú úlohu pri priestorovom hodnotení zohrávalo usporiadanie lokalít absencie, ktoré v prípadoch vysokého zastúpenia skúmanej triedy krajinej pokrývky vytvárali pravidelné menej zhlukovité formy a narúšali tak celkovú homogenitu jej výskytu. Ak by výskyt ornej pôdy v niektorých častiach týchto území výraznejšie absentoval, hodnoty indexov by boli oveľa vyššie. Typicky poľnohospodárska krajina sprašových pahorkatín až mierne teplých kotlín (PK 121, 211, 212), charakteristická výraznou dominanciou ornej pôdy, tak vo väčšine prípadov vykazovala len nízke hodnoty indexov. Najviac reprezentatívny ukazovateľ bol v tomto prípade index  $MI_{0,4}$ , na ktorého hodnotu vplývala rozdielnosť priestorovej distribúcie území azda najcitlivejšie. Vyrovnannejšie pôsobia hodnoty indexov na územiach z ostatných kotlinových typov prírodnej krajiny. Tak, ako pri iných triedach krajinej pokrývky zastúpených v týchto typoch prírodnej krajiny bolo dôvodom spomínané funkčné rozčlenenie územia, podmienené jeho samotnou morfológiou. Vplyv prírodných podmienok sa výrazne prejavil aj v typoch prírodnej krajiny 221, 222, 223, kde orná pôda buď celkovo absentovala, alebo bola reprezentovaná menej kompaktnými areálmi. Aj keď na územiach s vyššími hodnotami





Obr. 2 – Hodnoty skúmaných indexov (MI<sub>0.4</sub>, MI<sub>0.5</sub>, MI<sub>0.6</sub>), početnosť areálov tried krajinnej pokrývky a koeficient variácie danej triedy krajinnej pokrývky na skúmaných územiach



Obr. 3 – Hierarchické klastre území vytvorené na základe vybraných tried krajiny pokrývky. Územia uvádzame vo formáte „typ prírodnej krajiny\_označenie územia“.

indexov boli areály ornej pôdy viazané na zastavané územia, ich lokalizáciu možno spájať s inými typmi poľnohospodárskych areálov. Klastre s najvyššími hodnotami skúmaných indexov ornej pôdy tvoria kotlinové územia strednej veľkosti a veľké rovinaté územia (PK 111,112). Nízke priemerné hodnoty kofenetického korelačného koeficientu korelujúce s nízkymi hodnotami skúmaných indexov v prípade nížin dosahovali prevažne územia s malou rozlohou zoskupené v druhom klastri. Morfometrické vlastnosti výrazne vplývali aj na výskyt trvalých kultúr (22) pozostávajúcich na území Slovenska z vinogradov a ovocných sádov. Početnosť areálov tohto typu krajiny pokrývky v nížinných a kotlinových typoch prírodnej krajiny ovplyvňoval regionálny charakter. Ak

sa totiž na danom území táto trieda krajinej pokrývky nachádzala, nešlo vo väčšine prípadov o solitérny výskyt areálu. To sa prejavilo aj na náraste hodnôt skúmaných indexov. Priestorovosť trvalých kultúr reprezentatívne vyjadruje typ sprašových pahorkatín (PK 121) charakteristický vyšším počtom areálov tried krajinej pokrývky a nižšími hodnotami indexov identifikujúcimi menej výraznú koncentrovanosť. Väčšia zhlukovitosť viedla k nárastu hodnôt indexov na území u\_84, ako aj na všetkých územiach teplých kotlín. Výrazne zhlukovitý charakter a menší výskyt dosahovali areály tráv (23) na rovinatých územiach (PK 111, 112). Priestorovo boli tieto areály charakteristické vyššími hodnotami počtu areálov tried krajinej pokrývky a výraznejšou priestorovou distribúciou, čoho znakom boli aj menšie rozdiely medzi indexmi  $MI_{0,6}$  a  $MI_{0,5}$  v spojení s vysokými hodnotami  $MI_{0,4}$ . Nízke hodnoty indexov sme identifikovali v prípade samostatných areálov tráv v morfolometricky menej vhodných podmienkach.

Vzhľadom na rôznorodosť a šírku významu vyplývajúceho zo samotnej nomenklatúry sa trieda reprezentujúca heterogénne poľnohospodárske areály (24) nachádzala až na 52 skúmaných územiach. Pravidelnosť výskytu na sledovaných územiach odráža vyrovnanosť hodnôt indexov a metriky koeficientu variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky. Výnimku tvorili solitérne areály v rámci sledovaných území s výrazne vyššími hodnotami priestorovej autokorelácie (územia u\_60\_2 a u\_98\_4). Nárast rozsahu vzdialeností indexov identifikuje zmenu v tvare a kompaktnosti areálov. Kým v nížinách až stredne teplých kotlinách bola táto trieda krajinej pokrývky zastúpená dominantne areálmi líniového charakteru (s nízkym koeficientom variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky), v ostatných typoch prírodnej krajiny sa tieto areály vyznačovali vyššou kompaktnosťou. Početný výskyt kompaktných areálov tejto triedy krajinej pokrývky bol charakteristický pre vrchoviny až hornatiny (prírodnej krajiny 222).

Multifunkčnosť využívania krajiny determinuje aj priestorový výskyt lesných porastov (31). Najmä v nížinách a kotlinách boli pre podielovo nevýrazné zastúpenie tejto triedy charakteristické areály kopírujúce určitú krajinnú štruktúru (líniové až pásové lesné porasty) s nižšími hodnotami indexov (200 až 300 metrov v prípade  $MI_{0,6}$ ). Územia s väčšími hodnotami indexov a počtom areálov tried krajinej pokrývky obvykle predstavovali samostatné zhlukovité celky tejto triedy (napr. ohraničenie zástavby). Tieto územia dominujú aj v klastroch s vyššími hodnotami kofenetického korelačného koeficientu (klastre I., II.). Podobne, ako v prípade ornej pôdy, však bolo aj pri takmer absolútnej dominancii lesných porastov z pohľadu indexov rozhodujúce rozmiestnenie ostatných tried krajinej pokrývky, v binárnom hodnotení charakterizujúcich ich absenciu. Príkladom sú nízke hodnoty indexov na území u\_67\_5, kde až 96 % sledovaného územia pokrýval spojitý lesný areál. Dominanciu lesov v horských oblastiach dokazujú hodnoty koeficientu variácie veľkosti areálov danej triedy krajinej pokrývky.

Výrazný podiel na celkovej kompozícii tried krajinej pokrývky, najmä v horských oblastiach, mali aj kroviny a trávne areály (32). Práve horské územia však dominujú klastru s nízkymi hodnotami kofenetického korelačného koeficientu. Subtrieda prechodných lesokrovín vyplňala vo veľkej miere lokality, na ktorých došlo ku strate využitia (funkcie) a možno ich tak považovať za prejav fenoménu tzv. pustnutia krajiny. Odlišný charakter priestorových väzieb nadobúdali len územia s lokálnym (u\_59, u\_126, u\_60\_2) alebo výrazne zhlukovitým (u\_51,



u\_122) výskytom tejto triedy krajinej pokrývky. Charakteristickým znakom pri týchto územiach boli aj vysoké hodnoty kofenetického korelačného koeficientu (klaster I.).

Holiny s riedkou vegetáciou alebo bez vegetácie (33) sa na skúmaných územiach vyskytovali iba vo veľmi vysokých studených pohoriach (PK 223), kde plošnou dominanciou vytvárali súvislý areál s hodnotami indexu  $MI_{0,4}$  až 2 000 metrov. Spolu so zamokrenými areálmi (41) patria tieto areály k triedam s nízkym antropogénnym vplyvom. Na rozdiel od holín sa v dôsledku prírodných pomerov výskyt zamokrených areálov viazal len na niektoré nížinné územia, kde táto trieda pokrývala väčšinou maloplošné solitérne areály.

Trieda krajinej pokrývky reprezentujúca vody (51) ovplyvňovala priestorovú heterogenitu území najmä prostredníctvom umelých rezervoárov reprezentujúcich subtriedu vodných plôch. Tie sa nachádzali na územiach s vhodnými morfológickými a hydrologickými vlastnosťami, charakteristickými pre typ chladných kotlín (PK 214). Dôkazom je hodnota indexu  $MI_{0,4}$  na území 101\_2 dosahujúca maximálnu skúmanú vzdialenosť 2 600 metrov.

### 3.2. Indikátorový a významový variogram

Hlavným cieľom identifikácie významu tried krajinej pokrývky je substitúcia informácie, ku strate ktorej dochádza vyhrančením kategorických premenných, akými triedy krajinej pokrývky štandardne sú. Pomocou významu možno totiž identifikovať podobnosť, resp. rozdielnosť jednotlivých tried krajinej pokrývky a skúmať tak citlivejšie ich celkovú heterogenitu a priestorové väzby. Heterogenitu danú významovou vzdialenosťou v tomto prípade vymedzuje tzv. konceptuálny priestor tvorený viacerými konceptmi. Pri tvorbe konkrétnych kategórií zohráva podľa Gärdenforsa (2000) po psychologickej stránke zhodnotenie podobnosti týchto konceptov kľúčovú úlohu. V súlade s Ahlqvistom (2004) pod konceptuálnym priestorom chápeme skupinu kvalitatívnych znakov, delených na nižšej úrovni na súbor vlastností viazaných na konkrétny kvalitatívny znak, resp. doménu. Každá doména je reprezentovaná špecifickou dimenzionalitou, stanovujúcou jej odlišnosť, vyplývajúcu zo samotného hodnotenia súboru vlastností (Schwering, Raubal 2005). Hodnotenie vlastností v našom prípade predstavuje expertné skóre (v škále 0–9) priradené danému kvalitatívnemu znaku (priradenosť, výška vegetácie atď.). V porovnaní s analytickým prístupom, využívajúcim formálne domény vyplývajúce z nomenklatúr, je možné vnímať definovanie v podstate akýchkoľvek hodnotiacich vlastností tak pozitívne, ako aj negatívne. Na jednej strane sa otvára možnosť výberu naozaj relevantných domén hodnotených rovnakou škálou presnejšie vystihujúcou podstatu skúmanej dátovej vrstvy, na strane druhej vyvstáva otázka, či práve nami vybrané vlastnosti sú tie najvhodnejšie. Comber (2008) v tejto súvislosti poukazuje na nedodržiavanie absolútnej ortogonality, keď kvalitatívne znaky, ako napríklad priradenosť a umelosť, môžu v istom zmysle identifikovať v rámci konceptuálneho priestoru to isté. Takisto negatívne pôsobí fakt, že dané vlastnosti sú vybrané subjektívne. Dôležitú úlohu zohráva aj výber expertov. Comber, Fischer, Wadsworth (2005) dokazujú, že pri dostatočne veľkom študovanom území, pozostávajúcom z rôznych krajinných typov, je výber expertov menej dôležitý, ako by tomu bolo

v prípade jeho väčšej špecifickosti. V našom prípade tvorili hodnotiacu skupinu štyria experti, z ktorých dvaja („users“) sú samotní autori tohto príspevku, a jeden („producer“) participoval na samotnej tvorbe tejto dátovej vrstvy krajinej pokrývky pre územie Slovenska. Zásadný vplyv na celkové výsledky analytického procesu má aj výber vhodnej metódy expertného posudzovania. Za predpokladu, že fuzzy interval reprezentuje určitú vlastnosť podieľajúcu sa na vyhraničení konceptuálneho priestoru danej triedy krajinej pokrývky, je na základe identifikácie vzdialeností vlastností možná kvantifikácia vzájomnej podobnosti každej dvojice konceptov, reprezentovaných triedami krajinej pokrývky. Jedným z predpokladov takejto kvantifikácie vzdialenosti je symetrickosť vlastností jednotlivých konceptov. Ako však Wadsworth, Comber, Fischer (2009) poznamenáva, skúsenosti expertov so štatistickými metódami hodnotiacimi významnosť poukazujú na asymetrickosť vzájomných vzťahov medzi niektorými triedami. Hodnotenia prekryvu (ktoré môžu byť asymetrické) sú preto v tomto prípade vhodnejšie ako hodnotenia vzájomných vzdialeností, resp. podobnosti vyznačujúcich sa symetrickosťou. Neschopnosť narábať s asymetrickou podobnosťou objektov a konceptov je pritom jedným z najviac kritizovaných aspektov mier geometrickej podobnosti a je takisto dôvodom metodických rozšírení konceptuálnych priestorov. Čiastočne eliminovať tento nedostatok je v našom prípade možné pomocou implementácie absencie ako hodnoty skóre pridelovaného jednotlivým atribútom, ako aj váhovaním týchto atribútov. Výhodou váhovania je stanovenie významnosti vplyvu vlastností pri odlišných konceptoch. Napríklad význam vlhkostných podmienok nemožno pokladať za identický pri vodných plochách (51) a pri urbanizovanej zástavbe (11). Okrem toho možno implementáciou váh do samotného hodnotenia významovej vzdialenosti identifikovať pozíciu jednotlivých konceptov vzhľadom na ich vzájomnú vzdialenosť. Odlišne tak vyplýva napríklad hodnotenie vzdialenosti s ornou pôdou, ako počiatočným konceptom, v prípade identifikácie jej vzdialenosti od urbanizovanej zástavby, ako hodnotenie, kde východisko tvorí práve urbanizovaná zástavba. To má obzvlášť veľký význam pri identifikácii ich časopriestorových zmien. Pri niektorých triedach takisto zaniká význam špecifických vlastností, ako napríklad spomínané vlhkostné pomery, produkcia obživy spojená so živočíšnou produkciou alebo produkcia úrody spojená s obživou. Výsledná matica významových vzdialeností zohľadňuje expertné hodnotenie a váhovanie (tab. 1), čím vytvára omnoho citlivejšiu formu hodnotenia vzájomných priestorových vzťahov. Dôkazom sú nízke vzájomné vzdialenosti tried krajinej pokrývky vytvárajúce (z pohľadu klasifikácie) na vyššej, prvej hierarchickej úrovni homogénny celok.

Túto všeobecnú vlastnosť však čiastočne vyvracajú napríklad areály umelej nepoľnohospodárskej (sídelskej) zelene (14). Ich konceptuálna vzdialenosť od ostatných umelých povrchov (11, 12, a 13) je výraznejšia ako vzdialenosť od areálov významovo príbuznejších tried krajinej pokrývky. Váhovanie a expertné hodnotenie v tomto prípade vyzdvihuje prírodný charakter. Ak najvyššia klasifikačná úroveň hodnotí umelé povrchy ako homogénnu triedu, potom vzdialenosť nepoľnohospodárskej zelene (14) od ostatných tried umelých povrchov stanovuje ich vnútornú heterogenitu. Tento aspekt poukazuje na potenciál tejto metodiky pri tvorbe hierarchických stupňov klasifikačných schém. Odlišný prípad predstavovala nízka vzájomná vzdialenosť umelých povrchov a areálov vôd (51). Išlo o dôsledok absencie viacerých prírodných charakteristík (výška

Tab. 1 – Matica významových vzdialeností jednotlivých tried krajinnej pokrývky

	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	41	51
11	0	0,05	0,05	0,24	0,28	0,26	0,24	0,27	0,43	0,33	0,32	0,43	0,22
12	0,05	0	0,03	0,28	0,34	0,28	0,27	0,30	0,48	0,39	0,41	0,54	0,21
13	0,04	0,04	0	0,30	0,30	0,26	0,25	0,28	0,55	0,43	0,48	0,64	0,25
14	0,23	0,25	0,25	0	0,15	0,12	0,12	0,10	0,20	0,17	0,18	0,26	0,18
21	0,30	0,37	0,38	0,18	0	0,06	0,10	0,14	0,30	0,26	0,28	0,38	0,31
22	0,27	0,31	0,32	0,14	0,06	0	0,09	0,07	0,25	0,20	0,24	0,30	0,26
23	0,28	0,33	0,33	0,15	0,10	0,09	0	0,08	0,14	0,13	0,12	0,25	0,27
24	0,27	0,30	0,31	0,11	0,15	0,06	0,07	0	0,20	0,13	0,16	0,22	0,22
31	0,44	0,50	0,50	0,21	0,29	0,20	0,15	0,19	0	0,12	0,21	0,22	0,44
32	0,32	0,36	0,36	0,16	0,24	0,16	0,13	0,12	0,10	0	0,08	0,15	0,25
33	0,28	0,32	0,33	0,18	0,24	0,17	0,10	0,16	0,16	0,09	0	0,07	0,15
41	0,39	0,46	0,48	0,27	0,30	0,22	0,19	0,21	0,19	0,17	0,07	0	0,18
51	0,29	0,29	0,31	0,21	0,29	0,22	0,19	0,13	0,31	0,22	0,14	0,15	0

vegetácie, pokrývnosť a komplexita vegetácie) a významnej prítomnosti vlastností spojených s ľudskou aktivitou.

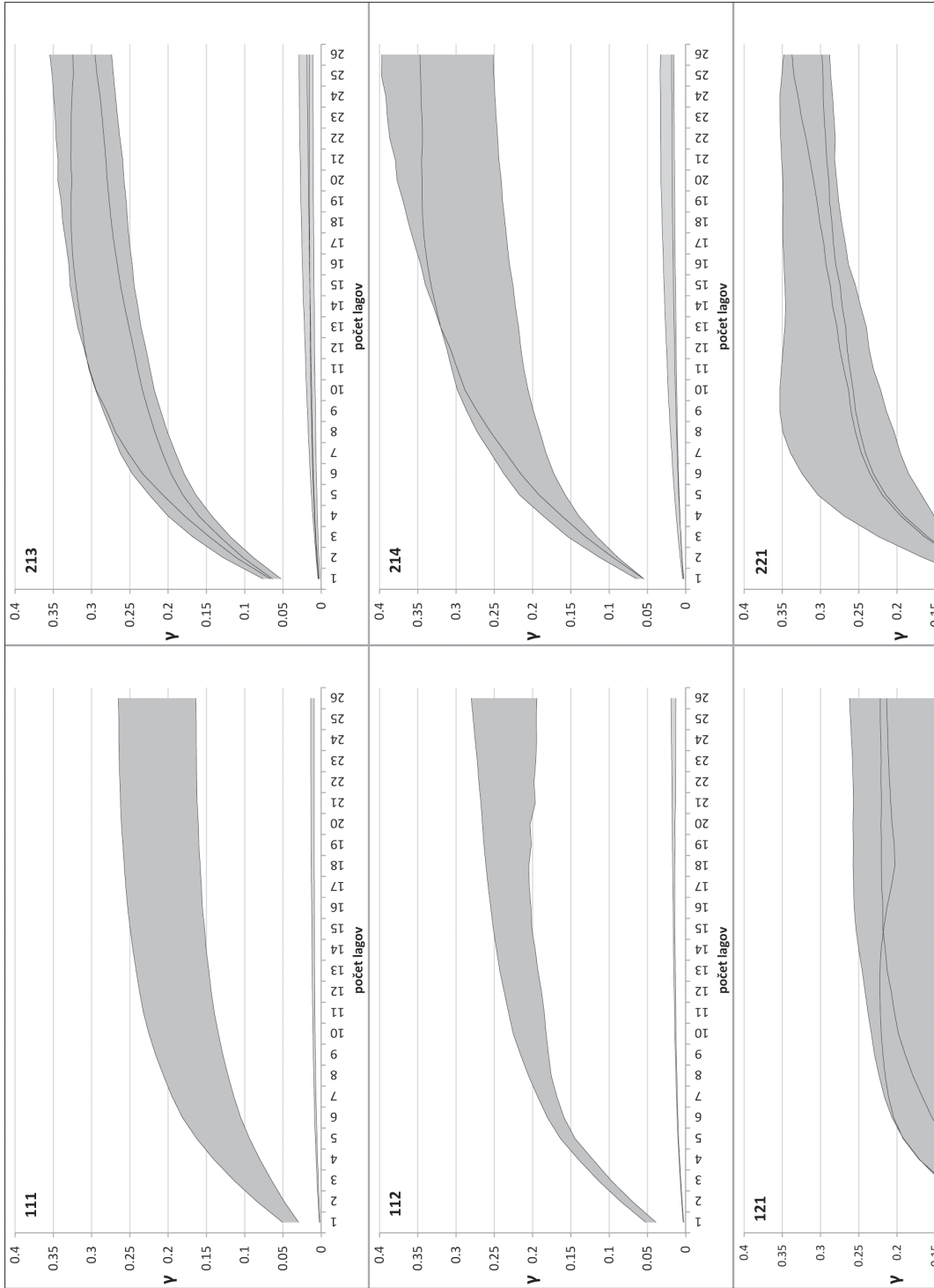
Pre nízky rozsah hodnôt bol priebeh krivky priestorovej heterogenity tried krajinnej pokrývky, založenej na ich významovej podobnosti, v spojení s priebehom indikátorovej krivky len ťažko identifikovateľný (obr. 4), čo eliminovalo možnosť vzájomnej komparácie variability. Alternatívou by bolo samostatné vykreslenie indikátorového a významového variogramu, alebo logaritmicke zobrazenie hodnôt oboch modelov. Proti samostatnému vykresleniu hovorí však zvýšenie počtu grafických príloh a s tým súvisiaca obťažnosť interpretácie. Logaritmicke transformácia by zasa eliminovala pre nás dôležitejšiu možnosť vizuálnej identifikácie parametrov dosahu a prahu. To použijeme ako hlavný argument aktuálneho formátu zobrazenia týchto ukazovateľov. Vizuálne možno diferencovať typy prírodnej krajiny pomocou priebehu krivky variogramu pri rôznych hodnotách semivariácie. Napríklad, ak stanovíme prahovú hodnotu semivariácie na 0,3, prichádzame na daných vzdialenostiach v spojitosti s indikátorovým variogramom k podobným záverom ako pri analýze pomocou skúmaných indexov ( $MI_{0,4}$ ,  $MI_{0,5}$ ,  $MI_{0,6}$ ). Výraznú homogenitu území sme takto identifikovali v nížinatej krajine (PK 111, 112, 122), teplých kotlinách (PK 211) a vysokých pohoriach (PK 223). Naopak, k výraznej heterogenite takto došlo na ostatných kotlinových a horských územiach (PK 212, 213, 214, 221, 222, 223). Okrem prírodnej krajiny 223 bol každý typ prírodnej krajiny charakteristický špecifickou vnútornou heterogenitou priestorových závislostí. Dôvodom nižších hodnôt variácie je vo všeobecnosti plošná dominancia jednej triedy, napríklad ornej pôdy (21) alebo lesov (31). Zaujímavým zistením pri porovnaní indikátorového variogramu s MI indexmi bol rôznorodý vplyv zhlukovitosti na hodnotenie priestorovej variability. Týka sa to napríklad území nížinatej krajiny. Viacero území sprašových pahorkatín (PK 121) je zasa príkladom vysokej priestorovej autokorelácie tried krajinnej pokrývky s nízkou priestorovou variabilitou. Aj pre početnosť sledovaných území bol rozsah

hodnôt týchto indikátorov vo vrchovinách až hornatinách (PK 222) najväčší. Popri homogénnych územiach charakteristických dominanciou lesných areálov a nízkou priestorovou variabilitou sa tu nachádzali územia s výrazne heterogénnou štruktúrou. Heterogenita súvisela prevažne s výskytom urbanizovanej zástavby (11) alebo krovín a trávnych areálov (32). Zaujímavá je priestorová variabilita a nízka vzdialenosť dosahu indikátorového variogramu na územiach vyznačujúcich sa vyrovnanými hodnotami MI indexov. Ak model variogramu dosiahol prahovú hodnotu na skúmaných vzdialenostiach, možno tento model považovať za tranzitívny. Z pohľadu tried ako indikátorov bol otázny tranzitívny charakter území, nachádzajúcich sa prevažne v mierne teplých až chladných kotlinách (PK 212, 213, 214) a studenom vysokom pohorí (PK 223). Dôvodom bol výrazne koncentrovaný výskyt viacerých tried krajinej pokrývky udržiavajúcej priestorovú koreláciu na vyššej ako nami definovanej vzdialenosti, vymedzenej na základe veľkosti a počtu lagov. Iný typ predstavovali územia s progresívnym nárastom variácie na kratších vzdialenostiach, indikujúcim výskyt menších areálov tried krajinej pokrývky. Príkladom je územie lokalizované v teplej kotline, nadobúdajúce hodnoty dosahu (range) až na vzdialenosti približne 800 metrov. Pre porovnanie prah priestorovej závislosti tried na ostatných kotlinových územiach s tranzitívnym modelom indikátorového variogramu sa pohybuje v rozmedzí 1 200–2 200 metrov.

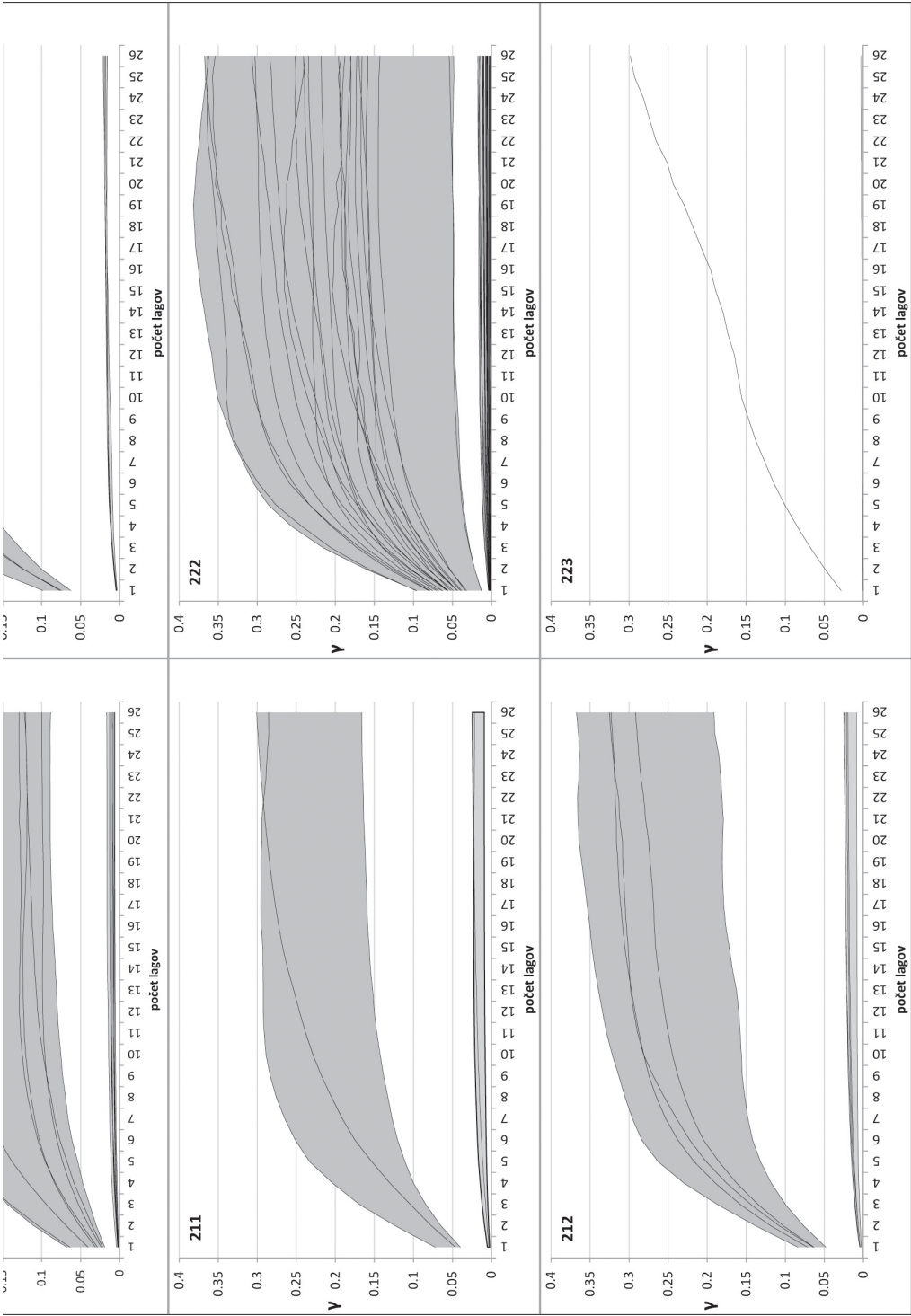
Nevýraznú variáciu (plochý priebeh krivky) a nízky rozsah hodnôt, no podobný priebeh dosahoval v porovnaní s indikátorovým aj významový variogram. Z hľadiska variácie sa však poradie jednotlivých území v danom type prírodnej krajiny menilo. Výraznejšiu priestorovú koreláciu variogramu a dosiahnutie prahu na vyšších vzdialenostiach v porovnaní s indikátorovým prístupom nadobúdali z významového hľadiska napríklad územia so signifikantným striedaním rôznych areálov významovo príbuzných poľnohospodárskych tried (u\_55\_2, u\_170, u\_101\_2, u\_74 a u\_51\_1). Vyššiu priestorovú variabilitu sme identifikovali na územiach charakteristických výraznou kontrastnosťou ich využitia (u\_60\_2, u\_104, 67\_2). Z tohto hľadiska bolo možné na najvyššej vzdialenosti lokalizovať najpríbuznejšie územia v rámci fluviaálnych rovín (PK 111) alebo v rámci predhorí až planín (PK 221). Na fluviaálnych rovinách bola významová podobnosť daná dominanciou ornej pôdy v spojení s urbanizovanou zástavbou a areálmi tráv. Významovú príbuznosť poľnohospodárskych areálov s urbanizovanou zástavbou stanovovala primárne produkčná funkcia poľnohospodárstva, odzrkadľujúca sa aj na expertnom hodnotení jednotlivých vlastností. Podobne, ako v prípade indikátorového prístupu, bol nárast významovej variability spojený s narastajúcou heterogenitou. Pozitívna závislosť platila vo všeobecnosti aj medzi rozsahom variability a vzdialenosťou. Z tohto pohľadu sú zaujímavé územia zvlnených fluviaálnych rovín (PK 112), kde do vzdialenosti 500 metrov bol rozsah variability takmer identický.

#### 4. Záver

Vplyv prírodných podmienok na priestorové usporiadanie tried krajinej pokrývky sme sa pokúsili zhodnotiť prostredníctvom štatistických metód, kvantifikujúcich priestorové vlastnosti jednotlivých tried, ako aj celkovú heterogenitu území v rôznych typoch prírodnej krajiny.







Obr. 4 – Priebeh indikátorového a významového variogramu na skúmaných územiach podľa typov prírodnej krajiny

Na základe použitých údajov (triedy vytvorené metódou *CORINE Land Cover*, typy prírodnej krajiny v regionálnej mierke Slovenska) môžeme zhrnúť nasledovné metodické skúsenosti. Hoci obvyklým ukazovateľom heterogenity krajinnej pokrývky býva identifikácia priestorovej zmeny medzi triedami danej taxonómie, získané výsledky v našom príspevku poukázali na negatívny efekt takéhoto hodnotenia, nadhodnocujúceho alebo podhodnocujúceho priestorovú heterogenitu vyplývajúcu z kompozície tried krajinnej pokrývky. V príspevku sa preto venujeme konceptu identifikácie a hodnotenia vzdialenosti jednotlivých tried z hľadiska významu, ktorý identifikuje kompozíciu citlivejšie a eliminuje tak spomínaný efekt.

Na regionálnej úrovni môže byť predstavená metodika s uspokojujivými výsledkami aplikovaná na hodnotenie heterogenity krajinnej pokrývky vytvorenej metódou *CORINE Land cover*. Uvedomujeme si však, že klasifikačné systémy oboch údajových báz odrážali mierku a zámer ich tvorby. Pri nami prezentovanej klasifikácii významnosti možno celkovú introdukovanú nepresnosť považovať za sumu týchto deterministických a významových komponentov: (1) presnosť použitej dátovej vrstvy, (2) subjektívnosť hodnotenia významnosti a (3) subjektívnosť váhovania jednotlivých vlastností tried. Limitujúcou vlastnosťou v prípade použitej dátovej vrstvy krajinnej pokrývky je generalizačné pravidlo súvisiace s najmenším mapovaným areálom. Miera subjektivity zasa súvisela s absenciou dostatočného počtu respondentov vstupujúcich do hodnotenia. Keďže skúmanie tried krajinnej pokrývky na základe ich významnosti čiastočne stiera nejasnosti spojené s kategorizáciou, možno takého hodnotenie považovať za podstatné spresnenie výskumu v tejto oblasti.

Dosiahnuté výsledky umožňujú zovšeobecniť viacero regionálnych špecifik platných pre krajinnú štruktúru na území Slovenska. Na úrovni výskytu alebo absencie determinujú homogénne typy prírodnej krajiny holiny s riedkou vegetáciou alebo bez vegetácie (33), močiare (časť triedy 41) a vodné toky a plochy (51). V špecifických prírodných podmienkach možno diferencovať pravdepodobnosť výskytu, resp. absencie pre areály priemyslu, obchodu a dopravy (12), ťažby, skládok a výstavby (13), pre umelú nepoľnohospodársku (sídelnú) zeleň (14) a trvalé kultúry (22).

Analýzou a vizualizáciou zhlukov skúmaných indexov vo vybraných triedach možno identifikovať a typizovať ich priestorové väzby v odlišných typoch prírodnej krajiny. Diferenciáciu prírodnej krajiny približne kopírujú napríklad urbanizované areály (11). K výrazným odlišnostiam medzi vytvorenými klastrami a klasifikáciou prírodnej krajiny dochádza z pohľadu priestorových väzieb napríklad v prípade lesných areálov (31). Silné priestorové väzby tejto triedy dokumentujeme aj v kotlinových územiach. Komplexnejšie však konfiguráciu tried krajinnej pokrývky v jednotlivých typoch prírodnej krajiny vystihuje vizualizácia indikátorového a významového variogramu. V porovnaní so štandardnými krajinými metrikami tento prístup totiž umožňuje aj sledovanie „priebehu“ heterogenity na odlišných vzdialenostiach. Ako územia pozostávajúce zo zhlukovitých areálov vystupujú napríklad fluviálne roviny.

Z výsledkov identifikácie heterogenity v rôznych typoch prírodnej krajiny tak môžeme zhrnúť niekoľko zistení a následných výziev pre výskum:

1. Najväčšiu heterogenitu dosahujú prevažne územia kotlin, charakteristické pestrou konfiguráciou tried krajinnej pokrývky, ktoré vyplývajú z viacerých subtypov prírodnej krajiny (Oťaheľ 2000) a zároveň z ich multifunkčnosti.

Tá sa odráža v koncentrácii sídiel a socio-ekonomických aktivít. Vzhľadom na ich priestorové a polohové vlastnosti predstavuje špecifický prípad typ teplých kotlín. Táto skutočnosť je výzvou na prehodnotenie klasifikácie prírodnej krajiny Slovenska.

2. Klasifikačný systém metódy *CORINE Land Cover* (CLC) nedisponuje exaktnými definíciami všetkých tried, na základe ktorých by sa výber reprezentatívnych vlastností, resp. kvalitatívnych znakov dal redukovať. Pre výber vhodných vlastností, vyplývajúcich z teoretickej podstaty klasifikácie, je preto potrebný ďalší výskum zameraný na komplexnosť definícií a minimalizáciu vzájomného prekryvu jednotlivých kvalitatívnych znakov. Užitočné by bolo porovnať získané významové vzdialenosti jednotlivých tried krajinej pokrývky so vzdialenosťami získanými pomocou lingvistickej slovnej databázy. Takou je v anglickom jazyku napríklad WordNet.
3. Výskum zameraný na priestorové väzby často zovšeobecňuje fakty získané pomocou empirickej analýzy na základe referenčných území. Ich výber determinuje viacero faktorov. Pri výskume krajiny zohráva dôležitú úlohu okrem dostupnosti dát aj priestorový, časový a organizačný aspekt mierky, pričom organizačný aspekt možno považovať za synonymum významovej variácie (Jansen, Veldkamp 2012). Výber reprezentatívnych území by mal tieto aspekty a väzby zohľadňovať.

*Príspevok vznikol s podporou hardvéru získaného v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centra excelentnosti: „Centrum pre rozvoj sídelnej infraštruktúry znalostnej ekonomiky“ SPECTRA+ (ITMS 26240120002), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Autori tiež ďakujú Ashtonovi Shortridgovi za softvérovú výpomoc.*

## Literatúra:

- AHLQVIST, O. (2004): A parameterized representation of uncertain conceptual spaces. *Transactions in GIS*, 8, č. 4, s. 493–514.
- AHLQVIST, O., SHORTRIDGE, A. (2006): Characterizing Land Cover Structure with Semantic Variograms. In: Riedl, A., Kainz, W., Elmes, G. A. (eds.): *Progress in Spatial Data Handling – 12th International Symposium on Spatial Data Handling*, Springer-Verlag, New York, s. 401–415.
- AHLQVIST, O., SHORTRIDGE, A. (2010): Spatial and semantic dimensions of landscape heterogeneity. *Landscape Ecology*, 25, s. 573–590.
- BALEJ, M., ANDĚL, J. (2011): Typology of the districts in Czechia based on land cover structure. *Geografie*, 116, č. 2, s. 172–190.
- BOSSARD, M., FERANEC, J., OŤAHEL, J. (2000). *CORINE Land Cover. Technical Guide – Addendum 2000*. European Environmental Agency, <http://terrestrial.eionet.eu.int/CLC2000>.
- BOTEQUILHA-LEITÃO, A., MILLER, J., AHERN, J., MCGARIGAL, K. (2006): *Measuring Landscapes: A Planner's Handbook*. Island Press, Washington, 245 s.
- BÜTTNER, G., FERANEC, J., JAFFRAIN, G., MARI, L., MAUCHA, G., SOUKUP, T. (2004): The CORINE Land Cover. 2000 Project. *EARSeL eProceedings*, 3, č. 3, s. 331–346.
- COMBER, A., FISHER, P., WADSWORTH, R. (2005): Comparing and combining different expert relations of how land cover ontologies relate. *Developments in Spatial Data Handling*, Springer Berlin Heidelberg, s. 573–583.
- COMBER, A. J. (2008): The separation of land cover from land use using data primitives. *Journal of Land Use Science*, 3, č. 4, s. 215–229.

- CUSHMAN, S., MCGARIGAL, K., NEEL, M. (2008): Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*, 8, č. 5, s. 691–703.
- DE BEER, Y., VAN AARDE, R. J. (2008): Do landscape heterogeneity and water distribution explain aspects of elephant home range in southern Africa's arid savannas? *Journal of Arid Environments*, 72, č. 11, s. 2017–2025.
- DE SMITH, M. J., GOODCHILD, M. F., LONGLEY, P. A. (2007): *Geospatial analysis: A comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. 3<sup>rd</sup> edition, Troubador Ltd, Leicester, 516 s.
- DI GREGORIO, A., JANSEN, L. J. M. (2000): *Land cover classification system: LCCS: classification concepts and user manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2007): *CLC2006 technical guidelines*, EEA Technical report 17/2007.
- FERANEC, J., OŤAHEL, J. (2001): *Krajinná pokrývka Slovenska*. Bratislava. Veda. 124 s.
- GÄRDENFORS, P. (2000): *Conceptual spaces: the geometry of thought*. MIT Press, Cambridge.
- GOOVAERTS, P. (1997): *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, 496 s.
- HEYMANN, Y., STEENMANS, CH., CROISILE, G., BOSSARD, M. (1994): *Land Cover. Technical Guide*. Luxembourg (Office for Official Publications of European Communities), 136 s.
- JANSEN, L. J. M., VELDKAMP, T. A. (2012): Evaluation of the variation in semantic contents of class sets on modelling dynamics of land-use changes. *International Journal of Geographical Information Science*, 26, č. 4, s. 717–746.
- LI, H., WU, J., HOBBS, R. J. (2007): *Landscape pattern analysis: key issues and challenges*. In: *Key Topics in Landscape Ecology*. Cambridge University Press, New York, s. 39–61.
- MARSDEN, S. J., FIELDING, A. H., MEAD, C., HUSSIN M. Z. (2002): A technique for measuring the density and complexity of understorey vegetation in tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 165, č. 1–3, s. 117–123.
- MAZÚR, E., KRIPPEL, E., PORUBSKÝ, A., TARÁBEK, K. (1977): *Geoekologické prírodné krajinné typy, 1:500 000*. Geografický ústav SAV, Bratislava.
- MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. (1995): *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Technical Report. USA (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station), 122 s.
- MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S. A., NEEL, M. C., ENE, E. (2002): *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps*. Computer software program, <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- MICHALKO J., BERTA J., MAGIC D. (1986): *Geobotanická mapa ČSSR*. Slovenská socialistická republika. Veda, Bratislava, 168 s.
- MINÁR, J., BARKA, I., BONK, R., BIZUBOVÁ, M., ČERŇANSKÝ, J., FALŤAN, V., GAŠPÁREK, J., KOLÉNY, M., KOŽUCH, M., KUSEDOVÁ, D., MACHOVÁ, Z., MÍCIAN, L., MÍCIETOVÁ, E., MICHALKA, R., NOVOTNÝ, J., RUŽEK, I., ŠVEC, P., TREMBOŠ, P., TRIZNA, M., ZÁTKO, M. (2001): *Geoekologický (komplexný fyzikogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach*. *Geografické spektrum 3, Geo-grafika*, Bratislava, 209 s.
- O'SULLIVAN, D., UNWIN, D. J. (2002): *Geographic Information Analysis*. Wiley, New York, 436 s.
- OŤAHEL, J. (2000): *Prírodná štruktúra krajiny. 1:500 000*. Geografický ústav SAV, Bratislava.
- OŤAHEL, J., FERANEC, J., CEBECAUER, T., PRAVDA, J., HUSÁR, K. (2004): *The landscape structure of the district of Skalica: assessment of changes, diversity and stability*. *Geographia Slovaca*, 19, Bratislava, 123 s.
- OŤAHEL, J., PAZÚR, R. (2009): *Changes of the agricultural land use in Slovakia in the period 1990–2006*, *Terra Spectra STU, Central European Journal of Spatial and Landscape Planning*, č. 2, s. 17–24.
- PAZÚR, R., OŤAHEL, J., HURBÁNEK, P. (2010): *Analýza štruktúry krajinej pokrývky na príklade vybraných typov prírodnej krajiny*. *Kartografické listy*, č. 18, s. 87–95.
- RAINES, G. L. (2002): *Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS – a spatial statistics program*. *Computers & Geosciences*, 28, s. 169–177.

- SCHWERING, A., RAUBAL, M. (2005): Measuring semantic similarity between geospatial conceptual regions. In: Rodriguez, A., Cruz, Egenhofer, M., Levashkin, S. (eds.): *GeoSpatial Semantics – First international conference*, 3799, s. 90–106.
- SHORTRIDGE, A. (2007): Practical limits of Moran's autocorrelation index for raster class maps. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, č. 3: s. 362–371.
- TÜXEN, R. (1956): Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. In: *Angewandte Pflanzensoziologie*, č. 13, s. 5–42.
- UUEMAA, E., ROOSAARE, J., KANAL, A., MANDER, U. (2008): Spatial correlograms of soil cover as an indicator of landscape heterogeneity. *Ecological Indicators*, 8, č. 6, s. 783–794.
- UUEMAA, E., ANTROP, M., MARJA, R. (2009): Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research Imprint / Terms of Use. *Landscape*, s. 1–28.
- WADSWORTH, R. A., COMBER, A. J., FISHER, P. F. (2009): Latent Analysis as a Potential Method for Integrating Spatial Data Concepts. In: Navratil, G. (ed.): *Research Trends in Geographic Information Science*, Springer Berlin Heidelberg, s. 123–133.
- WANG, K., WANG, H. J., SHIA, X. Z., WEINDORF, D. C., YU, D. S., LIANG, Y., SHI, D. M. (2009): Landscape analysis of dynamic soil erosion in Subtropical China: A case study in Xingguo County, Jiangxi Province. *Soil and Tillage Research*, 105, č. 2, s. 313–321.
- WU, J. (2004): Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 19, s. 125–138.
- YEH, C., HUANG, S. (2009): Investigating spatiotemporal patterns of landscape diversity in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 93, č. 3–4, s. 151–162.

## S u m m a r y

### ANALYSIS OF SPATIAL HETEROGENEITY OF LAND COVER CLASSES IN DIFFERENT NATURAL CONDITIONS

The main aim of this study is to analyse landscape heterogeneity by an analysis of land cover classes in different natural conditions. For this purpose, we applied a set of Moran's correlograms, multi-class indicators and semantic variograms to 55 study areas located in 13 different natural landscape types. Metrics identifying the number of patches and coefficient of variation in a patch area were also used. The choice of analytical methods was motivated by the intention to characterize landscape heterogeneity through land cover classes as a variable from different perspectives. Based on correlograms, presence/absence of each land cover class in each studied territory up to the threshold distance of 2,600 metres was separately identified. For the sake of better visualization, values were represented by the modification of the half-value distance lag characteristics (Uuemaa et al. 2008). In order to extend our knowledge of overall spatial variability in a multi-class composition environment, we applied the multiclass indicator and semantic variograms (Ahlqvist 2004). The principal purpose of semantic identification for the individual land cover classes was the substitution of information lost by the delimitation of categorical variables. Semantic identification was based on expert (user and producer) score assessment of 14 data primitives/elements of land cover classes (Comber 2008). Data primitives described and quantified the mutual semantic overlap of individual classes. Differences in natural conditions were also studied by the presence of individual land cover classes. Results show that artificial, agricultural areas and shrubs and/or herbaceous vegetation associations (32) can be evaluated as strongly case related land cover classes. Arable land (21), pastures (23), heterogeneous agricultural areas (24) and forests (31) are land cover classes abundantly represented in almost all studied landscape types.

Although spatial analysis proved that natural conditions determine the presence and composition of land cover classes, disparities emerged for different approaches. In the case of almost absolute dominance of a land cover class, analysis of autocorrelation by Moran correlogram seems to be unsuitable. This is because its values are greatly influenced by the spatial distribution of minority pixels. This drawback leads to an overestimation or underestimation of spatial dependence of classes in lowland and mountainous terrains with typical dominance of agricultural or forest areas respectively.



In cases with higher number of patches and lower coefficient of variation in a patch area, the assessment of spatial dependence by MI indexes is more efficient. This proved especially valid for basins. Due to multifunctional usage almost all land cover classes in basins NL types were strongly autocorrelated. In these areas, a characteristic feature is a slow decrease of MI index values at increasing distances. In spite of the quoted drawbacks, representation of MI values does possess certain potential for the comparison of human activities in different landscapes. The relationship between MI values and spatial variability assessment based on an indicator variogram was multifold. As comprehensive multiclass evaluation, the indicator variogram may be considerably disrupted by land cover classes (even with low overall proportion) with fragmented structure. Fluvial plains (natural landscape types 111) are an example. The semantic variogram in comparison with the indicator variogram generally displayed similar progress but less distinct variation (flatter curve) and range of values. In landscapes with balanced MI values, an interesting finding was the high spatial variability and low distance for silt of the semantic variogram. In terms of semantic, for terrains with dominance of agricultural classes, it showed a more pronounced spatial correlation and outreach of variogram thresholds over longer distances compared to the indicator approach. High semantic correlation was found in landscapes with occurrence of agricultural and urbanized areas. The main reason is the primarily productive function of agriculture, which was reflected by the expert assessment of individual properties.

Landscape heterogeneity is usually identified by the spatial change between classes of a given taxonomy. The results presented in this study indicate the drawbacks of such identification in over- or underestimation of spatial heterogeneity. Identification of the semantics of individual classes offers a great potential for eliminating this drawback. Since proper identification of semantic differences between land cover classes significantly improves the identification of spatial arrangements, this methodology has great potential for spatial land cover change research. The results are also available at <http://www.geography.sav.sk/sk/personal/pazur/analysis/mapa.html>.

Fig. 1 – Study areas and natural landscape types in Slovakia: fluvial flatlands, rolling fluvial flatlands, flourey uplands, polygenetic uplands, warm folds, mildly warm folds, mildly cold folds, cold folds, foothills and plains, highlands and mountains, very cold high mountains, urbanised built-up areas, industrial, commercial and transportation zones. Areas of mining activity, building development and waste disposal sites, artificial non-agricultural vegetation, arable land, permanent cultures, grasslands, heterogeneous agricultural areas, forests, scrub or grasslands, clearings with limited or no vegetation, wetlands, water areas.

Fig. 2 – Values of measured indexes ( $MI_{0,4}$ ,  $MI_{0,5}$ ,  $MI_{0,6}$ ), number of patches, coefficient of variation in a patch area in selected study areas. X axis – distance in meters.

Fig. 3 – Hierarchical clusters of study areas based on selected land cover classes. Note that study areas are labeled according to “natural landscape type\_study area label” format.

Fig. 4 – Indicator and semantic variograms of selected study areas sorted by natural landscape types.

*Pracovišťe autorů: R. Pazúr a J. Oťaheľ: Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava, e-mail: geogpazu@savba.sk, geogotah@savba.sk. M. Marettá: Esprit, s. r. o., Pletárska 2, PO BOX 27, 969 27 Banská Štiavnica, e-mail: marettá@esprit-bs.sk.*

*Do redakce došlo 28. 9. 2011; do tisku bylo přijato 31. 10. 2012.*

#### **Citační vzor:**

PAZÚR, R., OŤAHEĽ, J., MARETTA, M. (2012): Analýza priestorovej heterogenity tried krajiny pokrývky v odlišných prírodných podmienkach. *Geografie*, 117, č. 4, s. 371–394.