

Indikátory hodnotenia diverzity krajiny

Kopecká, M.: Indicators of Landscape Diversity Evaluation. Životné prostredie, 2011, 45, 4, p. 198 – 202.

Changed land use conditions have led to a significant reduction landscape diversity and degradation of natural resources over the past several decades. One of the important issues nowadays is the definition of landscape indicators that are vehicles for summarizing, simplifying and communicating information about land statement that is of importance to decision-makers. The presumption is that different values or states of an indicator meaningfully represent different states or movements of system conditions so that the indicator can be used for monitoring and/or control purposes. The most important landscape indicators are: (1) stock of different land cover classes (agricultural land, arable land, grassland, forest areas, build-up areas); (2) length and distribution of different edges; (3) number of classes; (4) patch/edge density; (5) diversity indices (Shannon index, Interspersion and Juxtaposition Index); (6) fragmentation indices. Landscape indicators enables to better understand the specific characteristics of sites and the nature of the interaction between land use practices and the environment.

Key words: landscape diversity, indicator, landscape composition, landscape configuration

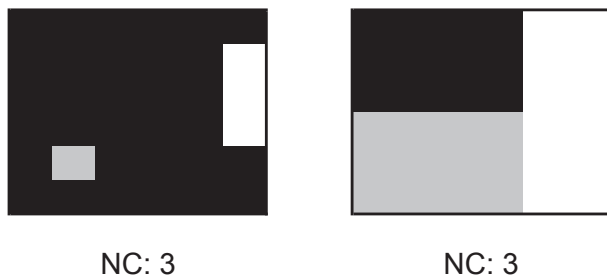
Dynamicky sa meniace využívanie krajiny na mnohých miestach viedlo k degradácii prírodných zdrojov a k negatívnym zmenám krajinnej štruktúry. Zmena krajinnej, resp. ekosystémovej diverzity býva spravidla spojená aj so znížením druhovej a genetickej diverzity, preto jej monitoring patrí k prioritám výskumu krajiny. Pri hodnotení diverzity krajinnej mozaiky sa v posledných rokoch využívajú viaceré jednoznačne definované indikátory, ktoré umožňujú hodnotiť jej zmeny v čase a priestore, a tiež porovnávať trendy vývoja krajinnej štruktúry v rôznych sledovaných regiónoch.

Indikátory vo svojej podstate nepredstavujú novú koncepciu, ide skôr o moderné označovanie určitých informácií používaných na vyhodnocovanie správania sa určitého systému (Moxey et al., 1998). Každý indikátor sa vzťahuje na určitú kvalitu, vlastnosť alebo schopnosť systému. Využívanie indikátorov je založené na predpoklade, že rôzne hodnoty konkrétneho indikátora reprezentujú rôzne stavy alebo procesy v systéme, takže indikátor môže byť využitý na monitorovanie alebo/a kontrolu. V širokom spektre biologických, chemických, fyzických, demografických, ekonomických a iných indikátorov stavu krajiny zohrávajú indikátory krajinnej mozaiky nezastupiteľnú úlohu.

Ako uvádza Oťaheľ a kol. (2002), diverzitu krajiny je možné chápať ako štruktúrnu rozmanitosť (rôznorodosť, variabilnosť a heterogenitu), vyplývajúcu z pestrosti prvkov (homogénnych častí) krajiny. Homogénna časť krajiny predstavuje priestorovú jednotku, identifikovanú a delimitovanú podľa základného klasifikačného znaku. Hoci krajinné prvky môžu byť kategorizované z rôznych aspektov (napr. ako biotopy), najčastejšie sa používa zjednodušený a súčasne súhrnný vstupný údaj – triedy krajinnej pokrývky, ktoré reprezentujú vzájomné prepojenie prírodných podmienok a antropogénneho vplyvu. Pri analýze krajinnej mozaiky sú databázy krajinnej pokrývky hodnotené z hľadiska kompozície a konfigurácie jednotlivých krajinných komponentov, resp. tried krajinnej pokrývky.

Kompozícia krajiny

Pod pojmom kompozícia krajiny sa rozumie zastúpenie jednotlivých tried. V zmysle štúdie Eiden et al. (2000) je možné vyjadriť ju indikátorom počet tried (*number of classes* – NC). Tento indikátor predstavuje najjednoduchší spôsob hodnotenia krajinnej diverzity. Uvádza počet rôznych tried krajinnej pokrývky na jednotku plochy. Čím väčší je počet tried, tým vyššia



Obr. 1. Hypotetické príklady krajinej štruktúry s rovnakým počtom tried krajinej pokrývky (NC – počet tried)

je diverzita územia. Za výhodu tohto indikátora sa považuje jednoduchý spôsob jeho výpočtu a interpretácie. Výsledky získané týmto spôsobom však môžu byť zavádzajúce, pretože sa neberie do úvahy výmera jednotlivých tried, takže nie je možné posúdiť ich významnosť z environmentálneho hľadiska. Výskyt triedy s rozlohou najmenšieho mapovaného areálu sa posudzuje rovnako ako trieda, ktorá zaberá nadpolovičnú časť hodnotenej plochy (obr. 1). Z tohto dôvodu sa pri charakteristike krajinej kompozície uvádzajú spravidla aj nasledovné indikátory:

- podiel poľnohospodárskej pôdy;
- podiel ornej pôdy;
- podiel trvalých trávnych porastov;
- podiel lesov;
- podiel poloprírodných a prírodných areálov;
- podiel urbanizovaných areálov.

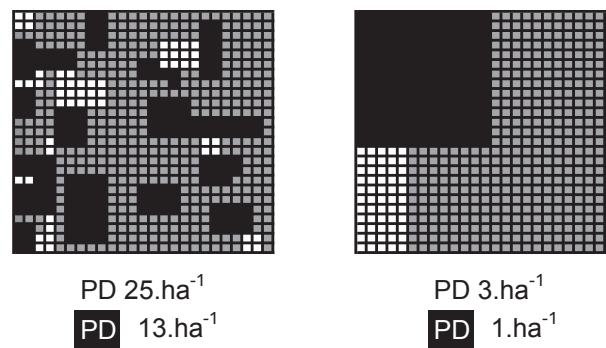
Konfigurácia krajiny

Konfigurácia krajiny vyjadruje jej štruktúru, čiže spôsob usporiadania jednotlivých tried, ktorý je dôležitý najmä z hľadiska ekologických funkcií. Najčastejšie sa hodnotí pomocou matematických indexov (McGarigal, Marks, 1995), kde výsledná číselná hodnota vyjadruje objektívny popis rozdielnych aspektov krajinej štruktúry: hustoty a tvaru areálov, dĺžky a rozmiestnenia jednotlivých hraníc, fragmentácie areálov a pod. Vybrané príklady rozdielnych hodnôt jednotlivých indexov sú podľa Eidena et al. (2000).

Hustota areálov krajinej pokrývky (Patch density – PD)

Tento indikátor vyjadruje počet areálov na jednotke plochy (spravidla 100 ha) podľa vzorca:

$$PD = \frac{n}{a}$$



Obr. 2. Príklad rozdielnej hustoty areálov rovnakých tried krajinej pokrývky (PD – hustota areálov)

kde PD = hustota areálov, n = počet areálov, a = jednotka plochy. Hodnota indikátora narastá so zvýšením počtu posudzovaných tried krajinej pokrývky na zvolenom referenčnom území. Dve územia s rovnakou kompozíciou sa môžu odlišovať vo veľkosti a počte areálov konkrétnej triedy. Hodnota tohto indikátora je ovplyvnená veľkosťou minimálneho mapovaného areálu a počtom rozlíšených tried krajinej pokrývky na príslušnej hierarchickej úrovni. Indikátor nezohľadňuje diverzitu heterogénnych tried. Na obr. 2 sú dva typy krajiny s identickými triedami, ale rozdielnou hustotou areálov.

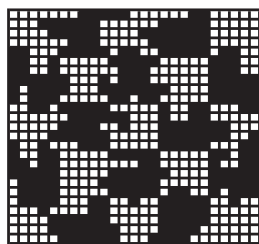
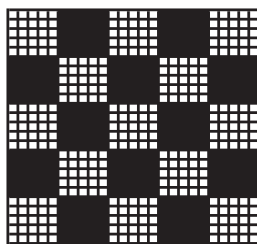
McGarigal, Marks (1995) konštatujú, že v prípadoch, keď sú informácie o počte areálov určitej triedy dôležité (bez ohľadu na ich veľkosť a priestorové usporiadanie), hustota areálov je zároveň jedným z indikátorov fragmentácie. Ak je rozloha vybranej triedy krajinej pokrývky v dvoch modelových územiach (resp. v dvoch časových horizontoch toho istého územia) rovnaká, potom vyššia hustota areálov dokumentuje vyššiu fragmentáciu sledovanej triedy.

Hustota hraníc (Edge density – ED)

Na rozdiel od predchádzajúceho indikátora sa v tomto prípade berie do úvahy tvar areálov. Hustota hraníc je zameraná na zisťovanie komplexnosti tvaru areálov a vyjadruje priestorovú heterogenitu krajinej mozaiky. Výpočet indikátora je podľa vzorca:

$$ED = \frac{E}{A}$$

kde ED = hustota hraníc, E = celková dĺžka hraníc (m), A = celková plocha (ha). Podobne ako pri zisťovaní hustoty areálov, aj pri tomto indikátore je rozduhu-

ED: 1 260 m.ha⁻¹ED: 800 m.ha⁻¹

Obr. 3. Príklad rozdielnej hustoty hraníc rovnakých tried krajinej pokrývky (ED – hustota hraníc)

júca veľkosť minimálneho mapovaného areálu. Vo všeobecnosti platí, že čím detailnejšie je rozlíšenie (t. j. vrátane detailnejšieho zobrazenia hraníc), tým je hranica dlhšia. Na obr. 3 sú na teoretickom príklade prezentované odlišné hodnoty indikátora pri rovnakom zastúpení tried.

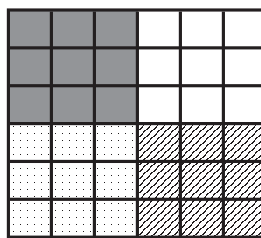
Shannonov index diverzity (SHDI)

Shannonov index kvantifikuje diverzitu krajiny pomocou dvoch komponentov: (1) počtu jednotlivých tried (kompozičný komponent) a (2) rovnomernosti rozmiestnenia tried (štrukturálny komponent). Shannonov index predstavuje súčet súčinov – výmer areálov jednotlivých tried krajinej pokrývky a ich prirodzeného logaritmu podľa vzorca:

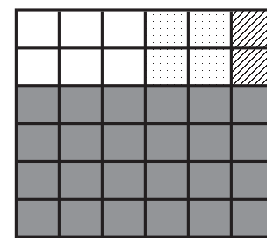
$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i),$$

m = počet tried, P_i = časť plochy pokrytá príslušnou triedou. Shannonov index diverzity vzrastá v prípade, že sa zvyšuje počet rôznych tried a/alebo proporčné zastúpenie tried je viac vyrovnané. Maximálna hodnota Shannonovho indexu pri konkrétnom počte tried sa dosahuje v prípade, že všetky triedy majú na posudzovanom území rovnakú výmeru. Príklad na obr. 4 dokumentuje situáciu dvoch referenčných plôch so štyrmi zastúpenými triedami (t. j. s rovnakou kompozíciou). Rozdielna veľkosť jednotlivých areálov sa odráža v hodnote Shannonovho indexu: čím menšie sú rozdiely vo výmere areálov, tým vyšší je Shannonov index. V príklade na obr. 5 je proporčné zastúpenie tried vždy rovnaké, ale zvyšuje sa počet tried, v dôsledku čoho vzrastá hodnota Shannonovho indexu.

Shannonov index je využiteľný pri porovnávaní odlišných krajinných výrezov alebo pri porovnávaní stavu krajiny v dvoch časových horizontoch. V dô-



SHDI: 1,39



SHDI: 0,98

Obr. 4. Vplyv rovnomernosti rozmiestnenia tried krajinej pokrývky na hodnoty SHDI (Shannonovho indexu diverzity)

sledku kombinácie dvoch ukazovateľov (počtu tried a rovnomernosti zastúpenia) je interpretácia tohto indikátora náročná. Podrobné hodnotenie diverzity územia Slovenska pomocou Shannonovho indexu na úrovni okresov, územno-správnych jednotiek a pravidelnej siete štvorcov 10 x 10 km a 500 x 500 m uvádza práca Oťaheľ a kol. (2002).

Index rozdrobenosti a vzájomného postavenia tried (Interspersion and juxtaposition index – IJI)

Tento index explicitne zohľadňuje priestorovú konfiguráciu tried, pretože vychádza zo vzťahov navzájom prilahlých areálov. Každý areál je analyzovaný z hľadiska susedstva s ostatnými a hodnotí sa miera, do akej je trieda rozdrobená. Index rozdrobenosti a vzájomného postavenia tried sa počíta podľa nasledovného vzorca:

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m [(E_{ik}) * \ln (E_{ik})]}{\ln \left(\frac{m(m-1)}{2} \right)},$$

kde m = počet tried krajinej pokrývky, E_{ik} = dĺžka hraníc medzi triedou i a triedou k . Nízke hodnoty indexu sú charakteristické pre krajinu s disproporčne alebo sústredene rozmiestnenými triedami krajinej pokrývky, t. j. určitá trieda susedí len s niekoľkými ostatnými triedami. Vysoké hodnoty IJI dosahuje v type krajiny, kde areály jednotlivých tried krajinej pokrývky navzájom rovnomerne susedia.

Príklad na obr. 6 dokumentuje podstatu IJI. Každý z troch prezentovaných výrezov sa skladá z piatich tried krajinej pokrývky, ktoré majú rovnakú výmeru (t. j. Shannonov index diverzity bude rovnaký). Rozdiel spočíva v spôsobe, akým navzájom areály susedia (zľava doprava sa zvyšuje počet prilahlých tried krajinej po-

krývky a vzrastá dĺžka hraníc medzi jednotlivými triedami. Zložitejšie usporiadanie sa prejavuje nárastom hodnoty IJI (maximum sa teoreticky dosahuje v prípade, že všetky triedy navzájom susedia a dĺžka hraníc medzi triedami je rovnaká).

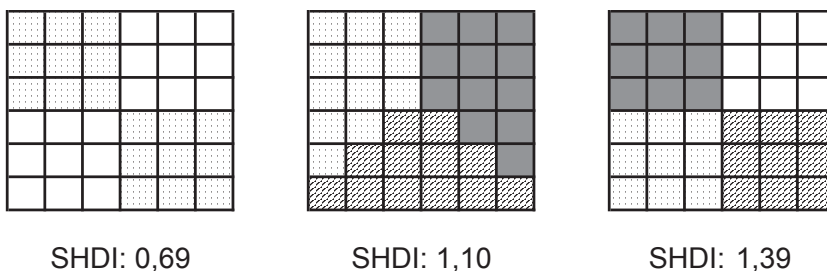
Indexy fragmentácie

Pojem *fragmentácia* (stanovišta, biotopu, triedy krajinej pokrývky a pod.) môžeme definovať ako rozpad pôvodne súvislého areálu na menšie územné jednotky (fragmety) rôzneho tvaru a veľkosti, ktoré spravidla pokrývajú menšiu plochu ako pôvodný areál a sú navzájom oddelené iným typom areálu. Riitters et al. (2002) sleduje pri hodnotení fragmentácie dva indikátory – podiel plochy (P_x) a konektivitu (C_x) posudzovanej triedy x . Podiel plochy P_x predstavuje podiel rastrových buniek posudzovanej triedy z celkového počtu buniek v hodnotenom okne mriežky. Pri výpočte hodnoty C_x je potrebné najskôr v každom okne mriežky zistiť počet skutočných hraníc rastrových buniek posudzovanej triedy a počet vnútorných hraníc. Napríklad v prípade triedy les (f) sa zisťujú hranice buniek lesa a iného typu krajinej pokrývky a hranice medzi rastrovými bunkami les-les. Hodnota C_x vyjadruje počet vnútorných hraníc vydelený súčtom skutočných a vnútorných hraníc (obr. 7).

Na základe vzájomného porovnania týchto hodnôt P_f a C_f je možné zatriedenie sledovaného rastrového okna do jedného z nasledovných komponentov fragmentácie:

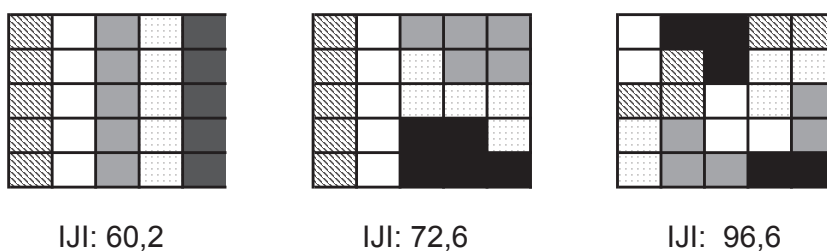
1. jadro lesa (*core*), ak hodnota $P_f = 1$;
2. okraj lesa (*edge*), ak $1 > P_f > 0,6$ a zároveň $P_f \leq C_f$;
3. nesúvislý les (*perforated*), ak $1 > P_f > 0,6$ a zároveň $P_f > C_f$;
4. zvyšok lesa (*patch*), ak hodnota $P_f \leq 0,6$.

Výsledky mapovania fragmentácie lesa v Tatrách v dôsledku

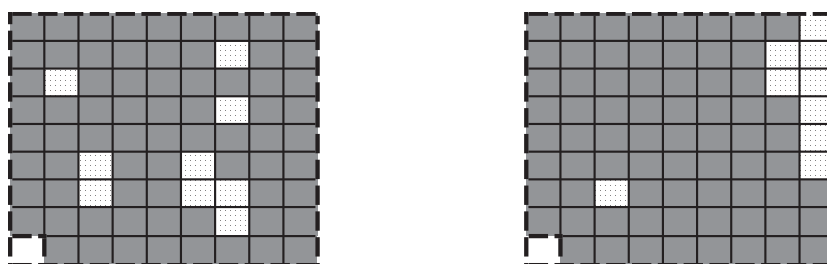


Obr. 5. Vplyv počtu tried krajinej pokrývky na hodnoty SHDI (Shannonovho indexu diverzity)

Obr. 6. Príklad rozdielných hodnôt indexu rozdrobenosti a vzájomného postavenia tried (IJI) pri rovnakom zastúpení tried krajinej pokrývky



Obr. 7. Príklad výpočtu podielu lesa (P_f) a konektivity lesa (C_f) na hypotetickom rastrovom okne 9 x 9 buniek s rovnakým zastúpením lesných tried (tmavosivá), nelesných tried (bodkovaná) a nehodnotených tried (biela). Zdroj: Riitters et al. (2002)



Podiel lesa (P_f):

$$71/80 = 0,888$$

$$71/80 = 0,888$$

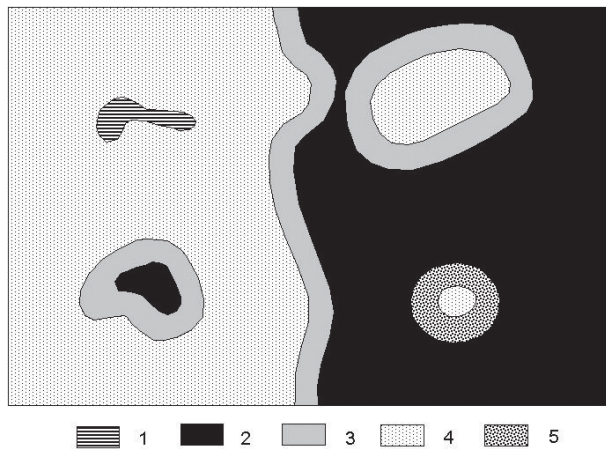
Frekvencia výskytu rôznych typov hraníc:

	28	13
	110	121
	4	8
	38	38
Spolu	180	180

Konektivita lesa (C_f):

$$110 / (110 + 28) = 0,797$$

$$121 / (121 + 13) = 0,903$$



Obr. 8. Hypotetický príklad priestorového usporiadania štyroch komponentov fragmentácie. Zdroj: Vogt et al. (2007)

Legenda: 1 – zvyšok lesa (*patch*), 2 – jadro lesa (*core*), 3 – okraj lesa (*edge*), 4 – nelesná vegetácia (*non-forest*), 5 – nesúvislý les (*perforated*)

kalamitnej víchrice z roku 2004 s využitím vyššie uvedených indexov sú prezentované v práci Kopecká, Nováček (2009).

Iným metodickým postupom, ktorý umožňuje vyhodnocovanie fragmentácie zvolenej triedy krajinnej pokrývky, je morfológická analýza obrazu, prezentovaná v štúdiu Vogt et al. (2007). Aj v tomto prípade sa hodnotenie zameriava na identifikáciu štyroch hlavných komponentov fragmentácie – *core*, *edge*, *perforated* a *patch*. *Core* predstavuje lesné pixely relatívne vzdialené od hranice les-neles. *Patch* reprezentuje lesnú plochu, ktorá je príliš malá na to, aby vo svojom vnútri mala obsiahnutú kategóriu *core*. *Perforated* definuje plochu medzi *core* a relatívne malým prerušením lesa. Kategória *edge* zahŕňa vonkajší okraj lesa (obr. 8).

Pri aplikácii tohto prístupu sa využíva počítačový nástroj *Landscape Fragmentation Tool* – LFT (Kopecká, Nováček, 2010). Jednotlivé komponenty fragmentácie lesa sú identifikované na základe definovanej šírky jeho okraja, ktorá stanovuje vzdialenosť, do akej sa predpokladá degradácia lesa v dôsledku susedstva inej triedy krajinnej pokrývky. Pixely *core* sú bunky bez vplyvu okrajového efektu. Pixely *edge* a *perforated* sa vyskytujú na periférii pixelov *core*. Pixely *patch* reprezentujú malé fragmenty lesa, ktoré sú zo všetkých strán ovplyvnené okrajovým efektom.

* * *

Prezentované metodické postupy je možné využiť pri hodnotení celkovej diverzity krajiny, ale aj pri hodnotení

diverzity účelovo zvolenej triedy (napr. areálov lesa). Monitorovanie diverzity krajinnej pokrývky umožňuje sledovanie prirodzených aj antropogénnych procesov prebiehajúcich v krajine a prispieva k objektívnosti návrhov na zmeny vo využívaní krajiny. Za predpokladu pravidelnej aktualizácie vstupných databáz je týmto spôsobom možné sledovať dopady rôznych ekostabilizačných opatrení, a tiež efektívnosť finančných prostriedkov, ktoré budú na tento účel využité.

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

Literatúra

- Eiden, G., Kayadjanian, M., Vidal, C.: From Land Cover to Landscape Diversity – Capturing Landscape Structure: Tools. Brusel : European Commission, DG Agriculture, 2000. (<http://ec.europa.eu/agriculture/public/landscape/intro.htm>)
- Kopecká, M., Nováček, J.: Forest Fragmentation in the Tatra Region in the Period 2000 – 2006. Landform Analysis: publikacja Stowarszenia Geomorfologów Polskich, 2009, 10, p. 58 – 63.
- Kopecká, M., Nováček, J.: Natural Forest Fragmentation: an Example from the Tatra Region, Slovakia. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J. (eds.): Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World. Volume V. Asahikawa : Institute of Geography, Hokkaido University of Education and International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change, 2010, p. 51 – 56.
- McGarigal, K., Marks, B.: FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Portland : United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995, 122 p.
- Moxey, A., Whitby, M., Lowe, P.: Agri-environmental Indicators: Issues and Choices. Land Use Policy, 1998, 15, 4, p. 265 – 269.
- Oľahel, J., Feranec, J., Machková, N.: Diverzita krajiny Slovenska. Geografický časopis, 2002, 54, 2, s. 131 – 150.
- Riitters, K.H., Wickham, J.D., O’Neil, R.V., Jones, K.B., Smith, E.R., Coulston, J.W., Wade, T.G., Smith, J.H.: Fragmentation of Continental United States Forests. Ecosystems, 2002, 5, p. 815 – 822.
- Vogt, P., Riitters, K.H., Estreguil, C., Kozak, J., Wade, T.G., Wickham, J.D.: Mapping Spatial Patterns with Morphological Image Processing. Landscape Ecology, 2007, 22, p. 171 – 177.

RNDr. Monika Kopecká, PhD., monika.kopecka@savba.sk
Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava