

VÝPOČET TOPOGRAFICKEJ POLOHY NA PODKLADE  
DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU

CALCULATION OF TOPOGRAPHIC POSITION ON THE BASIS  
OF DIGITAL ELEVATION MODEL



Karol ŠINKA, Ľubomír KONC, Zlatica MUCHOVÁ

Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav, FZKI, SPU,  
Hospodárska 7, 94901 Nitra, Slovenská republika

The process of landscape spatial planning in environmental (territorial systems of ecological stability) or hydrological terms (flood control, erosion control measures) is conditional on a detailed analysis of morphometric and morphological relief characteristics. Their utilization and combination will allow us to determine and spatially identify (among others) topographic position of relief, which classifies the landscape into three broad positions, namely: ridges, slopes and valleys. In GIS environment, it is possible to carry out this classification by calculation of topographic position index (TPI). The algorithm of calculation is fairly simple and represents the difference between a central cell elevation value and the average elevation of the neighborhood around that cell. Elevation values are obtained from the digital elevation model, which is created by a suitable interpolation method. The resulting topographic position is heavily dependent on the scale, which is determined by neighborhood parameters (type, size). A point on top of a small hill (at the bottom of a larger valley) may be classified as a valley bottom at small scale, or a top of the hill at large scale. Both classifications are valid. The final decision and thus the responsibility is on the user, who must to consider, which is the most reasonable scale for the analyzed relief.

**Kľúčové slová v angličtine:** elevation, topographic position, valley, slope, ridge.

Stanovenie topografickej polohy si vyžaduje použitie morfometrických ukazovateľov reliéfu (sklony, tvary reliéfu, svahovú dĺžku), na základe ktorých sa vyčleňujú (Miklós a kol., 1990):

- začiatky svahov, vrcholy a chrbáty (počiatočné polohy),
- svahové polohy (tranzitné),
- úpätia a doliny (koncové polohy).

Tento ukazovateľ určuje, na ktorých plochách bude len odtok vody, resp. odnos materiálu bez prínosu (počiatočné polohy), na ktorých bude naopak len prítok, resp.

prísun (koncové polohy) a na ktorých bude pohyb materiálu závisieť od tvarov reliéfu a dĺžky svahov (svahové polohy). V zásade je na nich možný aj prítok aj odtok.

Miklós a Izakovičová (1997) ďalej vyčleňujú 5 základných druhov topografických polôh:

- a) samostatné polohy – hodnotená jednotka je zo všetkých strán obklopená menej členitými jednotkami, ako je ona sama, napr. samostatná pahorkatina v nížine,
- b) úpätné polohy – hodnotená jednotka je obklopená členitejšími jednotkami, tvorí úpätie medzi členitejšou jednotkou a rovinou, napr. úpätná pahorkatina pod hornatinou,
- c) údolné a depresné polohy – hodnotená jednotka je zo všetkých strán obklopená jednotkami vyššej
- d) členitosti, ako je ona sama, napr. erózna brázda vo vrchovine,
- e) stupňové polohy – hodnotená jednotka je zo všetkých strán obklopená členitejšími jednotkami, ako je ona sama, napr. terasová zvlnená plošina v pahorkatine,
- f) vrcholové, chrbtové a hrebeňové polohy – hodnotená jednotka je zo všetkých strán obklopená členitejšími jednotkami, ako je ona sama, napr. zvlnená vrcholová plošina vo vrchovine, planiny.

V prostredí GIS v záujme vyčlenenia topografických polôh v krajinnom priestore môžeme využiť nástroj **Topographic Position Index (TPI)**, ktorý je súčasťou voľne dostupného rozšírenia do prostredia ArcGIS pod názvom Land Facet Corridor (Jenness et al., 2013), vyžadujúci ako vstup výlučne **digitálny model reliéfu** riešeného územia.

## Materiál a metódy

### Charakteristika TPI

Koncept **ukazovateľa topografickej polohy** (Topographic position index – TPI) bol prezentovaný v roku 2001 na Medzinárodnej užívateľskej konferencii ESRI (ESRI International User Conference), vrátane spôsobu jeho výpočtu (Weiss, 2001). Využitie nástroja TPI v rôznych mierkach a pre rôzne svahy umožňuje užívateľovi klasifikovať danú krajinu podľa topografickej polohy (t.j. hrebeň – ridge top, dno údolia – valley bottom, svah – mid-slope, atď.) a podľa formy krajiny (napr. strmé úzke kaňóny – steep narrow canyons, plytké údolia – gentle valleys, roviny – plains, otvorené svahy – open slope, plošiny – mesas/tablelands, atď.). Z aspektu hydrologického (prítok, odtok), ale aj z hľadiska ekologického (navrhovanie koridorov v krajine, Jenness et al., 2013) využívame index topografickej polohy na klasifikáciu krajiny do troch topografických polôh širšieho významu, a to: **hrebeň, svah, údolie**.

**Algoritmus** pre výpočet TPI je jasný a pomerne jednoduchý. Index topografickej polohy je základom klasifikačného systému a predstavuje iba rozdiel medzi hodnotou nadmorskej výšky (spravidla) centrálnej bunky a priemernou nadmorskou výškou definovaného okolia (neighborhood) tejto bunky. Pozitívne hodnoty znamenajú, že bunka je vyššie umiestnená než ju obklopujúce bunky, kým negatívne hodnoty vyjadrujú nižšie umiestnenie bunky. Do akej miery je bunka vyššie alebo nižšie položená, ako aj samotný sklon bunky sú použité na klasifikáciu bunky podľa jej polohy na svahu. Pokiaľ je bunka umiestnená výrazne vyššie než okolité susedské bunky, je pravdepodobné, že bude na (alebo blízko) vrchnej časti svahu, resp. blízko hrebeňa. Výrazne nižšie hodnoty naznačujú, že bunka predstavuje dno údolia, alebo sa nachádza v jeho blízkosti. Hodnoty TPI blízko nuly môžu znamenať buď rovnú plochu (tzv. flat area) alebo strednú časť svahu (tzv. mid-slope area) (obr. 1). V týchto prípadoch ku konečnému definovaniu topografickej polohy dochádza na základe sklonu dotknutej bunky.

**Obrázok 1.** Interpretácia hodnôt ukazovateľa topografickej polohy

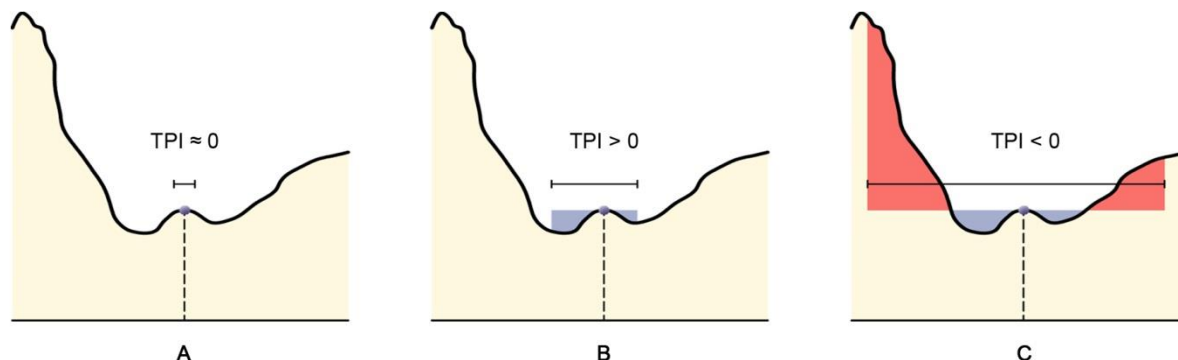


**Figure 1** Interpretation values of topographic position index

### Mierka a okolie

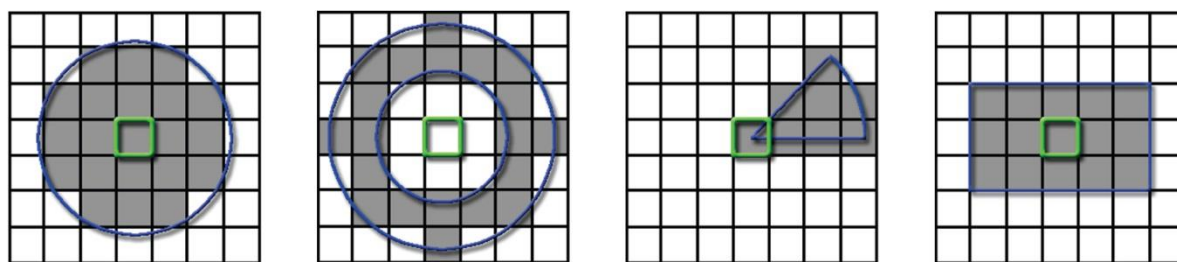
Index topografickej polohy je prirodzene závislý na mierke. Veľmi obrazne povedané, ten istý bod na vrchu pohoria môže byť považovaný za vrchol hrebeňa (ridgetop) pre staviteľa cestnej komunikácie, ale taktiež môže byť považovaný za rovnú plochu (rovinu) pre hmyz žijúci v pôde. Klasifikácie vytvorené nástrojom TPI tým pádom výrazne závisia od miery použitej na analýzu danej krajiny.

Ako môžeme vidieť na obrázku č. 2, TPI je počítaný pre ten istý bod krajinného priestoru aplikovaním 3 rôznych mierok. Vo všetkých prípadoch je bod lokalizovaný na vrchu malého kopca nachádzajúceho sa vo vnútri väčšieho údolia. V prípade „A“ je mierka dostatočne veľká (t.j. podrobná), z čoho vyplýva, že bod je približne v rovnakej nadmorskej výške ako celý analyzovaný región (okolie bunky), a preto hodnota TPI bude približne 0. V prípade „B“, analyzovaný región je dostatočne veľký na to, aby zahŕňal celú časť malého kopca, z dôsledku čoho je bod oveľa vyššie než jeho okolie, k čomu zodpovedá kladná hodnota TPI. V prípade „C“, definované okolie zahrňuje vrcholy na oboch stranách údolia, a preto sa bod nachádza nižšie než jeho okolie a má záporné hodnoty TPI.

**Obrázok 2.** Hodnoty TPI pri rôznych mierkach (Jenness et al., 2013)**Figure 2** TPI values at different scales (Jenness et al., 2013)

Užívatelia jednoznačne musia zvážiť, ktorá mierka je najviac relevantná pre analyzovaný jav. V prípade ekológa, ktorého predmetom záujmu je topografická charakteristika stanovišť (biotopov) veľkých, „širšie“ sa pohybujúcich zvierat, mal by si s najväčšou pravdepodobnosťou definovať klasifikáciu krajiny v podmienkach veľkých, zreteľných topografických čŕt. Je potrebné zdôrazniť, že bod na vrchu malého kopca (v rámci dna väčšieho údolia) môže byť klasifikovaný ako dno údolia v malej mierke (pri malej rozlišovacej schopnosti), alebo ako vrch kopca vo veľkej mierke (pri veľkej rozlišovacej schopnosti). Obe klasifikácie sú správne, konečné rozhodnutie ja na užívateľovi, ktorá mierka je vhodná, resp. primeraná pre jeho analýzy.

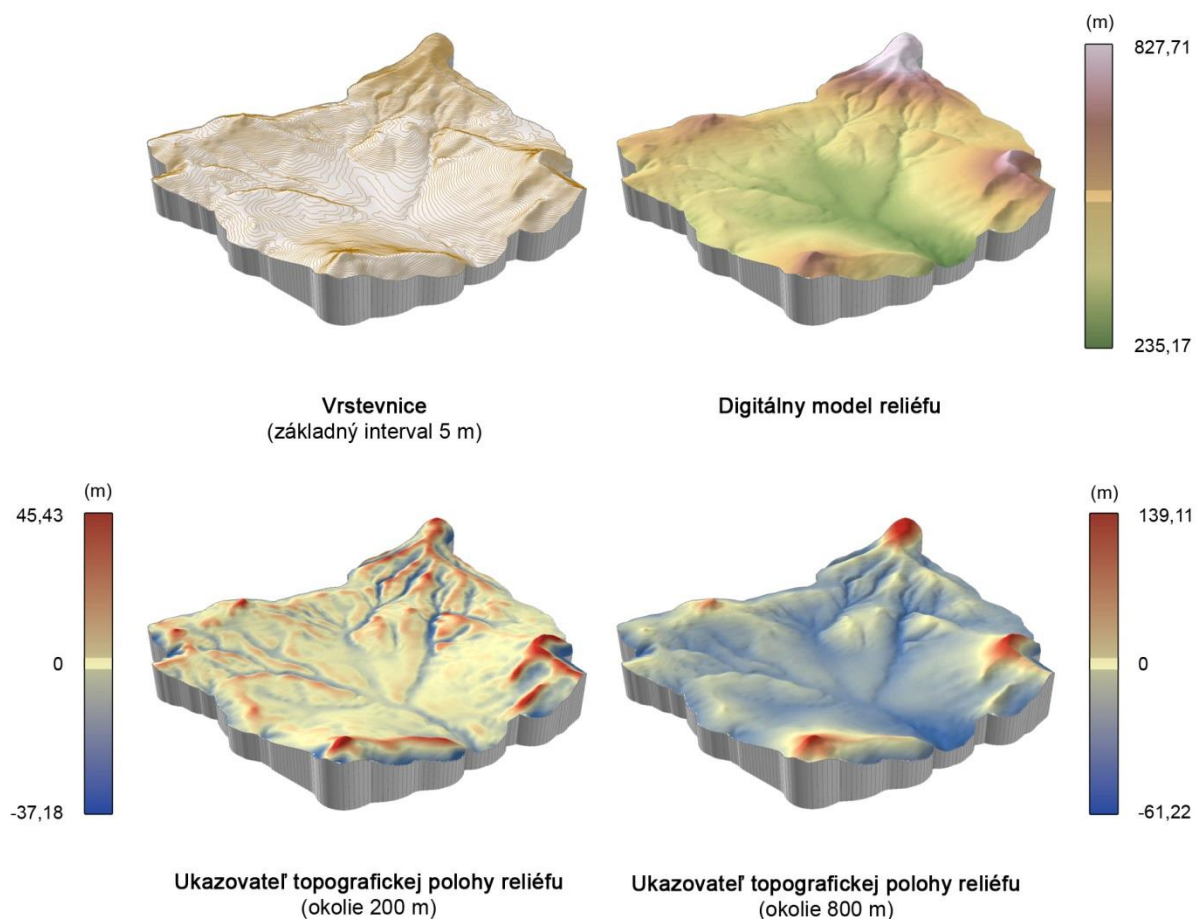
**Mierka** je určená prostredníctvom okolia skúmanej bunky, používaného v analýzach. Presne ktoré bunky rastra (pri známom rozlíšení) budú považované za „okolie“ bunky, závisia vždy od nastavenia typu (obr. 3) a veľkosti okolia.

**Obrázok 3.** Typy okolia vo vzťahu k rastrovému modelu: kruhový, prstencový, klinový, obdĺžnikový tvar (Weiss, 2001)**Figure 3** Neighborhood types in relation to the raster model: circle, annulus, wedge, rectangle shape (Weiss, 2001)

Na obrázku č. 4 môžeme vidieť hodnoty ukazovateľa TPI z hornej časti povodia Drevenica (k. ú. Kostolany pod Tribečom, okres Zlaté Moravce) stanovené použitím dvoch rôzne určených parametrov okolia. Príklad v ľavej časti znázorňuje

využitie kruhového okolia s polomerom 200 m, čo znamená, že hodnota TPI pre každú bunku odráža rozdiel medzi nadmorskou výškou danej bunky a priemernou nadmorskou výškou všetkých buniek do 200 metrov od tejto bunky. Príklad vpravo zobrazuje výpočet TPI využitím kruhového okolia s polomerom 800 m.

**Obrázok 4.** TPI pri využití kruhového okolia s polomerom 200 a 800 m



**Figure 4** TPI using circle neighborhood with a radius of 200 and 800 m

Okrem, v príklade použitého kruhového okolia, sú k dispozícii aj iné alternatívy (obr. 3). Weiss (2001) uvádza ako príklad prstencové okolie, resp. medzikružie (annular neighborhoods), kde sa berú do úvahy iba bunky nachádzajúce sa v špecifikovanom rozsahu vzdialeností. Niektorí výskumníci síce využívajú aj obdĺžnikové (pravouhlé) okolie (rectangle neighborhoods), i keď vo väčšine prípadov sú kruhové alebo prstencové okolie v prípade stanovenie hodnôt TPI vhodnejšie. Okolie v klinovom tvare, resp. ako kruhová výseč (wedge-shaped neighborhoods) sú vhodné na obmedzenie vykonávaných analýz v určitom smere (Jenness et al., 2013).



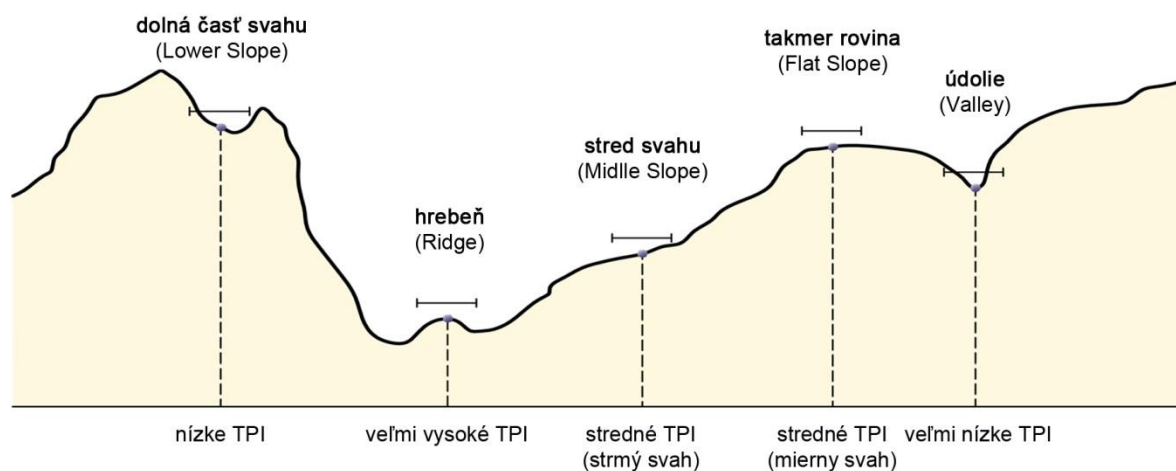
## Výsledky a diskusia

Získané hodnoty ukazovateľa topografickej polohy (TPI) môžu byť následne **klasifikované do kategórií topografických polôh**. Samotná klasifikácia sa vykonáva podľa **uhľa sklonu** a na základe **počtu buniek** (reprezentujúcich nadmorskú výšku) **odlišných od priemeru svojho okolia**. V tomto smere existuje niekoľko prístupov, ktoré môžu byť užívateľom aplikované.

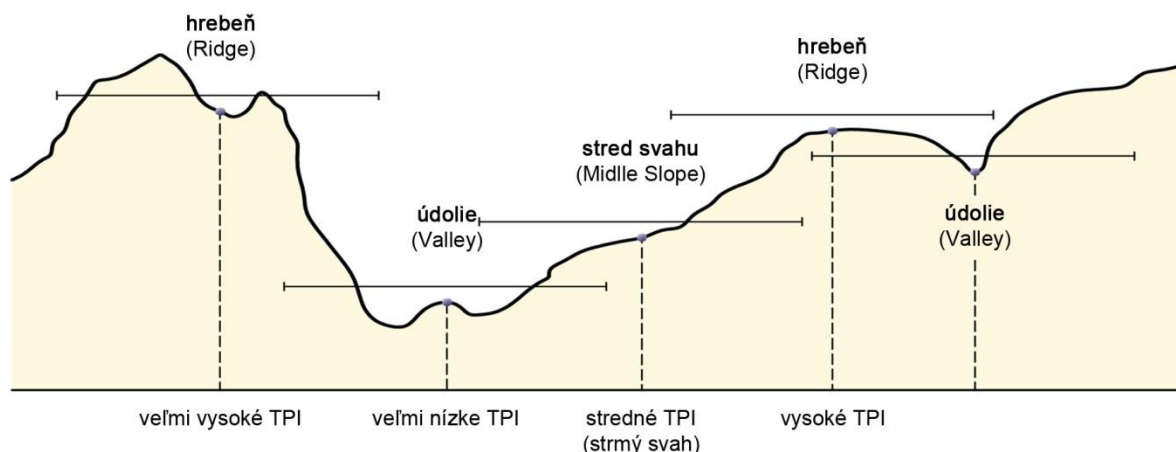
**Najjednoduchší spôsob** spočíva v nastavení **prahových hodnôt** pre samotný raster TPI. Hodnoty TPI nad určitou prahovou hodnotou sú klasifikované ako vrcholy hrebeňov (ridgetops) alebo vrcholy kopcov (hilltops), zatiaľ čo hodnoty TPI pod prahovou hodnotou predstavujú dna údolí (valley bottoms) alebo depresie, t.j. terénne zníženiiny. Hodnoty TPI blízko nuly nám môžu predstavovať buď rovinné plochy (pokiaľ aj uhol sklonu je blízko nuly), alebo plochy reprezentujúce strednú časť svahu (pokiaľ je sklonitosť väčšia než špecifikovaná prahová hodnota).

Mierne **sofistikovanejší spôsob** prezentovaný Weissom (2001) spočíva v stanovení prahových TPI hodnôt podľa **štandardných odchýlok z elevácií** (nadmorských výšok), ktorý tým pádom berie do úvahy **variabilitu** výškových hodnôt v rámci daného okolia. To znamená, že bunky rastra s identickou hodnotou TPI môžu byť klasifikované odlišne v rôznych oblastiach, v závislosti na variabilite v ich príslušnom okolí. Táto metóda (v závislosti od vytýčeného cieľa a riešeného územia) môže, ale aj nemusí byť najvhodnejšia pri definovaní topografických polôh daného krajinného priestoru. Všeobecne môžeme ďalej skonštatovať, že veľkosť okolia je tiež rozhodujúcou zložkou v procese klasifikácie topografickej polohy reliéfu. Malé okolie (obr. 5) zachytí malé a miestne vrcholy, resp. údolia, zatiaľ čo veľké okolie (obr. 6) zachytáva prvky väčšieho meradla (rozsahu).

**Obrázok 5.** Klasifikácie polohy svahu pri aplikovaní malého okolia (Weiss, 2001)



**Figure 5** Small-neighborhood slope position classification (Weiss, 2001)

**Obrázok 6.** Klasifikácie polohy svahu pri aplikovaní veľkého okolia (Weiss, 2001)**Figure 6** Large-neighborhood slope position classification (Weiss, 2001)

Hodnoty TPI blízko nuly (t.j. nadmorská výška predmetnej bunky sa blíži k priemernej nadmorskej výške definovaného okolia buniek) môžu opäť predstavovať rovinnú plochu alebo časť svahu s lineárnym zakrivením. Odlíšenie sa aj v tomto prípade zabezpečí s kontrolou uhla skonu v danom bode. Na obrázku 7 je znázornený príklad klasifikácie topografickej polohy reliéfu (výrez z povodia Drevenica) do **6 kategórií** s využitím hodnôt TPI ako aj uhla sklonu. K definovaniu prahových TPI hodnôt sa pristúpilo na základe štandardných odchýlok (SD) z elevácií. Z porovnania vyplýva, že v prípade zvolenia si väčšieho okolia (800 m) došlo k zániku menších vrcholov, napr. v blízkosti sútoku vodných tokov z dôvodu ich „pohltenia“ s výraznejšou údolnicou. Obdobne došlo k zániku menších údolnic v prospech väčších vrcholov.

**Obrázok 7.** Klasifikácie polohy svahu do 6 kategórií s polomerom 200 a 800 m**Figure 7** Slope position classification into 6-categories with a radius of 200 and 800 m

## Súhrn

Proces priestorového plánovania krajiny, či už z ekologického (územné systémy ekologickej stability), alebo hydrologického (protipovodňové, protierózne opatrenia) hľadiska je podmienený podrobnou analýzou morfometrických, ako aj morfológických charakteristík reliéfu. Ich využitie, resp. kombinácia nám umožní stanoviť a priestorovo identifikovať (okrem iných) topografickú polohu reliéfu, klasifikujúc krajinu do troch polôh širšieho významu, a to: hrebeň, svah a údolie. V prostredí GIS je možné k tejto klasifikácii pristúpiť výpočtom tzv. ukazovateľa (indexu) topografickej polohy. Algoritmus výpočtu je pomerne jednoduchý, a predstavuje rozdiel medzi hodnotou nadmorskej výšky centrálnej bunky a priemernou nadmorskou výškou definovaného okolia bunky. Hodnoty nadmorských výšok sú čerpané z digitálneho modelu reliéfu, vytvoreného vhodnou interpolačnou metódou. Výsledná topografická poloha je výrazne závislá od mierky, určenej prostredníctvom parametrov okolia (typ, veľkosť). Bod na vrchu malého kopca (v rámci dna väčšieho údolia) môže byť klasifikovaný ako dno údolia v malej mierke, alebo ako vrch kopca vo veľkej mierke. Obe klasifikácie sú právne. Konečné rozhodnutie a tým aj zodpovednosť je na užívateľovi, ktorý si musí zvážiť, ktorá mierka je najviac vhodná pre daný analyzovaný reliéf.

**Kľúčové slová:** nadmorská výška, topografická poloha, údolie, svah, hrebeň.

## Literatúra

JENNESS, J. et al. 2013. *Land Facet Corridor Designer*. Manual. 102 p.

MIKLÓS, L. – IZAKOVIČOVÁ, Z. 1997. *Krajina ako geosystém*. Bratislava : VEDA. 153 s. ISBN 80-224-0519-1.

MIKLÓS, L. a kol. 1990. *Metódy v krajinnoekologickom plánovaní LANDEP*. Interpretácia morfometrických vlastností reliéfu v krajinnoekologickom plánovaní. Nitra : ÚKE SAV. 94 s.

WEISS, A. 2001. *Topographic Position and Landforms Analysis*. Poster presentation. ESRI User Conference, San Diego, CA. Available, by permission from the author, at: [http://www.jennessent.com/arcview/TPI\\_Weiss\\_poster.htm](http://www.jennessent.com/arcview/TPI_Weiss_poster.htm).



**Kontaktná adresa:**

Ing. Karol Šinka, PhD., Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav, FZKI SPU, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, tel.: +421 (37) 641 52 21, e-mail: karol.sinka@uniag.sk

**PodĎakovanie**

Tento príspevok vznikol s podporou projektu VEGA č. 1/0656/12.