

VPLYV KVALITY DIGITÁLNYCH VÝŠKOVÝCH MODELOV NA ANALÝZY VIDITEĽNOSTI V GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÝCH SYSTÉMOCH

Alexandra RÁŠOVÁ

Effect of digital elevation model quality on visibility analysis in geographical information systems

Abstract: Current geographical information systems (GIS) software packages usually offer a possibility to calculate viewshed from a given observation point and a digital elevation model (DEM). Although the inaccuracy of the DEM is acknowledged in its metadata, it is still not very common to consider it in analyses in GIS environment – although the DEM inaccuracy represents an important effect on the result. This article presents different methods of DEM error modelling and an approach to integrate the DEM inaccuracy in the process of visibility analysis. Probability of a cell being visible in consideration of the DEM error can be expressed using probable viewshed. In probable viewshed raster, each cell has assigned value from the range from 0 to 1 depending on its probability to be visible. An ArcGIS Model Builder Toolbox was created to calculate the probable viewshed; this toolbox contains two models for calculation with and without consideration of spatial correlation of the DEM error. Probable viewshed is computed using Monte Carlo simulation for a given number of random DEM realisations. Both models require an observation point, a DEM, and information about the DEM quality (root mean square error – RMSE and its distribution). The calculated probable viewshed – unlike the “common” viewshed – gives the information about the influence of DEM inaccuracy and therefore it can prevent misinterpreting the results of the visibility analysis and their incorrect application.

Keywords: visibility analysis, probable viewshed, digital elevation model, inaccuracy, uncertainty, error modelling, Monte Carlo simulation

Úvod

Analýzy viditeľnosti patria medzi priestorové analýzy so širokým uplatnením v praktických aplikáciách aj akademických výskumoch a funkcie na ich výpočet sú v súčasnosti bežnou súčasťou softvérov geografických informačných systémov (GIS). Modelovaním viditeľnosti je možné nájsť vhodné lokality pre zariadenia a stavby vyžadujúce výhľad (vysieláče, prijímače, vyhliadkové body) alebo naopak ich umiestnenie s ohľadom na čo najmenší vizuálny dopad na okolité prostredie (veterné elektrárne, nová výstavba). V armáde sa uplatňujú pri hľadaní najbezpečnejších trás presunu, útočných a obranných stratégiách (Caldwell et al., 2004). Výpočet viditeľností je aj súčasťou softvérového rozšírenia *Military Analyst* pre ArcGIS. V archeologických aplikáciách sa obvykle hľadajú príčiny umiestnenia stavieb alebo objektov vzhľadom na ich okolie. Na ilustráciu možno spomenúť analýzu kamenných kruhov v Írsku (Flanagan, 2006), geoglyfov na planine Nasca v Peru (Lambers a Sauerbier, 2008), či kamenných komorových hrobov v Škótsku (Phillips, 2003).

Výpočet analýz viditeľností v prostredí GIS prebieha na digitálnom výškovom modeli (*digital elevation model*, DEM). Výsledky sa môžu značne zmeniť aj po malej zmene výšky terénu, preto sa neistota DEM, najmä vo vertikálnom smere, môže výrazne prejaviť v neistote výsledného produktu. Na zohľadnenie tohto problému je možné využiť tzv. pravdepodobnú viditeľnosť, ktorá vyjadruje pravdepodobnosť viditeľnosti danej bunky vzhľadom na neistotu niektorého vstupného parametra (v tomto prípade vertikálnu chybu DEM).

Ing. Alexandra RÁŠOVÁ, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: alexandra.rasova@stuba.sk

Na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti bola vytvorená a publikovaná nástrojová sada v prostredí ArcGIS Model Builder (Rášová, 2013). Neuváženie kvality DEM môže viesť k nadhodnoteným výsledkom, ich nesprávnej interpretácii a aplikácii nielen pri analýzach viditeľnosti, ale pri všetkých analýzach, ktoré sú vykonávané na DEM.

1. Kvalita digitálneho výškového modelu

Európska smernica INSPIRE sa zaoberá DEM v rámci témy nadmorskej výšky v dokumente *Data Specification on Elevation* (2013), a to vrátane prvkov ich kvality a metadát. Tento dokument obsahuje technické odporúčania a požiadavky, ktoré samy o sebe nie sú právne záväzné, ale sú navrhnuté tak, aby spĺňali súvisiace vykonávacie predpisy. Právna záväznosť vykonávacích predpisov vyplýva zo *Zákona NR SR č. 3/2010 Z.z o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie* (NIPI), ktorým sa smernica INSPIRE prevzala do slovenskej legislatívy.

Dátový model INSPIRE umožňuje vyjadrenie výšky v podobe DEM, buď ako digitálneho modelu reliéfu (*digital terrain model*, DTM) popisujúceho priestorový tvar povrchu Zeme, alebo digitálneho modelu povrchu (*digital surface model*, DSM), ktorý zahŕňa aj výšky všetkých statických objektov na povrchu (vegetácia, stavby, a pod.). V oboch prípadoch sa uvažuje s tzv. 2,5-D modelovaním, kedy je každému bodu povrchu $P(x, y)$ priradená jediná hodnota výšky ($f(x,y) = z$), čím je umožnené modelovanie povrchu s výnimkou niektorých terénnych foriem (napr. previsy). DEM môže byť priestorovo reprezentovaný viacerými metódami; záväznou je rastrová reprezentácia v podobe pravidelnej mriežky (grid) (INSPIRE Thematic Working Group Elevation, 2013).

V otázke kvality výškových informácií a kvality DEM odkazuje tento dokument na ISO normy radu 19000 zaoberajúce sa geografickými informáciami, konkrétne EN ISO 19113 (2005), EN ISO 19115 (2005), ISO/TS 19138 (2006), ISO/TS 19139 (2007), ISO/DIS 19157 (2013). Pre priestorové dáta sa uvažujú prvky a podprvky kvality dát uvedené v tab.1.

Tab. 1 Prvky kvality dát použité v téme nadmorskej výšky

Prvok / Podprvok kvality údajov	Aplikácia na typy priestorovej reprezentácie		
	Vektor	Grid	TIN
Úplnosť / Pridanie	X		X
Úplnosť / Vynechanie	X	X	X
Logická spojitosť / Konceptuálna spojitosť	X	X	X
Logická spojitosť / Tematická spojitosť	X		X
Logická spojitosť / Formátová spojitosť	X	X	X
Logická konzistentnosť / Topologická konzistentnosť	X		X
Polohová presnosť / Absolútna polohová presnosť	Horizontálna zložka		Horizontálna zložka
	Vertikálna zložka	Vertikálna zložka	Vertikálna zložka
Polohová presnosť / Polohová presnosť údajov pravidelných štvorcových sietí		Horizontálna zložka	

(*Data Specification on Elevation*, 2013, s. 84-85)

Pre analýzy viditeľnosti, ktoré sú obvykle vykonávané na rastrovom DEM (grid), je z tab.1 dôležitá polohová presnosť vo vertikálnej zložke, ktorá sa v súlade s ISO 19157 udáva ako stredná kvadratická chyba (*root mean square error*, RMSE) a má význam štandardnej odchýlky. Odporúčaná maximálna hodnota RMSE by podľa spomínaného dokumentu nemala presiahnuť hodnotu $GSD/3$, kde GSD (*ground sample distance*) predstavuje veľkosť bunky na povrchu (rozlíšenie DEM).

2. Modelovanie neistoty digitálneho výškového modelu

Data Specification on Elevation obsahuje odporúčanie, že by všetky priestorové objekty mali byť poskytované s čo najlepšou priestorovou, časovou a tematickou presnosťou, aby slúžili relevantnému použitiu. Vzhľadom na odporúčaný spôsob vyjadrenia polohovej presnosti vo vertikálnej zložke sa tak vychádza z nevysloveného predpokladu, že hodnota štandardnej odchýlky je postačujúcim údajom vyjadrenia kvality DEM.

Objavujú sa však požiadavky na detailnejší popis kvality priestorových dát – Kyriakidis et al. (1994), Burrough a McDonnell (1998), Fisher (1991). Vzhľadom na spôsob tvorby DEM možno predpokladať, že sa jeho chyba bude líšiť v oblastiach s rôznymi terénnymi tvarmi (napr. pri fotogrametrickej tvorbe sa očakáva vyššia presnosť na rovine a nižšia pri svahoch alebo oblastiach s vegetáciou). Prístup zohľadňujúci priestorovú variabilitu chyby DEM umožňuje lepšie porozumieť jeho kvalite a súvisiacej neistote výsledkov analýz používajúcich DEM ako vstup; zároveň by umožnil identifikovať oblasti, kde by dodatočné dáta najviac zvýšili jeho kvalitu (Carlisle, 2005).

Existujú viaceré spôsoby modelovania priestorového rozdelenia chyby DEM. Carlisle (2005) využíva regresné modely na definovanie vzťahu medzi chybou DEM a charakterom povrchu, ktorý následne využíva na tvorbu „povrchu presnosti“ (*accuracy surface*). Fisher (1998) navrhuje modelovanie chyby DEM prostredníctvom simulovanej priestorovej autokorelácie, prípadne empirických variogramov tvorených pre konkrétnu oblasť. Wechsler (1999) uvádza viaceré spôsoby modelovania chyby DEM v podobe nefiltrovaných náhodných hodnôt alebo s uvážením priestorovej autokorelácie; autokorelácia pritom môže byť do výpočtu zavedená jednoduchým nahradením hodnoty bunky priemerom hodnôt z buniek v jej blízkom okolí (3×3 filter) alebo určením priemernej, vázenej alebo vázenej inverznej priestorovej závislosti pre konkrétny DEM.

Vzhľadom na obvykle dostupné údaje o presnosti DEM sa ako používateľsky najprívítivejšie a najuniverzálnejšie javí využitie RMSE - komplexnejšie geoštatistické postupy špecifické pre danú oblasť sú náročnejšie na spracovanie a vyžadujú množinu kontrolných bodov, ktorá nemusí byť používateľovi dostupná.

3. Vplyv neistoty digitálneho výškového modelu na analýzy viditeľnosti

Analýzy viditeľnosti spočívajú v stanovení oblastí viditeľných z pozorovacieho bodu, prípadne bodov, alebo určenie vzájomnej viditeľnosti medzi dvoma bodmi. Vychádzajú z výpočtu tzv. línie pohľadu (*line-of-sight*), ktorá je definovaná ako spojnica medzi pozorovacím a cieľovým bodom. Pri vyhodnotení viditeľnosti bodov sa priebeh línie pohľadu porovnáva s výškou medziľahlých buniek: ak je výška buniek v niektorom bode presahuje líniu pohľadu, znamená to, že sa medzi pozorovacím a pozorovaným bodom nachádza prekážka brániaca ich vzájomnej viditeľnosti a bunky sú vyhodnotené ako vzájomne neviditeľné. Okrem línie pohľadu umožňuje väčšina GIS softvérov výpočet viditeľnosti funkciou *viewshed*, ktorá stanovuje viditeľnosť medzi pozorovacím bodom a všetkými bunkami v zadanej oblasti. Viditeľnosť je vyhodnotená ako „pozitívna“ alebo „negatívna“, bunkám výsledného rastra je konvenčne priradená hodnota 1 pre „pozitívne“, viditeľné oblasti, respektíve 0 pre „negatívne“, neviditeľné oblasti (Connolly a Lake, 2006; Wheatley a Gillings, 2005).

Vzhľadom na spôsob výpočtu viditeľnosti je zrejmé, že výsledky budú najviac ovplyvnené použitým digitálnym modelom a jeho neistota vo vertikálnom smere sa odrazí v neistote vyhodnotenia viditeľnosti buniek. Vplyv neistoty DEM je možné vyjadriť pomocou tzv. pravdepodobnej viditeľnosti (*probable viewshed*). Fisher (1992) navrhol jej výpočet simuláciou Monte Carlo, kde je pre zvolený počet náhodných realizácií DEM počítaná jednoduchá viditeľnosť. Pravdepodobná viditeľnosť predstavuje ich aritmetický priemer, takže každá z buniek výsledného rastra má hodnotu z intervalu $<0, 1>$. Táto hodnota vyjadruje pravdepodobnosť viditeľnosti bunky vzhľadom na neistotu DEM. Hodnota blízka 0 znamená, že sa vyskytol malý počet náhodných realizácií DEM, kde bola bunka viditeľná a hodnoty blízke 1 signalizujú, že bunka bola viditeľná pri takmer všetkých náhodných realizáciách. Bunky s hraničnými hodnotami 0 alebo 1 môžeme považovať za neviditeľné, resp. viditeľné; u viditeľných však môžu pôsobiť aj ďalšie faktory ovplyvňujúce viditeľnosť (meteorologické podmienky, vlastnosti pozorovateľa a cieľa, prekážky viditeľnosti).

Uvedený prístup bol využitý pri tvorbe nástrojovej sady na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti „Probable Viewshed“¹ v aplikácii Model Builder v prostredí ArcGIS 10.1. Nástrojová sada obsahuje dva nástroje: jeden modeluje chybu DEM bez uváženia priestorovej autokorelácie chýb, druhý ju zohľadňuje vyhladzovacím filtrom (tzv. low-mean filter). Nástroje umožňujú zvoliť počet náhodných realizácií, typ rozdelenia náhodných chýb a jeho parametre a obvyklé vstupy analýz viditeľností. Voľba rozdelenia závisí od toho, čím je vyjadrená vertikálna chyba DEM: obvyklé je použitie normálneho rozdelenia, ale v prípade, že je stredná chyba určená z kontrolných bodov s vyššou kvalitou než má DEM, odporúča Wechsler (1999) použiť rovnomerné rozdelenie.

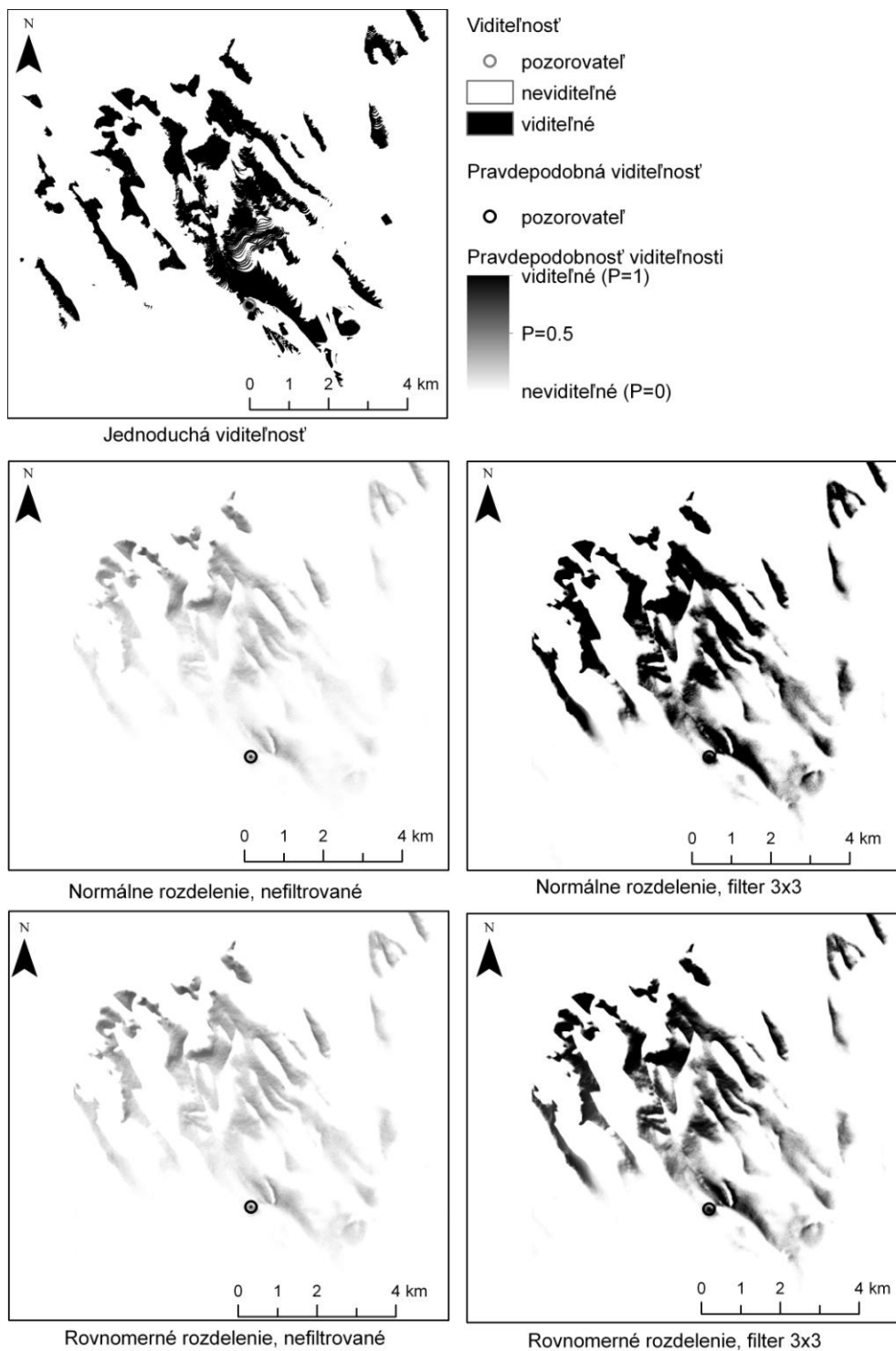
Nástroje boli využité pri výpočte pravdepodobnej viditeľnosti na digitálnom modeli reliéfu úrovne 3 (DMR-3) vytvorenom Topografickým ústavom plukovníka Jána Lipského (TOPÚ). Pravdepodobná viditeľnosť bola vypočítaná zo 100 náhodných realizácií. Výpočet bol vykonaný s uvážením a bez uváženia priestorovej autokorelácie chýb pomocou filtra z blízkeho okolia buniek pre normálne aj rovnomerné rozdelenie. Hodnoty RMSE použité na výpočet vychádzajú z hodnotenia presnosti DMR-3, ktoré publikovali Mičietová a Iring (2011): pre použité rozlíšenie 10 m uvádzajú strednú hodnotu absolútnej vertikálnej chyby 0,84 m so štandardnou odchýlkou 1,70 m. Pri rovnomernom rozdelení boli náhodné hodnoty generované z intervalu -1,96 m až +3,64 m (oblasť prijatia 90 %), pri normálnom rozdelení bola použitá uvedená stredná hodnota a štandardná odchýlka.

Vypočítané varianty pravdepodobnej viditeľnosti (normálne rozdelenie bez filtra, normálne rozdelenie s filtrom, rovnomerné rozdelenie bez filtra, rovnomerné rozdelenie s filtrom) boli porovnané s jednoduchou viditeľnosťou; toto porovnanie je uvedené v tab. 2. Na obr.1 sa nachádza grafické zobrazenie pravdepodobných viditeľností a jednoduchej viditeľnosti. Očividným rozdielom v porovnaní s jednoduchou viditeľnosťou je výrazné zníženie počtu jednoznačne viditeľných buniek, čo je znakom, že bežný výpočet viditeľnosti môže dávať nadhodnotené výsledky. Zníženie počtu jednoznačne neviditeľných buniek (hodnota 0) však poukazuje aj na to, že sa uvážením neistoty DEM môžu niektoré bunky stať viditeľnými. Vyhladenie náhodných hodnôt zavedením filtra vo všeobecnosti zvyšuje „priaznivost“ výsledku a zároveň sa znižujú aj rozdiely medzi použitím normálneho alebo rovnomerného rozdelenia. Toto je možné využiť v prípade, že poznáme len hodnotu RMSE bez znalosti spôsobu, akým bola určená, alebo pokiaľ jej hodnotu len odhadujeme napr. na základe použitej metódy tvorby DEM.

Tab. 2 Porovnanie počtu viditeľných buniek pri variantoch pravdepodobnej viditeľnosti

Viditeľnosť buniek	Jednoduchá viditeľnosť		Normálne rozdelenie		Normálne rozdelenie, filter		Rovnomerné rozdelenie		Rovnomerné rozdelenie, filter	
	Počet buniek	%	Počet buniek	%	Počet buniek	%	Počet buniek	%	Počet buniek	%
0,0	605732	74,8	576696	71,2	542385	66,9	560609	69,3	544203	67,1
(0,0; 0,2>	-	-	212604	26,3	126100	15,6	214791	26,5	116375	14,4
(0,2; 0,4>	-	-	15265	1,9	91035	11,2	27148	3,4	96619	11,9
(0,4; 0,6>	-	-	4538	0,6	16809	2,1	6317	0,8	17595	2,2
(0,6; 0,8>	-	-	395	0,0	11933	1,5	633	0,1	12122	1,5
(0,8; 1)	-	-	0	0,0	18557	2,3	0	0,0	18558	2,3
1,0	203776	25,2	10	0,0	3655	0,5	10	0,0	5002	0,6
Suma	809508	100	809508	100	810474	100	809508	100	810474	100

¹ Nástrojová sada „Probable Viewshed“ je dostupná na: <http://goo.gl/CAM3Y> (skrátенý odkaz)



Obr.1 Jednoduchá viditeľnosť a varianty pravdepodobnej viditeľnosti

Záver

Neistota vstupných dát ovplyvňuje spoľahlivosť dosiahnutých výsledkov. V prípade analýz viditeľnosti má významný vplyv digitálny výškový model (DEM), a to najmä jeho presnosť vo vertikálnom smere. Informácia o kvalite DEM býva obsiahnutá v jeho metadátach a je možné ju využiť pri modelovaní vplyvu neistoty DEM na výpočet viditeľnosti v podobe tzv. pravdepodobnej viditeľnosti.

Na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti bola vytvorená nástrojová sada „Probable Viewshed“, ktorá bola následne sprístupnená na internete. V realizovanom výpočte pravdepodobnej viditeľnosti boli porovnané štyri varianty uvažujúce normálne alebo rovnomerné rozdelenie náhodných chýb v DEM, pracujúce s nefiltrovaným náhodným povrchom alebo s použitím filtra 3×3 na zohľadnenie priestorovej autokorelácie chýb. Nástroj pracuje na princípe Monte Carlo simulácie a vyžaduje znalosť RMSE pre použitý DEM – strednú hodnotu a štandardnú odchýlku pre normálne rozdelenie náhodných chýb, minimálnu a maximálnu hodnotu pre rovnomerné rozdelenie.

Pravdepodobná viditeľnosť poskytuje cennú informáciu o spoľahlivosti výsledkov analýz viditeľnosti. To, ako veľmi neistota DEM ovplyvňuje vypočítanú viditeľnosť, závisí od konkrétnej konfigurácie vstupných parametrov (postavenie pozorovateľa, priebeh terénu). Pravdepodobná viditeľnosť môže byť vhodným kritériom napríklad pri výbere optimálneho umiestnenia konštrukcií vyžadujúcich viditeľnosť (vysielače, výhľadové veže).

Množstvo analýz vykonávaných v prostredí GIS vyžaduje ako vstup DEM a vplyv jeho chyby na správnosť výsledku môže byť rozhodujúci. DEM je však často považovaný skôr za bezchybnú reprezentáciu zemského povrchu, než za model, ktorým je. Postup zohľadnenia vertikálnej chyby DEM opísaný v tomto článku je možné použiť aj pri iných druhoch priestorových analýz ako sú analýzy viditeľnosti, napr. pri výpočte sklonu svahu alebo komplexnejších hydrologických analýzach. Uváženie vplyvu neistoty DEM predchádza riziku nesprávnej interpretácie a použitia dosiahnutých výsledkov.

Literatúra

- BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford (Oxford University Press).
- CALDWELL, D.R., EHLEN, J., HARMON, R. (2004). *Studies in military geography and geology*. Boston (Kluwer Academic Pub).
- CARLISLE, B. (2005). Modelling the Spatial Distribution of DEM error. *Transactions in GIS*, 9, 4, pp. 521-540.
- CONNOLY, J. LAKE, M. (2006). *Geographical information systems in archaeology*. New York (Cambridge University Press).
- DATA SPECIFICATION ON ELEVATION (2013). D2.8.II.1 *Data Specification on Elevation – Draft Technical Guidelines*.
- EN ISO 19113 (2005). *Geographic information – Quality principles*.
- EN ISO 19115 (2005). *Geographic information – Metadata*.
- INSPIRE Thematic Working Group Elevation (2013). *Data Specification on Elevation – Draft Technical Guidelines D2.8.II.1_v3.0*. Luxembourg (EUROSTAT).
- INSPIRE (2013). Thematic Working Group Elevation
- ISO/TS 19138 (2006). *Geographic Information – Data quality measures*.
- ISO/TS 19139 (2007). *Geographic information – Metadata – XML schema implementation*.
- ISO/DIS 19157 (2013). *Geographic information – Data quality*.
- FISHER, P. (1991). First experiments in Viewshed Uncertainty: The Accuracy of the Viewshed Area. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57, 10, pp. 1321-1327.
- FISHER, P. (1992). First Experiments in Viewshed Uncertainty: Simulating Fuzzy Viewsheds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58, 3, pp. 345-352.
- FISHER, P. (1998). Improved Modeling of Elevation Error with Geostatistics. *Geoinformatica*, 2, 3, pp. 215-233.
- FLANAGAN, D.L. (2006). *A Spatial Analysis of Stone Circles in Southwestern Ireland*. Master's Thesis. Arlington (The University of Texas at Arlington).

- KYRIAKIDIS, P. C., SHORTRIDGE, A. M., GOODCHILD, M.F. (1999). Geostatistics for conflation and accuracy assessment of digital elevation models. *International Journal of Geographical Information Science*, 13, 7, pp. 677-707.
- LAMBERS, K., SAUERBIER, M. (2008). Context matters: GIS-based spatial analysis of the Nasca Geoglyphs of Palpa. In Reindel, M., Wagner, G. A. (eds.) *New technologies for archaeology multidisciplinary investigations in Palpa and Nasca, Peru*. Berlin (Springer), pp. 321-338.
- MIČIETOVÁ, E., IRING, M. (2011). Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov. *Geodetický a kartografický obzor*, 57/99, 3, s.45-60.
- PHILLIPS, T. (2003). Seascapes and landscapes in Orkney and northern Scotland. *World archaeology*, 35, 3, pp. 371-384.
- RÁŠOVÁ, A. (2013). Pravdepodobná a fuzzy viditeľnosť: modelovanie neistoty a neurčitosti analýz viditeľností. *GISáček 2013*. Ostrava.
- WECHSLER, S. (1999). Digital Elevation Model (DEM) uncertainty: evaluation and effect on topographic parameters. *ESRI User Conference*. San Diego.
- WHEATLEY, D., GILLINGS, M. (2005). *Spatial technology and archaeology: the archaeological application of GIS*. London (Taylor and Francis).

S u m m a r y

Effect of digital elevation model quality on visibility analysis in geographical information systems

Accuracy of a digital elevation model (DEM) is in the centre of attention in the process of its creation and quality assessment and it is usually represented by the root-mean-squared error (RMSE) in metadata of the DEM. Despite this, many GIS analyses consider a DEM to be an accurate, "true" representation of the surface. The DEM has the main influence on the visibility analysis and its inaccuracy - especially in vertical component - can have a significant effect on the results of the analysis. Overlooking this fact can lead to incorrect interpretation of these results.

There are several possibilities of DEM error modeling. Some of them are based on a single value of RMSE assuming normal or uniform distribution of the random error. The spatial autocorrelation of the error can be considered using a low-mean filter (arithmetic mean from the 3×3 neighborhood of the cell). RMSE is usually reported in the metadata of the DEM, but as a single value it doesn't reflect the character of spatial distribution of the DEM error. More realistic modeling of statistical and spatial distribution of the error requires prior analysis and additional data to calculate distance of spatial dependence. These models of the DEM's error are valid only for particular area and it might be too expensive and time consuming for the user to obtain them.

Modeling the uncertainty of DEM error can be used to estimate its effect on the visibility analysis. Using the Monte Carlo simulation approach and assuming the random character of the error, a probable viewshed can be created. To make this calculation easier, a toolbox "Probable Viewshed" was created, which is accessible on the internet via ArcGIS.com (shortened link: <http://goo.gl/CAM3Y>). The result of a common viewshed calculation is a raster with values 0 (invisible) or 1 (visible). Cells in probable viewshed have values from the $<0, 1>$ interval, where values close to 1 indicate probable visibility of these cells or areas and values close to 0 constitute lower probability of visibility.

Probable viewshed can be used as information about uncertainty of the results and can help to interpret and use these results correctly. It can be helpful e.g. in the process of choosing optimal area for constructions that require visibility (transmitters, receivers) or evaluation of the importance of visibility factor in archaeological research. In every GIS analysis (not only visibility), it is important to consider potential uncertainty of the DEM in order to avoid misinterpretation and misuse of the results.

Fig. 1 Single viewshed and variants of probable viewshed

Tab. 1 Data quality elements used in the spatial data theme Elevation

Tab. 2 Comparison of visible cells in alternative computations of probable viewshed

Prijaté do redakcie: 27. apríl 2013

Zaradené do tlače: jún 2014