

Pravdepodobná viditeľnosť a fuzzy viditeľnosť: modelovanie neistoty a neurčitosti analýz viditeľností

Alexandra Rášová¹

¹Katedra geodetických základov, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Radlinského 11, 813 68, Bratislava, Slovenská republika
alexandra.rasova@gmail.com

Abstrakt. Analýzy viditeľnosti majú široké pole uplatnenia v archeológii, krajinskej architektúre, mestskom plánovaní a armáde. Väčšina súčasných GIS softvérových balíkov umožňuje výpočet viditeľnosti, obvykle v podobe *viewshed*. Vstavané funkcie sa jednoducho používajú, ale ako ukázali mnohé výskumy, ich výsledky sa môžu výrazne líšiť od reality. Na dosiahnutie presnejšieho odhadu viditeľnosti je vhodné pri analýze uvážiť viacero faktorov (napríklad vlastnosti pozorovateľa a cieľa, vegetáciu, počasie), pričom najčastejšími omylmi pri modelovaní viditeľností je vyjadrenie viditeľnosti ako boolovského javu a považovanie digitálneho výškového modelu za presnú, „pravú“ reprezentáciu povrchu. Tento príspevok sa zaoberá výpočtom pravdepodobnej viditeľnosti v prípade, že poznáme strednú chybu vstupného digitálneho modelu, a výpočtom fuzzy viditeľnosti s ohľadom na vlastnosti ľudského oka a veľkosť pozorovaného cieľa. Pravdepodobná viditeľnosť predstavuje odhad vplyvu neistoty digitálneho výškového modelu na vypočítanú viditeľnosť a poskytuje tak informáciu o spoľahlivosti analýzy. Fuzzy viditeľnosť je modelom, ktorý vyjadruje premenlivú povahu skutočnej viditeľnosti - na rozdiel od bežných analýz viditeľností, kde je výsledkom viditeľný/neviditeľný, majú bunky rastra fuzzy viditeľnosti hodnoty z intervalu od 0 po 1 vyjadrujúce mieru príslušnosti k viditeľnosti. Na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti a fuzzy viditeľnosti boli vytvorené dve sady nástrojov v prostredí ArcGIS 10.1 pomocou aplikácie Model Builder. Využitie pravdepodobnej a fuzzy viditeľnosti pri analýzach viditeľností prináša realistickejšie výsledky a znižuje riziko ich nesprávnej interpretácie a použitia.

Kľúčové slová: viditeľnosť, analýza viditeľnosti, fuzzy viditeľnosť, pravdepodobná viditeľnosť

Abstract. Probable viewshed and fuzzy viewshed: modeling the inaccuracy and uncertainty of visibility analysis. Visibility analysis has a wide field of application in archeology, landscape architecture, urban planning, and military. Majority of current GIS software packages have a possibility to calculate visibility, usually in form of viewshed. Built-in functions are easy to use, but their results can significantly differ from the reality as has been shown in many researches. In order to achieve more accurate estimation of visibility, several factors should be considered in the analysis (e.g. observer and target characteristics, vegetation, weather); the most common mistakes, which are made in visibility calculation, are assuming that visibility is a Boolean phenomenon and assuming that a digital elevation model (DEM) is an accurate, “true” representation of the surface. This paper deals with probable viewshed calculation when the root-mean-square error of the DEM is known, and fuzzy viewshed calculation regarding the characteristics of human eye and the size

of a target. Probable viewshed represents an estimation of the effect of the DEM uncertainty on calculated visibility and gives us the information about accuracy of the analysis. Fuzzy viewshed is a model that represents the changing nature of real visibility – unlike common visibility analysis, where the results is visible/invisible, the fuzzy viewshed cells have values from the interval from 0 to 1 that represent the degree to which a cell is likely to be visible. Two toolboxes were created for probable viewshed and fuzzy viewshed calculation in ArcGIS 10.1 using the Model Builder application. Using probable and fuzzy viewshed in visibility analysis brings more realistic results and decrease the risk of their misinterpretation and application.

Keywords: visibility, viewshed analysis, fuzzy viewshed, probable viewshed

1 Úvod

Analýzy viditeľnosti majú v akademických výskumoch aj praktických aplikáciách široké uplatnenie. Jednu z prvých a hlavných oblastí využitia tvorili a tvoria vojenské aplikácie, keďže zbrane, komunikačné a detekčné systémy vyžadujú znalosť viditeľnosti pre svetelné, rádiové alebo radarové vlny [2]. V oblasti turizmu a krajinej architektúry môže ísť o hľadanie ideálnych vyhlídkových bodov [17], estetické hodnotenie miest na základe viditeľnosti ich dominant [10] či voľbu trás s najlepším výhľadom [6]. Analýzy viditeľnosti sú tiež využiteľné pri plánovaní umiestnenia technologických zariadení, napríklad rádiových vysielačov [5], ktoré vyžadujú vzájomnú viditeľnosť, respektíve viditeľnosť medzi vysielačom a prijímačmi; iným príkladom môže byť umiestnenie zariadení vzhľadom na vizuálny zásah do krajiny (veterné a solárne elektrárne, pozorovateľne). V archeológii sa analýzy viditeľnosti využívajú na vytváranie predikčných modelov, objasňovanie sociálneho významu sídelnej štruktúry, štruktúry nesídelných aktivít a interpretáciu krajiny z hľadiska symbolických významov krajinných prvkov [13].

Väčšina súčasných GIS softvérov obsahuje funkcie na výpočet viditeľnosti, ktorých použitie je rýchle a jednoduché. Tieto „one-button“ riešenia však zvädzajú k nekritickému prijatiu vypočítaného výsledku bez uváženia obmedzení a zjednodušení nutne prítomných pri akomkoľvek modelovaní reality. Z množstva faktorov, ktoré je vhodné uvážiť pre dosiahnutie realistickejších a spoľahlivejších výsledkov, sa tento príspevok venuje dvom: vplyvu neistoty digitálneho výškového modelu a modelovaniu viditeľnosti ako javu, ktorý nie je možné vyjadriť klasickou Boolovskou logikou vyjadrením viditeľný/neviditeľný.

2 Analýzy viditeľnosti v GIS

Analýzy viditeľnosti spočívajú v stanovení vzájomnej viditeľnosti medzi bodmi alebo určení oblastí viditeľných z pozorovacieho bodu, resp. bodov. Podľa počtu pozorovacích bodov rozoznávame rôzne druhy viditeľností (jednoduchá, násobná, totálna).

2.1 Línia pohľadu

Výpočet tzv. línie pohľadu (line-of-sight, LOS) je základnou funkciou analýz viditeľnosti. LOS je definovaná ako spojnica medzi pozorovacím a cieľovým bodom, ktorá sa porovnáva s výškou medziľahlých buniek. Ak výška buniek v niektorom bode presiahne výšku LOS, znamená to, že sa medzi pozorovacím a pozorovaným bodom nachádza prekážka brániaca ich vzájomnej viditeľnosti. Výsledkom výpočtu LOS je stanovenie viditeľnosti medzi dvoma bodmi (viditeľné/neviditeľné).[4]

2.2 Viditeľnosť (Viewshed)

Informáciu plošného charakteru získame výpočtom viditeľnosti vo forme tzv. viewshed, zóny viditeľnosti. Viewshed predstavuje množinu cieľových buniek viditeľných z pozorovacieho bodu (bodov). Počíta sa ako LOS medzi pozorovacím bodom (bodmi) a všetkými ostatnými bunkami v zadanej oblasti alebo v rámci celého rastra.[4]

Jednoduchá viditeľnosť (single viewshed) je viditeľnosť z jedného pozorovacieho bodu. Výsledkom tejto analýzy je rastrová vrstva, kde má každá bunka hodnotu 0 (bunka nie je pre pozorovateľa viditeľná) alebo 1 (bunka je viditeľná). *Násobná viditeľnosť* (multiple viewshed) je analýza viditeľnosti z viacerých pozorovacích bodov; výsledkom sú opäť bunky s hodnotou 0 (neviditeľné) alebo 1 (viditeľné aspoň z jedného pozorovacieho bodu). *Súčtová viditeľnosť* (cumulative viewshed) predstavuje algebrický súčet dvoch alebo viacerých jednoduchých viditeľností, takže bunky výsledného rastra nadobúdajú hodnoty od 0 (neviditeľné) až po n, kde n je počet pozorovacích bodov. Hodnota bunky tak vypovedá o tom, z koľkých pozorovacích bodov je viditeľná, čím sa zvýraznia najviditeľnejšie oblasti regiónu. *Totálna viditeľnosť* (total viewshed) sa počíta ako súčet jednoduchých viditeľností všetkých možných pozorovacích bodov v danej oblasti: čím vyššia hodnota výstupnej bunky rastra, tým je bunka v rámci územia viditeľnejšia. Raster totálnej viditeľnosti môže slúžiť ako štandardné pozadie pri štatistických testoch vypočítaných analýz, ktorými zisťujeme, či je viditeľnosť/neviditeľnosť lokality jej významnou vlastnosťou alebo len vyjadruje všeobecný charakter územia. Zároveň sú z nej zrejme najviac viditeľné oblasti daného územia, ktoré sú kľúčové pri hodnotení krajiny z pohľadu jej vnímania človekom („monumentálnosť“ viditeľných objektov je významná napr. v krajinej architektúre či archeológii) Výpočet totálnej viditeľnosti je pomerne náročný na čas a výpočtovú techniku – pre oblasť s rozmerom a, b je potrebné vykonať ($a^2 \times b^2$) operácií. [4], [14]

2.3 Vstupné dáta a parametre

Analýzy viditeľnosti v prostredí GIS sú obvykle počítané na rastrovom výškovom digitálnom modeli (digital elevation model, DEM). Výhodou rastrovej reprezentácie povrchu je fakt, že ide v podstate o maticu hodnôt, čo zjednodušuje výpočtové algoritmy. DEM môže mať podobu digitálneho modelu reliéfu (DMR, angl. digital terrain model, DTM) alebo digitálneho modelu terénu (DMT, angl. digital surface

model, DSM). DMR definuje priebeh samotného zemskeho povrchu (georeliéfu) bez objektov nachádzajúcich sa na ňom. DMT reprezentuje priebeh terénu, ktorý podľa STN 74 0401-3 predstavuje georeliéf spolu s objektmi (porastmi, vodstvom, komunikáciami, budovami a technickými zariadeniami) na ňom. [12], [18]

Objekty nachádzajúce sa na reliéfe predstavujú prekážky viditeľnosti, takže pri analýzach viditeľnosti je vhodné použiť DMT alebo DMR s tým, že sa prekážky modelujú samostatne. Druhý prístup má výhodu v tom, že je možné uvažovať zmeny v čase (napr. rast vegetácie, zmena zástavby územia – významné napr. pri archeologických aplikáciách).

GIS softvéry obvykle umožňujú nastaviť tieto parametre: uváženie zakrivenia Zeme a refrakcie, výška pozorovateľa a cieľa, pozorovací rádius (maximálna vzdialenosť viditeľnosti), prípadne horizontálny a vertikálny pozorovací uhol. Spôsob, akým s týmito parametrami softvéry pracujú sa môže líšiť a aj pri použití rovnakých dát a nastavení môžeme dostať mierne sa líšiace výsledky. Rozdiel môže byť napríklad pri zakrivení Zeme – či do výpočtu vstupujú parametre sféry (ArcGIS) alebo referenčného elipsoidu (GrassGIS) alebo narábanie s pozorovateľom a cieľom ako s bodom alebo bunkou. [1], [9]

3 Vplyv neistoty DEM - pravdepodobná viditeľnosť

Neistota, resp. kvalita vstupného DEM má rozhodujúci vplyv na neistotu vypočítanej viditeľnosti. Pre analýzy viditeľnosti, je dôležitá polohová presnosť DEM vo vertikálnej zložke, ktorá sa udáva ako stredná kvadratická chyba (root mean square error, RMSE) a má význam štandardnej odchýlky. Odporúčaná maximálna hodnota RMSE by podľa dokumentu smernice INSPIRE pre tému nadmorskej výšky [11] nemala presiahnuť hodnotu $GSD/3$, kde GSD (*ground sample distance*) predstavuje veľkosť pixla na povrchu (rozlíšenie DEM). Wechsler [19] uvádza päť spôsobov modelovania chyby DEM v podobe náhodných hodnôt:

- nefiltrované náhodné hodnoty s normálnym alebo uniformným rozdelením; táto metóda uvažuje náhodný charakter chýb v DEM
- autokorelácia v rámci susedných buniek; uvažuje priestorovú autokoreláciu neistôt DEM, hodnota bunky sa nahrádza priemerom hodnôt v jej blízkom okolí (priemer z deviatich buniek, 3x3 filter)
- priemerná priestorová závislosť; vyžaduje predchádzajúcu analýzu na určenie hodnoty vzdialenosti priestorovej závislosti D , ktorá závisí od priebehu terénu. Hodnota bunky sa následne vypočíta ako priemer náhodných hodnôt z oblasti priestorovej závislosti ($D \times D$ filter).
- vážená priestorová závislosť; dopĺňa metódu priemernej priestorovej vzdialenosti o priestorovú autokoreláciu špecifickú pre daný DEM (vážený $D \times D$ filter)
- interpolovaná priestorová závislosť; zameriava sa na neistotu spojenú s DEM vytvoreným zo zameraných bodov interpoláciou pomocou váženej inverznej vzdialenosti. Náhodné hodnoty sú interpolované z náhodných bodov s hodnotami s normálnym rozdelením podľa rozptylu chyby.

Výsledky modelovania neistoty DEM podľa uvedených metód sa samozrejme líšia a pri voľbe konkrétneho postupu treba uvážiť dostupné dáta, prípadne náklady na ich získanie; časovú a technologickú náročnosť ich spracovania a vytvorenia modelu pravdepodobného DEM a aplikáciu, ktorej neistoty je potrebné odhadnúť. Uživateľský najjednoduchším je modelovanie neistoty DEM s využitím vertikálnej chyby v podobe RMSE, ktorá by mala byť súčasťou jeho metadát alebo je ju možné získať z hodnotenia kvality DEM. Stanovenie vzdialenosti priestorovej závislosti a ďalšie geoštatistické prístupy k modelovaniu neistoty DEM vyžadujú existenciu množiny kontrolných bodov na stanovenie príslušných parametrov. [3], [8], [19]

Vplyv neistoty DEM na výsledok výpočtu viditeľnosti môžeme vyjadriť výpočtom tzv. pravdepodobnej viditeľnosti (probable viewshed). Postup výpočtu je uvedený napr. v [7] s využitím Monte Carlo simulácie. Predpokladáme, že DEM je jednou z možných realizácií reality a modelujeme zvolený počet jeho náhodných realizácií N . Ku vstupnému DEM pripočítavame vygenerované rastre, ktorých bunky majú náhodné hodnoty vertikálnej chyby so zvoleným rozdelením a parametrami. Výpočtom viditeľnosti pre každú z týchto realizácií dostávame N rastrov, z ktorých výpočtom aritmetického priemeru pre každú bunku nadobudnú tieto bunky hodnotu z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Táto hodnota vyjadruje pravdepodobnosť viditeľnosti vzhľadom na kvalitu vstupného DEM: hodnoty blízke 0 znamenajú, že bunky takmer určite nie sú viditeľné, hodnoty blížiacie sa k 1 signalizujú pravdepodobne viditeľné bunky. Pre zahrnutie autokorelácie je možné jednotlivé náhodné realizácie DEM filtrovať nahradením hodnoty bunky priemerom zo susedných buniek. Obvykle sa uvažuje normálne rozdelenie chýb, použitie rovnomerného rozdelenia je odporúčané v prípade, že RMSE počítame z kontrolných bodov s vyššou kvalitou než má použitý DEM (absolútna vertikálna chyba). [7], [19]

Na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti bol vytvorený nástroj v aplikácii Model Builder v ArcGIS 10.1. Tento nástroj umožňuje voľbu rozdelenia a nastavenie jeho hodnôt (stredná hodnota a štandardná odchýlka u normálneho rozdelenia, minimálna a maximálna hodnota u rovnomerného rozdelenia). Nastavuje sa počet realizácií a obvyklé parametre funkcie *viewshed*, nástroj má variant pre filtrovaný a nefiltrovaný DEM. Výstupom je raster pravdepodobnej viditeľnosti.

Pravdepodobná viditeľnosť bola vypočítaná pre 20 náhodných realizácií s normálnym a uniformným rozdelením bez filtru a s použitím filtru priemerom z 3x3 okolia bunky (Obr. 1.). Ako vstupný DEM bol použitý digitálny model reliéfu úrovne 3 (DMR-3) vytvorený Topografickým ústavom plukovníka Jána Lipského (TOPÚ). Hodnoty RMSE použité na výpočet pravdepodobnej viditeľnosti vychádzajú z hodnotenia presnosti DMR-3, ktoré boli publikované v [15]. Pre použité rozlíšenie 10 m uvádzajú strednú hodnotu absolútnej vertikálnej chyby vyhodnotenej na kontrolných bodoch 0,84 m so štandardnou odchýlkou 1,70 m. Pri uniformnom rozdelení bola uvažovaná oblasť prijatia 90% (2,80 m), takže náhodné hodnoty patrili do intervalu -1,96 m až +3,64 m.

Jednoduchá viditeľnosť predstavuje obvyklý výstup analýzy viditeľnosti v GIS a pozostáva z buniek s hodnotami 0 (neviditeľné) alebo 1 (viditeľné). Výpočtom pravdepodobnej viditeľnosti dostávame informáciu o pravdepodobnosti viditeľnosti buniek vzhľadom na neistotu vstupného DEM. Táto pravdepodobnosť je vyjadrená hodnotou z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, s hodnotami blížiacimi sa k 1 sa zvyšuje spoľahlivosť určenia viditeľných oblastí. Naopak, hodnota blízka 0 znamená, že existuje malý

počet náhodných realizácií DEM, kde bola bunka viditeľná, čo znižuje pravdepodobnosť jej skutočnej viditeľnosti. Bunky s hodnotou 0 alebo 1 môžeme považovať za neviditeľné, resp. viditeľné; u viditeľných však netreba opomenúť ďalšie faktory, ktoré môžu ovplyvňovať viditeľnosť.

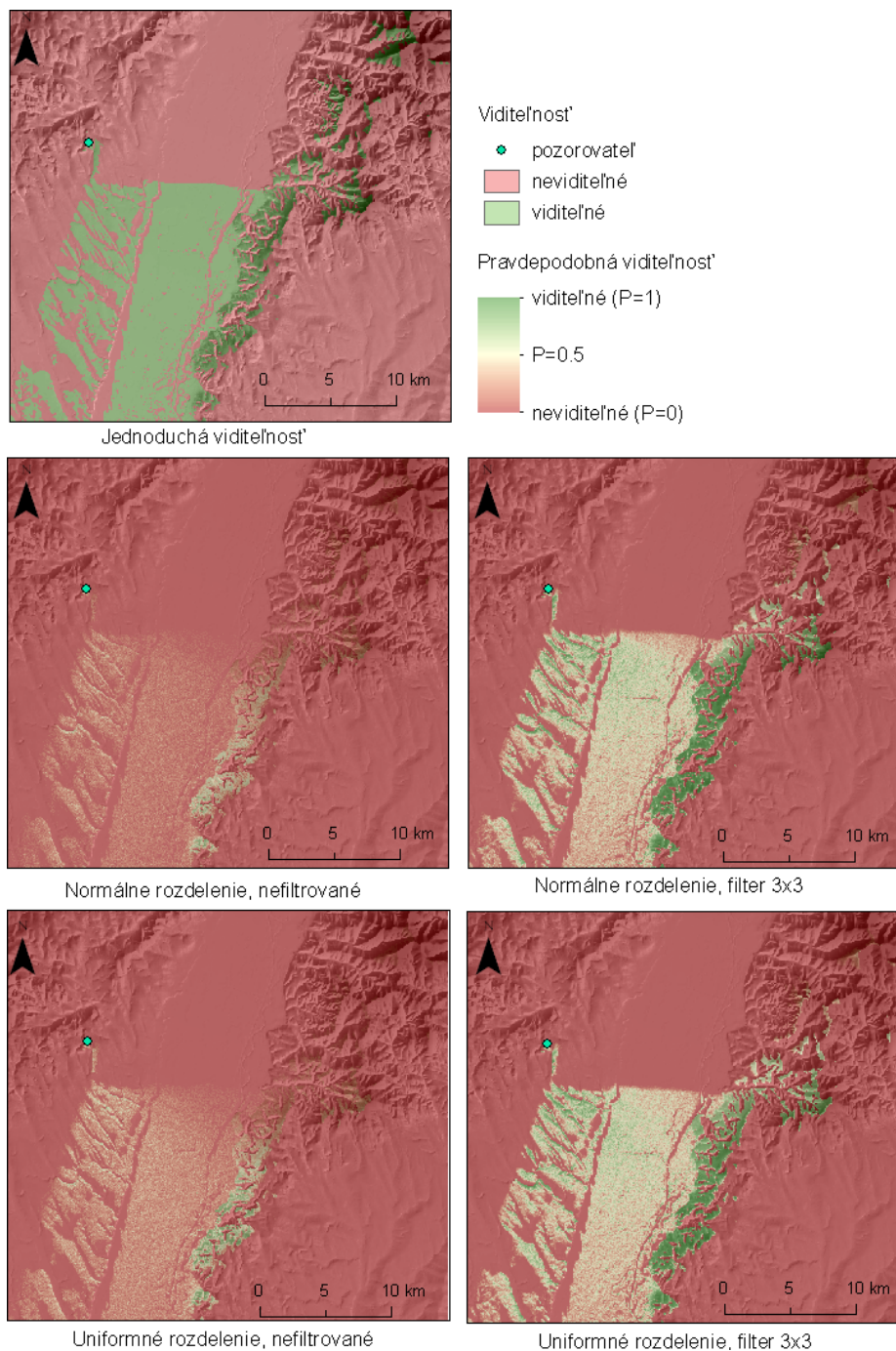
Z porovnania pravdepodobných viditeľností vypočítaných pomocou rôzneho modelovania neistoty DEM je zrejmé, že zohľadnenie priestorovej autokorelácie chýb zavedením filtra zvyšuje „priaznivost“ výsledku. Pri použití filtra 3x3 sa zároveň znižujú rozdiely spojené s voľbou rozdelenia (normálne/uniformné). Tento fakt môže byť nápomocný v prípade, že poznáme len hodnotu RMSE bez informácie o spôsobe jej výpočtu, alebo pokiaľ ju len odhadujeme pri použití DEM bez metadát či údajov z hodnotenia jeho kvality. V uvedenom prípade by z metodologického hľadiska bolo vhodné využiť uniformné rozdelenie (keďže ide o absolútnu vertikálnu chybu zistenú z porovnania DMR-3 s množinou kontrolných bodov).

4 Vlastnosti pozorovateľa a cieľa – fuzzy viditeľnosť

Vlastnosti pozorovateľa a cieľa patria podľa [4] medzi substantívne faktory, ktoré vyjadrujú, ako veľmi analýza odpovedá reálnym podmienkam. Bežné GIS analýzy predpokladajú statického pozorovateľa s nemennou výškou, ktorý sleduje svoje okolie z pozorovacieho bodu v zadanom pozorovacom uhle. Výhľad sa však môže výrazne zmeniť aj pri malom posune pozorovacieho stanoviska alebo zmene jeho výšky. Zároveň to, že pozorovateľ niečo vidí, neznamená, že vie rozoznať, čo to je, zvlášť pokiaľ o umiestnení a type cieľa nie je dopredu oboznámený (pokiaľ nevie „kam“ a „na čo“ sa má pozeráť). Viditeľnosť vo všeobecnosti klesá s narastajúcou vzdialenosťou od pozorovacieho bodu, niektoré parametre cieľa však ovplyvňujú rýchlosť tohto klesania – ide predovšetkým o veľkosť, kontrast, resp. spôsob jeho signalizácie. Cieľ, ktorý je kontrastný voči svojmu pozadiu, je viditeľnejší na väčšie vzdialenosti než cieľ, ktorý s pozadím splýva. Hodnota kontrastu závisí od vlastností cieľa, atmosférických podmienok a osvetlenia, ktoré sa menia počas dňa. [4], [16]

Obmedzením bežných analýz viditeľností je ich dvojhodnotový výstup viditeľný/neviditeľný a obmedzenie dohľadu pozorovateľa je možné jedine nastavením maximálnej vzdialenosti. Ak zvolíme pozorovací rádius napr. 1 km (obvyklé obmedzenie „ostrej“ viditeľnosti), tak sú všetky bunky za touto vzdialenosťou neviditeľné – toto však neodpovedá reálnej skúsenosti. Ak pozeráme na objekt vzdialený 1 km a urobíme krok vzad, stále daný objekt vidíme, len je o niečo menší alebo menej zreteľný (nezmizne náhle po prekročení tejto hodnoty).

Vyjadriť tento neurčitý charakter viditeľnosti možno výpočtom tzv. fuzzy viditeľnosti, ktorá nadobúda hodnoty z intervalu od 0 po 1; hodnoty vyjadrujú mieru príslušnosti k viditeľnosti, takže pokiaľ sú hodnoty blízke 1, je objekt viditeľný, ak sa blížia k 0, bude menej zreteľný.



Obr.1. Porovnanie jednoduchej a pravdepodobnej viditeľnosti

Nástroj vytvorený v aplikácii Model Builder v ArcGIS 10.1 vychádza z fuzzy funkcie príslušnosti podľa [16], ktorá uvažuje dva významné faktory: rozlišovaciu schopnosť ľudského oka (dokážeme rozoznať objekt, pokiaľ je pozorovaný pod uhlom väčším ako 1°) a veľkosť cieľa:

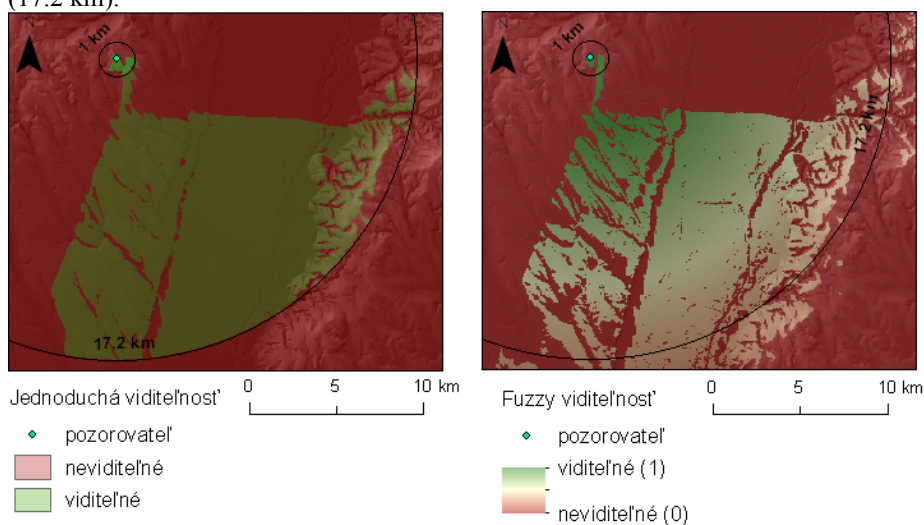
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + 2 \left(\frac{d - b_1}{b_2} \right)^2} \quad \text{pre } d > b_1, \quad (1)$$

kde b_1 je hodnota „ostrej viditeľnosti“ (vytvorený nástroj umožňuje jej voľbu, ale prednastavená hodnota je v súlade s predchádzajúcimi výskumami 1 km), d je vzdialenosť a b_2 je vzdialenosť, v ktorej pozorovací uhol daného objektu klesne pod rozlišovaciu schopnosť oka (tejto vzdialenosti odpovedá hodnota príslušnosti približne 0.3):

$$b_2 = \frac{h}{2 \tan(\beta/2)}, \quad (2)$$

kde h je definujúci rozmer cieľa (výška alebo šírka) a β je rozlišovacia schopnosť oka (1°).

Tento nástroj vyžaduje obvyklé parametre funkcie *viewshed*, nastavenie definujúceho rozmeru cieľa a hodnotu ostrej viditeľnosti. Ukážka fuzzy viditeľnosti je na Obr.2 pre cieľ s výškou 5 m s porovnaním s bežným výstupom pri nastavení pozorovacieho rádiusu na „ostrú viditeľnosť“ (1 km) a „hraničnú“ viditeľnosť (17.2 km).



Obr.2. Porovnanie jednoduchéj a fuzzy viditeľnosti

5 Záver

Výpočet viditeľností predstavuje silný analytický nástroj umožňujúci nielen nájdenie vhodných lokalít pre umiestnenie nových objektov, ale aj skúmanie umiestnenia historických štruktúr a archeologických nálezísk; či už ide o ich viditeľnosť/skrytosť v rámci krajiny, alebo vzájomná viditeľnosť na iné objekty či prírodné útvary. Príspevok uvádza prehľad základných typov analýz viditeľností, ktorými je línia pohľadu (line of sight), jednoduchá viditeľnosť (single viewshed), násobná viditeľnosť (multiple viewshed), súčtová viditeľnosť (cumulative viewshed) a totálna viditeľnosť (total viewshed). Základné funkcie na výpočet analýz viditeľností bežných GIS softvérových balíkov však obvykle neumožňujú zohľadnenie iných faktorov, než výšku pozorovateľa a cieľa, pozorovací rádius, zakrivenie Zeme a refrakciu. Tieto limity dostupných funkcií žiaľ často limitujú aj výskumné otázky a vykonávané analýzy.

Uvedenie si možností a obmedzení nástrojov modelovania je nutným predpokladom na správne zhodnotenie a interpretáciu výsledkov. Preto je dôležité zohľadniť vplyv neistoty DEM – hoci výpočet pravdepodobnej viditeľnosti len na základe RMSE má svoje limity, poskytuje cennú informáciu o spoľahlivosti výsledkov analýz. Napríklad pri viacerých možnostiach umiestnenia konštrukcií vyžadujúcich viditeľnosť (vysielače, výhľadové veže) predstavuje pravdepodobná viditeľnosť vhodné kritérium na výber konkrétnej lokality.

Fuzzy viditeľnosť zas prináša kvalitatívne odlišnú informáciu o viditeľnosti. Umožňuje modelovať varianty možnej viditeľnosti v závislosti od veľkosti pozorovaného cieľa a umožňuje klásť iný druh otázok: do akej vzdialenosti je možné spozorovať bližšieho sa človeka? Aké územie vizuálne ovplyvní nová výstavba? Zároveň zrealňuje výsledky analýz viditeľností v tom, že sa pohybuje v intervale hodnôt, nielen v stanovení „viditeľný“ alebo „neviditeľný“, čo viac odpovedá charakteru viditeľnosti ako javu.

Tento príspevok vychádza z diplomovej práce, ktorá bude obhajovaná v júni 2013, a ktorá sa zaoberá aj ďalšími faktormi ovplyvňujúcimi viditeľnosť v GIS. Jej súčasťou je aj praktické použitie navrhovaných postupov a nástrojov v archeologickej aplikácii – analýzy viditeľnosti rondelov.

Referencie

1. ArcGIS Resources.
http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/Using_Viewshed_and_Observer_Points_for_visibility_analysis/00q90000008n000000/
2. Caldwell, D. R., Ehlen, J., Harmon, R. S. *Studies in military geography and geology*. Kluwer Academic Pub, 2004, Boston. ISBN 9781402031052.
3. Carlisle, B. Modelling the Spatial Distribution of DEM error. *Transactions in GIS*, Vol. 9, No.4. 2005. ISSN 1467-9671 .
4. Conolly, J., Lake, M. *Geographical information systems in archaeology*. Cambridge University Press, 2006, New York. ISBN 978-052-1797-443.
5. Dodd, H. M. *The Validity of Using a Geographic Information System's Viewshed Function as a Predictor for the Reception of Line-of-Sight Radio Waves*

- (Master's Thesis). Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001, Blacksburg.
6. Doležal, J. *Pokročilé analýzy viditeľnosti* (diplomová práca). Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, Olomouc.
 7. Fisher, P. First Experiments in Viewshed Uncertainty: Simulating Fuzzy Viewsheds. *Photogrammetric engineering and remote sensing. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 58, No.3.* 1992. ISSN 0099-1112.
 8. Fisher, P. Improved Modeling of Elevation Error with Geostatistics. *Geoinformatica, Vol. 2, No.3.* 1998. ISSN 1573-7624.
 9. Grass GIS manual. <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.los.html>
 10. Hlavatá, Z., O'ahel, J. Vizuálna analýza vybraných historických dominánt Bratislavy. *Geografický časopis, Vol. 62, no. 4.* Bratislava, 2010. ISSN 0016-7193.
 11. INSPIRE. *Data Specification on Elevation – Draft Technical Guidelines.* Eurostat, 2013, Luxembourg.
 12. INSPIRE. *Reference Data and Metadata Position Paper (Final).* Eurostat, 2002, Luxembourg.
 13. Kuna, M. et al. *Nedestruktivní archeologie: teorie, metody a cíle.* Academia, 2004, Praha. ISBN 80-200-1216-8.
 14. Llobera, M. et al. Calculating the inherent visual structure of a landscape ('total viewshed') using high-throughput computing. *XXXII International Conference - Computer Applications in Archaeology 2004 - Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Beyond the Artifact: Digital Interpretation of the Past.* Prato, 2004.
 15. Mičietová, E., Iring, M. Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov. *Geodetický a kartografický obzor, 57/99, 3.* Praha, 2011. ISSN 0016-7096.
 16. Ogburn, D. E. Assessing the level of visibility of cultural object in past landscapes. *Journal of Archaeological Science, Vol. 33, No.3.* 2006. ISSN 1095-9238 .
 17. Popelka, S. *Analýzy viditeľnosti a jejich vizualizace* (diplomová práca). Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, Olomouc.
 18. STN 73 0401-3. *Terminológia v geodézii a kartografii: Časť 3: Terminológia kartografie a geografických informačných systémov.* Slovenský ústav technickej normalizácie, 2009, Bratislava.
 19. Wechsler, S. Digital Elevation Model (DEM) Uncertainty: Evaluation and Effect on Topographic Parameters. *ESRI User Conference 1999 Proceedings.* San Diego, 1999.