

DMR a jeho vizualizace

Jana Kadlčíková

Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,
tř. Svobody 26,
771 46, Olomouc, Česká republika
jana.kadlcikova@centrum.cz

Abstrakt. Příspěvek je zaměřen na představení aplikací vizualizace digitálního modelu reliéfu (DMR). Nejprve je stručně uvedena terminologie týkající se různých pojetí DMR (DEM, DMR, DMT, DSM, DMÚ) a základní metody vizualizace DMR (vrstevnice, stínování, barevná hypsometrie, vertikální řezy). Vlastní využití vizualizace DMR je poměrně rozsáhlé (kontrola chyb, modelování či simulace přírodních i antropogenních jevů, dynamická vizualizace, apod.) a je hlavním tématem příspěvku.

Klíčová slova: DMR, vizualizace, 3D.

Abstract. DTM and its visualization. This report focus on an introduction of the base visualization methods of DMT (contour, hillshade, colored hypsometry method and method of vertical profiles) and the introduction of some applications of DTM visualization, especialy 3D visualization (eg. check of errors, simulation of phenomenons, dynamic visualization,...).

Keywords: DTM, visualization, 3D

1 Úvod

Pokrok ve výpočetní technice, ve vědě a větší dostupnost dat umožňuje používat vizualizaci (2D i 3D) novými a zajímavými způsoby. Dnes již lze pomocí 3D vytvářet informačně bohatší, interaktivnější, realističtější a dynamicky vizualizované procesy. Rychlá dynamická vizualizace také nabízí možnosti prezentovat a zkoumat časově závislá a dynamická data. Možnost multidimenzionálního zpracování a vizualizace by měla být považována za rovnocennou součást modelování, reprezentace a zkoumání procesů.

Úloha vizualizace by neměla být podceněna. Díky nekvalitní vizualizaci či nevhodně použitým metodám může dojít až k negativnímu hodnocení prezentovaných (vizualizovaných) objektů, jevů či procesů. Nekvalitní prezentace výsledků by neměla významně ovlivnit závěry odborníků, avšak u laické veřejnosti hraje vizualizace zásadní roli při vytváření si vlastních názorů na danou situaci (např. při schvalování stavby veřejně prospěšných staveb, apod.).

Cílem tohoto příspěvku je tedy připomenout základní metody vizualizace DMR a představit některé pokročilé vizualizační metody počítačové grafiky pro kvalitní prezentaci dat. Vizualizace DMR je totiž jednou z mnoha aplikačních oblastí jeho využití.

2 Terminologie digitálních modelů

Ve výkladu významu digitálního modelu terénu (angl. digital terrain model - DTM) panuje značná nejednotnost. Je tedy vhodné na začátek uvést výklad jednotlivých pojmů a zkratk.

Digitální model reliéfu (DMR), digitální model terénu (DMT) - angl. digital terrain model (DTM) - je dle Terminologického slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí [1] „digitální reprezentace reliéfu zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů“. Vojtek [16] jej definuje jako komplexní povrch zahrnující výšku (topografickou plochu bez vegetace) se zpřesňujícími a jednoznačnými liniovými a polygonovými geoprvky jako jsou říční toky a koryta, násypy komunikací, vodní plochy a hrany na terénu. Obdobně jej definuje i např. [19], [20], [14] nebo [5].

Digitální výškový model – angl. digital elevation model (DEM) - pracuje výhradně s výškovými údaji [20], [5], [14] udávanými nad nějakým datumem (např. elipsoidem WGS 1984) [16].

Digitální model povrchu – angl. digital surface model (DSM) – je zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např.obrazové korelace ve fotogrametrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů a pod.) [1], [14]. Jedná se tedy o model aktivního povrchu, pokud je použit termín z klimatologie.

Digitální topografický model, digitální model území (DMÚ) – angl. digital landscape model (DLM) – je komplex dat a programových prostředků pro sběr, zpracování, aktualizaci a distribuci digitálních informací o území [1]. V České republice se jedná např. o ZABAGED či DMÚ 25 [14]. Z kartografického pohledu se jedná o soubor topografických dat o území (reliéf, zástavba, vegetace, vodstvo, ...), z pohledu 3D modelování pak o komplexní model obsahující 2.5D model reliéfu krajiny a integrované 3D objekty.

Digitální model krajiny (DMK) - angl. digital landscape model - “představuje minimálně trojrozměrné počítačem generované schéma výřezu krajiny prezentující její základní strukturální vlastnosti v generalizované, avšak integrované podobě. DMK krajiny sestává z digitálního modelu reliéfu, atributů krajiny integrovaných do vrstvy jediné v podobě mapy přírodní krajiny a multiparametrické integrované vrstvy antropogenních vlivů na krajinu.” [6]

3 Základní metody vizualizace DMR

Vlastní metody vizualizace DMR v zásadě závisí na tom, zda budou objekty zobrazovány ve 2D nebo 2,5D (popř. 3D). Podle dimenze se v modelování rozlišují [15, 19]:

- 2D objekty - jedná se o rovinnou grafiku
- 2,5D objekty - představují přechod od 2D k 3D objektům. Jsou to v podstatě 2D objekty, které mají v bodech (x,y) definovaný třetí rozměr (souřadnici z) jako atribut

- 3D objekty - lze je považovat za plnohodnotná tělesa, což znamená, že ke každému bodu (x,y) existuje množina souřadnic (z).
- 4D objekty - k 3D objektům je přidán další rozměr kterým je čas

Mezi základní metody pro 2D i 2,5D lze zařadit metodu vrstevnic, barevné hypsometrie, stínovaného reliéfu, pro 2,5D navíc síť vertikálních řezů. Dále lze využít i tzv. pokročilých metod vizualizace, které jsou však běžnější spíše v 3D počítačové grafice.

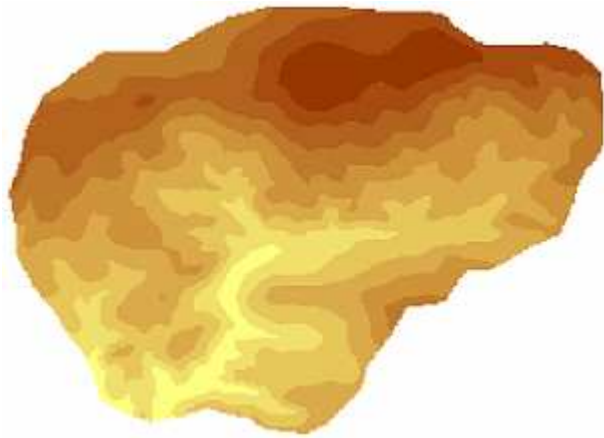
Pro vizualizaci DMR metodou vrstevnic (obr. 1) mohou být použity vrstevnice vygenerované z gridu¹ i TINu² či vrstevnice získané digitalizací topografických map. Při vizualizaci pomocí barevné hypsometrie dochází k přiřazení barevného tónu jednotlivým pixlům spadajícím do zvolených intervalů - výškových stupňů (obr. 2). Hranice intervalů by měly odpovídat některé ze standardních stupnic. Nejčastěji se používá následující stupnice narůstající geometrickou řadou, neboť nejlépe opovídá rozložení hodnot nadmořských výšek na zemském povrchu: 0 - (50) - 100 - 200 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 m n. m. [17]. Hypsometrická stupnice barevných tónů a odstínů nejčastěji odpovídá následující řadě: modrozelená - zelená - zelenožlutá - žlutá - žlutohnědá - oranžovohnědá - hnědá - hnědočervená [17], kdy se dodržuje použití odstínů zelené barvy pouze do 200 m n. m. Lze však využít i jiné (spojité) stupnice barev či odstíny jedné barvy. Metoda stínovaného reliéfu přiřazuje nejsvětější odstíny pixlům, jejichž normála svírá nejmenší úhel se směrem potenciaálně dopadajících slunečních paprsků a naopak (obr. 3). Poslední základní metoda vychází ze dvou na sebe kolmých systémů vertikálních řezů (obr. 4) [12].



Obr. 1. Vizualizace DMR pomocí vrstevnic (v rovině)

¹ grid - rasterová struktura pro uložení terénních dat, kde je povrch vyjádřen pravidelnou maticí buněk. Pro každou buňku je uložena jedna hodnota, která se vztahuje ke středu buňky [19].

² TIN - forma výškového modelu, která je založena na nepravidelné trojúhelníkové síti (angl. triangulated irregular network) s vrcholy ve vstupních bodech. Povrch je konstruován použitím Delauneyho triangulace [19].



Obr. 2. Vizualizace DMR metodou obarvení (v rovině). Při vizualizaci nebyly použity odstíny zelené barvy, neboť se jedná o reliéf s nadmořskou výškou větší než 200 m.



Obr. 3. Vizualizace DMR metodou stínovaného reliéfu (v rovině)



Obr. 4. Vizualizace DMR metodou sítě vertikálních řezů

Pro atraktivnější využití vizualizace DMR je vhodnější vizualizace ve 2,5D, avšak i 2D vizualizace je díky potřebě např. tištěných map běžná. Metoda 2D vrstevnic je standardním vyjádřovacím prostředkem k zobrazení výškopisu v topografických mapách, stínovaný reliéf se pro svoji plasticitu i ve 2D často používá jako podklad pod tematické vrstvy. 2D vizualizace DMR pouze pomocí barevné hypsometrie je využívána především tehdy, pokud má DMR dále sloužit jako vrstva pro další výpočty. Při konečné vizualizaci reliéfu ve 2D metodou barevné hypsometrie závisí často její kvalita právě na kvalitě vstupních dat, metodě interpolace reliéfu a rozlišení pixlu. 2D vizualizace pomocí barevné hypsometrie však nemusí být ani při kombinaci s dalšími topografickými prvky (vrstvami) vždy příliš vypovídající, proto je lepší uvažovat spíše o 2,5D modelu.

Vizualizace ve 2,5D je již sama o sobě přívětivější pro vnímání perspektivy reliéfu než 2D, nehledě na použitou metodu. Metodu vrstevnic či sítě vertikálních řezů lze označit za „průhledné“ metody a v závislosti na jejich hustotě se mění i jejich čitelnost. V podstatě se nepoužívají v kombinaci s dalšími tematickými vrstvami. Stínovaný či obarvený reliéf ve 2,5D představuje lepší základ (podklad) pro vizualizaci dalších tematických vrstev (morfometrických charakteristik, topografických prvků, leteckých snímků - obr. 11, atd.), rozdíl je pouze v tom, že u stínovaného reliéfu se využívá transparentnosti nadložních vrstev. Poslední dvě metody však při vhodně zvolené barevné škále velmi přehledně vystihují charakter povrchu i bez dalších doplňujících vrstev (textur) - obr. 9.

Jak již bylo zmíněno výše, pro reálnější vizualizaci objektů lze použít i tzv. pokročilé metody, které se primárně využívají spíše v grafice počítačových her než pro vizualizaci digitálních modelů reliéfu. Pokud je však cílem “pouze” co nejrealističtěji vizualizovat DMR (i mimo prostředí geoinformačních systémů) a nepoužívat jej již pro další výpočty, lze si vybrat některé z poměrně silných nástrojů 3D počítačové grafiky.

Termín “pokročilé vyjadřovací techniky” (angl. advanced rendering techniques) označuje kategorii 3D vyjadřovacích algoritmů v reálném čase, které dosahují vysokého stupně vizuálního realizmu a dynamiky. Obecně tyto techniky vycházejí z algoritmu více návrhů a jazyka pro stínování. Algoritmus více návrhů (angl. multi-pass algorithm) vyžaduje pro zpracování jednoho konečného obrazu několik různých nastavení (vyjadřovacích prostředků a zdrojů) jedné scény, které nakonec zkombinuje. Jazyk stínování (angl. shading language) označuje programovací jazyk, který se používá k výpočtům fragmentovaných barev založených na aktivních texturách a zdrojích světla [2].

S vyjádřením pomocí více-návrhového algoritmu lze dosáhnout efektů jako např. odrazu světla, stínů či hloubkového (normálového) zobrazování povrchů v reálném čase. Stínovací jazyky tyto techniky doplňují. Umožňují aplikacím definovat objekty a aplikačně specifickou geometrii, osvětlení a výpočty stínování, které nastupují po standardně počítačově zpracovaných, osvětlených modelech.

Hloubkové zobrazování (ang. bump-mapping) patří také k pokročilým vyjadřovacím technikám. Tato technika umožňuje vytvářet iluzi 3D prostoru u standardních 2D textur. Zvětšuje členitost povrchu a vytváří tak reálnější obraz. Základním principem této techniky je vytvoření 3D modelu podle barevného přechodu původního obrázku. Barevný přechod může být např. určen tak, že světlá místa budou nejbližší a tmavá nejdále. Po nasvícení objektu barevným světlem vytvoří stín 3D iluzi původního obrázku. Světlo pro nasvícení objektu však nemusí být jen jednobarevné. Na 3D objekt lze také nanést původní texturu a pro nasvícení použít takové barvy, aby se výsledný obrázek od původního barevně moc nelišil (obr. 5) [7].



Obr. 5. Ukázka použití pokročilé techniky vizualizace pomocí bump-mappingu (zdroj: [2])

4 Využití vizualizace DMR pro identifikaci chyb vzniklých při interpolaci povrchu

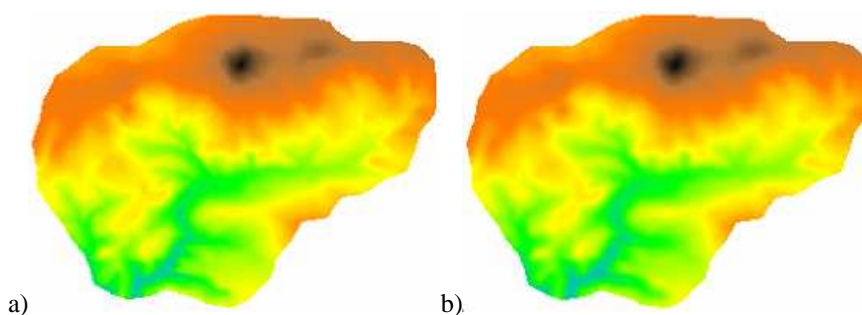
Vizualizaci DMR ve 2D nebo lépe ve 2,5D lze použít pro prvotní identifikaci chyb vzniklých při jeho interpolaci v důsledku zvolení nevhodné interpolační metody či jejich parametrů³. Např. po lineární interpolaci mezi vrstevnicemi je často při

³ Popisu principů jednotlivých metod interpolace se ve své práci věnuje např. [5], [10], [19].

vizualizaci patrné výrazné „schodovité“ členění, které rozhodně není pro další použití modelu žádoucí. Výsledný povrch získaný interpolační metodou IDW (*angl. inverse distance weighting*) může také vytvářet značně nerovný povrch např. kvůli zadání nedostatečného počtu interpolačních bodů z málo husté množiny vstupních bodů [11] nebo mohou vznikat tzv. bull eyes v důsledku interpolace pod určitým radiánem. Celkově u obou výše zvolených interpolačních metod není možné výrazně měnit průběh výpočtů zejména díky možnosti nastavovat pouze jeden parametr, který by je přímo ovlivňoval.

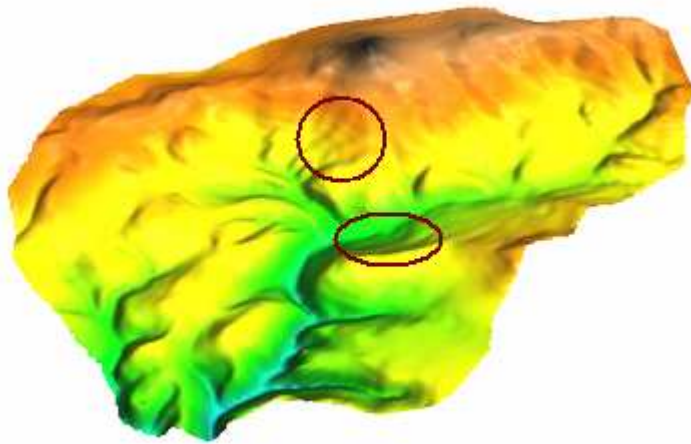
Jiná situace je u metody splajnů s tenzí. Zde lze pomocí vhodného nastavení parametrů smooth a tension (ale i dalších) získat velmi kvalitní a relativně přesný DMR pro další analýzy. Již prvotní vizualizace DMR, bez dalších statistických hodnocení (jako např. RMSE⁴), může odhalit jeho nedostatky a vyžádat změnu hodnot vstupních parametrů. Na následujících obrázcích (obr. 7, 9) lze díky vizualizaci DMR pozorovat změny v chování povrchu v závislosti na měnících se hodnotách parametrů. Důležité je zde právě zobrazování modelů ve 2,5D, kde chyby vystoupí, zatímco ve 2D se zdají být gridy v pořádku (obr. 6).

Poznámka. Všechny rastry uváděné v této kapitole byly vytvořeny autorem článku v prostředí GRASS GIS 6.0. Vstupní data (DMÚ 25) byla poskytnuta v rámci řešení Výzkumného záměru MSM0021622418 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR s názvem „Dynamická geovizualizace v krizovém managementu“. Příkladové území je součástí Českého středohoří.

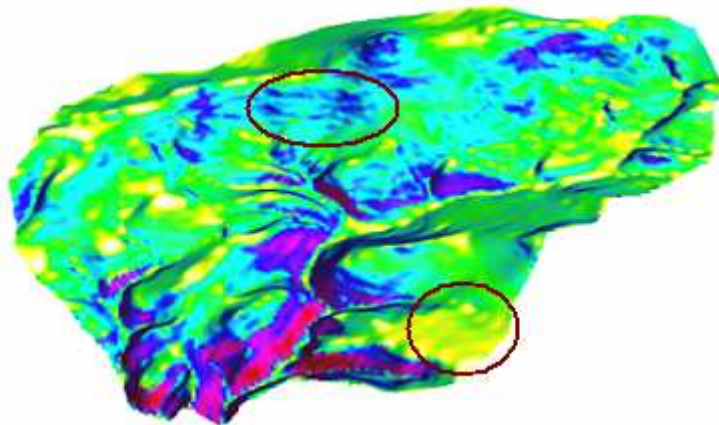


Obr. 6. 2D vizualizace dvou DMR vytvořených metodou splajnů s tenzí s odlišnými parametry: a) tension=40, smooth=0,1 (dmr1) b) tension=20, smooth=0,8 (dmr2). Při tomto způsobu zobrazení nejsou mezi oběma DMR viditelné rozdíly.

⁴ RMSE - střední kvadratická chyba (*angl. root mean square error*) je nejčastěji používanou mírou neurčitosti. Měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty a daty vygenerovaného DMR [20].

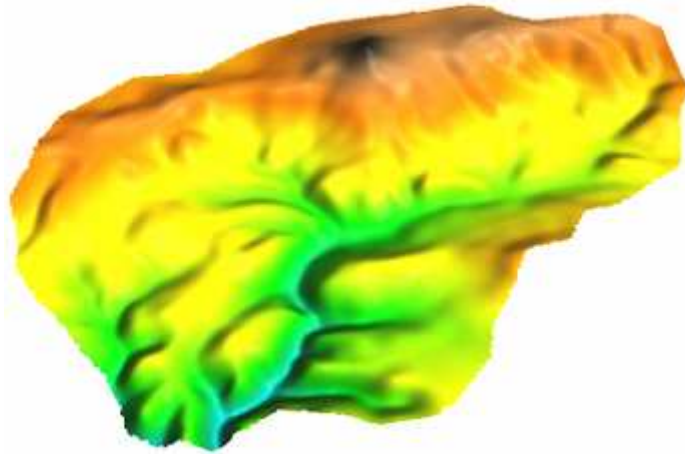


Obr. 7. Digitální model reliéfu (dmr1) vytvořený metodou splajnů s tenzí s parametry: tension=40, smooth=0,1. Vyznačena jsou vybraná místa s patrnými nežádoucími nerovnostmi povrchu vzniklými v důsledku chybné interpolace.

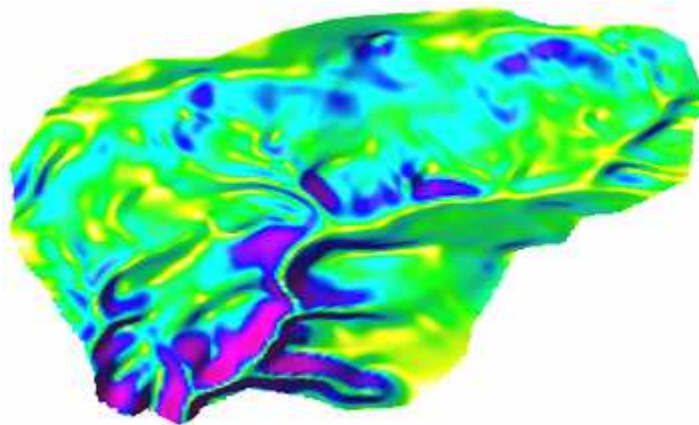


Obr. 8. Grid sklonu odvozený z digitálního modelu reliéfu dmr. Vyznačena jsou vybraná místa s nežádoucím shlukováním hodnot do „vlnek“ kopírujících průběh vrstevnic.

V prvním případě (obr. 7) je nastavena příliš vysoká hodnota tenze, tzn. že se interpolovaný povrch chová jako „gumová membrána“ [11] napnutá přes vrstevnice, a příliš nízká hodnota shlazení, která určuje, že povrch bude procházet právě vstupními vrstevnicemi. Na chybně vytvořený DMR mohou ukázat i 2,5D vizualizované gridy vybraných geomorfometrických charakteristik (např. sklonů - obr. 8) odvozených z tohoto DMR, kde v určitých místech lze nalézt nesmyslné hodnoty či jejich průběh (nežádoucí nekompaktnost hodnot – tvorba „vlnek“ podél vrstevnic).



Obr. 9. Digitální model reliéfu (dmr2) vytvořený metodou splajnů s tenzí s parametry: tension=20, smooth=0,8. Na tomto povrchu již nejsou “na první pohled” viditelné chyby. Pro konečné stanovení nevhodnějších parametrů interpolace je však potřeba vždy provést i statistické hodnocení (např. výpočet RMSE).



Obr. 10. Grid sklonu odvozený z digitálního modelu reliéfu dmr2. Z obrázku je patrné, že již nedochází k nekompaktnosti hodnot v důsledku přílišného kopírování průběhu vrstevnic.

Při vhodném snížení tenze (obr. 9) již nedochází k tak výrazné elasticitě povrchu k vrstevnicím a naopak díky zvýšení parametru smooth může dojít ke shlazení povrchu a odstranění nepřirozeného či nuceného průběhu. Dostaneme tak lépe vyhovující kombinaci hodnot vstupních parametrů pro výpočet korektního DMR, což dokazuje i další vizualizovaný grid sklonu (obr. 10).

5 Využití 3D vizualizace DMR pro další aplikace

5.1 DMR jako podklad pro tematické vrstvy

Nejčastějším využitím 2,5D vizualizovaného DMR kromě jeho základní 2,5D vizualizace pomocí základních metod (např. pro kontrolu chyb) je jako podkladu pro různé tematické vrstvy a textury. Nejdůležitější technikou v tomto případě vizualizace je texturování, kdy můžeme překrýt 2D georeferencovaný obraz či vrstvu, např. letecký snímek, přes 2,5D geometrii jako jsou např. právě terénní modely (obr. 11). Texturované povrchy tak zvyšují stupeň realizmu geografických dat a modelovaného geoprostředí.

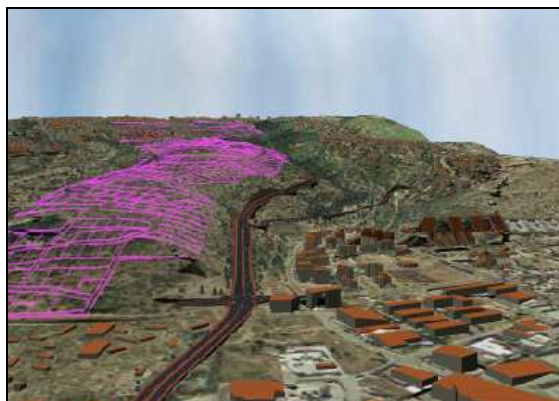


Obr. 11. DMR jako podklad pod georeferencovaný družicový snímek (zdroj: [8])

5.2 DMR při modelování situace v územním rozvoji

Použití DMR je při modelování situace v místě plánování nových staveb téměř nezbytné. Typické uplatnění má tato aplikace např. ve stavebnictví (dálnice, mosty, haly,...) či vodohospodářství (přehrady, ...). Zobrazení ve 3D díky své názornosti může výrazně napomoci projektantům při představování a projednávání svých návrhů a splňování technických (urbanistických) norem.

Příkladem může být nově plánovaná silniční magistrála, která by měla odstranit časté dopravní zácpy ve stávající zastavěné oblasti a další vymezení nově plánované výstavby.

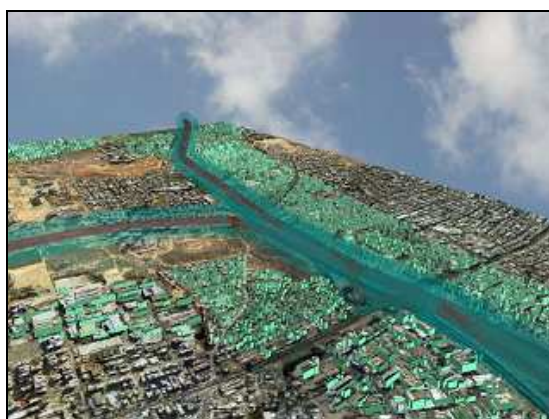


Obr. 12. Vizualizace plánované silniční magistrály a další zástavby nad DMR (zdroj: [13])

5.3 DMR při simulaci jevů a procesů

Simulace jevů a procesů je využívána především pro získání nových poznatků o modelovaném systému. Možnost mnohonásobného experimentování s vytvořeným modelem je velkou výhodou počítačového zpracování, neboť experimentování s reálným systémem nebývá vždy možné. DMR je často využíván při výpočtech průběhu určitých procesů (např. eroze) a navíc vizualizace s 3D modely opět zvyšuje stupeň realizmu.

Příkladem spojení GIS technologie a analýzy dopadů na životní prostředí může být vytvoření 3D simulace, která zobrazuje buffer zóny hustoty magnetického toku okolo elektrického vedení. Tato metoda simulace přináší odborníkům na životní prostředí efektivní nástroj ke zhodnocení možných rizik v každém bodu.



Obr. 13. Buffer zóny hustoty magnetického toku okolo elektrického vedení (zdroj: [13])

5.4 DMR v dynamické vizualizaci

Rozvoj nových 3D technologií významně rozšiřují možnosti dynamické vizualizace. Příchod vysoce kvalitních a rychlých vyjadřovacích technik umožňuje interaktivní průzkum a interaktivní animační prezentace. Potřeba měnit 3D pohledy v reálném čase je také základem pro využití virtuální reality, která poskytuje uživateli pocit, že je schopen v reálném čase manipulovat nebo dotýkat se modelu reprezentovaného ve 3D prostoru.

Animace. Jako příklad dynamické vizualizace s využitím DMR lze uvést animaci vývoje určitého jevu, ať už přírodního či antropogenního. Příkladem použití 4D modelace může být animace rozsáhlého holocenního sesuvu v okolí toku Malá Brodská na Vsetínsku [9].

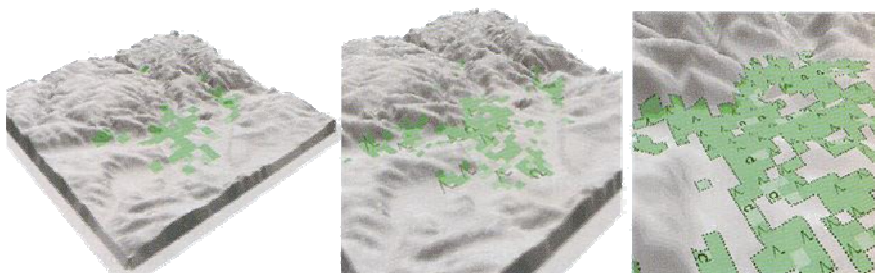
Virtuální realita. Dalším, velmi atraktivním využitím dynamické vizualizace jsou průlety terénem - otevřenou krajinou či zástavbou. Tento způsob vizualizace má široké využití v cestovním ruchu, urbanistice, architektuře a realitních aktivitách, projektové a inženýrské činnosti, registrech či katastru, při analýzách vlivu na životní prostředí, v systémech dopravní kontroly prostřednictvím GPS, armádě, atd. V závislosti na nástrojích jednotlivých softwarových produktů je možné modelovat zástavbu (i krajinu) více či méně kvalitně s použitím různých textur. Příkladem jednodušší dynamické vizualizace je průlet nad MPR v Olomouci, kde je dobře patrné využití DMR jako podkladu pro 3D modelování zástavby (obr. 14) [4]. Pokročilejším a zkvalitňujícím prvkem dynamické vizualizace je pak využití textur jednotlivých budov získávaných laser scanningem.



Obr. 14. DMR jako podklad pro 3D modelování zástavby – MPR Olomouc (zdroj: [4])

Při dynamickém zoomování modelu (např. DMR s naloženou tematickou vrstvou vegetace) může být využito dynamického texturování. Tato technika umožňuje dynamické generování textur s okamžitým dopadem na vyjádření jevů či procesů na obrazovce. Například, pokud má být téma vegetace postupně zobrazováno v různých úrovních detailu, je možné využít dynamického kartografického vyjádření. Při různé

vzdálenosti „kamery“ jsou na obrazovce dynamicky generovány varianty tematické textury s použitím různé kartografické textury (obr. 15).



Obr. 15. Různá úroveň detailu vrstvy vegetace s dynamicky se měnící texturou v závislosti na vzdálenosti kamery (zdroj: [2])

6 Závěr

Vizualizace DMR má svůj význam při získávání i prezentaci výsledků z praxe i výzkumu. Vizualizovaný DMR může vystupovat samostatně (např. při hodnocení kvality interpolací) nebo v kombinaci s dalšími tematickými prvky (např. jako podklad při prezentaci stavebních záměrů). V obou případech však značně ovlivňuje kvalitu vizualizace a konečné hodnocení prezentovaných objektů, jevů či procesů. Zejména při prezentaci dat veřejnosti použití DMR pozitivně ovlivňuje jejich rozhodování.

Při vizualizaci DMR je nejčastěji používána některá ze základních metod (metoda vrstevnic, barevné hypsometrie, stínovaného reliéfu, sítě vertikálních řezů). Pro realističtější vizualizaci lze zvolit i některou z pokročilejších vyjadřovacích technik (např. metodu hloubkového zobrazování), které prozatím vyžadují export dat z prostředí geoinformačních systémů do prostředí počítačové grafiky. Technologický a teoretický pokrok v každé z těchto oblastí však stále pokračuje a vzájemně se ovlivňuje. Snad brzy tedy bude možné využívat silných vizualizačních nástrojů počítačové grafiky i v prostředí GIS.

Samostatně vizualizovaný DMR lze využít pro prezentaci výškových poměrů na daném území či prvotní kontrolu chyb vzniklých při interpolaci povrchu. Metoda hodnocení kvality DMR pouze pomocí jeho vizualizace však není nikdy zcela dostačující a je třeba vždy provést další kontrolu DMR pomocí statistického zhodnocení rozložení hodnot nadmořských výšek. V dalších aplikacích DMR vystupuje jako podklad pro výpočty např. morfometrických charakteristik nebo jako součást vizualizace společně s dalšími tematickými vrstvami či objekty. Příkladem může být vizualizace plánovaných staveb na podkladu DMR, simulace jevů a procesů probíhajících na zemském povrchu, atd.

Annotation

DMT and its visualization

Advances in computing technology, in scientific theory, and in the data we have available to us, are allowing us to use 3D visualization in new and exciting ways. More than ever before, we have the ability to create more information-rich, interactive, realistic and dynamic visualization processes using 3D.

The digital terrain model is just the most appropriate foundation for 3D visualization of processes and phenomena. Some advanced rendering techniques of model visualization were introduced in this report. Contour, hillshade, colored hypsometry method and method of vertical profiles belong to the base methods; Multi-pass algorithm, shading language or bump-mapping are the examples of advanced techniques.

Multi-dimensionality should be considered equally part of the modelling, representation and exploration process, because fast dynamic visualization in 3D offers the opportunity to represent and explore time-dependent and dynamic data. Check of errors, simulation of phenomena and processes, modeling of the situation by planning of constructions can be the example of 3D visualization applications.

Reference

1. ČÚZK – terminologická komise, <<http://www.vugtk.cz/termkom/termssl.html>>, Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí na Internetu
2. Dykes, J. et al. (ed.). *Exploring geovisualization*. International cartographic association, 2005. ISBN 0-08-044531-4.
3. Hugentobler, M.: *Terrain Modelling with Triangle Based Free-Form Surfaces*. [Ph.D. dissertation], Mathematisch-maturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Zürich, 2004 Zürich.
4. Janhuba, P.: *Město Olomouc v 3D prostředí*. [bakalářská práce], katedra geoinformatiky, přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2003 Olomouc.
5. Klingseisen, B.: *GIS based generation of topographic attributes for landform classification*. [diploma thesis] Fachhochschule Technikum Kärnten 2004.
6. Kolečka, J.: Digitální model krajiny jako integrovaný databázový nástroj. *Sborník konference GIS Ostrava 2002*. 2002 Ostrava.
7. Kučera, P., <<http://www.pcsvet.cz/art/article.php?id=3201>>, 2D - Bump mapping
8. Laboratorio de Geomatika e Cartografia, <<http://ipf.ov.ingv.it/>>
9. Macur, L.: *4D modelování geomorfologických procesů v okolí sesuvu Brodská*. [bakalářská práce], katedra geoinformatiky, přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2006 Olomouc.
10. Mitášová, H. - Mitáš, L.: Interpolation by regularized spline with tension – I. Theory and implementation. *Mathematical geology*, 25.
11. Pacina, J.: *Popis principů fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku*. [diplomová

práce], katedra matematiky, fakulta aplikovaných věd, Západočeská univerzita v Plzni, 2005 Plzeň.

12. Rapant, P.: *Geoinformační technologie*. institut geoinformatiky, hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, 2005 Ostrava.
13. RDV Systems, <<http://www.rdvsystems.com/>>
14. Šíma, J.: Musíme používat pracovní slang při prezentacích a v publikacích o geografických informačních systémech?. *Sborník konference GIS Ostrava 2002*. 2002 Ostrava.
15. Šváb, T.: 4D-stokrát jinak. *Acta Montanistica Slovaca*, 10, 2. 2005.
16. Vojtek, D., <<http://gisak.vsb.cz/~voj76/soubory/GIT2.DMT1.pdf>>
17. Voženílek, V.: *Aplikovaná kartografie I - tematické mapy*. Vydavatelství UP, 1999 Olomouc. ISBN 80-7067-971-9.
18. Voženílek, V.: *Cartography for GIS - Geovisualization and Map Communication*. Vydavatelství UP, 2005 Olomouc. ISBN 80-244-1047-8.
19. Voženílek, V. a kol.: *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Vydavatelství UP, 2001 Olomouc. ISBN 80-244-0383-8.
20. Wood, J.D.: *The geomorphological characterisation of digital elevation models*. [Ph.D. dissertation], Geography Department, University of Leicester, UK, 1996.