

Modely prostorových dat v GIS: od 2D k 3D

Rozdíly v použití geometrického rozměru při popisu objektů reálného světa ovlivňují možnosti jejich analýzy, správnost takové analýzy, ale i kvalitu a atraktivitu grafické prezentace zkoumané reality. Problematika přechodu od znázorňování okolního světa v rovině, které je obvyklé v tradiční kartografii, k třírozměrnému prostoru v geografických informačních systémech (GIS) je jedním z aktuálních témat ve výzkumu i softwarovém vývoji.

V oblasti kartografie a GIS se modelováním prostorových dat rozumí proces tvorby matematické reprezentace okolního světa. Výsledný model, tedy zjednodušený popis reality, má za cíl usnadnit jak grafickou prezentaci vybrané části světa, tak i pochopení jejích vlastností. Získání takových znalostí je dosaženo analýzou, provedenou nad takovým modelem.

Ranou metodou takového modelování byly pohledové mapy (obr. 1), které překvapivě dobře odpovídaly přirozenému lidskému vnímání okolního světa. Jednalo se však spíše o obrázek bez dostatečných matematických základů, v důsledku čehož nebylo možné nad takovými mapami provádět měření či jiné analytické operace.



Obr. 1: Výřez mapy Paříže vytvořený v ptačí perspektivě Claes J. Visscherem z roku 1618, měřítko cca 1:2 000

V obdobích následujících převažovaly mapy vytvořené matematicky přesně definovanými postupy, které zobrazovaly prostorové čili tři-dimenzionální (3D) objekty v ploše, tedy jako dvou-dimenzionální (2D). Modelování reálného světa ve dvou dimenzích s sebou nese radikální zjednodušení prvků 3D světa. To nevyhnutelně vede ke ztrátě nesené informace o výšce a tvaru těles na zemském povrchu. 2D model reality též limituje správnost prováděných analýz a možnost pochopení komplexních přírodních i společenských jevů. V časech rostoucí naléhavosti environmentálních problémů, udržitelnosti současného fungování společnosti, ale i efektivity správy měst se GIS stávají středem zájmu pro jejich schopnost analýzy těchto problémů. Právě funkční omezení 2D modelů vyvolala potřebu po komplexnějších modelech reality, než je zobrazení světa v ploše.

Modelování prostorových dat s ohledem na dimenzionalitu

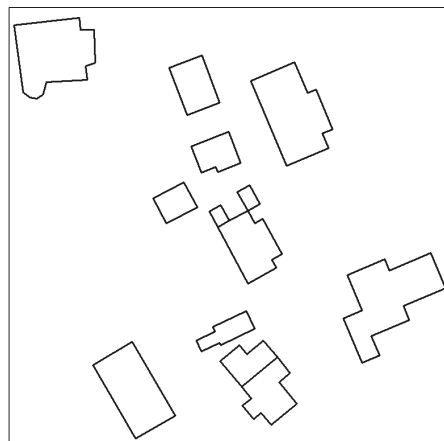
Ačkoliv je pojem dimenze v každodenní mluvě používán, definice dimenze modelů

prostorových objektů není tak přímočará, jak by se dalo očekávat. Pilouk (1996) rozlišuje vnitřní a vnější dimenzi.

Pojem *vnitřní dimenze* odkazuje na nejvyšší dimenzi nejjednodušších geometrických objektů (tzv. geometrických primitiv – bod, linie, ohraničená plocha atd.), které daný model reality používá pro popis objektů. Například, je-li budova popsána množinou ploch, je vnitřní dimenze dva. Pokud je budova reprezentována množinou těles (krychle, jehlan), je vnitřní dimenze tři. *Vnější dimenze* je dimenze prostoru, ve kterém se modeluje. Na tomto základě lze hovořit o následujících metodách modelování reality:

- 2D modely – pracují s 2D geometrií (vnitřní dimenze) ve 2D prostoru (vnější dimenze)

2D model se skládá z geometrických primitiv dimenze dva nebo nižší (bod, linie, plocha) ve 2D prostoru, tedy v rovině (obr. 2).



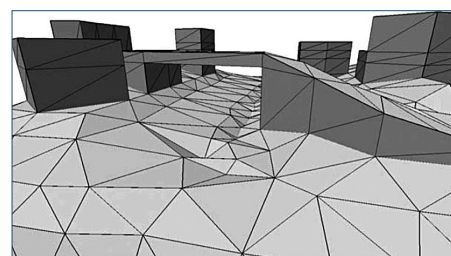
Obr. 2: Výřez 2D vrstvy budov modelovaných pomocí uzavřených lomených linií ohraničujících plochy

- 2.5D modely – pracují s 2D geometrií ve 3D prostoru

2.5D model je tvořen geometrickými útvary nejvýše dimenze dva ve 3D prostoru, přičemž současně musí platit, že pro každou polohu o souřadnicích (x,y) existuje pouze jedna hodnota výšky. Toto kritérium je často užíváno pro účely modelování terénu. V důsledku není možné popsat situace, jako jsou kolmé stěny, jeskyně či převisy.

Snahy o vytvoření „3D“ topografických datových sad vedly k rozličným rozšířením striktního 2.5D modelu. Simonse (2000) použil tzv. *mnohonásobný 2.5D model*. Ten spočívá v použití několika 2.5D vrstev, z nichž každá obsahuje vybraný jev, např.

kombinace vrstvy terénu a vrstvy mostů. Jiné rozšíření, tzv. 2.5D+ varianta, umožňuje navíc oproti původnímu 2.5D přístupu reprezentovat i kolmé stěny. Řešení v podobě 2.75D (Tse a Gold, 2004) je též utvářeno geometrickými prvky dimenze dva nebo nižší ve 3D prostoru. Neklade však žádná omezení na kolmé stěny, ani převisy či díry v modelovaném povrchu (obr. 3).



Obr. 3: Integrované mosty a budovy s modelem terénu v 2.75D přístupu (Gold, 2006, obr. 3)

- 3D modely – pracují s 3D geometrií ve 3D prostoru

3D modelování je oblast zasahující do domény počítačové grafiky, která využívá 3D těles ve 3D prostoru. Během překotného vývoje v této oblasti vykristalizovaly dvě hlavní metody 3D modelování - povrchová a objemová. V následujícím textu budou tyto dva přístupy podrobněji vysvětleny z hlediska reprezentace hranic 3D objektů a geometrických primitiv k tomu využívaných.

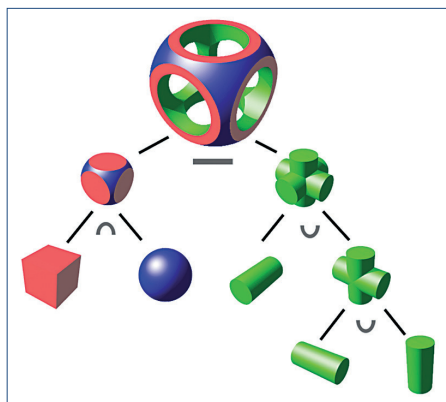
Povrchová reprezentace 3D objektů

Povrchová, někdy též hraniční, reprezentace těles (boundary representation, B-rep) je v oblasti GIS nejpoužívanějším způsobem reprezentace 3D objektů ve 3D prostoru. Metoda popisuje hranice objektu množinou hraničních bodů, ale neuchovává žádnou informaci o vnitřní struktuře. Je jí však možné dopočítat (Žára a kol., 2005). Využití obrysu tělesa pro jeho popis je přirozenou metodou, která je většinou lidí používána odjakživa, například během kreslení.

Nejstarším a také nejjednodušším způsobem popisu tělesa je *hranová reprezentace*. Ta je informačně velmi chudá, neboť využívá pouze hran a vrcholů. Někdy je též označována jako *drátová* (Žára a kol., 2005), neboť připomíná školní drátové modely. Výsledná datová struktura neobsahuje dostatek topologických informací a není vhodná pro užití v GIS. Přirozeným rozšířením předchozí metody je *jednoduchá plošková reprezentace*. Reprezentace

GEOINFORMATIKA A KARTOGRAFIE

hranice objektu využívá kromě vrcholů a hran i plochy. Plošková reprezentace je tak vhodná pro vykreslování objektů zohledňujících problematiku viditelnosti. Model Pravčické brány na obr. 5 je příkladem této metody hraniční reprezentace. *Strukturovaná plošková reprezentace* rozšiřuje množství nesené informace o typ hran a jejich sousednost, čímž kromě samotného vykreslení umožňuje i prostorové analýzy typické pro GIS.



Obr. 4: CSG-strom: modelování komplexního tvaru z jednoduchých geometrických primitiv s pomocí množinových operátorů průnik (\cap), sjednocení (\cup) a rozdíl ($-$). Zdroj: (CSG, 2016)

Objemová reprezentace 3D objektů

Metodou objemové reprezentace 3D objektů je konstruktivní geometrie těles (CSG), která bývá často využívána v CAD systémech (computer-aided design, česky počítačem podporované projektování) a objekty reprezentuje kombinací předdefinovaných geometrických primitiv (kvádr, koule, jehlan, kužel atp.). Model je popsán tzv. CSG stromovou strukturou a kopíruje postupy při návrhu tělesa člověkem (Žára a kol., 2005). Při popisu se používají geometrické transformace a množinové operace sjednocení, průnik nebo odečtení (obr. 4).

Reprezentace CSG stromem však není příliš vhodná pro vizualizaci v GIS, neboť neobsahuje přímo vykreslitelná geometrická primitiva, jako jsou body či hrany. Byla vyvinuta pro konstruktéry pro vytváření modelů těles. Existují sice metody, kte-

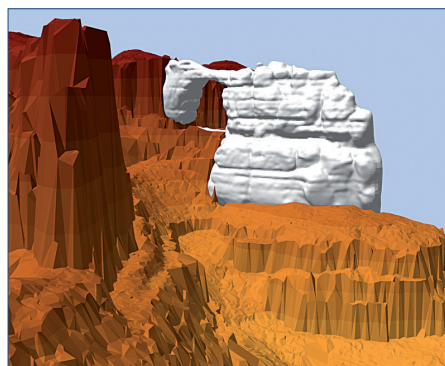
ré dokáží CSG tělesa vykreslit (např. tzv. sledování paprsku), ale z důvodů rychlosti vykreslování je v praxi volen převod do hraniční reprezentace.

Dnešní užití 3D modelů v GIS

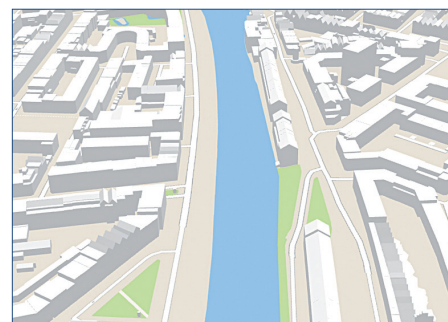
Ze schopnosti reprezentovat svět ve 3D těží množství praktických aplikací v oblasti územního plánování, dopravy, stavebního inženýrství či navigace. Modelování ve 3D pomáhá zpřesňovat analýzy viditelnosti, proudění vzduchu nebo přenosu radiového signálu. Jiné metody jsou na něm zcela závislé, např. „indoor“ modelování (GIS vnitřních prostor budov) a navázané aplikace.

Široké uplatnění lze nalézt v oblastech vzdělávání a propagace. 3D grafika je oproti tradičním webovým stránkám či tištěným produktům velmi atraktivní. Toho je využíváno při prezentaci rekonstrukcí poškozených památek, ale i celých zaniklých měst. V podobě animací s 3D grafikou lze prezentovat i historické události. Častým příkladem jsou rekonstrukce významných bitev.

Nástroje pro 3D analýzu prostorových dat, jejich vizualizaci včetně možností vytváření animací se stávají obvyklou součástí stávajících GIS programů. A to včetně těch volně stažitelných a dostupných pro výuku.



Obr. 5: Model skalního města v Národním parku České Švýcarsko. Tento model zobrazeného území sestává z terénu rekonstruovaného TIN metodou (2.5D) na základě dat pořízených metodou leteckého laserového skenování. Druhou částí výsledné grafické scény je 3D model pískovcového oblouku Pravčické brány, který byl rekonstruován odděleně z dat pozemního laserového skenování.



Obr. 6: 3D model města vykreslený v prostředí ESRI ArcGlobe.

O řadě dalších možností uplatnění 3D modelování v geografii i ve výuce pojednává i článek Petra Meyera (2017) v tomto čísle Geografických rozhledů.

Reálné využití 3D aplikací bylo umožněno také rozvojem nových technologií pro pořizování prostorových dat. Díky usnadnění získávání dat se rozšířila jejich dostupnost i prostorové pokrytí.

Modelování ve 3D však výrazně navyšuje výpočetní náročnost oproti 2D řešením. V kombinaci s obrovskými objemy podrobných topografických dat, která mají dnes až globální pokrytí, je modelování plně ve 3D často mimo možnosti současných výpočetních technologií. Volba mezi jednotlivými druhy modelů prostorových objektů je tak v praxi dána vhodností pro účel konkrétní aplikace. Často se lze setkat s řešeními, která využívají kombinace obou přístupů – modelování rozsáhlých modelů terénu ve 2.5D a využití 3D přístupů pouze tam, kde je to nezbytné, např. při modelování jeskyní či skalních bran (obr. 5). Jiným příkladem kombinace různých metod jsou 3D modely měst zobrazené nad modelem terénu v technologiích typu Google Earth či ESRI ArcGlobe (obr. 6). Takové globální 3D GIS jsou aktuálním předmětem výzkumu a vývoje. Z pohledu uživatele se postupně stávají novou platformou pro vzájemnou komunikaci a sdílení informací.

Lukáš Brůha, PŘF UK
lukas.bruha@natur.cuni.cz

Spatial Data Models: From 2D to 3D. Differences in the dimensions used in spatial object models impact the possibilities available for analysis as well as the accuracy of such analysis and the quality of graphical presentation. The transition from describing spatial features in a plane, which had long been the standard within traditional cartography, towards a three-dimensional approach within geographic information systems is an important objective, both in contemporary research and software development.

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- GOLD, C. M. (2006): What is GIS and what is not. *Transactions in GIS*, 10, s. 505–519.
- MEYER, P. (2017): 3D modely v geografii a jejich nevyužitý potenciál, *Geografické rozhledy*, 26, 4, s. 20–21.
- PILOUK, M. (1996): *Integrated Modelling for 3D GIS*. Dizertační práce, ITC Enschede, Nizozemí.
- SIMONSE, M., VERBREE, E., van ASPEREN, P. van der VEGT, J. W. (2000): Construction of the 3DTOP10 - Integration of Countrywide Planimetric Data and Laser altimetry Data to Support 3D-Visualisation

- and Analysis. In: XIXth Congress ISPRS 2000, Amsterdam, Molenaar, M., Beek, K. J. (Eds), XXXIII of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, s. 995–1002.
- TSE, R. O., GOLD, C. (2004): TIN Meets CAD - Extending the TIN Concept in GIS. *Future Generation Computer systems (Geocomputation)*, 20.
- Constructive Solid Geometry (CSG) https://en.wikipedia.org/wiki/Constructive_solid_geometry (20.1.2017).
- ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P. (2005): *Moderní počítačová grafika*. 2. vyd. Computer Press, 2005, 608 s.