

DIGITÁLNÍ MODEL Y TERÉNU

verze 1.0

autor listu: Lukáš Brůha

Cíle

V tomto pracovním listu se student:

- dozví, co jsou digitální modely terénu a jaké druhy známe,
- naučí, jaká data a jaké metody lze využít k tvorbě digitálních modelů terénu,
- vyzkouší si prakticky aplikovat tyto metody při tvorbě modelů terénu v prostředí ArcGIS for Desktop.

Teorie

V oblasti geografický informační systémů (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.

Definice pojmů

Při práci s prostorovými modely vztaženými k zemskému povrchu rozlišujeme následující pojmy - digitální model reliéfu (Digital Terrain Model), digitální model povrchu (Digital Surface Model) a digitální výškový model (Digital Elevation Model). Vyjdeme-li z terminologického slovníku VÚGTK (2016), pak platí následující definice:

Digitální model reliéfu, digitální model terénu (DMR, DMT) – zaměnitelné pojmy

1: digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů; **2:** v USA má zpravidla formu nepravidelně rozmístěných výškových bodů, které optimálně vystihují terénní tvary včetně hran a výškových extrémů.

Digitální model povrchu

Zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrammetrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.).

Digitální výškový model

1: digitální model reliéfu pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů; **2:** datová sada výškových hodnot, které jsou algoritmicky přiřazeny k 2-rozměrným souřadnicím; **3:** v USA soubor nadmořských výšek ve vrcholech mříže vytvořené v pravidelných intervalech souřadnic x a y národního referenčního souřadnicového systému.

Pozn. V zahraničí je někdy DEM chápán stejně jako DTM.

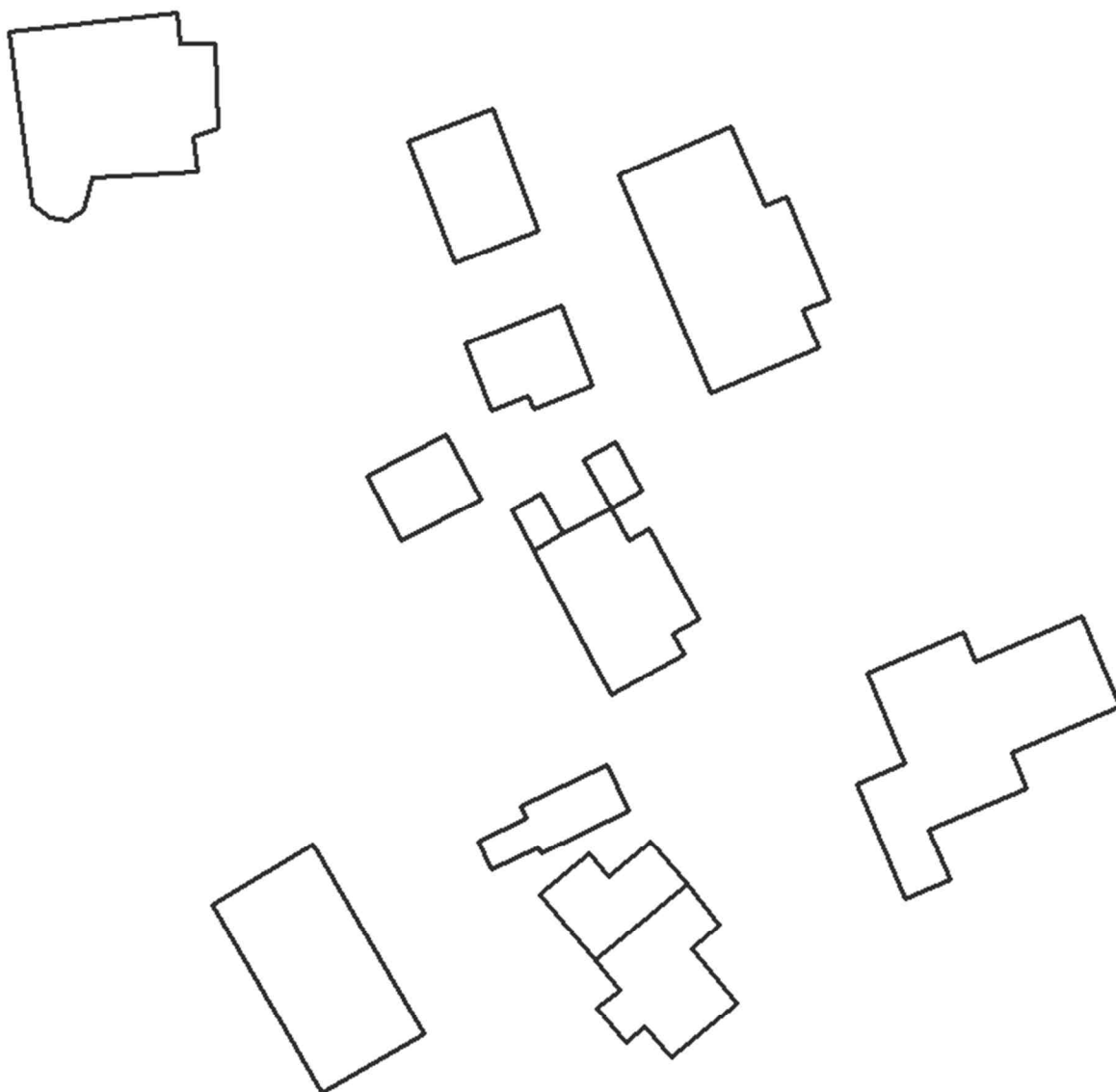
Modelování prostorových dat s ohledem na dimenzionalitu

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,...), 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 ve 2D prostoru

2D model se skládá z geometrických primitiv dimenze dva nebo nižší (bod, linie, plocha) ve 2D prostoru, tedy v rovině. Příkladem je výřez z vrstvy budov na obr. 1.

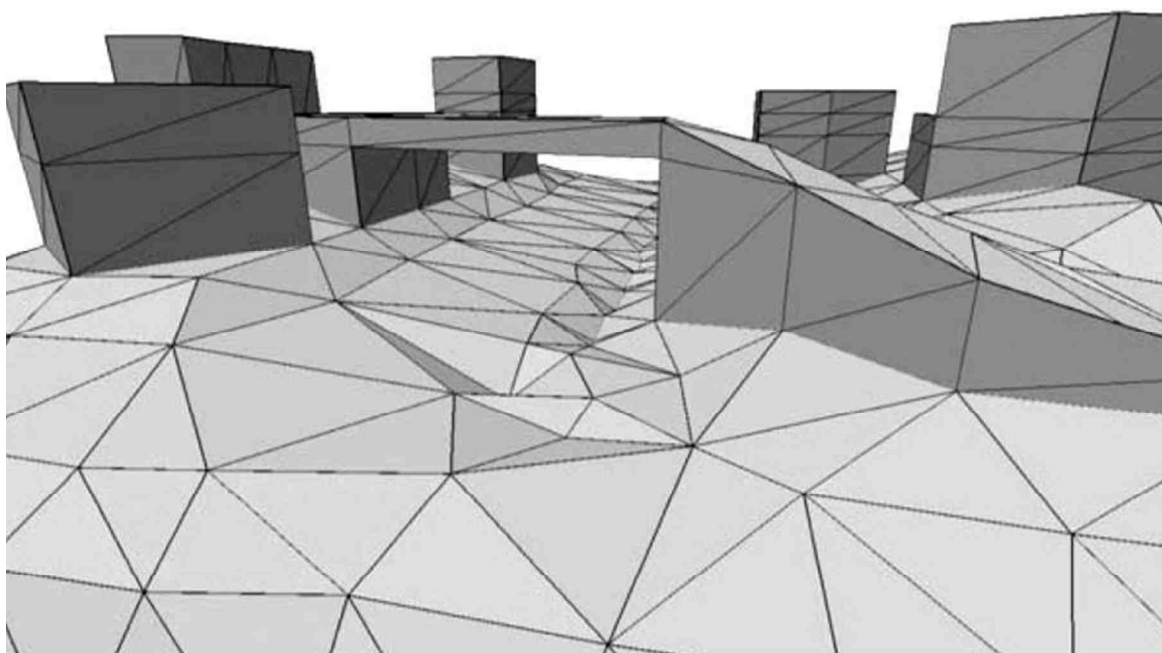


Obr. 1. Výřez 2D vrstvy budov modelovaných pomocí uzavřených lomených linií ohraničujících plochy.

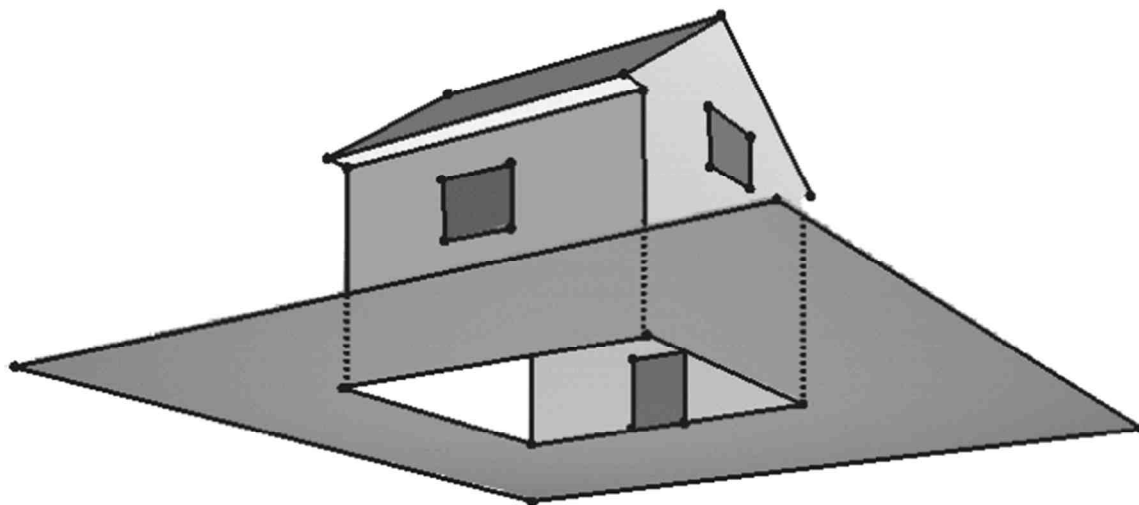
– **2.5D modely – pracují s 2D geometrií ve 3D prostoru**

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. (Simonsen a kol., 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. 2.5D+ varianta umožňuje navíc oproti původnímu 2.5D přístupu reprezentovat i kolmé stěny. 2.75D (Tse a Gold, 2004) či 2.8D (Gröger a Plümer, 2005) varianty jsou též utvářeny geometrickými prvky dimenze dva nebo nižší ve 3D prostoru, nekladou však žádná omezení na kolmé stěny, převisy či díry v modelovaném povrchu. Geometrie těchto přístupů je zobrazena na obr. 2, resp. obr. 3.



Obr. 2. Integrované mosty a budovy s modelem terénu v 2.75D přístupu (Gold, 2006, obr. 3).



Obr. 3. Příklad reprezentace budovy a okolního terénu metodou 2.8D (Gröger a Plümer, 2005, obr. 5).

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

3D modelování prostorových objektů je oblast zasahující do domény počítačové grafiky. Během překotného vývoje těchto technologií bylo vyvinuto množství způsobů reprezentace skutečných 3D objektů. Časem vykrystalizovaly dvě hlavní metody - povrchová a objemová. Více k problematice 3D modelování lze nalézt například v (Žára a kol., 2005).

V následujícím textu se budeme věnovat těm DMT, které mají z hlediska dimenzionality charakter nejvýše striktní 2.5D.

Druhy DMT

Existuje řada druhů DMT, které se navzájem liší použitým algoritmem vytváření modelu, datovou strukturou uložení výsledku, vhodností pro vizualizaci, či naopak analýzu. Pro zájemce o podrobnější studium lze odkázat na literaturu (Bayer, 2016).

1. Vrstevnice

Vrstevnice jsou neodmyslitelně spjaté s tradiční kartografií jako způsob vyjádření výškopisu. Jsou však i datovou reprezentací výškopisu, která si našla místo v GIS, které umožnily automatizaci tvorby vrstevnic v digitálním prostředí. Těmito metodami jsou interpolační algoritmy, které odvozují průběh vrstevnic z množiny výškových bodů (tedy bodů s x, y, z -souřadnicemi).

Lineární interpolační algoritmus – algoritmus vychází ze skutečnosti, že spád terénu mezi dvěma body, mezi kterými je interpolace prováděna, je konstantní. Tedy i rozestup vrstevnic mezi dvěma body je konstantní. Metoda je jednoduchá a výpočetně rychlá, reálný průběh vrstevnic však vystihuje ve většině případů nevhodně.

Nelineární interpolační algoritmy – tato varianta se snaží vystihnout skutečné tvary terénu. Nepředpokládá konstantní rozestup vrstevnic mezi dvěma interpolovanými body, nicméně předpokládá plynulou změnu tohoto rozestupu (tedy předpoklad plynulé změny sklonu terénu). Tento přístup je též označován jako geomorfologická interpolace, využívá kvadratické či kubické interpolace. Jedná se o postup obtížněji algoritmizovatelný.

2. Polyedrické modely terénu (TIN, Triangulated Irregular Network)

Tento typ DMT je založen na reprezentaci sítí trojúhelníkových ploch. Trojúhelníková síť je vytvořena metodou triangulace z použití triangulačního algoritmu. Algoritmus prokládá trojicí vrcholů rovinu v \mathbb{R}^3 , vzniká tak nepravidelný mnohostěn (polyedr), který přimyká k terénu. V rámci trojúhelníku je tak prováděna lineární interpolace, což nemusí být postačující pro všechny typy analýz prováděných nad DMT.

Výběr vhodné metody triangulace je ovlivněn několika faktory. Kritérium zásadní pro DMT je tvar trojúhelníků. Triangulace by měla produkovat trojúhelníky, které se co nejvíce podobají rovnostranným tak, aby se výsledná síť co nejvíce přimykala k terénu. Pro pokročilejší modelování je též žádoucí schopnost vkládat povinné hrany a tím ovlivnit výsledný tvar triangulace. Příkladem může být požadavek na zachování hranic objektů na terénu, nebo i vybraných prvků terénu samotného (hřbetnice, údolnice, atp.).

Požadavku na podobnost rovnostranný trojúhelníků lze dosáhnout aplikací tzv. geometrického kritéria minimálního úhlu. Nejčastěji používanou metodou triangulace v GIS je proto tzv. Delaunay triangulace, která maximalizuje minimální vnitřní úhel vytvářených trojúhelníků. Jedná se o kritérium

globální, tedy podle uvedeného kritéria se optimalizují geometrické parametry všech trojúhelníků v síti.

Varianta s povinnými hranami, tzv. constrained Delaunay triangulace, umožňuje vynucení definovaných hran v triangulaci. Taková triangulace není lokálně optimální vzhledem ke kritériu minimálního úhlu.

3. Rastrové modely terénu

Rastrový model je v principu definován hodnotami $[x, y]$, tedy prostorovými souřadnicemi každého bodu rastru. Z souřadnice, tedy výška, je pak hodnotou buněk (pixelů) samotného rastru. Díky pravidelnosti postačuje při praktickém použití určit vzdálenost bodů rastru a umístit jeden bod do souřadného systému, (x,y) souřadnice ostatních prvků lze snadno dopočítat.

DMT je v tomto případě reprezentován množinou elementárních plošek v pravidelné mřížce (rastru). Výhoda rastrového modelu spočívá v tom, že pracuje s pravidelnou maticí uzlových bodů, jejichž hodnoty lze relativně snadno vypočítat, nadto není nutné o nich udržovat všechna data (relativně snadná možnost komprese). Zmíněná pravidelnost je též výhodou pro implementaci a rychlost prováděných analýz. Vypovídací schopnost modelu silně závisí na jeho rozlišení, které ovlivňuje, na kolik jsou jednotlivé prvky rastru přimknuty ke skutečnému průběhu terénu. Obtížně se taková hustota volí pro krajinu s velkou nepravidelností, kde jsou vysoké hory i rozsáhlé rovné pláně nebo jezera. Takový reliéf je buď nutné řešit rozdělením na několik modelů a každý zpracovávat v různém rozlišení. V opačném případě je výsledkem buď nedostatečně podrobný model, nebo naopak model datově objemný.

Rastrové DMT lze získat buď přímým měřením (metody fotogrammetrie, DPZ, atp.) nebo odvozením od již vytvořené jiné formy DMT. Pro převod existujícího DMT buď ve formě bodů, vrstevnic, čar terénní kostry nebo z trojúhelníkové sítě se používá interpolačních technik, které dopočítávají výšku dle zvolené metody pro aproximaci terénu. Nejjednodušší aproximací je již zmíněná lineární funkce, která však nedostatečně vystihuje změny v průběhu terénu. Věrnějších výsledků lze dosáhnout následujícími nelineárními interpolacemi.

Metoda *inverzních vzdáleností* (*Inverse Distance Weighted*, IDW) odvozuje hodnotu ve zkoumaném bodě jako vážený průměr ze známých hodnot sousedů tak, že jejich váha je nepřímo úměrná jejich vzdálenosti od počítaného bodu. Vložení nového (interpolovaného) bodu do sítě Thiessenových polygonů způsobí její přebudování. Váhy pro výpočet jsou poté dány poměrem velikosti ploch původní sítě, které překrývají Thiessenův polygon interpolovaného bodu. Algoritmus je možné použít pro pravidelně i nepravidelně rozmístěná data, lepších výsledků dosahuje s pravidelně rozmístěnými daty. Díky využití všech určených bodů v okolí dochází k vyhlazení (zjemnění změn sklonu) v průběhu terénu.

Metoda *přirozených sousedů* (*Natural Neighbor*) je opět založena na váženém průměru. Váhy jsou odvozeny z teselace vstupní bodové množiny (vytvoření Thiessenových polygonů nad touto množinou). Váhy sousedních bodů, ze kterých je interpolována hodnota zkoumaného bodu, jsou dány poměrem délek odpovídajících sousedních hran Thiessenova polygonu zkoumaného bodu.

Kriging je komplexní metoda v geostatistice, která hledá nejlepší lineárně nestranný odhad na předpokladu kovariance. Vážené průměrování zde zohledňuje prostorové uspořádání vstupní množiny dat okolo interpolovaného místa. Proto je zapotřebí vypočítat prostorovou závislost namě-

řených bodů – jejich prostorovou autokorelaci. Pro detailní popis metody a široké aplikační možnosti viz (Stein, 1999).

Metoda *splínové funkce*, nebo též metoda minimální křivosti, odvozuje hledané hodnoty proložení kubické křivky dvěma body tak, aby taková křivka měla minimální křivost. Oproti metodě IDW splínová funkce vypočítá vyšší i nižší hodnoty než jsou extrémy (min a max) vstupní množiny. Výsledkem je vyhlazený povrch bez výrazných terénních zlomů.

4. Plátování

Tento typ DMT předpokládá, že se povrch rozdělí na větší množství nepravidelných, obecně křivých ploch trojúhelníkového nebo čtyřúhelníkového tvaru, přičemž hranice se vedou po singularitách. Zřídka se používají rovněž obecné *n*-úhelníky. Pláty jsou nejčastěji stupně tři, neboť polynomy stupně tři již dokáží věrně aproximovat průběh terénu a současně je jejich výpočet relativně snadný.

Existující zdroje dat pro reprezentaci zemského povrchu

Popis následujících českých produktů přejat z metadat těchto produktů, viz <http://geoportal.cuzk.cz>.

1. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – výškopis – 3D vrstevnice

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) je digitální geografický model území České republiky (ČR). Výškopisnou část ZABAGED® tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2 nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. Obsah datové sady ZABAGED® – výškopis – 3D vrstevnice je doplněn vybranými dalšími výškopisnými prvky – klasifikovanými hranami a body, které byly vyhodnoceny stereofotogrammetrickou metodou při zpřesňování vrstevnicového výškopisu a jsou uživateli nabízeny k případnému dalšímu využití. Všechny objekty jsou reprezentovány trojrozměrnou vektorovou prostorovou složkou.

2. Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) – výškopis – grid 10×10 m

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) je digitální geografický model území České republiky (ČR). Výškopisnou část ZABAGED® doplňuje odvozený digitální model terénu v podobě pravidelné mříže (10×10 m) trojrozměrně vedených (3D) bodů.

3. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5×5 m) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 4G je určen k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu, např. při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, modelování přírodních jevů, apod.

4. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou le-

teckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti.

5. Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G)

Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) představuje zobrazení území včetně staveb a rostlinného pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného pokryvu). Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMP 1G je určen k analýzám výškových poměrů terénu (DMR 5G) a geografických objektů na něm se vyskytujících (stavby a rostlinný pokryv) regionálního a částečně i lokálního charakteru, např. při analýzách viditelnosti, modelování šíření radiových vln, modelování šíření škodlivých látek a nečistot v ovzduší, generování virtuálních pohledů na terén v leteckých simulátorech a trenažérech, apod.

6. Zahraniční zdroje

Kromě uvedených ryze českých zdrojů existují i DMT s širším prostorovým pokrytím, mnohdy až globálním. Příkladem může být SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM. SRTM DEM je distribuován po čtvercích o velikosti $1^\circ \text{ z.d.} \times 1^\circ \text{ z.š.}$ (na rovníku odpovídá přibližně území $111 \times 111 \text{ km}$). SRTM DEM je dostupný ve dvou verzích. První verze poskytuje hrubá výšková data, která jsou přímým výsledkem interferometrického zpracování. Druhá verze již zahrnuje řadu následných zpracovatelských operací zaměřených na editaci a opravu problematických oblastí. SRTM DEM je dostupný volně ve dvou verzích. Pro USA s rozlišením $1'$ (cca 30m na rovníku), druhá verze pro území mezi 56° j.z.š. a 60° s.z.š. (cca 80 % pevninského území celého světa) v prostorovém rozlišení $3''$ (přibližně 90 m na rovníku).

Alternativou, která je též volně dostupná, je ASTER GDEM. Tento model pokrývá pevninu od 83° severní do 83° jižní šířky. Je též distribuovaný v rozlišení 1 úhlová vteřina.

Především v rámci Evropy je významným zdrojem EU-DEM (2016) s prostorovým rozlišením přibližně $1'$.

Praktická aplikace

V rámci následující praktické ukázky si ukážeme vytvoření polyedrického a rastrového DMT v prostředí ArcGIS for Desktop.

1. Vytvoření modelu terénu metodou TIN

TIN lze vytvořit buď konverzí z jiného typu DMT nebo z původních vrstev se zdrojovými daty (s výškovými měřeními).

Konverze z rastrového modelu do TIN je žádoucí například potřebujeme-li zpřesnit model dodáním vybraných prvků (vodní toky, silnice). *Raster to TIN* je nástroj, který slouží k tomuto převodu. Nativní formát *ESRI Terrain*, což je reprezentace modelu terénu zohledňující víceměřítkové vykreslování, je pak možné transformovat do TIN za pomoci geoprocesingové funkce *Terrain to TIN*.

Vytvoření nového TIN modelu ze zdrojových dat s původními měřeními nadmořských výšek je druhou možností. Funkce *Create TIN* je nástrojem platformy ArcGIS for Desktop pro vytváření TIN modelu terénu z vektorových dat.

Zdrojovými daty mohou být body, linie či polygony s údajem o naměřené nadmořské výšce. Body (označované jako *mass points*) reprezentují bodová měření, linie (*breaklines*) typicky prvky terénu jako řeky, hřbetnice údolnice, nebo obecně zlomové hrany v průběhu terénu. Plochy (polygony, *hulls*) je možné využít k vymezení oblasti, v níž má triangulace proběhnout.

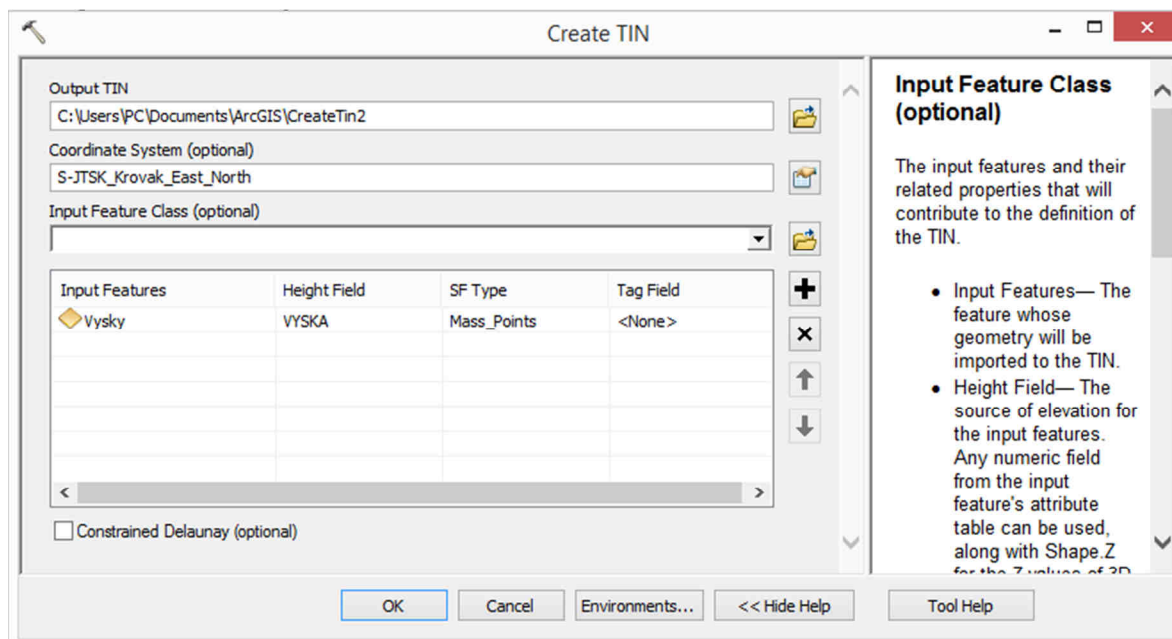
Druhy zdrojů dat:

- *Mass points* – neuspořádaná množina výškových bodů. Primární vstup do triangulace, který definuje výsledný tvar modelu terénu, bodová měření se stávají uzly ve výsledném TINu.
- *Hard breaklines* – zlomové linie v povrchu, reprezentují diskontinuitu v průběhu terénu. Zářez v terénu způsobený takovou linií, např. vodním tokem, nebo krajnicí silniční komunikace, lze zahrnout do triangulace jejich definováním jako "hard breaklines". Tímto lze docílit zlepšení kvality grafického znázornění modelu i kvality analýz nad ním prováděných.
- *Soft breaklines* jsou linie na povrchu, které neovlivňují jeho tvar (nemění sklon v daném místě). Díky jejich přidání jsou do triangulace doplněny hrany odpovídající linii, jako např. hranice zkoumané oblasti.
- *Hulls* – polygony reprezentující plošné jednotky, např. jezera, nebo hranice vymezující oblasti, které budou triangulovány odděleně. Lze využít k definování jednotlivých oblastí (ostrovů v souostroví).

Hard breaklines, *soft breaklines* a *hulls* mohou i nemusí nést informaci o nadmořské výšce. Pokud ji daná vektorová vrstva nemá, je výška interpolována z modelu vytvořeném z dat, která ji nesou.

Kromě bodových a liniových vstupních vrstev mohou vstupovat do tvorby TINu i čtyři typy plošných vrstev:

- *Clip polygons* – definují vymezení vnější hranice celé triangulované oblasti. Oblasti, které spadají vně vymezené oblasti, jsou vyloučeny z interpolace a analýz nad výsledným modelem.
- *Erase polygons* – definují hranici triangulace. Oblasti, které spadají dovnitř vymezené oblasti, jsou vyloučeny z interpolace a analýz nad výsledným modelem.
- *Replace polygons* – nastavují hraniční a vnitřní výšky oblasti na konstantní hodnotu. Tedy vytváří zarovnaný povrch, např. vodorovná vodní hladina.
- *Fill polygons* – nastavují celočíselnou hodnotu atributu každé trojúhelníkové plošce spadající do oblasti definované fill polygonem. Výšky povrchu nijak neovlivňuje.



Obr. 4. Dialogové okno funkce Create TIN

Dialogové okno funkce Create TIN (Obr. 4) navede uživatele k zadání následujících parametrů:

- *out_tin* – cesta v souborovém systému a název výsledného TIN na výstupu
- *spatial_reference* [volitelný parametr] – souřadnicový systém
- *in_features* [volitelný parametr] – vstupní vrstvy, z nichž bude TIN vytvářen, a jejich parametry.

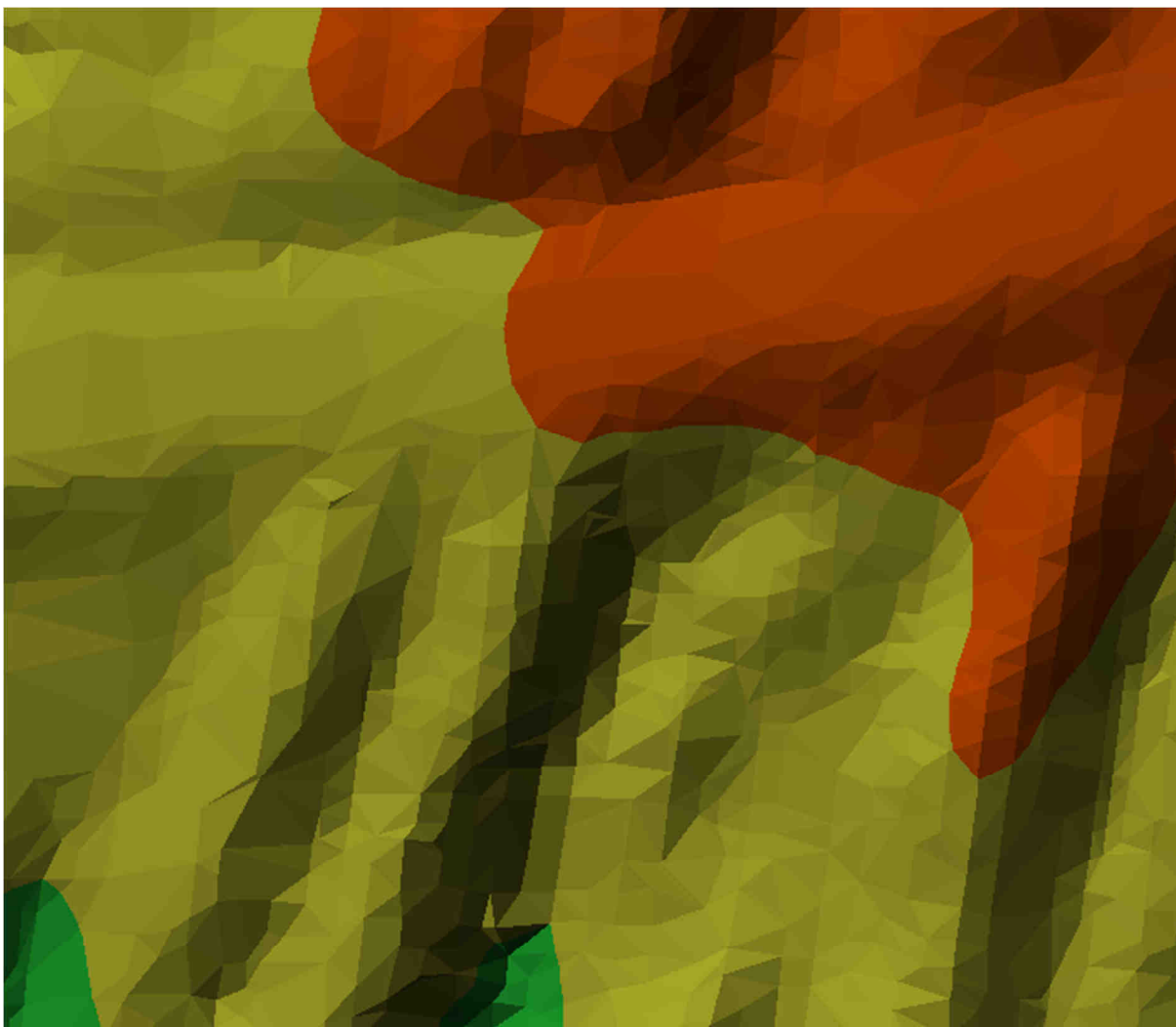
Parametry jsou:

- *in_feature_class* – zdrojová vrstva
- *height_field* – název atributu vrstvy, z něhož budou brány informace o výšce. Pokud geometrie vstupní vrstvy je 3D, pak lze informaci o výšce získat vybráním varianty *Shape.Z*.
- *SF_type* – typ geometrie určující, jak se bude zdrojová vrstva podílet na triangulaci, viz typy výše (mass points, breaklines, hulls, polygons).
- *tag_value* – celočíselný atribut, zadáváno v případě, že je zvolena u vstupní vrstvy možnost *value fill*.
- *constrained_delaunay* [volitelný parametr] – určuje metodu triangulace. Volby:
 - DELAUNAY – triangulace splňující delaunay kritérium (defaultní varianta),
 - CONSTRAINED_DELAUNAY – triangulace, v níž budou vstupní liniové vrstvy vynuceny.

Tipy a triky

TIN, který je určený k provádění dalších analýz, by měl být konstruován v souřadnicovém systému rovinného zobrazení. Funkce jako *Slope*, *Aspect* atp. vedou k chybným výsledkům, pokud x,y souřadnice jsou vyjádřeny úhlovou mírou (stupně v případě geografických souřadnicových systémů).

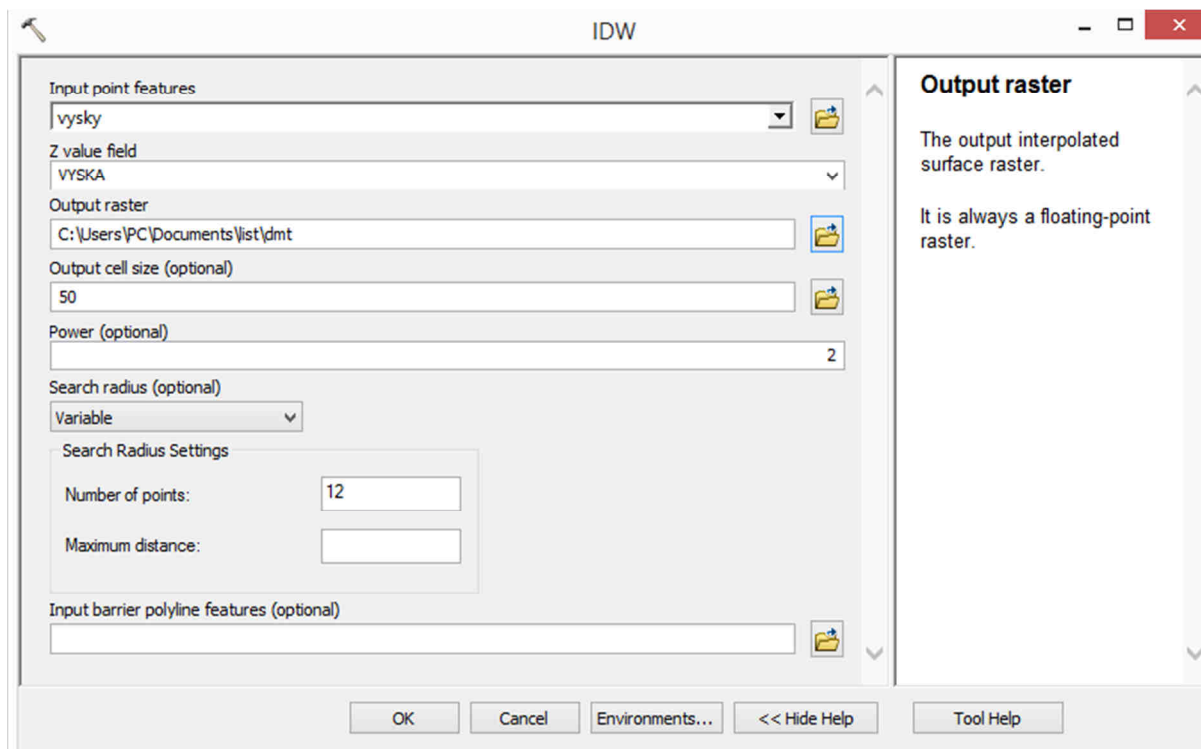
Omezení na velikost vstupních dat, tedy i výsledného počtu uzlů TIN, jsou dána systémovým množstvím dostupné paměti. Deset až patnáct milionů uzlů je obvykle horní hranice dostupná na 32-bitových platformách OS Windows. S ohledem na rychlost vykreslování je vhodné pro dataset s množstvím uzlů větším než deset milionů použít Terrain dataset namísto TIN.



Obr. 5 Výsledný TIN model terénu

2. Vytvoření rastrového modelu terénu

V této části se podíváme na praktické řešení tvorby rastrového DMT v ArcGIS for Desktop metodou IDW. Tato metoda poskytuje dobrou aproximaci průběhu terénu v případě, že vstupní data jsou rovnoměrně navzorkována (například v pravidelné mřížce). Pro vstupní data, o nichž tento předpoklad neplatí, je vhodnější použít jiné metody, např. *Natural Neighbor*. Metoda *Topo to Raster* je odladěna specificky pro práci se vstupem v podobě vrstevnic (kromě jiných) a produkuje hydrologicky korektní DMT.



Obr. 6. Dialogové okno funkce IDW

Dialogové okno funkce IDW (Obr. 6) navede uživatele k zadání následujících parametrů:

- *in_point_features* – vstupní bodová vrstva
- *z_field* – atribut s hodnotou výšky pro každý bod (případně Shape.Z)
- *out_raster* – cesta k uložení výsledku
- *cell_size* [volitelný parametr] – velikost pixelů ve výsledném rastru
- *power* [volitelný parametr] – exponent vzdálenosti. Parametr slouží pro kontrolu váhy okolních bodů. Přednastavená hodnota je 2, v takovém případě tedy váha okolních bodů klesá se čtvercem (druhou mocninou) vzdálenosti
- *search_radius* [volitelný parametr] – definuje, které body budou považovány za okolí, tedy zahrnuté do interpolace hodnoty daného pixelu. Parametr nabývá dvou hodnot. Lze volit mezi *Fixed* a *Variable*.
 - Varianta *fixed* využívá definované fixní vzdálenosti, v níž všechny obsažené se budou podílet na interpolaci. V *Distance*, parametru této varianty, je stanovena tato vzdálenost, a v *minimum_number_of_points* celočíselná hodnota minimálního požadovaného počtu bodů (defaultně 0). Pokud minimum není dosaženo, vzdálenost bude postupně růst do té doby, dokud minimální hranice nebude dosažena.
 - Ve variantě *Variable* je naopak stanoven počet bodů (*number_of_points*), ze kterých chceme interpolovat, a *maximum_distance* jakožto horní hranice přijatelné vzdálenosti těchto bodů.
- *in_barrier_polyline_features* [volitelný parametr] – polyliniová vrstva s liniemi, které vymezují zlomy v průběhu terénu (hráz, násep, útes atp.)

Z interpolace jsou vyloučeny ty body, které leží za takovouto linií ve směru od interpolovaného pixelu.

Tipy a triky

Nástroj má limit přibližně 45 milionů vstupních bodů. Pokud potřebujete zpracovat větší bodovou množinu, rozdělte ji do několika částí. Části by se měly částečně překrývat, chcete-li z nich následně vytvořit jediný rastr pomocí mozaikování (mosaicking).



Obr. 7. Výsledný rastrový model terénu

Úkoly

1. Pročtete si teoretickou část výukového listu a seznámte se s problematikou digitálních modelů terénu. Na základě načerpaných znalostí zhodnoťte, který model (TIN či rastr) je vhodnější pro reprezentaci a následnou analýzu liniových prvků terénu (zlomy apod.) Uvažujte hlediska rychlosti provádění analýzy a datová náročnost (datová velikost) modelů.
2. Načtěte a prozkoumejte data vztažená k tomuto výukovému listu.
3. Na základě těchto dat vytvořte TIN model terénu a rastrový model terénu. Nejprve bez povinných hran (resp. bariér) a poté s nimi. Porovnejte výsledky.
4. Proveďte konverzi TIN modelu terénu do rastrové podoby, prozkoumejte parametry funkce TIN to Raster, a porovnejte výsledek konverze s rastrovým modelem terénu vytvořeným v bodě 3.

Data ke cvičení

vysky.shp

Shrnutí

Prostřednictvím tohoto pracovního listu jsme se seznámili s variantami digitálních modelů terénu. Absolventi výuky by měli být schopni vytvořit DMT typu TIN i rastr. Dokáží též nastavit příslušné funkce v software ArcGIS for Desktop tak, aby produkovaly modely o požadovaných vlastnostech s ohledem na dostupná vstupní data i s ohledem na požadovanou kvalitu a charakter modelu. Studenti by v praxi měli být schopni rozhodnout, která reprezentace DMT je vhodnější z hlediska různých typů úloh nad DMT.

Zdroje

- BAYER, T. (2016): *Digitální modely terénu*. Dostupné z:
<https://web.natur.cuni.cz/~bayertom/images/courses/Adk/adk5.pdf> (cit. 10. 12. 2016)
- ArcGIS for Desktop (2016): *Tool reference*. Dostupné z:
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/idw.htm> (cit. 10. 12. 2016)
- ArcGIS Resource Center (2016): *Create TIN*. Dostupné z:
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Create_TIN/00q90000001v000000/ (cit. 10. 12. 2016)
- European Environment Agency (2016): *Digital Elevation Model over Europe (EU-DEM)*. Dostupné z:
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem> (cit. 10. 12. 2016)
- GRÖGER, G., PLÜMER, L. (2005): How to get 3-D for the price of 2-D-topology and consistency of 3-D urban GIS. *Geoinformatica*, 9, 2, s. 139–158.
- GOLD, C. M. (2006): What is GIS and what is not. *Transactions in GIS*, 10, s. 505–519.
- 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, M. Molenaar and K. J. Beek (Eds), XXXIII of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, s. 995–1002.
- STEIN, M. L. (1999): *Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*. Springer-Verlag, New York. DOI 10.1007/978-1-4612-1494-6.
- TSE, R.O., GOLD, C. (2004): *TIN Meets CAD – Extending the TIN Concept in GIS*. *Future Generation Computer systems (Geocomputation)*, 20.
- VÚGTK. *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí*. Dostupné z:
<http://www.vugtk.cz/slovník/> (cit. 10. 12. 2016)
- ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P. (2005): *Moderní počítačová grafika*. 2. vyd. Computer Press, 2005, 608 s.