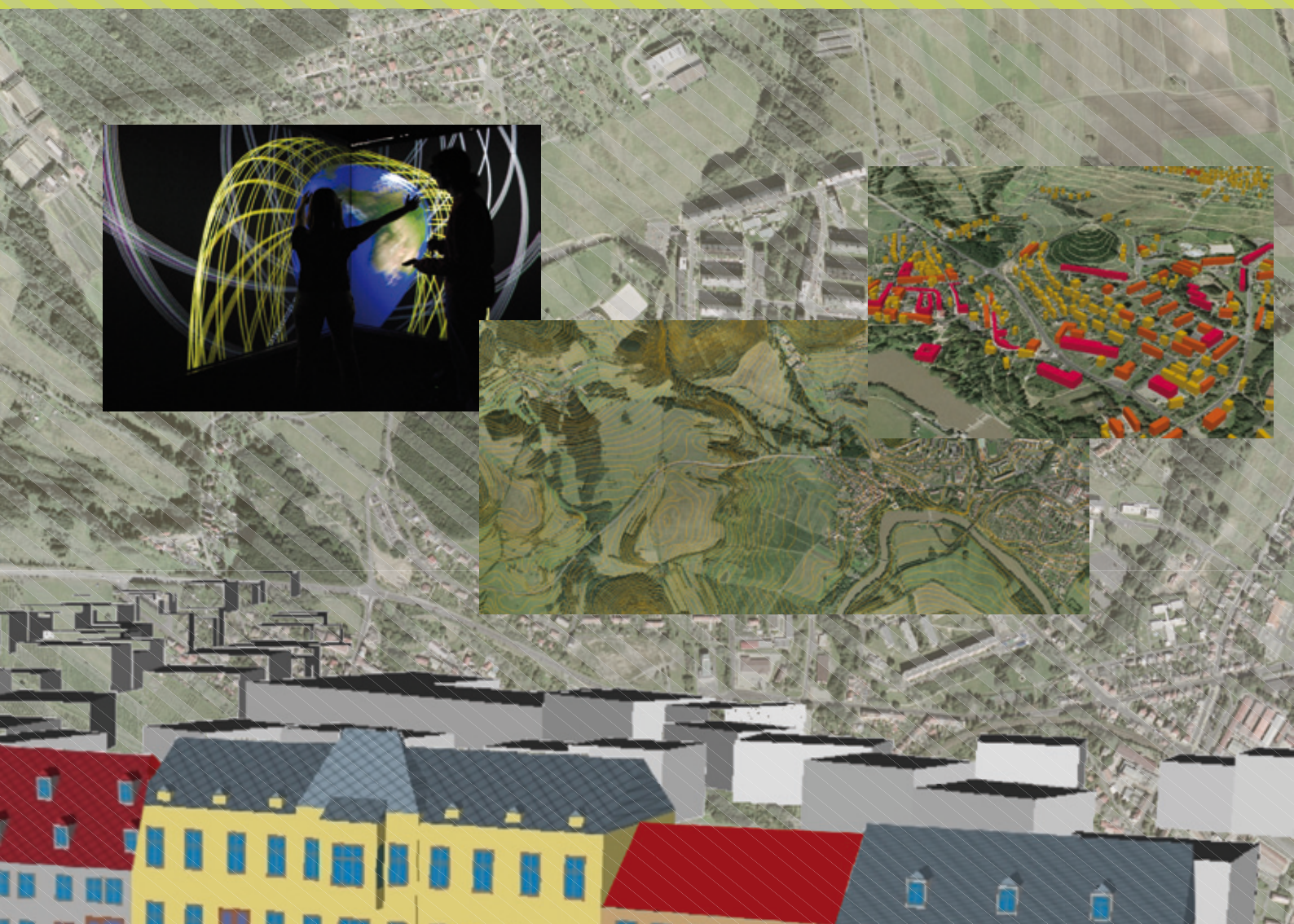




Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny

3D MODELOVÁNÍ A VIRTUÁLNÍ REALITA

Tomáš Oršulák - Jan Pacina



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3D MODELOVÁNÍ A VIRTUÁLNÍ REALITA

Tomáš Oršulák – Jan Pacina



Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny

Publikace byla financována z projektu CZ.1.07.2.2.00/07.0053 „Inovace geograficky orientovaných studijních oborů s cílem zvýšit míru uplatnění absolventů na trhu práce“ (řešitel T. Oršulák).

Autoři tímto děkují za podporu.

Recenzenti: Ing. Karel Jedlička Ph.D., Ing. Radek Fiala Ph.D., ing. Jakub Šilhavý

Vydání: první

Počet stran: 64

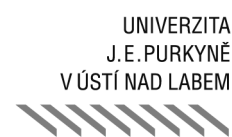
Předtisková příprava a tisk: Centrum digitálních služeb MINO, Ústí nad Labem

Vydavatelství: Ing. Tomáš Mikulenka, Ústí nad Labem

© Tomáš Oršulák, Jan Pacina

Ústí nad Labem 2012

ISBN 978-80-904927-4-5



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

PŘEDMLUVA

Milí studenti, do rukou se Vám dostává jedna ze čtveřice studijních opor, která byla vytvořena v rámci projektu CZ.1.07.2.2.00/07.0053 „Inovace geograficky orientovaných studijních oborů s cílem zvýšit míru uplatnění absolventů na trhu práce“. Publikace slouží jako podpora nových nebo inovovaných kurzů (Geoinformatika, 3D modelování a virtuální realita, 3D modelování v územním plánování a regionálním rozvoji a virtuální realita v územním plánování a regionálním rozvoji), zčásti je možné je využít i v dalších geoinformačně zaměřených předmětech vyučovaných na univerzitě J. E. Purkyně v Ústí nad Labem.

Publikace 3D modelování a virtuální realita se zaměřuje na 2 nejmodernější oblasti geografického výzkumu. Na následujících stranách představuje základy problematiky a doplňuje je případové studie a výběr literatury, která je z hlediska autorů pro danou problematiku zásadní. Na druhou stranu je nutné si uvědomit, že popisovaná témata jsou v dynamickém vývoji, proto studenti musí informace z těchto publikací doplňovat samostudiem odborných článků a monografií.

Obsah	
3D modelování	9
Úvod	10
Části digitálního modelování terénu	11
Zdroje dat pro DMT	12
Přímé metody	12
Nivelace	13
Tachymetrie	13
Global Navigation Satellite System (GNSS)	14
Fotogrammetrie	14
LIDAR – Light Detection and Ranging	16
Radarové snímání	16
Nepřímé metody	17
Srovnání jednotlivých metod sběru dat	17
Práce s výškovými daty	17
ZABAGED®	18
DMÚ 25	18
SRTM data	18
Vektorizace analogových map	19
Metody zpracování	21
TIN	22
Kontrola kvality výsledných DMT	33
Odvozené morfometrické charakteristiky	33
Vizualizace DMT	36
Vizualizace ve 2D	36
Vizualizace ve 3D	37
3D objekty	37
Vizualizace pomocí VRML	38
Vizualizace pomocí KML	39
Případové studie	41
3D vizualizace Ústí nad Labem	41
Výběr vhodné lokality pro vinice	41
Hydrologické analýzy	42
Rekonstrukce reliéfu ze starých map	44

Vizualizace budov a stromů ve 3D	45
Zdroje.....	47
Virtuální realita	48
Úvod	49
Historie	51
Rozdělení VR.....	53
VR architektura	55
CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)	55
HMD.....	57
Zařízení na snímání pohybu a gest.....	58
Virtuální realita x geografie	58
Zdroje.....	63

Seznam obrázků

Obrázek 1 Hlavní činnosti s DMT.....	11
Obrázek 2 Princip nivelace	13
Obrázek 3 Fotogrammetrické snímání z letadla	15
Obrázek 4 LIDAR princip.....	16
Obrázek 5 Volba identických bodů	19
Obrázek 6 Typy transformací v ArcGIS.....	20
Obrázek 7 Vliv typu transformace na zdrojová data.....	21
Obrázek 8 Vektorizované vrstevnice	21
Obrázek 9 Reprezentace povrchu	22
Obrázek 10 Princip Delaunayho triangulace	23
Obrázek 11 Ploché trojúhelníky	23
Obrázek 12 "Schody" vzniklé v údolí	24
Obrázek 13 Vliv break lines na výsledný TIN.....	26
Obrázek 14 Princip výpočtu hodnoty bodu (bez vlivu váhy)	28
Obrázek 15 Body vybrané pro IDW interpolaci v definovaném okolí a jejich váhy	28
Obrázek 16 Lomové body vrstevnic převedené do bodové vrstvy	29
Obrázek 17 Povrch generovaný ze vstupních bodů pomocí metody IDW, nízká a vysoká hodnota váhy (power).....	29
Obrázek 18 Povrch generovaný pomocí Regularized spline a 3D vizualizace	31
Obrázek 19 Nastavení atributového sloupce s nadmořskou výškou a definování typu dat.....	32
Obrázek 20 Povrch generovaný pomocí Topo to Raster a 3D vizualizace	32
Obrázek 21 Porovnání výsledných vrstevnic.....	33
Obrázek 22 Princip výpočtu derivace.....	34
Obrázek 23 Sklon vypočítaný z TIN a z rastru.....	35
Obrázek 24 Orientace svahu spočítaná z TIN a z rastru.....	35
Obrázek 25 Křivostní povrchy	36
Obrázek 26 Vizualizace rastru pomocí stínovaného reliéfu.....	37
Obrázek 27 Ortofoto snímek s přiřazenými výškami.....	37
Obrázek 28 Extrudované budovy	38
Obrázek 29 3D vizualizace budov a stromů.....	38
Obrázek 30 3D model prezentovaný v internetovém prohlížeči.....	39
Obrázek 31 Návrh budovy v Google SketchUP	40
Obrázek 32 Vizualizace hradu Švihov v Google Earth.....	40

Obrázek 33 Vizualizace Ústí nad Labem.....	41
Obrázek 34 Oblasti vyhovující stanoveným podmínkám.....	42
Obrázek 35 Princip výpočtu povodí.....	43
Obrázek 36 Rastr povodí. Modré linie jsou výsledek analýzy akumulace vody s podmínkou – vodní tok má přítok z více než 1000 buněk.....	44
Obrázek 37 Vektorizovaný polohopis a výškopis	45
Obrázek 38 Vizualizace staré mapy ve 3D	45
Obrázek 39 Vizualizace stromů a domů v Ústí nad Labem	46
Obrázek 40 Schéma procesu přenosu informace od reality do různých modelů virtuálního prostředí	50
Obrázek 41 Náčrtky z patentové přihlášky „Experience Theatre“	52
Obrázek 42 Schéma a reálné zhotovení HMD.....	52
Obrázek 43 „Remote manipulátor“ z filmu „Kmen Andromeda“	53
Obrázek 44 Virtuality Continuum	54
Obrázek 45 Architektura VR systému	55
Obrázek 46 Schéma systému CAVE.....	56
Obrázek 47 Práce v CAVE (fotografie upravená z důvodu větší ilustrativnosti).....	57
Obrázek 48 Ukázka HMD.....	57
Obrázek 49 Schéma procesu přenosu informace od reality do různých modelů virtuálního prostředí	59
Obrázek 50 Hierarchické členění "I-faktorů"	60

3D MODELOVÁNÍ

ÚVOD

Znázornění terénu používali již naši předkové na starých mapách – nejprve se používala kopečková metoda, později se začalo používat různých typů šrafování a v dnešní době používáme vrstevnice doplněné o stínování. Digitální modely terénu (DMT) byly dle [14] poprvé použity pro reprezentaci reálného povrchu na konci 50. let minulého století na Massachusetts Institute of Technology, kde sestavili tuto definici: „DMT je jednoduše statistická reprezentace spojitého povrchu Země pomocí velkého množství bodů se známými souřadnicemi X, Y, Z v definovaném souřadnicovém prostoru“. Od 50. let se vývoj a využití DMT posunul o značný krok kupředu a v dnešní době se s DMT setkáváme v běžném životě, aniž si to uvědomujeme – v předpovědi počasí máme simulace povodní, v ručních navigacích a telefonech zobrazíme terén, po kterém se aktuálně pohybujeme, Google Earth nám přináší celý svět ve 3D a další aplikace jsou jen otázkou zamyšlení se.

V oblasti digitálního modelování výškových poměrů se lze setkat s řadou termínů a zkratk, které se často zaměňují či špatně interpretují. Terminologií se zabývá např. [14], [16] a [19]. V úvodu přinášíme přehled těchto termínů zpracovaný na základě citované literatury.

Digitální model terénu (DMT) je model povrchu Země bez staveb, stromů a dalších objektů na jeho povrchu v digitální podobě, která dovoluje jeho zpracování prostředky informačních a komunikačních technologií (raději nepoužívejme výraz počítač, protože dnes už se nemusí striktně jednat o „počítačové zpracování“). Zákonitě se jedná o zjednodušený model nekonečně složitého reálného povrchu, a tudíž zobrazuje tento povrch ve specifikované podrobnosti a přesnosti. V angličtině je používáno termínu Digital Terrain Model (DTM). Synonymem pro DMT je *Digitální model reliéfu (DMR)*.

Digitální výškový model je jednou z variantou DMT V angličtině je velmi často používán (zejména v USA) termín Digital Elevation Model – DEM, ale je téměř vždy chápán ve formě rastru (čtvercové sítě) s definovanou hustotou bodů.

Digitální model povrchu je model povrchu Země ale se všemi objekty, které na něm leží. Tento model primárně vzniká při použití automatizovaného sběru bodů pomocí obrazové korelace ve fotogrametrii, pomocí laserového skenování nebo radarového měření v Dálkovém Průzkumu Země (DPZ). Z digitálního modelu povrchu se získává digitální model terénu teprve následným zpracováním. Ve své primární podobě se dá velmi dobře využít pro modelování a vizualizaci měst nebo krajiny včetně vegetace, vedení vysokého napětí apod. V anglickém textu se setkáte s označením Digital Surface Model (DSM).

Celou řadu dalších termínů s jejich vysvětlením a překladem do několika světových jazyků lze nalézt např. na stránkách VÚGTK (<http://www.vugtk.cz/slovník>).

S využitím DMT se setkáváme ve velkém množství odvětví a význam DMT stále roste. Podle [14] je to např.:

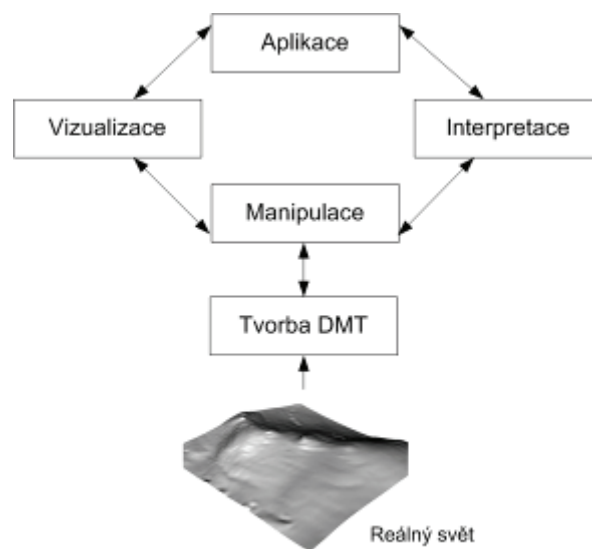
- *vědy o Zemi* – přesné informace o zemském povrchu jsou základem všech geověd. Sem můžeme zahrnout studie vlivu klimatu, geologické a hydrologické modelování, geomorfologickou analýzu, analýzu půdního krytu, geologické studie, tvorbu map různých rizik (zemětřesení, půdní sesuvy, vulkanické jevy), analýzy říčních koryt, hydrologické analýzy odtoku vody, geomorfologické simulace a klasifikace a geologické mapování.
- *DPZ a mapování* – v DPZ a mapování jsou DMT použity společně s nástroji GIS k úpravě snímků a získání tematické informace s ohledem na geometrii senzoru a reliéfu a k získání georeferencovaných dat. DPZ a mapování můžeme řadit mezi „vědy o Zemi“.
- *stavebnictví* – zde DMT využíváme při projektování silnic, železnic, přehrad, nádrží, pozemních úprav a těžby. Stavební inženýři používají DMT k nejrůznějším typům

plánování, prezentování projektů, 3D modelování území, vizualizacím a objemovým výpočtům (přehrad, výsypky).

- *plánování a management zdrojů* – do této skupiny patří různé obory zahrnující dálkový průzkum Země, zemědělství, pedologii, meteorologii, klimatologii, environmentální plánování a lesnictví, jejichž cílem je management přírodních zdrojů. Souhrn těchto oborů si můžeme představit v následující aplikaci: definujeme oblast, která je pokryta klasifikovanými družicovými snímky upřesněnými odvozenými povrchy z DMT, známe modely půdní eroze, máme studie vhodných obilovin a modely směru větru a vývoje znečištění ovzduší. Z dostupných dat můžeme provádět analýzy výběru vhodných míst pro osev, rizika při erozi a mnoho dalšího.
- *vojenské aplikace* – vojáci nejsou pouze jedni z největších uživatelů DMT a digitálních modelů povrchu, ale také jedni z hlavních producentů. Kvalitní DMT jsou pro tento sektor více než důležité. Ve vojenství se kombinují všechna předchozí odvětví a jejich následné využití a aplikace jsou velmi specializované a náročné. Může to být např. využití digitálního modelu povrchu pro analýzy viditelnosti na bojišti, 3D zobrazení navádění zbraní a simulace letu.

Části digitálního modelování terénu

Vytváření a použití DMT zahrnuje podle [14] následující činnosti – *tvorbu, manipulaci, interpretaci, vizualizaci a aplikaci* (viz obrázek 1).



Obrázek 1 Hlavní činnosti s DMT

Podle [14] můžeme zjednodušeně říci, že:

- *tvorba DMT* zahrnuje získání výškových dat (pozemní měření, vektorizace vrstevnic, letecké snímkování, atd.) a následnou tvorbu výškového modelu,
- *manipulace* s DMT znamená úpravy získaného DMT – odstranění chyb, vyhlazování, filtrování, konverze mezi jednotlivými datovými typy (nejčastěji TIN vs. rastr)
- *interpretace* obsahuje analýzu DMT za účelem získání informací pro další zpracování v GIS modelování nebo k dalším úlohám modelování terénu.
- *vizualizace* hraje důležitou roli ve vizuálním porozumění a hodnocení. Zaměřuje se na zobrazení DMT stejně tak, jako na vizualizaci informace z DMT odvozené.

- aplikace DMT je velmi široká. DMT se dostaly do bodu, kdy zajišťují klíčovou funkcionalitu pro různé aplikace. Technologický pokrok v počítačové grafice a zobrazení, prostorové teorii, prostorové databáze a mnoho dalších oborů v dnešní době umožňují zkoumat a aplikovat DMT na různé problémy.

V rámci tohoto učebního textu si představíme a vyzkoušíme jednotlivé části digitálního modelování terénu popsané v předchozích bodech.

ZDROJE DAT PRO DMT

Data pro generování digitálních modelů terénu můžeme získat z různých zdrojů a za použití rozdílných metod. Metody můžeme rozdělit dle způsobu sběru dat do následujících kategorií:

- přímé metody:
 - kontaktní,
 - bezkontaktní,
- nepřímé metody.

Jak název *přímé* metody napovídá, jedná se o přímo měřená (tzv. primární) data. Tato data získáme měřením v terénu za pomoci geodetických měření (nivelace, tachymetrie) a dále pomocí metody GNSS. Tato *kontaktní* (= měříme přímo na každém bodě) měření mohou poskytnout velmi přesné určení polohy a výšky.

Bezkontaktní metody využívají DPZ – do této skupiny patří metody *fotogrammetrie* (zpracování stereo-dvojic leteckých snímků), laserové skenování a radarové snímání. Tyto metody poskytují data s přesností řádově desítky centimetrů.

Nepřímé metody zpracovávají již existující modely terénu (které mohou, ale nemusí být digitální). V případě tvorby DMT se setkáme s vektorizací/digitalizací výškopisu (vrstevnice, kóty) analogových map. Tato data pak slouží ke generování DMT. Přesnost této metody je závislá na měřítku a grafické přesnosti zdrojové mapy.

Při volbě metody vhodné pro zpracování vybrané oblasti musíme zohlednit kritéria jednotlivých metod:

- velikost území
- požadovaná polohová a výšková přesnost
- požadovaná maximální hustota bodů)
- čas
- cena

Každá z metod má omezení, která ji předurčují pro některou aplikaci. Pozemním měřením lze jen těžko získat model rozsáhlého území v krátkém čase. Bezkontaktní metody mají naopak limity v přesnosti.

Přímé metody

Při přímém měření data vznikají již s účelem modelování terénu, a proto lze lépe stanovit požadovaná kritéria, která mají data splňovat. U přesnosti máme velmi široký výběr od „milimetrové“ přesnosti nivelace po desítky centimetrů u radarového snímání. Rovněž z hlediska rozsahu území jsou mezi metodami velké rozdíly. Obecně lze konstatovat, že kontaktní metody jsou přesnější a vhodné pro menší území oproti bezkontaktním metodám, které se výborně uplatní pro rozsáhlá území.

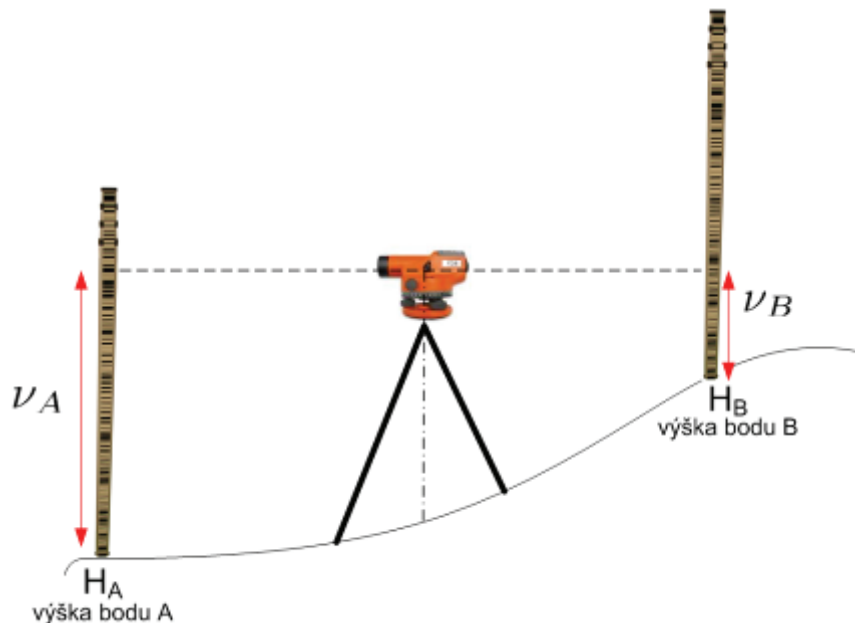
Nivelace

Geometrická nivelace ze středu je nejpřesnější metodou, která dovoluje určit výšky s vysokou přesností. Poněkud problematictější může být určení polohy, které se ale většinou řeší jinou metodou (geodeticky, GPS).

Základem metody je odečítání výškového rozdílu mezi dvěma body, přičemž jeden z bodů má známou svoji nadmořskou výšku. Na oba body je postavena měřická lať se stupnicí, nivelační přístroj se umístí přibližně mezi tyto dva body a jeho záměrná přímka (optická osa dalekohledu) je pomocí libely nebo kompenzátoru urovnána do vodorovné roviny. Nadmořská výška druhého bodu se pak spočítá dle vztahu (viz obrázek 2):

$$H_B = H_A + \nu_A - \nu_B, \quad (1.1.1)$$

Měření touto metodou je velice zdlouhavé, protože délka záměry by neměla přesáhnout 120 m a při výškově členitém území je nutné přístroj několikrát přestavovat díky omezené délce lať 3 nebo 4 metry – tím vznikají tzv. nivelační pořady. Pokud potřebujeme zaměřit terén s většími výškovými rozdíly, je nutné měřit z více stanovisek a tím se doba měření výrazně prodlužuje. Ze všech metod nivelace je pro měření bodů pro modelování nejvhodnější geometrická nivelace ze středu v kategorii přesnosti technické nivelace. Využití tato metoda nalezne při zaměřování příčných a podélných profilů vodních toků nebo pozemních komunikací nebo při variantě plošné nivelace pro určení výškových poměrů například u letišť, sportovišť. Při geometrické nivelaci ze středu umístíme nivelační přístroj na bod o známé výšce a měřická lať se postupně umísťuje na všechny vybrané body. Jejich nadmořskou výšku zjistíme opět odečtením hodnoty na měřické lati.



Obrázek 2 Princip nivelace

Tachymetrie

Pomocí tachymetrie je určována současně výška i poloha bodu v místním systému, které jsou přepočteny na souřadnice X, Y, H v definovaném souřadnicovém systému. Principem je měření délky, vodorovného a výškového (zenitového) úhlu pomocí tachymetru (teodolitu), dnes nejčastěji totální stanicí, kdy měřič signalizuje měřené body přímo v terénu výtyčkou s odrazným hranolem. Totální stanice je v podstatě elektronický tachymetr, který vzdálenosti měří pomocí laserového dálkoměru a úhly jsou odečítány pomocí elektronického systému na kódových kruzích.

Přesnost tachymetrie při použití totálních stanic je dostatečná pro většinu modelů terénu. Směrodatné odchylky/střední chyby činní zhruba 0,02–0,05 m, přičemž z jednoho stanoviska lze

měřit vzdálenosti i větší než 200 m (přesnost samozřejmě se vzdáleností klesá). Vlastní metoda je velmi vhodná při potřebě přesného modelu terénu pro velká měřítka v intravilánu, u technických děl nebo pro projekční účely (např. pro pozemkové úpravy), kdy lze provést mapování do nejmenších detailů. Navíc se tato metoda často používá pro doměřování zakrytých částí území, které nebylo možné vyhodnotit například fotogrammetricky (pod vegetací).

Global Navigation Satellite System (GNSS)

Metoda GNSS je také dobře použitelná pro měření bodů pro modelování terénu. Nejrozšířenějším systémem je dnes GPS NAVSTAR provozovaný armádou USA. Další aktivní systém je ruský GLONASS, který však nemá plně funkční konfiguraci družic a je postupně doplňován. Plánovaný evropský systém GALILEO by měl být spuštěn v roce 2015.

Všechny systémy mají stejný princip výpočtu polohy. Základem je určení vzdálenosti mezi družicí a nejčastěji právě GPS přijímačem. V systému GPS NAVSTAR kolem Země létá více jak 24 družic (8 družic ve třech drahách), které k Zemi vysílají navigační zprávu o své poloze, času vyslání zprávy a další data. Velice zjednodušeně lze říci, že k určení polohy v prostoru by postačovaly tři družice – každá ve změřené vzdálenosti družice-přijímač kolem sebe definuje kulovou plochu s poloměrem vzdálenosti k přijímači. Průnikem všech tří kulových ploch by za ideálních podmínek byly dva body, přičemž pouze jeden z nich by ležel na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti, kdežto druhý leží kdesi ve vesmíru.

Pro modelování terénu mají dostatečnou přesnost metody diferenciální GPS/GNSS. Metoda diferenciální GPS funguje na principu oprav GPS měření v terénu. Vycházíme z myšlenky, že vliv chyb (atmosféra, hodiny, dráhy, ...) je v dané oblasti o poloměru cca 40 – 50 kilometrů shodný. DGPS obsahuje síť stanic, které jsou rovnoměrně rozmístěny a které provádějí měření 24 hodin denně. Každá GPS stanice (resp. její anténa) je umístěna na bodě, jehož souřadnice jsou známy a přesně určeny (např. geodeticky). Referenční stanice z rozdílu změřené polohy a známé polohy spočítá korekce, které jsou ve formě navigační zprávy odesílány GPS přijímačům pracujícím v terénu. Přenos oprav z referenčních stanic je zajištěn pomocí formátu RTCM, který je přenášen pomocí pozemního rádiového spojení, mobilními telefony, atp. Data z referenčních stanic je možné stáhnout i Internetu a data změřená v terénu následně opravit při kancelářském zpracování (postprocessing). Při tomto zpracování měřených dat můžeme získat polohovou přesnost až v milimetrech.

- Mezi celosvětové DGPS sítě patří např. IGS.
- Evropský systém, který zahrnuje více jak 100 referenčních stanic – EUREF.
- Národní systém, používaný v rámci ČR – CZEPOS.

Další metoda, která funguje na podobném principu jako DGPS je RTK (Real Time Kinematics). Používá se při terénním měření, kdy na bodě o známých souřadnicích umístíme GPS přijímač připojený k počítači (notebook), který počítá opravy. S druhým GPS přijímačem (obvykle anténa na výtyčce + GPS přijímač v batůžku) měříme v terénu. Korekce se mezi referenčním a terénním GPS přijímačem přenášejí např. pomocí GPRS modemu, popřípadě se aplikují při následném postprocessingu dat.

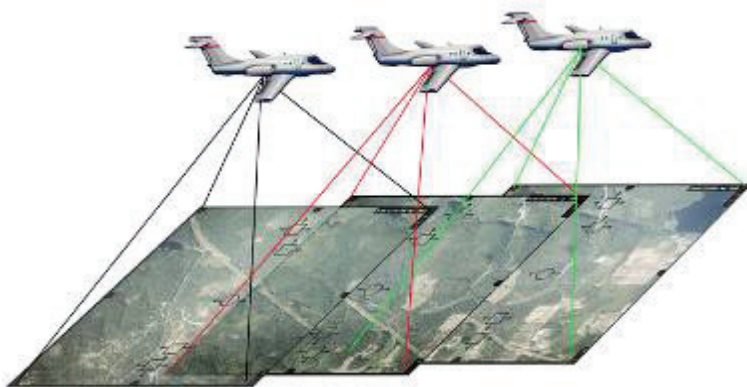
Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je velice rozšířená metoda pro sběr dat pro modelování terénu. Využívá dvou vhodně pořízených fotografií, pomocí nichž je schopna zpětně rekonstruovat tvar a rozměr trojrozměrných objektů. Pro fotogrammetrii se používají měřické komory umístěné na palubě letadla v závěsu, který zajišťuje minimální přenosy chvění letadla za letu a urovnává komoru do vodorovné polohy. Pro snímkování se používají objektivy o různé ohniskové vzdálenosti od širokoúhlých po normální. Konstrukce objektivů pro fotogrammetrické komory je velice precizní a

jsou u nich minimalizovány veškeré optické vady. Měřítko snímku má přímý vliv na úroveň detailů, které jsou na snímku zaznamenány a tudíž má vliv na podrobnost a přesnost následného vyhodnocení. Dnes lze pořizovat jak analogové snímky na klasický fotografický film, tak přímo digitální snímky.

Pro speciální aplikace existuje i pozemní fotogrammetrie – ta využívá dvě kamery (fotoaparáty) umístěné na speciálním stativu. Tuto metodu můžeme použít např. pro výpočet kubatur v povrchových lomech.

Pro tvorbu DMT se používá letecké stereofotogrammetrie, kdy jsou snímky pořizovány z paluby letadla pomocí k tomu určené fotogrammetrické komory. Ke zpracování jsou zapotřebí vždy dva snímky (tzv. stereopár), které byly pořízeny každý z jiného místa, ale zobrazují stejné území s určitým překryvem. Snímky se pořizují v takové frekvenci, aby sousední snímky se překrývaly o nejméně 60 %. Tím je zaručeno, že celé území bude vždy zobrazeno na minimálně dvou snímcích (viz obrázek 3). Pro rozsáhlá území je provedeno snímkování v několika rovnoběžných řadách tak, aby se jednotlivé řady překrývaly alespoň o 20 %.



Obrázek 3 Fotogrammetrické snímání z letadla

Pramen: [7]

Stereoskopický model je v dnešní době vytvářen pomocí počítače a snímky jsou pozorovány pomocí anaglyfických, krystalových nebo polarizačních brýlí na monitoru pracovní stanice (podobný systém, jaký se používá např. ve 3D kinech). Tyto brýle zajišťují, aby každé oko operátora vidělo jiný snímek (pravé oko pouze pravý snímek, levé oko pouze levý snímek). Při vyhodnocení snímku se využívá schopnosti lidského mozku prostorového vnímání okolí pomocí složení dvou obrazů z obou očí – využíváme stereoskopické vnímání, pomocí něhož vidíme svět kolem nás prostorově. Umělé stereoskopické vnímání, vytvořené pozorováním fotografických snímků, dovoluje operátorovi vidět vyfotografovanou krajinu plasticky a provádět na ní s pomocí virtuální měřické značky potřebná měření, například určení souřadnic bodů, určení výšky stromů nebo budov, vektorizace objektů na zemském povrchu a samozřejmě i údolnic a hřbetnic pro DMT.

Vyhodnocení snímku nemusí probíhat pouze manuálně identifikací bodu operátorem, ale můžeme plně využít digitálních fotogrammetrických stanic, které mají implementovanou korelační analýzu obrazu. Při ní se pomocí korelace identifikují stejné body na pravém i levém snímku a dochází k automatické tvorbě DMT. Efektivita práce oproti pozemnímu měření se úměrně zvětšuje s rozsahem území. Automatické korelace má ale rovněž dva základní nedostatky:

nejsou identifikovány čáry a body terénní kostry (hrany, hřbetnice, údolnice, vrcholy), které je nutné vymezit manuálně

body neleží pouze na terénu ale i na povrchu objektů (domy, stromy) a je nutné pro tvorbu digitálního modelu terénu tyto body opravit nebo eliminovat. V lesích navíc je vyhodnocení velice

problematické z důvodu, že každý bod pro měření musí být viditelný na dvou sousedních snímcích. Proto se snímkování často provádí mimo vegetační období, aby koruny stromů nezakrývaly terén.

I přes uvedené nevýhody se jedná o jednu z nejrozšířenějších metod pro sběr dat pro DMT, zejména pokud je zapotřebí zmapovat rozsáhlejší území.

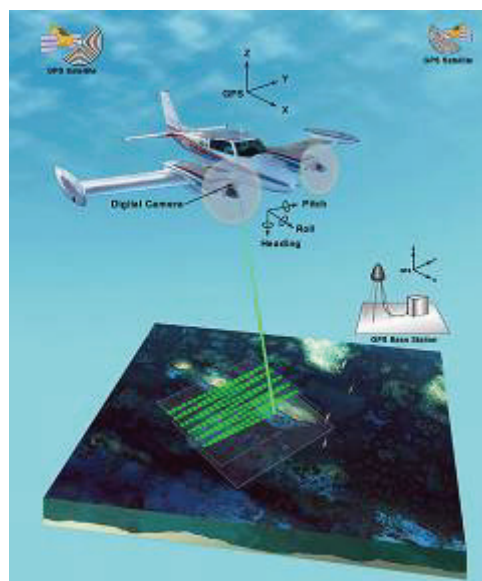
LIDAR – Light Detection and Ranging

Laserové skenování neboli LIDAR, se používá od 70. let minulého století, nyní se však stává stále progresivnější metodou pro mapování historických památek, průmyslových provozů, vegetace, pro tvorbu 3D modelů měst, pro sledování elektrických vedení atd.

Základním principem je dálkoměrné měření pomocí laserového svazku paprsků, přičemž je nutné znát přesnou polohu skeneru a zároveň přesný směr vyslání paprsku (viz obrázek 4). U pozemních měření se poloha a orientace skeneru určuje geodeticky a při leteckém snímkování se používá metoda GNSS kombinované s IMU (Inertial Measurement Unit) – GNSS-IMU.

Hlavní částí je pulsní nebo fázový laser, který emituje svazek laserových paprsků zpravidla v oblasti infračerveného spektra. Tento svazek paprsků je odražen zpět a senzorem zaznamenána doba mezi vysláním svazku paprsků a přijetím jeho odrazu.

Díky své šířce se laserový paprsek postupně odráží od jednotlivých vrstev objektů na zemském povrchu. Tato vlastnost se projeví nejvíce na vzrostlé vegetaci a dále pak i na hranách výškových objektů. Při mapování lesních ploch lze tedy získat jak odraz od svrchní části koruny, tak i od jednotlivých pater a rovněž i od vlastního terénu. Komerční systémy jsou dnes schopné registrovat až 5 odrazů. Z těchto několikanásobných odrazů jsou ale nejdůležitější první a poslední. První poskytuje informaci o vegetačním pokryvu nebo o vedení vysokého napětí, poslední je pak odrazem od fyzického terénu nebo od budov.



Obrázek 4 LIDAR princip

Radarové snímání

Radarové snímání zemského povrchu je prováděno ze satelitů již celou řadu let. Většinou jsou data používána jako obrazová data, ale protože jsou tato obrazová data výrazně ovlivněna výškovým profilem terénu, lze z nich odvozovat i výškové poměry. Radarové metody pro modelování terénu rozdělujeme na dvě základní:

- radargrammetrie

- interferometrie (*InSAR*)

Radargrammetrie pro měření DMT užívá principu určení paralaxy, kdežto interferometrické měření je založeno na určování fázového posunu mezi dvěma měřeními.

Nepřímé metody

Kromě přímého měření ať už geodetickými metodami nebo metodami bezkontaktními (fotogrammetrie, DPZ) lze data pro modelování terénu odvozovat z celé řady existujících zdrojů. Nejčastěji se jedná o kartografickou digitalizaci vrstevnicového plánu zakresleného na analogové mapě, kterou lze provádět buď zcela manuálně nebo s různým stupněm automatizace až po zcela automatizované zpracování.

Srovnání jednotlivých metod sběru dat

Všechny představené metody mají své výhody a nevýhody a nelze určit jedinou metodu jako nejlepší. Vždy je třeba sledovat celou řadu parametrů, které vstupují do rozhodování o výběru metody. Je to zejména účel, přesnost a podrobnost výsledného modelu, dále svoji úlohu hrají časová a finanční dostupnost, rozsah území, vlastní technické možnosti. V následující tabulce jsou přehledně jednotlivé metody porovnány:

Metoda	přesnost	Rychlost	Cena	Velikost území
Nivelace	0,001 – 0,01 m	*	€€€€€€€€	o
Tachymetrie	0,02 – 0,05 m	**	€€€€€	o
GPS	0,02 – 0,05 m	***	€€€€	o
Fotogrammetrie	0,2 – 0,5 m	*****	€€	O
DPZ	1 – 10 m	*****	€	OO
InSAR	5 m změny 1 cm	*****	€	OO
Radarové snímání	20 – 70 m	*****	€	OO
LIDAR	0,1 – 0,2 m	*****	€€€	O
manuální vektorizace map	dle měřítka mapy	**	€€€	libovolně
automatická vektorizace map	dle měřítka mapy	****	€	libovolně

Tabulka 1 Přehled základních vlastností metod sběru dat pro DMT (upraveno z [19])

PRÁCE S VÝŠKOVÝMI DATY

V našich podmínkách se budeme nejčastěji setkávat s daty ve formě vrstevnic, popřípadě výškových bodů (kót). Datové zdroje, které kompletně pokrývají území ČR jsou např. data poskytovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním (ČÚZK) – ZABAGED® (Základní báze geografických dat), nebo také Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce – DMÚ 25. Zdarma dostupný je však i DMT ČR v rastrové podobě z mise raketoplánu

Endeavour. Obecně můžeme říci, že v ČR je k dispozici celá řada map, které obsahují výškopis (např. turistické mapy). Ten je nicméně přebírán nejčastěji právě z dvou prvně jmenovaných zdrojů.

ZABAGED®

ZABAGED® je digitální geografický model území České republiky, který svou přesností a podrobností zobrazení geografické reality odpovídá přesnosti a podrobnosti Základní mapy České republiky v měřítku 1:10 000 (ZM 10). Obsah ZABAGED® tvoří 106 typů geografických objektů zobrazených v databázi vektorovým polohopisem a příslušnými popisnými a kvalitativními atributy. ZABAGED® obsahuje informace o sídlech, komunikacích, rozvodných sítích a produktovodech, vodstvu, územních jednotkách a chráněných územích, vegetaci a povrchu a prvcích terénního reliéfu. Součástí ZABAGED® jsou i vybrané údaje o geodetických, výškových a tíhových bodech na území České republiky a výškopis reprezentovaný prostorovým 3D souborem vrstevnic¹. [4]

Od ČÚZK je možné získat data za účelem zpracování diplomové nebo bakalářské práce zdarma (v omezeném rozsahu).

DMÚ 25

Druhým významným zdrojem kvalitních topografických dat je vojenské mapové dílo. Správcem digitálních produktů odvozených z vojenských topografických map je Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHMÚř) se sídlem v Dobrušce. Autorská práva k tomuto dílu spravuje Generální štáb Armády České republiky. I zde najdeme jak rastrové mapy, tak vektorové databáze, a to jako součást budovaného vojenského topografického informačního systému (VTIS). Dílem srovnatelným se ZABAGED je digitální model území DMÚ 25. Jedná se o vektorovou databázi topografických informací o území, která svou přesností a obsahovou náplní koresponduje s vojenskými topografickými mapami měřítka 1:25 000 označovanými TM25. Databáze obsahuje topografické objekty rozdělené do 7 tematických vrstev – vodstvo, sídla, komunikace, vedení sítí, hranice a ohrady, rostlinný a půdní kryt a terénní reliéf. Databáze je bezešvým digitálním modelem celého území České republiky s mírným přesahem přes státní hranici. Na rozdíl od databáze ZABAGED nekončí na státní hranici, ale zobrazuje ještě několik kilometrů široké pásmo sousedních států. [17]

DMÚ 25 je k dispozici jako IMS a WMS² služba na adrese <http://geoportal.cenia.cz>

SRTM data

Jedná se o data, která vznikla při misi raketoplánu Endeavour, při které byl pořízen model reliéfu celého světa. V rámci mezinárodního projektu The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) zaštiťovaném National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) a The National Aeronautics and Space Administration (NASA) bylo za účelem přesného výškového zmapování povrchu Země v roce 2000 nasnímáno 80 % povrchu souše metodou radarové interferometrie. [1]

Dle [1] maximální přesnost digitálního modelu terénu dosahuje 15 metrů v poloze a 12 metrů ve výšce. Data jsou k dispozici v rastrové podobě s prostorovým rozlišením 1 úhlová vteřina (cca 30 metrů na rovníku) pro území USA a 3 úhlové vteřiny (cca 90 metrů na rovníku) pro ostatní svět, což pro zeměpisnou šířku střední Evropy představuje přibližně 90 × 60 metrů.

Data pro ČR je možné zdarma získat na adrese [1].

¹Výškopis je v ZABAGED popsán i mnoha dalšími objekty; viz „Struktura souborů SHP, GML, DGN - ZABAGED® výškopis - 3D vrstevnice“ dostupná z [4]

² IMS = Image Map Service, WMS = Web Map Service

Vektorizace analogových map

V současné době jsou digitální data cenově dostupná (např. 1 ML ZABAGED® - 244 Kč). V okamžiku, kdy nemáme digitální data k dispozici (staré mapy), tak je levným zdrojem výškových dat (můžeme použít libovolnou mapu, kterou máme k dispozici) digitalizace vrstevnic a výškových bodů z analogových (papírových) map. V dnešní době se již upouští od digitalizace map a častěji se používá vektorizace skenovaných analogových podkladů. Pro usnadnění metod vektorizace existují automatické a poloautomatické metody. Tyto nástroje jsou založeny na rozpoznávání pixelů vstupního obrazu (mapy) a následné konverze vybraných pixelů rastru do vektoru. Výsledek automatické vektorizace vyžaduje následnou kontrolu a opravu dat, protože jsou do výsledku dost často zahrnuty chyby vzniklé různými šумы a barevnou podobností pixelů zpracovávaného rastru – tudíž tato metoda nemusí být vždy rychlejší, než plně manuální vektorizace. V prostředí ArcGIS slouží pro automatickou a poloautomatickou vektorizaci rozšíření ArcScan.

Obecný postup pro vektorizaci map je následující:

1. Dle účelu a vymezené oblasti vybereme vhodný mapový zdroj.
2. Mapovou předlohou skenujeme na zvolené rozlišení (DPI).
3. Georeferencování mapy.
4. Vektorizace + přiřazení výšek.
5. Generování DMT.

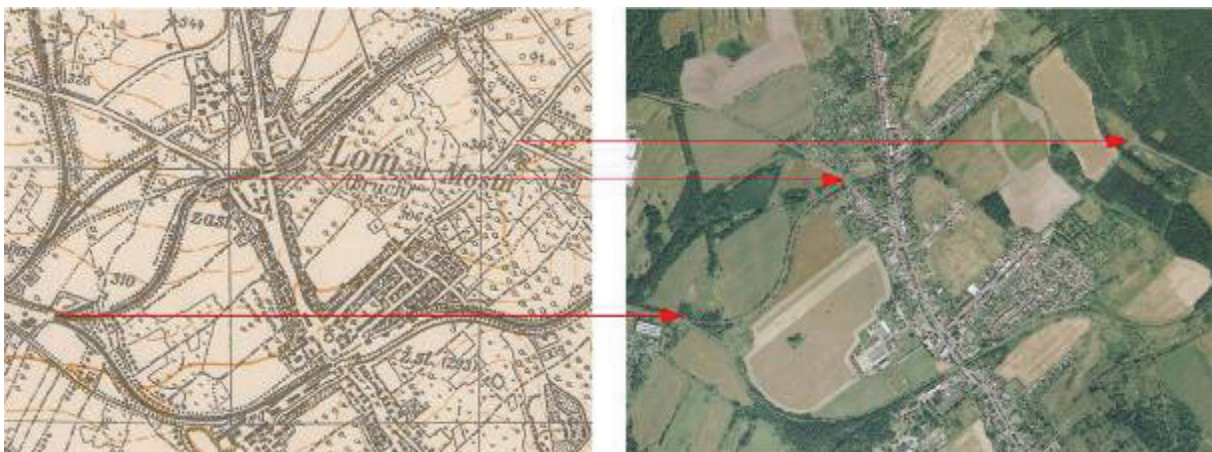
Body 1. a 2. jsou velmi často nahrazeny již skenovanými mapami – např. staré mapy na <http://oldmaps.geolab.cz>.

Georeference map

Velmi důležitým krokem při zpracování skenovaných podkladů je jejich následná georeference. Po naskenování se mapa nachází v souřadnicovém systému skeneru (jeden z rohů mapy má souřadnice [0,0]). Je tedy nutné mapu transformovat do cílového souřadnicového systému – v našem případě nejčastěji S-JTSK, popřípadě WGS84.

Georeference je založena na vyhledání identických bodů ve zdrojové a cílové souřadnicové soustavě.

- skenovaná mapa se nalézá ve zdrojové soustavě
- již georeferencovaná mapa v cílové soustavě. Můžeme použít vrstvy dostupné jako IMS a WMS služby na <http://geoportal.cenia.cz> – ortofotomapy, DMÚ 25, popřípadě II. vojenské mapování.



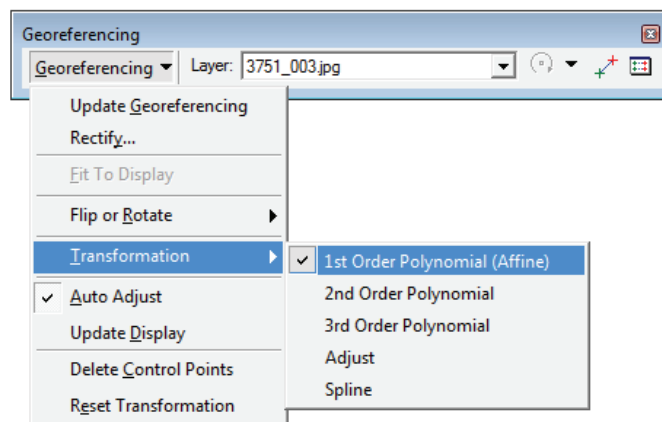
Obrázek 5 Volba identických bodů

Identické body volíme tak, aby je bylo možné jednoznačně identifikovat na zdrojovém i cílovém snímku (mapě) a u kterých je malá pravděpodobnost změny v čase:

- vhodné: křižovatky komunikací, rohy budov,
- nevhodné: vodní toky, vodní plochy, okraje lesa.

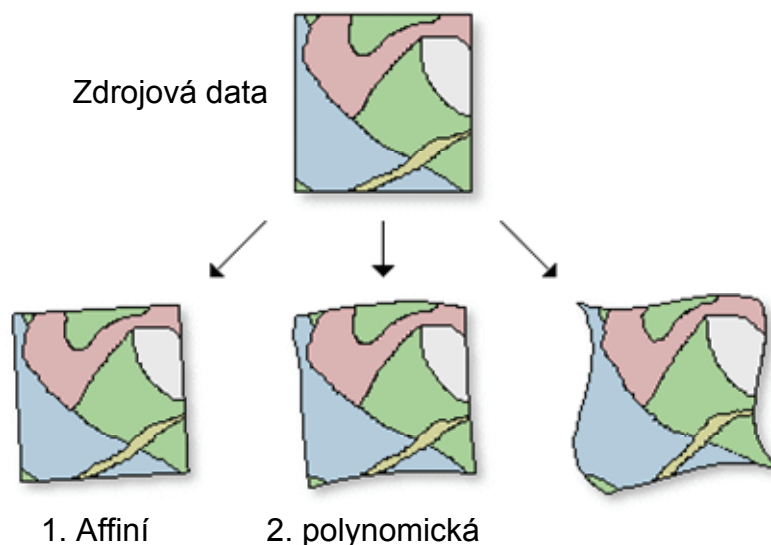
Rozložení identických bodů by mělo být rovnoměrné. Abychom eliminovali deformaci kraje mapového listu, body by měly být rozloženy co nejbližší okraji transformovaného území. Pro georeferencování existuje několik druhů transformací pro každou z nich je dán minimální počet dvojic identických bodů nutných pro výpočet parametrů transformace. Je však dobré používat více bodů, než je požadované minimum – zpřesníme tím transformaci a snížíme polohovou chybu.

V ArcGIS pro georeferenci použijeme panel *Georeferencing*, kde se podle [2] setkáme se čtyřmi druhy transformace: *polynomická transformace 1., 2. a 3. řádu* a *spline* (rubber sheeting). Jednotlivé transformace se zpřístupní až při zadání minimálního počtu identických bodů pro danou transformaci. Pro bližší postup georeference – viz výukové video.



Obrázek 6 Typy transformací v ArcGIS

1. *Polynomická transformace 1. řádu* (afinní) – při této transformaci se jedná o posun, rotaci a změnu měřítka (různě ve směru osy x a y) zdrojové mapy. Minimálně potřebujeme 3 dvojice identických bodů.
2. *Polynomická transformace 2. a 3. řádu* – lépe vystihuje lokální deformace mapového listu (např. starých map) a mimo posun, otočení a změny měřítka tato transformace zohlední i pokroucení původního mapového listu.
3. *Spline* je transformace optimalizovaná pro lokální přesnost, ne však pro přesnost globální. Spline transformuje zdrojové body přesně na body v cílové soustavě a pixely mapy, které jsou od tohoto bodu vzdálené, nemusí být garantovaně transformovány přesně. Zadání více kontrolních bodů může zvýšit přesnost transformace (minimum je 10). Spline transformaci využijeme např. při georeferencování starých map, které jsou deformované a polynomická transformace 2. a 3. řádu nám neposkytuje dostatečné výsledky. Musíme zde však zmínit, že pro georeferencování starých map je vhodnější metody využívající Coonsovy pláty kombinovaná s transformací po částech. Tato problematika však přesahuje rámec tohoto učebního textu.



Obrázek 7 Vliv typu transformace na zdrojová data

Pramen: [2]

Vektorizace

Pro vektorizaci vrstevnic si založíme novou vrstvu typu *polyline* a pro vektorizaci výškových kót vrstvu typu *point*. V atributové tabulce musíme vytvořit nový sloupec pro zadávání hodnot nadmořské výšky jednotlivých vrstevnic/kót. Po dokončení vektorizace je vhodné zkontrolovat, zda máme výšku vyplněnou u všech vrstevnic. V průběhu vektorizace můžeme zpracovat také prvky terénní kostry (údolnice, hřbetnice), popřípadě některé výrazné terénní hrany (železniční násep, koryto potoka) a ty při interpolaci použít jako *break lines*. Pro korektní tvorbu TIN je ovšem lomovým bodům těchto hran nutno přidat nadmořskou výšku



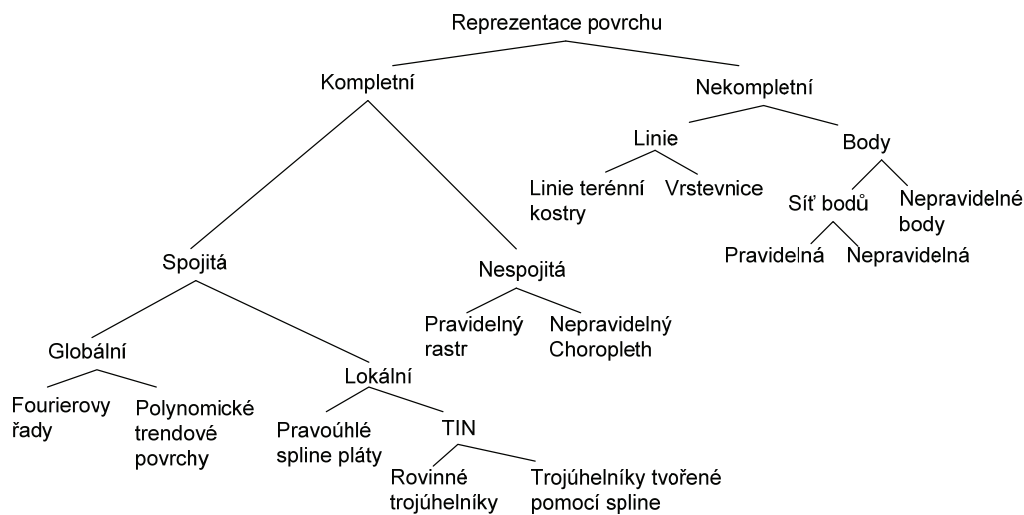
Obrázek 8 Vektorizované vrstevnice

METODY ZPRACOVÁNÍ

K reprezentaci reálného terénu můžeme využít mnoho přístupů – obrázek 9 zobrazuje jejich přehled. Naše vstupní data (vrstevnice, výškové body) tvoří tzv. *nekompletní* reprezentaci povrchu. Vrstevnice mají určitý interval (např., DMÚ 25 – 5 m, interval vrstevnic ZABAGED® se mění v závislosti na výškové členitosti mapového listu od 1 m po 5 m), výškové body určitou hustotu v závislosti na způsobu sběru dat (výběrové body terénní kostry získané GPS vs. husté body z LIDAR snímkování). Abychom dosáhli kontinuální reprezentaci povrchu (a dokázali „vyplnit mezery“ mezi

daty), musíme provést *interpolaci* vstupních dat. V závislosti na požadovaném výstupu volíme mezi různými typy *interpolací*.

V praxi se budeme nejvíce setkávat s reprezentací povrchu pomocí *rastru* a pomocí *Triangulated Irregular Network* (TIN – nepravidelná trojúhelníková síť). Následující text bude zaměřen na běžné postupy zpracování výškových rastrů a TIN.



Obrázek 9 Reprezentace povrchu

Pramen: [10]

Pro tvorbu DMT se používají výšková data, které neúplně pokrývají zpracovávanou oblast (např. body a vrstevnice) – viz obrázek 9 (nekompletní reprezentace povrchu). Pro „doplnění“ oblasti na kompletní reprezentaci povrchu se využívá interpolačních metod. Interpolační algoritmy se snaží na základě svého matematického základu a zadaných vstupních parametrů (které interpolaci ovlivňují) predikovat chování reálného terénu. Zde je nutné si uvědomit, že interpolační algoritmy si chování terénu mezi vstupními body „vymýšlí“. Kvalita výstupního DMT se tedy odvíjí nejen od kvality vstupních dat (přesnost, hustota), ale také od vhodně zvolené interpolační metody včetně řídicích parametrů. Po dokončení tvorby DMT je tedy vhodné provést ověření kvality/přesnosti výsledku.

TIN

Podle [10] je triangulace vstupních bodů do podoby TIN velmi všestranným způsobem reprezentace reálného terénu. Výsledné trojúhelníkové plošky TIN jsou většinou považovány za rovinné a díky tomu poskytují plně definovaný a spojitý model terénu. Hlavní výhodou triangulovaných povrchů je adaptabilita s ohledem na vstupní data:

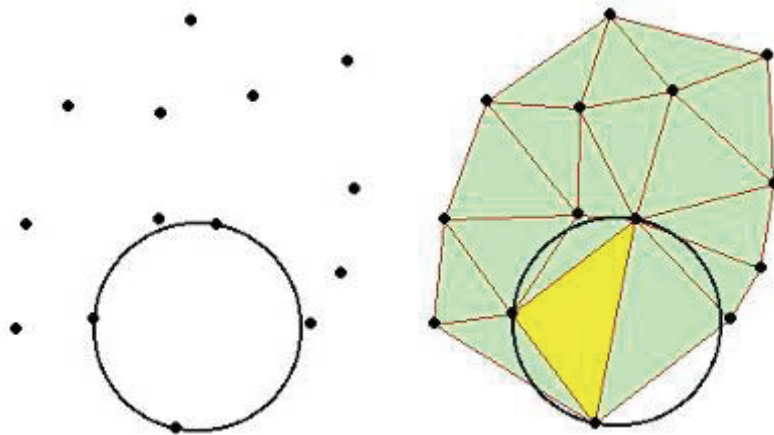
- oblasti s velkou variabilitou terénu jsou pokryté hustou sítí bodů → vzniká velké množství malých trojúhelníků,
- ploché oblasti (nebo s konstantním sklonem) obsahují méně bodů = vznikají velké trojúhelníky.

Na rozdíl od TIN jsou reprezentace povrchu pomocí pravidelného rastru náchylné k nadhodnocení nebo podhodnocení (z angl. *overestimation*, *underestimation*) při pokrývání oblastí s výrazně odlišnou strukturou a členitostí. Pravidelný rastr má pevně stanovenou velikost buňky a při změně členitosti terénu pak rovinnou oblast pokrýváme rastrem s malou velikostí buňky nebo naopak členitý terén rastrem s velkou velikostí buňky (např. kontrast Mostecká pánev a Krušné hory).

V datovém modelu TIN jsou body uloženy společně s jejich nadmořskou výškou. Každý trojúhelník pak obsahuje informaci, ze kterých hran se skládá a každá hrana obsahuje informaci, které body ji definují. TIN je po částech lineární model, který může být v prostoru zobrazen jako jednoduše propojená síť trojúhelníků, která je spojitá, ale není v celé oblasti diferencovatelná.

Pro tvorbu TIN se používá metoda zvaná *triangulace* = tvorba trojúhelníkové sítě z množiny vstupních bodů. Jednou z podmínek je, aby *triangulace* produkovala co možná nejvíce rovnostranné trojúhelníky a aby výsledek triangulace byl nezávislý na orientaci dat a volbě počátečního bodu. Tyto podmínky splňuje např. Delaunayho triangulace.

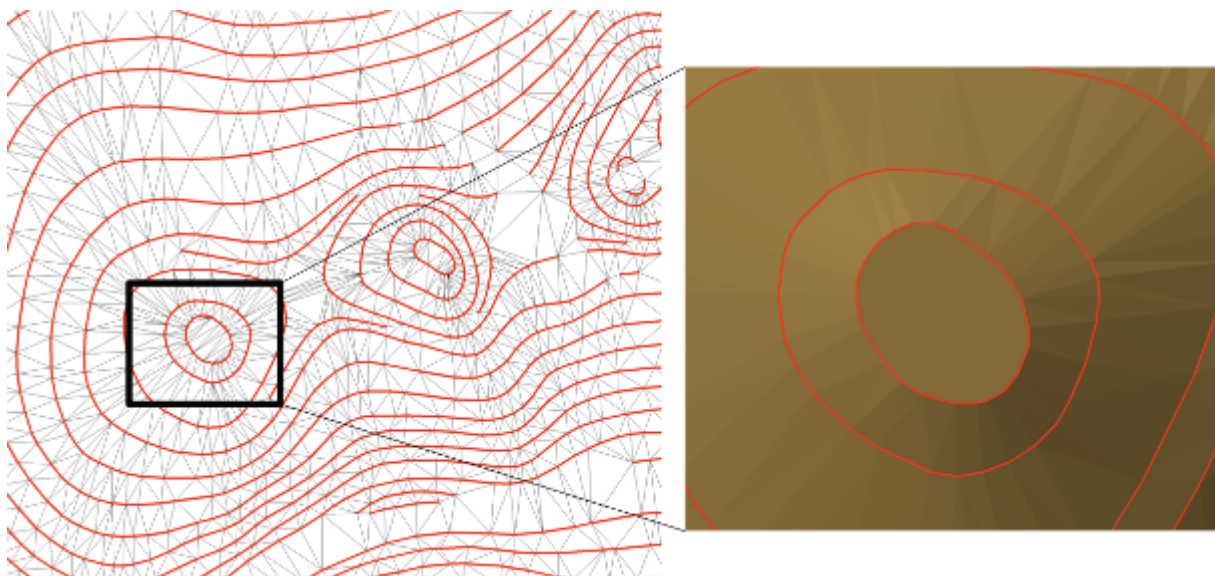
Princip algoritmu Delaunayho triangulace je velmi jednoduchý – třemi body je proložena kružnice. Zkoumá se, zda uvnitř kružnice proložené třemi body leží další bod – pokud ano, zvolí se jiné tři body. Pokud ne – z testovaných bodů se vytvoří trojúhelník.



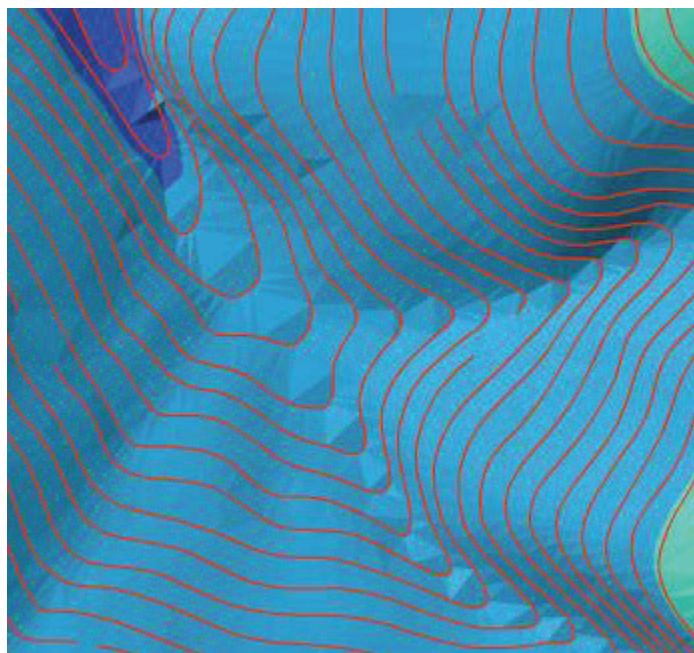
Obrázek 10 Princip Delaunayho triangulace

Pramen: [5]

Při triangulaci může dojít ke vzniku tzv. rovinných (*vodorovných*) trojúhelníků. Ty se vytvářejí ve chvíli, kdy algoritmus vybere pro tvorbu trojúhelníku pouze body o stejné nadmořské výšce. Dochází k tomu zejména u vrcholů kopců a v okolí hřebetic a údolnic, kdy dochází k tvorbě umělých „schodů“ – viz obrázek 11 a obrázek 12. Tyto trojúhelníky mají sklon 0° a nemají definovanou orientaci vůči světovým stranám – to může způsobovat problémy při následných analýzách a modelování. Tato chyba se dá odstranit dodáním výškových bodů nebo linií terénní kostry.

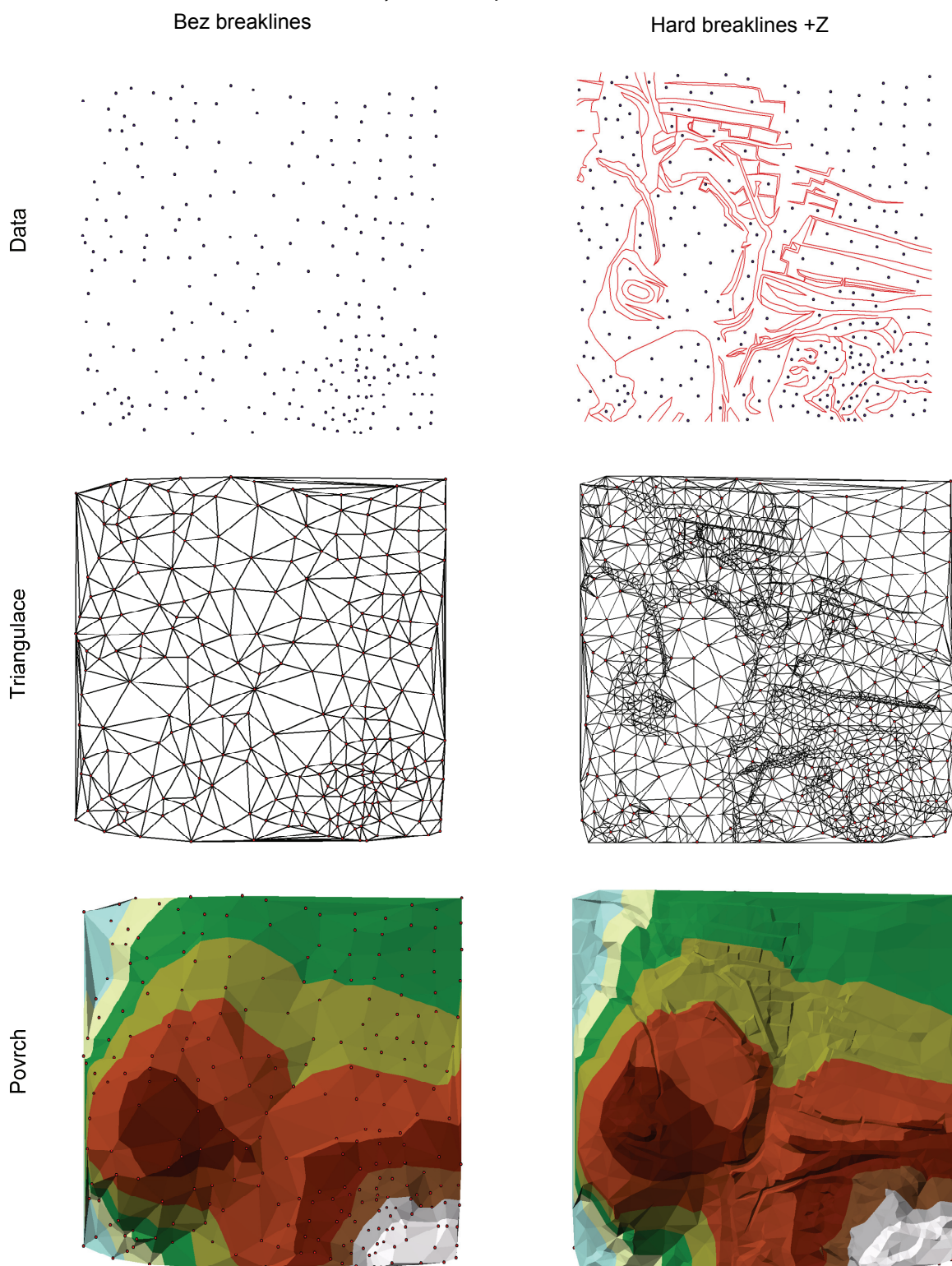


Obrázek 11 Ploché trojúhelníky

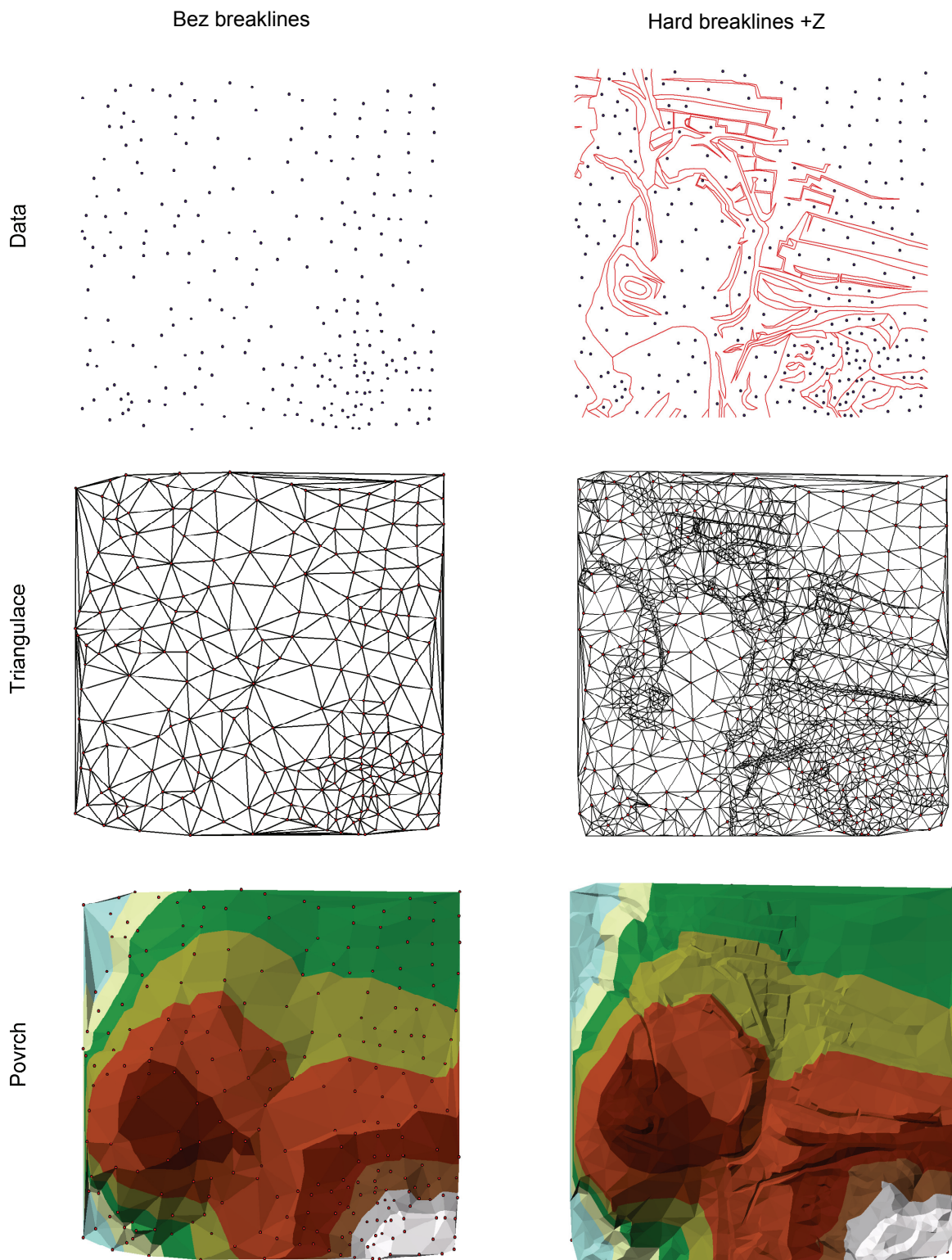


Obrázek 12 "Schody" vzniklé v údolí

Lomové hrany (break lines) jsou liniové prvky, které definují a kontrolují spojitost a hladkost výsledného povrchu (viz



obrázek 13). Vliv jednotlivých typů *break lines* (*soft break line* a *hard break line*) se projeví až při následném převodu TIN do rastru, kdy v případě použití *hard break line* zůstane definovaný zlom zachován.



Obrázek 13 Vliv break lines na výsledný TIN.
Přpracováno z [5]

Rastr

Dalším velmi rozšířeným typem kompletní reprezentace povrchu je *rastr*. Základním stavebním prvkem rastrové struktury je *buňka* (cell, pixel). Buňky jsou organizovány do mozaiky a obsahují hodnoty, které reprezentují daný jev. U rastrů se používá několik tvarů buněk – čtyřúhelníková, trojúhelníková a hexagonální. Tyto reprezentace mají jasně definovanou topologii (víme přesně, která buňka sousedí se kterou). Nejčastěji se budeme setkávat s pravidelným čtvercovým rastrem, protože tato reprezentace je jednoduchá a je orientovaná v souladu s kartézským souřadnicovým systémem. Každý rastr má také definované rozlišení (velikost buňky), které udává, jak velké skutečné území jednotlivá buňka reprezentuje.

Rastr se obecně využívá k reprezentaci spojitého jevu nad definovanou oblastí. Může se tedy jednat o DMT a z něj odvozené povrchy (sklon, orientace, křivosti, ...), ale také např. o mapu znečištění ovzduší, srážky, průměrnou teplotu nebo také např. dopravní dostupnost vybraných oblastí.

V následujícím textu si představíme algoritmy, pomocí kterých můžeme interpolovat vstupní linie a body do podoby rastrových povrchů. Nebudeme se zde věnovat hodnocení přesnosti jednotlivých metod, které můžeme najít např. v [14] a [3].

	TIN	Rastr
Výhody	schopnost popisu povrchu v různých úrovních rozlišení efektivita v ukládání dat	jednoduchý na ukládání a k analýzám jednoduchá integrace s rastrovými databázemi
Nevýhody	v mnoha případech vyžaduje vizuální inspekci a manuální kontrolu sítě	nemožnost použití různé velikosti buněk k vyjádření povrchu s různou komplexností

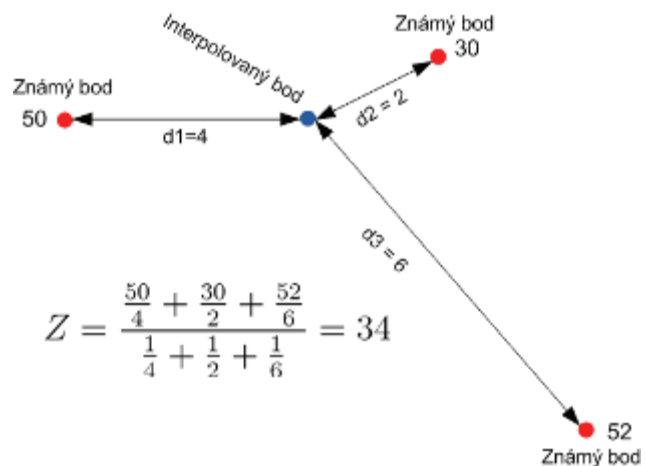
Tabulka 2 Porovnání vlastností TIN a rastr podle [5]

Inverse Distance Weighting (IDW)

Podle [2] metoda interpolace IDW (inverzní vážená vzdálenost) určuje hodnoty buněk na základě *lineárně vážené* kombinace množiny vstupních bodů, kde je *váha* funkcí převrácené hodnoty vzdálenosti.

Volba *váhy*³ v rámci IDW interpolace nám umožňuje kontrolovat důležitost vstupních bodů pro výsledný povrch v závislosti na jejich vzdálenosti od aktuálně počítaného bodu. Zvýšením hodnoty *váhy* zdůrazníme význam nejbližších bodů. Díky tomu budou mít bližší body vyšší vliv na výsledný povrch, který bude díky tomu obsahovat více detailů (bude méně hladký). Se zvyšováním hodnoty *power* dochází k tomu, že hodnoty interpolovaných bodů se blíží hodnotě nejbližších bodů. Pokud bychom specifikovali nižší hodnotu *váhy*, tak by na výslednou hodnotu měly větší vliv i body vzdálenější od aktuálně počítaného bodu. Vzhledem k tomu, že výpočet IDW není vázaný na žádný fyzikální proces, tak není možné určit, která hodnota *power* je už příliš vysoká. Obecně však můžeme říct, že hodnota 30 je už považována za velmi vysokou.

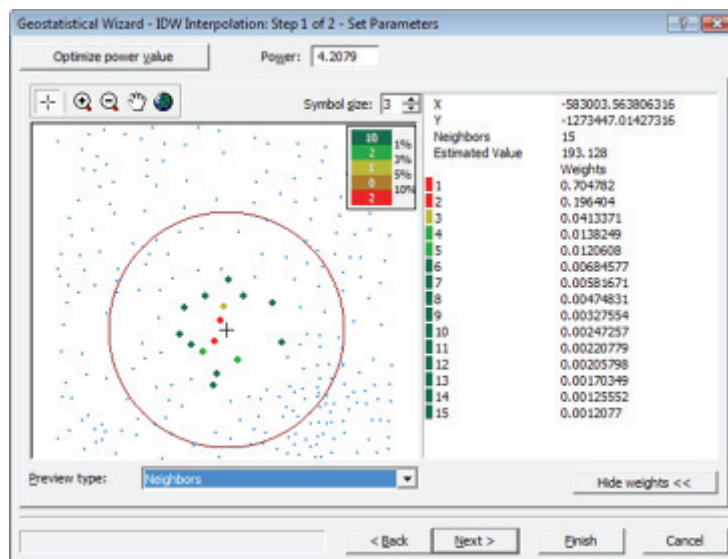
³ V produktu ArcGIS se *váha* volí pomocí parametru *power*.



Obrázek 14 Princip výpočtu hodnoty bodu (bez vlivu váhy)

Charakteristiku interpolovaných povrchů můžeme kontrolovat také omezením množství vstupních bodů, použitých pro výpočet mezilehlých bodů. Můžeme tedy omezit množství vstupních bodů, nebo stanovit okolí, v rámci něhož budou použity body pro interpolaci.

V ArcGIS rozšíření Geostatistical Analyst můžeme provádět podrobnější nastavení hodnot pro interpolaci IDW, včetně nastavení tvaru okolí v rámci kterého se použijí body pro interpolaci. Toho můžeme využít např. při modelování jevu, který je ovlivněn směrem větru (znečištění ovzduší) a oblast nastavit jako elipsu, odpovídající směru větru. Toto rozšíření také umožňuje analýzu vstupních dat a automaticky určit vhodnou hodnotu *power*.

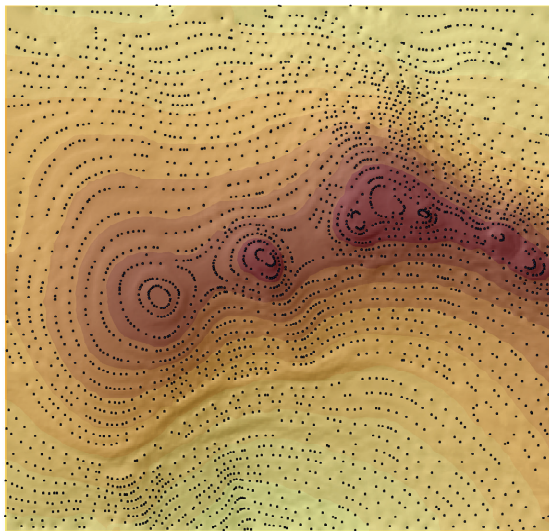


Obrázek 15 Body vybrané pro IDW interpolaci v definovaném okolí a jejich váhy

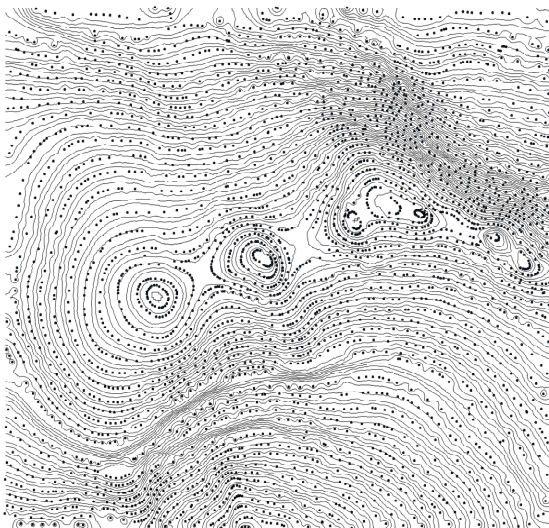
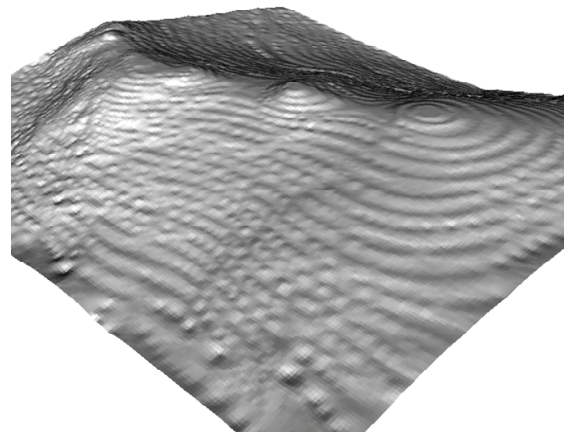
Jak již bylo řečeno, pro interpolaci IDW potřebujeme mít vstupní data ve formě bodů. Pokud máme data ve formě vrstevnic, je nutné je převést na body. Můžeme použít např. funkci *Feature Vertices To Points* (lomové body prvku na body), popřípadě použít nějaký nástroj z <http://support.esri.com> (databáze skriptů pro ArcGIS), popřípadě zdarma dostupný nástroj ET GEOWizards (<http://www.ian-ko.com/>).



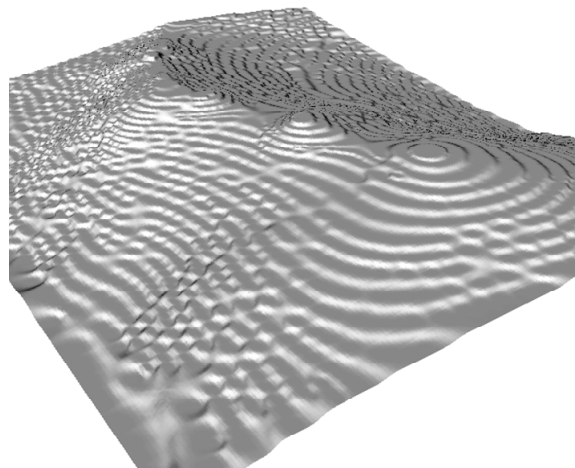
Obrázek 16 Lomové body vrstevnic převedené do bodové vrstvy



Nízká hodnota váhy



Vysoká hodnota váhy



Obrázek 17 Povrch generovaný ze vstupních bodů pomocí metody IDW, nízká a vysoká hodnota váhy (power)

Na obrázek 17 můžeme vidět výsledek interpolace IDW. Na perspektivním zobrazení výsledného rastru je patrný vliv změny hodnoty váhy. Můžeme si všimnout i viditelných artefaktů interpolace – jedná se o špičky a dolíky v místech, kde jsou definovaná vstupní data (body).

Spline interpolace

Další interpolační algoritmus, který ArcGIS nabízí je interpolace pomocí Spline funkce. O spline funkci můžeme obecně říct, že je matematickým ekvivalentem ohebného pravitka (pomocí dlouhého ohebného pravitka byly dříve konstruovány např. trupy lodí). Spline interpolace generuje povrch s minimální křivostí, která prochází (co nej přesněji) vstupními body – to odpovídá ohýbání gumového plátu přes vstupní body, při minimalizování křivosti výsledného povrchu. Pomocí parametrů, které řídí spline interpolace můžeme definovat chování výsledného povrchu tak, aby např. pro vyšší hladkost neprocházel přesně vstupními body. Vždy však musíme mít na paměti účel, pro který DMT vytváříme – při požadavku výškové přesnosti by výsledný DMT měl procházet vstupními body, zatímco např. pro hydrologické analýzy je vhodnější povrch hladší (a výškově ne úplně přesný).

Vlastnosti spline interpolace jsou následující:

- rychlý výpočet s pomocí segmentace → složitá oblast je rozdělena na části, každá část je reprezentovaná jinou spline funkcí – jednotlivé pláty jsou pak hladce napojeny,
- možnost vyhlazování – při modifikaci parametrů, které řídí spline interpolaci můžeme výsledný povrch tzv. vyhladit, tzn. odstraníme drobné geomorfologické útvary (nebo chyby v datech) při zachování původní (hlavního) trendu povrchu,
- pokud neupravíme parametry řídící interpolaci, tak výsledný povrch prochází přesně vstupními daty.
- esteticky líbivý – povrchy generované pomocí spline funkce jsou díky vlastnosti spline vizuálně hladké a „zaoblené“,

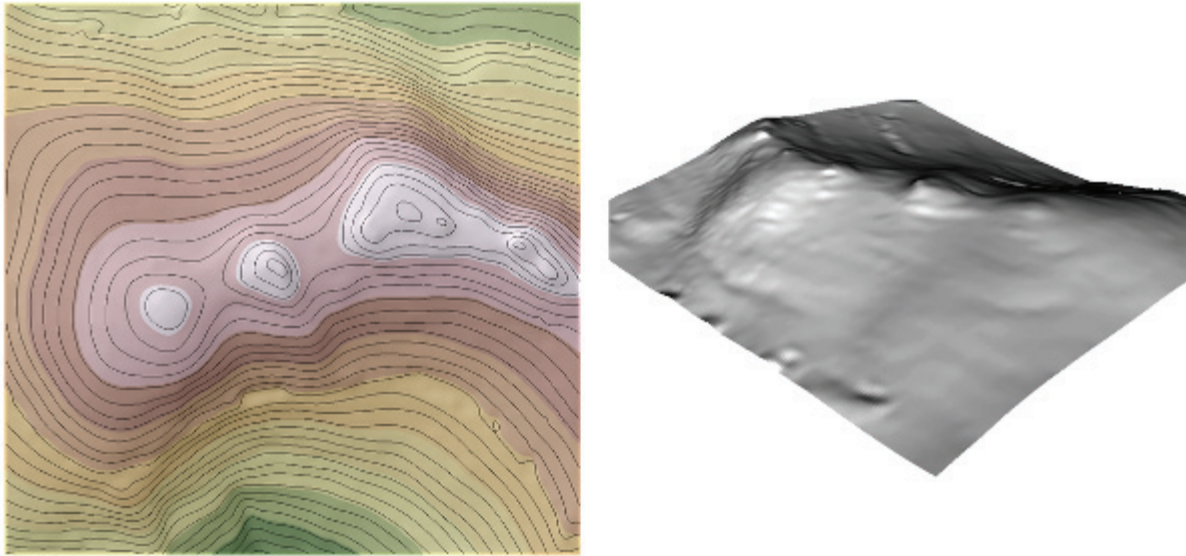
Podle [2] ArcGIS⁴ nabízí dva druhy *spline* interpolace:

- *Regularized* – tato interpolace je řízena parametrem *weight*, který definuje hladkost výsledného povrchu. Běžně se používají hodnoty 0, 0.001, 0.01, 0.1 nebo 0.5. Použití *regulárního* spline zajistí hladký povrch společně se spojitými povrchy parciálních derivací prvního stupně (ve výsledném rastru nejsou patrné zlomy).
- *Tension* – parametr *weight* zde určuje povahu výsledného povrchu. S ohledem na hodnotu váhy se výsledný povrch chová jako ocelový plát – nebo jako gumová membrána položená přes vstupní data. Vyšší hodnota váhy znamená nižší pevnost a vyšší pružnost výsledného povrchu.

Velmi kvalitní interpolaci pomocí *spline* nabízí GIS GRASS (<http://grass.osgeo.org>, <http://grass.fsv.cvut.cz>) – jedná se o Free Software publikovaný pod licencí GNU GPL. V rámci tohoto GIS najdeme modul *v.surf.rst*, který interpoluje vstupní data pomocí Regularized Spline under Tension (Regulární Spline pod Napětím - RST). Tato interpolace je řízena dvěma hlavními parametry⁵ *smooth* a *tension*. Parametr *smooth* zajišťuje vyhlazování výsledného povrchu a určuje, jestli výsledný povrch prochází přesně vstupními daty. Parametr *tension* upravuje chování tuhosti výsledného povrchu od gumové membrány po ocelový plát. Tato interpolace tedy nabízí, na rozdíl od ArcGIS, možnost řídit interpolaci pomocí napětí a vyhlazování najednou. O GIS GRASS a RST interpolaci více v [4], [11], [12] a [15].

⁴ Rozšíření 3D Analyst nebo Spatial Analyst.

⁵ Parametrů pro RST interpolaci je mnohem více, zde uvádíme pouze ty nejdůležitější.



Obrázek 18 Povrch generovaný pomocí Regularized spline a 3D vizualizace

Topo to Raster

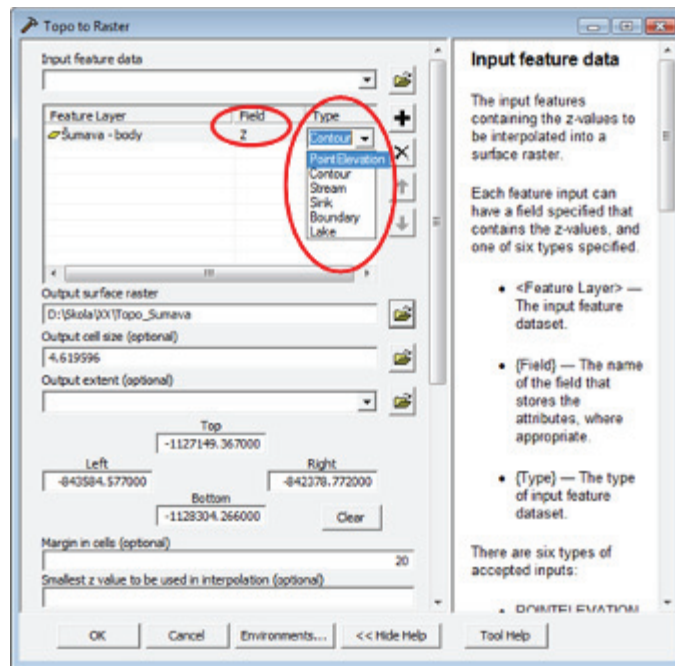
Topo to Raster je podle [2] interpolační metoda vytvořená firmou ESRI speciálně pro generování hydrologicky korektních DMT a je designována/navržena/určena k použití běžně dostupných vstupních dat (zejména vrstevnic). Tato metoda kombinuje vlastnosti interpolačních technik popsané v předchozím textu. Je optimalizována k výpočetní efektivnosti lokálních interpolačních metod, jako je IDW ale bez ztráty návaznosti povrchu globálních interpolačních metod, jako je Spline a Kriging. Je to vlastně diskretizovaná metoda spline plátování, u které je umožněno, aby výsledný povrch kopíroval náhlé změny terénu jako vodní toky a hřbetnice.

Abychom vytvořili hydrologicky korektní DMT, musíme ošetřit, aby ve výsledných datech nebyly umělé prohlubně a špice (ang. *sink* a *pit*), vzniklé např. jako chyby při interpolaci. Toto je ošetřeno v rámci algoritmu Topo to Raster⁶.

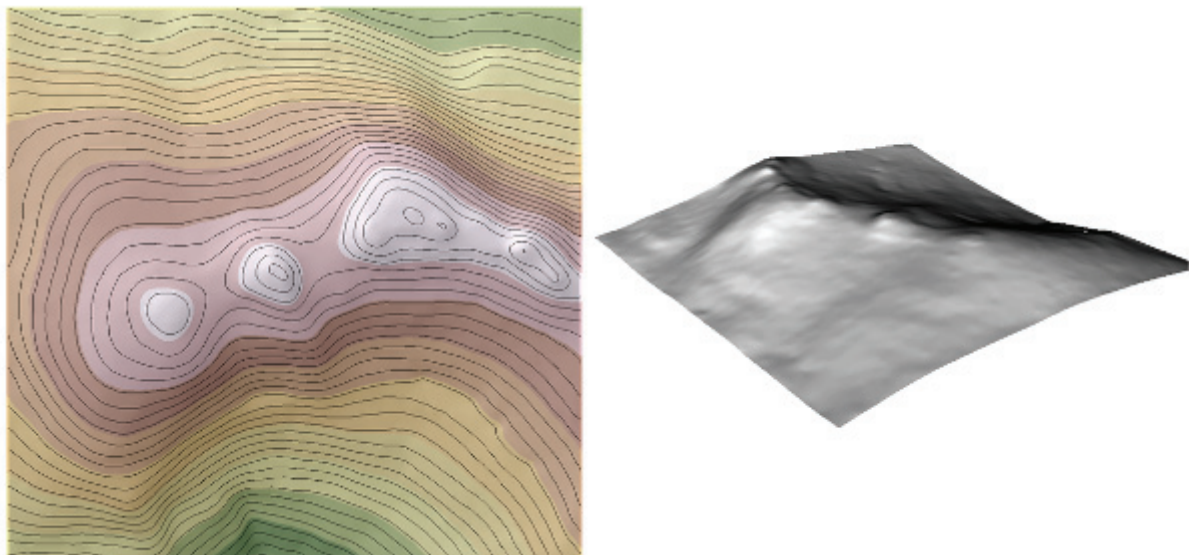
Interpolační algoritmus Topo To Raster podporuje následující typy vstupních dat:

- *PointElevation* – bodové téma obsahující informaci o nadmořské výšce v atributové tabulce (nastavení v sloupci *Field*).
- *Contour* – liniové téma obsahující informaci o nadmořské výšce v atributové tabulce (nastavení v sloupci *Field*).
- *Stream* – liniové téma reprezentující vodní toky. Všechny části musí být orientované po svahu a musí „vytékat“ z interpolované oblasti.
- *Sink* – bodová vrstva reprezentující známé topografické deprese. Algoritmus tyto známé deprese nebude odstraňovat.
- *Boundary* – vrstva obsahující jeden polygon definující hranici dané oblasti – slouží k ořezu výsledného rastru.
- *Lake* – polygonová vrstva, která definuje polohu vodních ploch. Všechny buňky výsledného rastru v místě jezera budou mít definovanou nejnižší hodnotu nadmořské výšky podél břehu jezera. To nám zajistí ploché hladiny jezer (např. u spline interpolace by hladina jezera mohla být zvlněná).

⁶ V některých případech je nutné ještě použít funkci Fill.



Obrázek 19 Nastavení atributového sloupce s nadmořskou výškou a definování typu dat



Obrázek 20 Povrch generovaný pomocí Topo to Raster a 3D vizualizace

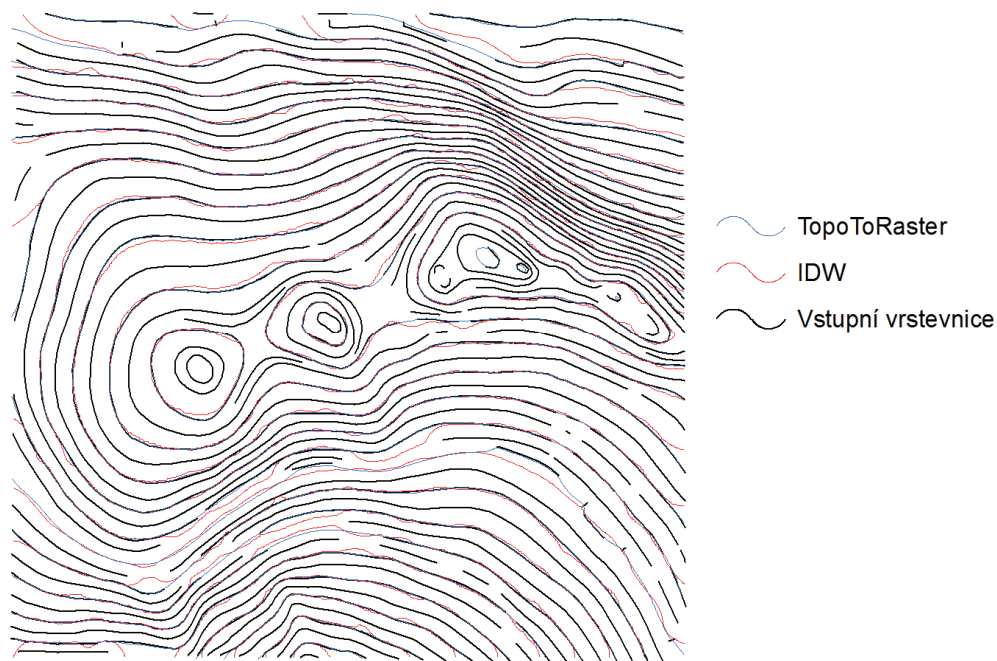
Kriging

Kriging je dle [2] pokročilý geostatistický proces, který generuje odhadnutý povrch z rozptýlené množiny bodů, obsahující informaci o nadmořské výšce/hodnotě modelovaného jevu. Na rozdíl od ostatních interpolačních metod, Kriging vyžaduje interaktivní zkoumání prostorového chování jevu reprezentovaného hodnotami modelovaného jevu, abychom byli schopni zvolit vhodnou metodu odhadu pro výsledný povrch. Kriging je komplexní proces, který vyžaduje hlubší znalost prostorové statistiky a jeho popis přesahuje rámec tohoto výukového textu. Více o této metodě najdete např. v [2], nebo v [14].

Kontrola kvality výsledných DMT

Po každém generování DMT bychom měli provést kontrolu kvality výsledného povrchu. Kvalitu můžeme kontrolovat několika způsoby na základě typu vstupních dat. Podle [14] můžeme zvolit některou z následujících metod:

- Velmi běžnou metodou kontroly kvality je vynechání určitého procenta vstupních bodů. Po vygenerování DMT výšku těchto bodů odečteme od výsledného povrchu, abychom zjistili, jak přesně tento povrch reprezentuje skutečný terén. Tyto diference mohou být použity k výpočtu chyby DMT, jako je např. RMSE (Root Mean Square Error – střední polohová chyba).
- Velmi jednoduchá je vizuální kontrola pomocí vrstevnic. Z výsledného DMT si necháme vygenerovat vrstevnice o polovičním intervalu, než jsou vrstevnice vstupní a vizuálně porovnáme, jaký je průběh povrchu mezi vrstevnicemi. Položení původních a výsledných vrstevnic přes sebe může pomoci odhalit chyby v interpolaci způsobené např. nevhodně zvolenými parametry interpolace.



Obrázek 21 Porovnání výsledných vrstevnic

ODVOZENÉ MORFOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY

Pro mnoho GIS analýz jsou zapotřebí *odvozené morfometrické charakteristiky*. Mezi nejznámější a dobře představitelné morfometrické charakteristiky patří *sklon* a *orientace svahu* vůči světovým stranám:

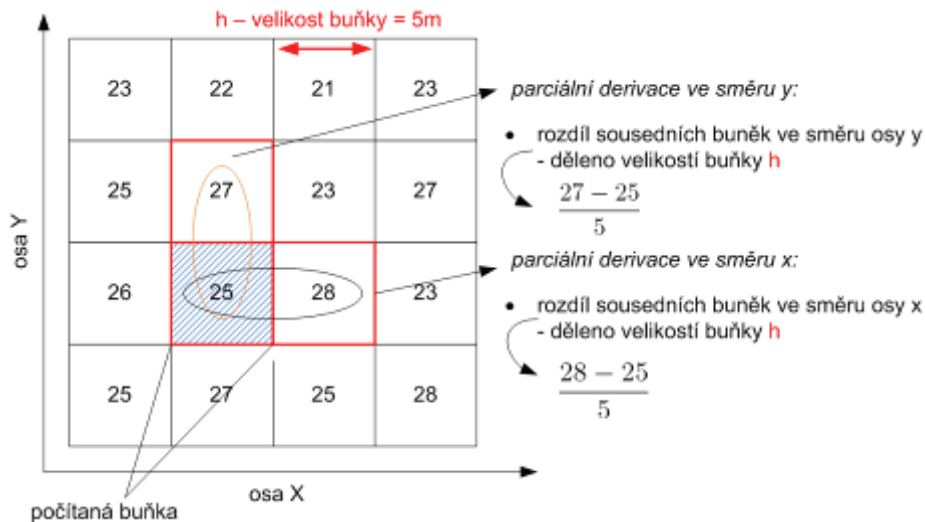
- *sklon* nám vyjadřuje změnu reliéfu ve směru spádnice,
- *orientace* vyjadřuje změnu reliéfu ve směru vrstevnice.

Vypočítané morfometrické charakteristiky jsou ukázány na obrázek 23 a obrázek 24.

Pro jednotlivé trojúhelníky TIN je informace o sklonu a orientaci dána ze souřadnic bodů definující daný trojúhelník a můžeme říci, že tuto informaci obsahují implicitně a není ji nutné počítat. Problém nastává, pokud bychom chtěli z TIN získat morfometrické charakteristiky 2. řádu (tzv.

křivosti). Nástroje dostupné v běžných GIS umožňují výpočet morfometrických charakteristik 2. řádu pouze z rastru. Pro jejich výpočet jsou potřebné 2. parciální derivace ve směru osy x a y, jejichž výpočet na TIN je problematický.

U rastrové reprezentace se sklon i orientace (ale i další morfometrické charakteristiky) počítají pomocí *směrových derivací* – derivace vyjadřuje velikost změny funkce – a zde hodnotíme velikost změny ve směru spádnice a ve směru vrstevnice. V běžném GIS se hodnoty derivací získají proložením (aproximací) určitého *n*-okolí buňky polynomem 2. řádu. Nehovoříme tedy o výpočtu derivací, ale o jejich *aproximaci* (hodnota není přesně spočítaná, ale numericky „odhadnutá“). Velmi zjednodušeně si výpočet derivací můžeme představit jako výpočet rozdílu dvou sousedních buněk dělený velikostí buňky (rozlišením rastru). Princip výpočtu derivace je ukázán na obrázek 22.



Obrázek 22 Princip výpočtu derivace

S použitím parciálních derivací můžeme morfometrické charakteristiky prvního řádu spočítat pomocí následujících vztahů:

$$\text{sklon} - \gamma_N = \arctan \sqrt{z_x^2 + z_y^2}, \quad (4.1)$$

$$\text{orientace} - \alpha_n = \arctan \frac{z_y}{z_x}, \quad (4.2)$$

kde $\frac{\partial z}{\partial x} = z_x$; $\frac{\partial z}{\partial y} = z_y$.

Většina používaných GIS umožňuje i výpočet odvozených morfometrických charakteristik druhého řádu – jedná se o různé druhy *křivosti*. Často se tedy setkáme s výpočtem *křivosti ve směru spádnice* – $(K_N)_n$ a *ve směru vrstevnice* – $(K_N)_t$, které mohou být nazvány např. *profile curvature* a *tangential curvature* (GIS GRASS), nebo např. *profile curvature* a *planar curvature* (ArcGIS). V ArcGIS je výpočet křivosti dostupný v modulu *Curvature* v rámci rozšíření 3D Analyst, popřípadě Spatial Analyst. Vypočítaný povrch křivosti je ukázán na Obrázek 1 obrázek 25.

Křivost $(K_N)_n$ vyjadřuje změnu sklonu (zakřivení terénu ve směru spádnice) a křivost K_r vyjadřuje zakřivení vrstevnic⁷. Obecný vztah pro výpočet křivosti $(K_N)_n$ podle [9] je uveden ve vztahu 4.3 a $(K_N)_t$ ve vztahu 4.4:

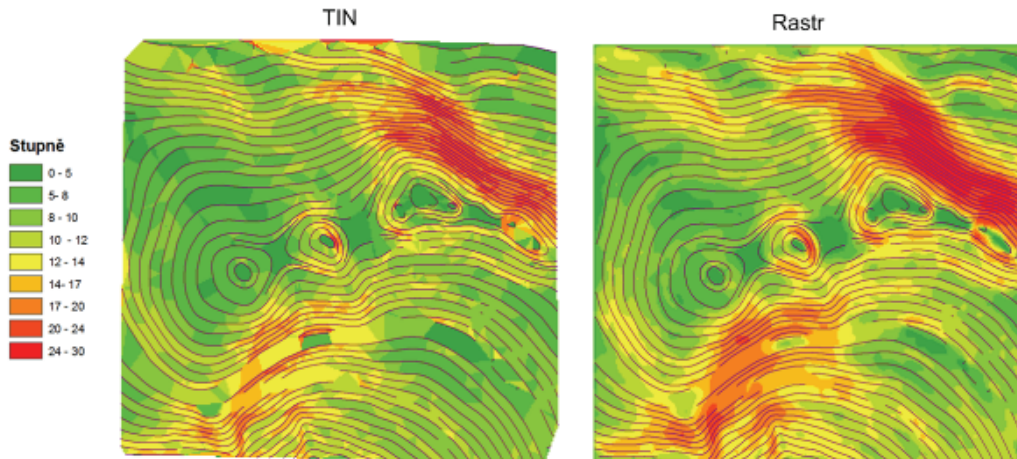
⁷ V obou případech se jedná o speciální případy normálových křivosti – $(K_N)_n$ je normálová křivost ve směru tečny ke spádnici a $(K_N)_t$ je normálová křivost ve směru tečny k vrstevnici. Více v [9].

$$\omega = (K_N)_n = \frac{z_{xx}z_x^2 + 2z_{x,y}z_xz_y + z_{yy}z_y^2}{(z_x^2 + z_y^2)\sqrt{(1 + z_x^2 + z_y^2)^3}}, \quad (4.3)$$

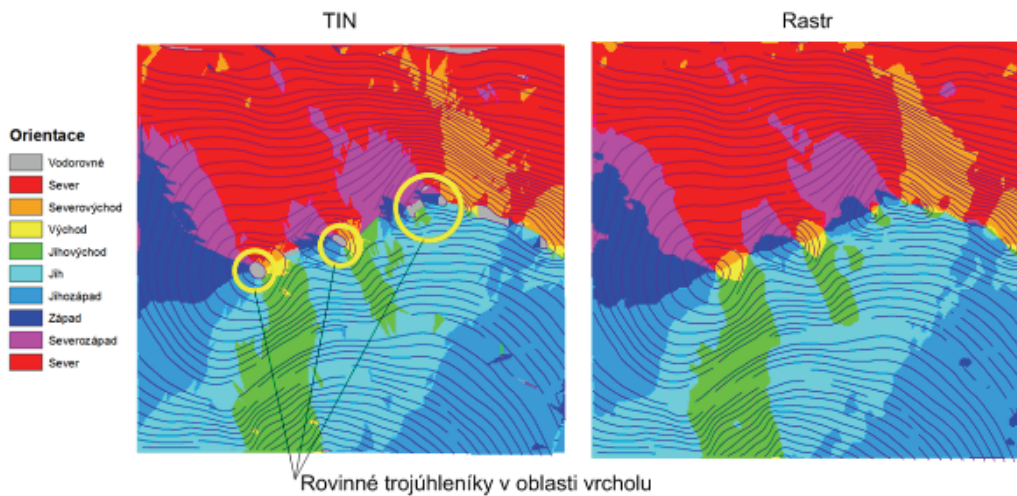
$$(K_N)_t = -\frac{z_{xx}z_y^2 - 2z_{xy}z_xz_y + z_{yy}z_x^2}{(z_x^2 + z_y^2)\sqrt{1 + z_x^2 + z_y^2}}, \quad (4.4)$$

kde opět $\frac{\partial z}{\partial x} = z_x$; $\frac{\partial z}{\partial y} = z_y$; $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = z_{xx}$; $\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = z_{yy}$; $\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = z_{xy}$.

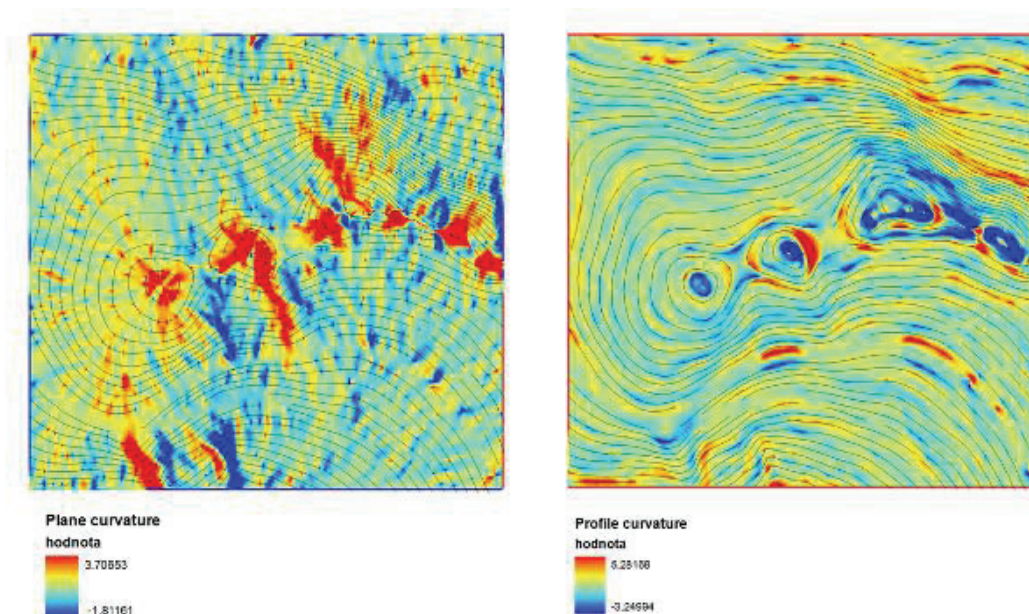
Morfometrické charakteristiky třetího řádu mají využití zejména v geomorfologii. Jejich odvození je však velmi komplikované a není implementováno v běžně dostupných GIS.



Obrázek 23 Sklon vypočítaný z TIN a z rastru



Obrázek 24 Orientace svahu spočítaná z TIN a z rastru



Obrázek 25 Křivostní povrchy

VIZUALIZACE DMT

Vizualizace DMT patří mezi důležité kroky jejich tvorby. Pomocí vizualizace můžeme odhalit chyby ve vstupních datech, popřípadě nesprávně použitou interpolační metodu (nevhodná volba parametrů interpolace). Správnou vizualizací také prezentujeme výsledky a oproti papírovým mapám můžeme využít možnosti interaktivní 3D vizualizace, které umožňují dnešní GIS.

Vizualizace ve 2D

Základní vizualizace DMT ve 2D je použití šedotónové nebo barevné stupnice. Pro šedotónové stupnice se běžně používají hodnoty 0–255 (můžeme však použít interval mezi libovolnými hodnotami). Podle [14] je vztah pro výpočet hodnot jednotlivých buněk DMT následující:

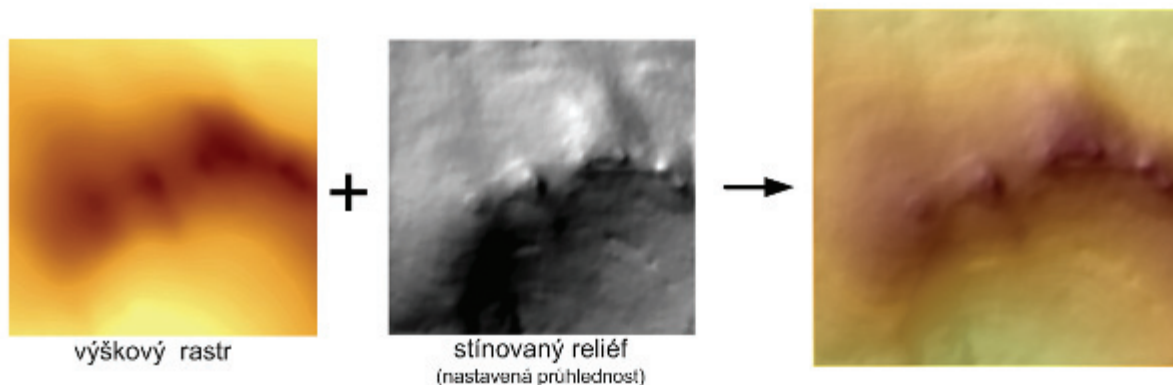
$$g_i = 255 \cdot \left(\frac{z_i - z_{min}}{z_{max} - z_{min}} \right), \quad (5.1)$$

kde z_{min} a z_{max} jsou maximální a minimální hodnoty nadmořské výšky v DTM.

Další možností je vizualizovat DTM pomocí barevné stupnice (hypsometrie).

Podle [14] je vhodným nástrojem pro vizualizaci DTM ve 2D *stínovaný reliéf* (shaded relief). Stínovaný reliéf nám zvýrazní strukturu DTM, která je ozářena sluncem. V mnoha GIS existuje možnost nastavit si polohu Slunce tak, aby byl reliéf nasvícený pod zvoleným úhlem. V ArcGIS pro tvorbu stínovaného reliéfu použijeme funkci *Hillshade*, dostupnou v menu Spatial Analyst nebo 3D Analyst. U výsledné vrstvy je pak nutné nastavit průhlednost⁸ a umístit ji nad výškový rastr.

⁸ Pro dosažení lepších výsledků je nutné modifikovat také kontrast vizualizované vrstvy.



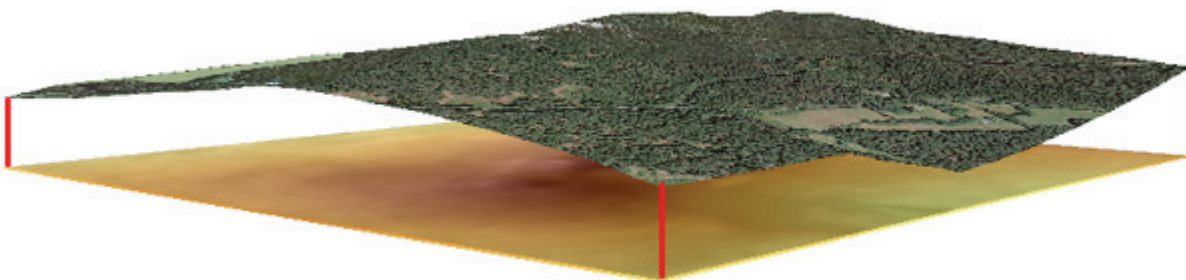
Obrázek 26 Vizualizace rastru pomocí stínovaného reliéfu

Vizualizace ve 3D

Pro vizualizaci výškových dat existuje mnoho nástrojů – v ArcGIS je to ArcScene, v GIS GRASS modul *nviz* a existuje mnoho dalších GIS, které umožňují kvalitní vizualizace výškových dat (např. Atlas, Surfer), ale i například Google Earth, který obsahuje vrstvu DMT a 3D budov. Tato část textu je zaměřená zejména na možnosti vizualizace DMT v ArcScene.

Při vizualizaci prostorového objektu (DMT) ve 3D je každé buňce rastru přiřazena hodnota nadmořské výšky, která je uložena v buňce uložena. Bez přiřazení výšek se nám rastr zobrazí jako rovina. V ArcScene se zdroj výšek pro vybranou vrstvu definuje v záložce *Properties-Base heights*. Můžeme zde nastavit i převýšení zobrazované vrstvy (*Z Unit conversion*). Ve 3D můžeme samozřejmě vizualizovat i TIN. Zde není nutné nastavovat zdroj výškových dat – TIN se automaticky zobrazí s přiřazenými nadmořskými výškami. Jednotlivé vrcholy trojúhelníka obsahují explicitně informaci o nadmořské výšce.

Pro doplnění vizualizace můžeme použít i tzv. *texture*. Jedná se o rastrové vrstvy (letecký snímek, družicový snímek, stará mapa, ...), které zvýší atraktivnost zobrazované oblasti. Texturey se tzv. *mapují* na podkladové DMT, kdy každému pixelu snímku je přiřazena nadmořská výška z podkladové vrstvy na základě souřadnic *x* a *y*. Při používání textur musíme mít na paměti podrobnost s jakou je textura zobrazována. V ArcScene je u nastavení vlastností vrstvy záložka *Rendering*, kde si můžeme nastavit kvalitu zobrazované textury. I zde platí pravidlo – vyšší rozlišení textury = vyšší kvalita zobrazení = vyšší HW nároky na překreslování a vizualizaci.



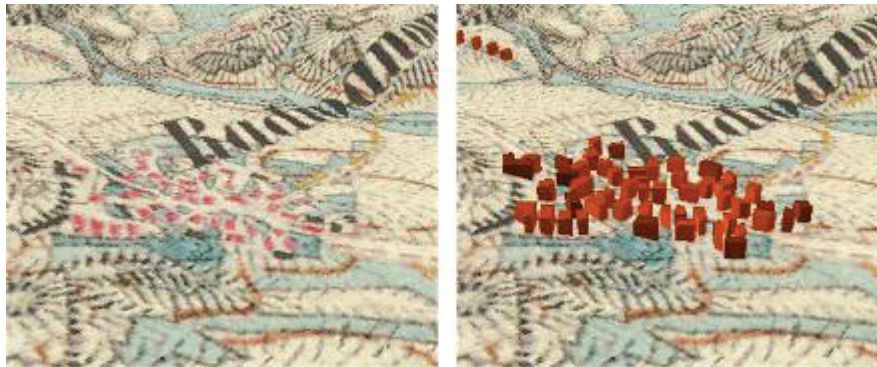
Obrázek 27 Ortofoto snímek s přiřazenými výškami

3D objekty

Stejně jako rastrovým texturám přiřazujeme výšky na základě polohy, můžeme přiřazovat výšky i vektorovým vrstvám. Můžeme tedy na texturu staré mapy „položit“ vektorizovanou vrstvu lesů, zástavby, ... Někdy je nutné u těchto vrstev nastavit určitý *offset* (odsazení), protože může

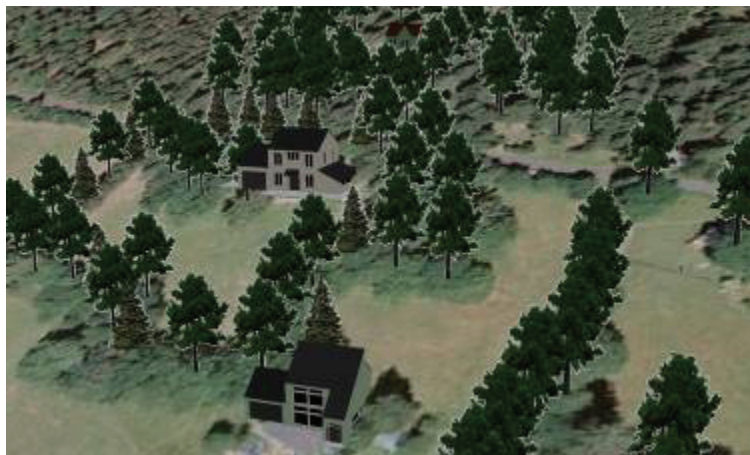
docházet ke vzájemnému prolínání vektorových a rastrových vrstev (mají identickou výšku). Offset se nastavuje v záložce nastavení vrstvy – *Base heights*.

Pro dokreslení prostorového efektu (např. budov), můžeme pro polygonové vrstvy použít funkci *Extrusion*, která vybranou vrstvu „vytáhne“ do výšky o stanovený počet jednotek (viz obrázek 28).



Obrázek 28 Extrudované budovy

ArcScene nabízí i možnost vizualizovat bodové vrstvy pomocí 3D objektů (budovy, stromy), což může zatraktivnit výsledek výsledné vizualizace. U bodové vrstvy v nastavení vizualizace vrstvy zvolíme možnost *More symbols* a zde si vybereme 3D buildings, 3D trees, a mnoho dalších 3D objektů (viz obrázek 29). Zde však musíme mít na paměti účel, pro který vizualizaci vytváříme – v některých případech (např. prezentace vědeckých výsledků) není tento typ prezentace příliš vhodný.



Obrázek 29 3D vizualizace budov a stromů

Pokud bychom chtěli vizualizovat reálnou budovu, můžeme ji jednoduše vytvořit např. pomocí aplikace Google SketchUp a následně ji importovat do ArcScene.

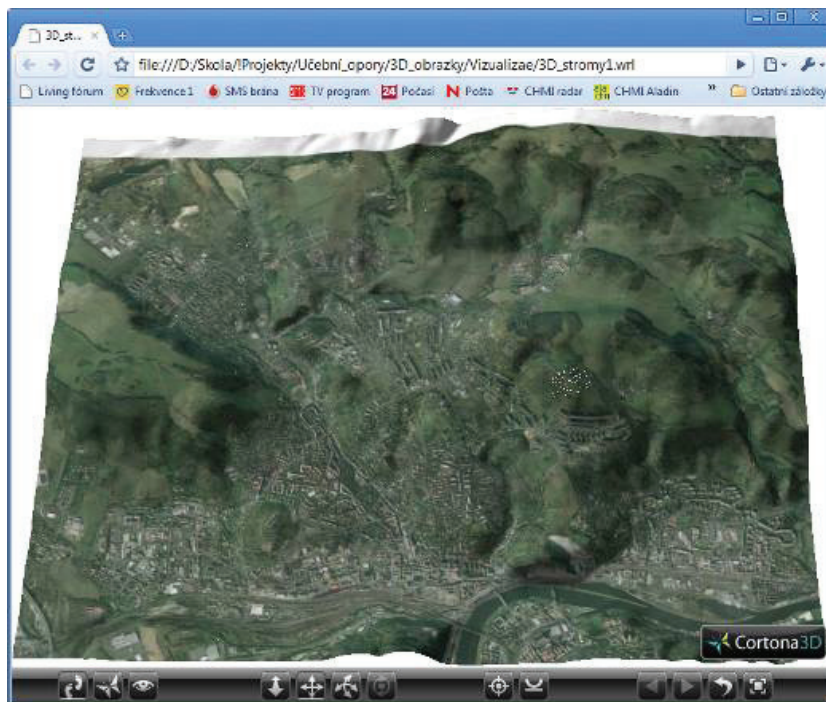
Výslednou vizualizaci můžeme snadno uložit do filmového klipu, který se dá použít v prezentaci. ArcScene obsahuje vcelku pokročilé možnosti přípravy a zpracování videí – můžeme definovat polohu a trasu kamery, prolínání vrstev, pohybující se objekty (např. auta na komunikacích) a vkládat různé efekty. Video-tutoriál pro tvorbu videí najdeme na internetových stránkách firmy ESRI:

http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/tutorials/ex_5_animations_index.htm

Vizualizace pomocí VRML

Vytvořené 3D modely můžeme interaktivně prezentovat např. na Internetu pomocí formátu VRML (Virtual Reality Modeling Language). Celá naše 3D scéna je uložena do souboru, který lze v internetovém prohlížeči otevřít pomocí některého VRML přehrávače. Můžeme zvolit např. Cosmo

Player⁹, nebo Cortona 3D¹⁰. V rámci internetového prohlížeče si pak můžeme model procházet, otáčet, či jinak prohlížet. Data ve formátu VRML můžeme exportovat přímo v ArcScene z menu *File-Export Scene-3D*.



Obrázek 30 3D model prezentovaný v internetovém prohlížeči

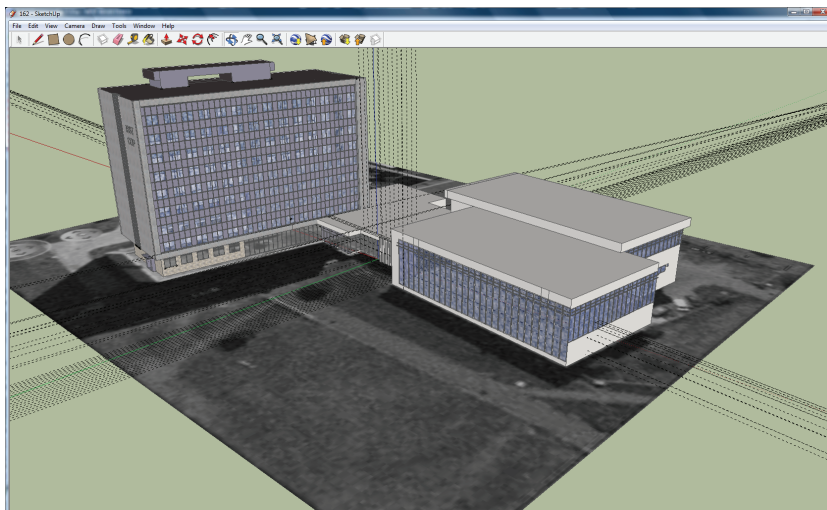
Vizualizace pomocí KML

Novým standardem Open Geospatial Consortium (OGC) pro publikaci a distribuci geografických dat se stal formát KML (Keyhole Markup Language). V současné době je hojně rozšířen zejména díky aplikaci Google Earth. Soubory KML však můžeme otevřít např. i v ArcGIS Explorer, AutoCAD, Adobe Photoshop a jiných. Pomocí jazyka KML můžeme vizualizovat plošné jevy (vektory, rastry), nebo prostorové modely reálných objektů (budovy, terén, stromy).

Na Internetu jsou zdarma dostupné nástroje pomocí kterých můžeme vytvořit kvalitní modely reálných objektů (Google SketchUP, Flux Studio). K dispozici je také nepřeberné množství tutoriálů, ukazující postup tvorby takového modelu. Ukázka návrhu budovy v Google SketchUP je na obrázek 31 a hotový model hradu Švihov v Google Earth na obrázek 32.

⁹ <http://cic.nist.gov/vrml/cosmoplayer.html>

¹⁰ <http://www.cortona3d.com/>



Obrázek 31 Návrh budovy v Google SketchUP



Obrázek 32 Vizualizace hradu Švihov v Google Earth

PŘÍPADOVÉ STUDIE

V této části učebního textu si ukážeme některé aplikace a využití DMT. Data, včetně video-tutoriálu ke všem ukázkám jsou připraveny na přiloženém DVD. Pro zpracování je zapotřebí ArcGIS 9.x a rozšíření 3D Analyst a Spatial Analyst.

3D vizualizace Ústí nad Labem

V prvním jednoduchém cvičení si vyzkoušíme 3D vizualizaci Ústí nad Labem. Data najdeme v adresáři \Aplikace\1. 3D Usti nad Labem.

Budeme postupovat následovně:

1. Z vrstevnic vytvořit DMT – můžeme vyzkoušet různé interpolační algoritmy.
2. Získat ortofoto snímek z IMS služby – <http://geoportal.cenia.cz>.
3. Na vytvořené DMT použijeme mapování textury (ortofoto).
4. Vyzkoušet různé možnosti vizualizace (pohyb, převýšení).



Obrázek 33 Vizualizace Ústí nad Labem

Výběr vhodné lokality pro vinice

Představme si tuto teoretickou úlohu – v okolí Ústí nad Labem chceme založit vinice. Pokusíme se vybrat oblasti splňující následující kritéria:

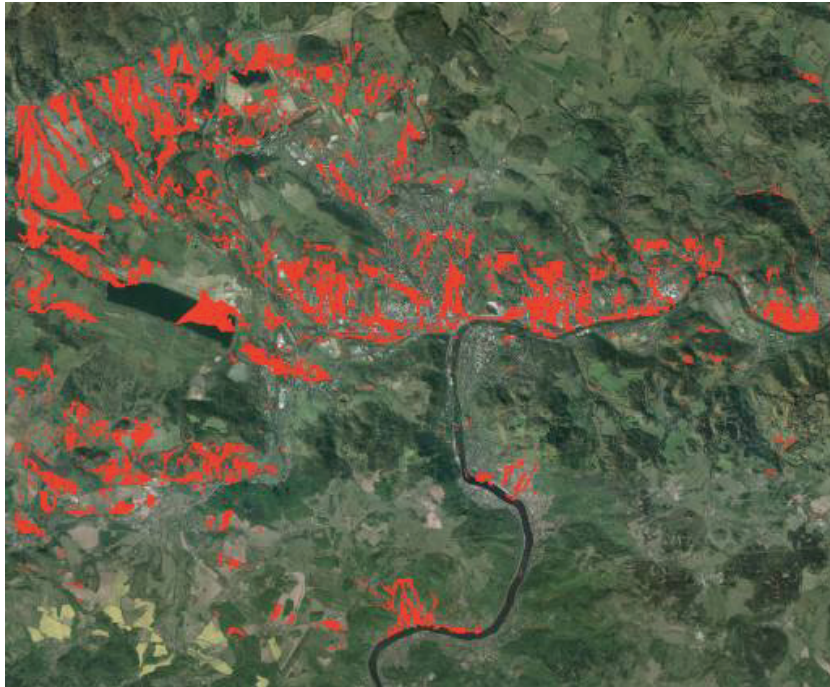
- orientace na jih,
- sklon svahu maximálně 15°,
- nadmořská výška maximálně 320 m n.m.,

Jako vstup dat použijeme vrstevnice oblasti.

Dále bychom měli uvažovat typ půdy, průměrnou teplotu, zastavěnost oblastí, vlastnické vztahy, atd. – ale s ohledem k ukázkovému řešení zaměřenému na aplikaci DMT budeme vycházet pouze ze zadaných bodů.

Postup práce:

1. Z vrstevnic v adresáři \Aplikace\2_Vinice vytvoříme DMT.
2. Na vytvořeném DMT provedeme analýzu sklonu (slope) a orientace (aspect).
3. Pomocí mapové algebry vybereme z vrstvy DMT, sklonu a orientace takové oblasti (buňky rastru), které splňují výše stanovená kritéria.

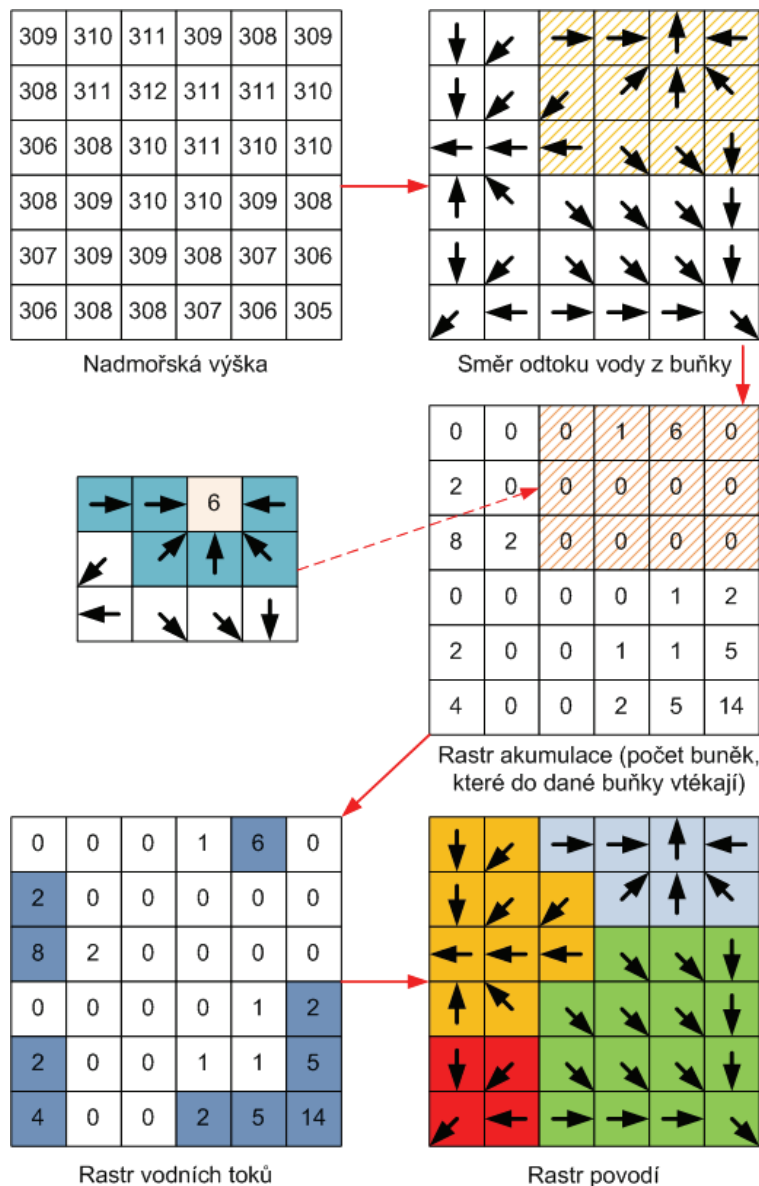


Obrázek 34 Oblasti vyhovující stanoveným podmínkám

Hydrologické analýzy

Další velmi rozšířenou aplikací DMT jsou hydrologické analýzy. Pro hydrologické analýzy je zapotřebí vytvořit hydrologicky korektní DMT – musí být odstraněny sníženiny, které vznikly jako artefakt interpolace vstupních dat. Ponechání těchto sníženin by mělo za následek zkreslení hydrologických analýz (voda vteče do sníženiny a dále neteče). V rámci tohoto kurzu si vyzkoušíme tvorbu povodí. Princip tvorby povodí je ukázán na obrázek 35. Z rastru nadmořských výšek je vypočítán rastr směru odtoku z buňky. Voda odtéká jedním z 8 možných směrů do sousední buňky s nejnižší nadmořskou výškou (tzv. D8 algoritmus¹¹). Z tohoto rastru se odvodí rastr akumulace vody (počet buněk, které do dané buňky vtékají). Z rastru akumulace vody se vytvoří rastr vodních toků, dle následující stanovené podmínky – pokud do dané buňky vtéká voda z více jak 2 buněk už je to vodní tok. Z rastru vodních toků a rastru akumulace se vytvoří rastr povodí.

¹¹ Více o hydrologických analýzách v [13] a [15].

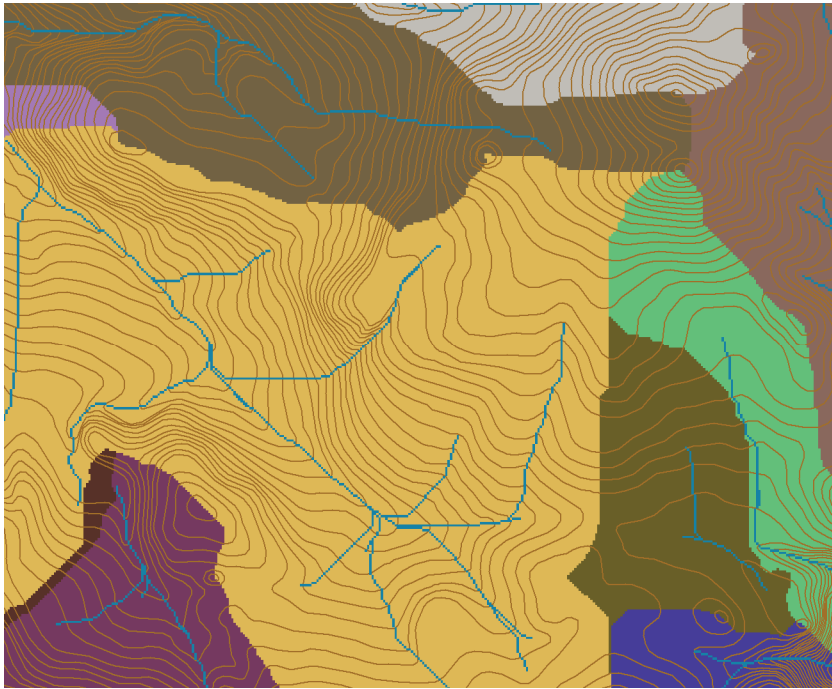


Obrázek 35 Princip výpočtu povodí.

Upraveno podle [8]

Postup práce:

1. Z vrstevnic v adresáři \Aplikace\3_Hydro vytvořit hydrologicky korektní DMT – použijeme interpolační funkci Topo to Raster. Pokud bychom chtěli být opravdu precizní, měli bychom do interpolace zahrnout i linie vodních toků, okraje jezer a případné přirozené deprese (vrstvy můžete vytvořit – v tutoriálu je vytvářet nebudeme).
2. Vytvoříme rastr směrů odtoku z buňky:
3. *ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/Flow Direction.*
4. Vytvoříme rastr akumulace – *Flow Accumulation.*
5. Vytvoříme rastr vodních toků – *Stream Raster*
6. Vytvoříme rastr povodí - *Basin.*
7. Provedeme vizuální kontrolu výsledku.



Obrázek 36 Rastr povodí. Modré linie jsou výsledek analýzy akumulace vody s podmínkou – vodní tok má přítok z více než 1000 buněk

Rekonstrukce reliéfu ze starých map

Staré mapy mohou sloužit jako výškové podklady pro rekonstrukci původního reliéfu. Pro oblasti, ve kterých došlo k radikální změně krajiny (těžba uhlí, rekultivace, výstavba vodních děl, výstavba měst) jsou to někdy jediné zdroje výškových dat. V adresáři \Applikace\4_Rekonstrukce_ze_starých_map je připravena mapa III. vojenského mapování. S touto mapou provedeme následující kroky:

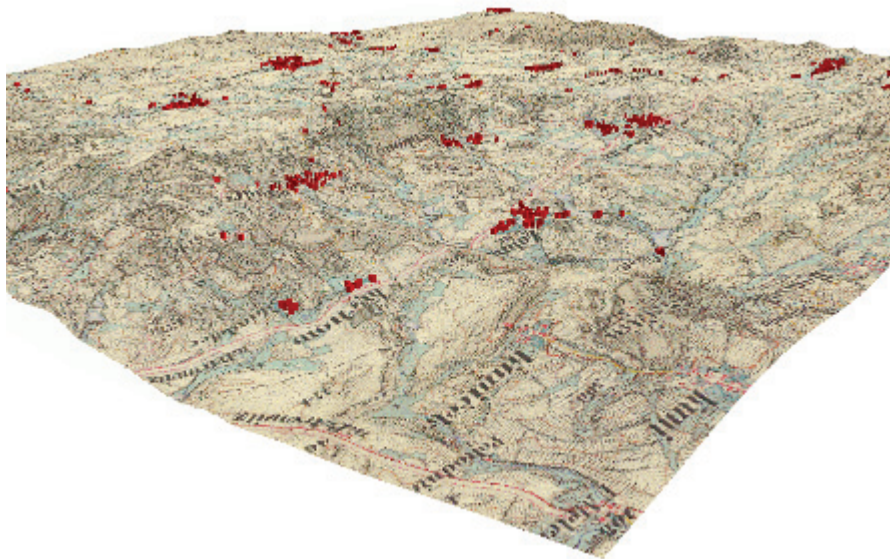
1. Mapu je potřeba georeferencovat – staré mapy vyžadují vyhledání více identických bodů a provést vhodnou transformaci - např. pomocí metody plátování (rubber-sheeting) dostupné – v ArcGIS panelu *Georeferencing-Transformation-Spline*. Zde je pak nutné zvolit pro *Spline* transformaci více jak 10 identických bodů.
2. Následně je potřeba vektorizovat vrstevnice a výškové kóty a do atributové tabulky zanesť údaj o nadmořské výšce. Při odečítání výšek ze starých map je potřeba pracovat pečlivě – ne všechny vrstevnice jsou totiž popsány výškou. Je nutné zjistit interval vrstevnic a při jejich vektorizaci vzít v úvahu i výškové kóty..
3. Vytvořit DMT a vizualizovat danou oblast. Pro tvorbu DMT použijeme funkci *Topo to Raster* a použijeme vrstevnice a výškové kóty. Na vrstvě budov můžeme vyzkoušet *Extrusion*.
4. V adresáři je připravené georeferencované ortofoto (*orti.png*), pomocí kterého můžeme porovnat současný stav s historií.

TIPY:

- z ukázkových dat není nutné zpracovat celé území, stačí si vybrat pouze určitou oblast,
- v adresáři *Hotova_data* je připravená už georeferencovaná mapa, včetně vektorizovaných prvků výškopisu a polohopisu.



Obrázek 37 Vektorizovaný polohopis a výškopis



Obrázek 38 Vizualizace staré mapy ve 3D

Vizualizace budov a stromů ve 3D

V minulé úloze jsme si vyzkoušeli *Extrusion* budov. Bodové vrstvy můžeme vizualizovat pomocí 3D objektů – stromy, domy, auta, atd. Vyzkoušíme si jednoduchou vizualizaci v Ústí nad Labem. Data jsou uložena v \Aplikace\5_3D_budovy. Ve vrstvách jsou již uložené objekty (stromy, domy, rozhledna) z ukázkového videa. Doporučujeme založit si nové vrstvy a do těch si data znovu zpracovat.

Postup práce:

1. Tvorba DMT a namapování textury.
2. Vektorizace vybraných prvků (stromy, domy, rozhledna) a rozlišení pomocí atributů.
3. Přiřazení 3D symbolů.



Obrázek 39 Vizualizace stromů a domů v Ústí nad Labem

ZDROJE

- [1] ArcData Praha, Digitální model reliéfu ČR [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/digitalni-model-reliefu-cr/>
- [2] ArcGIS Desktop 9.3 Help [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>
- [3] CHAPLOT, V.; DARBOUX, F.; BOURENNANE, H.: Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 2006.
- [4] ČUZK – ZABAGED [online].[cit 2010-05-30]. URL:http://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?PRARESKOD=998&MENUID=0&AKCE=DOC:30-ZU_ZABAGED
- [5] ET Solution Center [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://www.ian-ko.com/>
- [6] GRASSwikiCZ [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://grass.fsv.cvut.cz>
- [7] IMT [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://www.imtcan.com>
- [8] JEDLIČKA, K.; MENTLÍK, P.: Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In *Geoinformatika. Ústí nad Labem : Univerzita J.E. Purkyně*, 2002. s. 46-58. ISBN 80-7044-410-X
- [9] KRCHO, J.: *Morfometrická analýza a digitální modely georeliéfu*. VEDA Bratislava, 1990.
- [10] KREVELD, M.: *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems*. Springer 1997. ISBN: 978-3540638186.
- [11] MITAS, L., MITASOVA, H.: General variational approach to the interpolation problem. *Computers and Mathematics with Applications*,16, p.983-992. 1988.
- [12] MITAS, L., MITASOVA, H.: Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology* 25, p. 641-655.1993.
- [13] MOORE, I. D.: Hydrological Modelling and GIS. In GOODCHILD et al.: *GIS and Environmental Modelling: Progress nad Research Issues*. GIS World Books, 1996.
- [14] NASER, E. S., VALEO, C., HABIB, A.: *Digital Terrain modelin – acquisition, manipulation and applications*. Artech House. 2005.
- [15] NETELER, M: *Open Source GIS: a GRASS GIS approach*. Kluwer Academic Publishers. USA 2004, ISBN: 1-4020-8064-6
- [16] ŠÍMA, J.: *Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy. [Geoinformatic terminology for surveyors and cartographers]*. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), Zdíby. 2003.
- [17] T-MAPY, *Geografická data* [online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://www.tmapy.cz>
- [18] USGS[online].[cit 2010-05-30]. URL: <http://ngom.usgs.gov/>
- [19] LI Z., ZHU Q., GOLD Ch. (2005): *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC Press, 2005. ISBN 0-415-32462-9

VIRTUÁLNÍ REALITA

ÚVOD

Definovat co dnes znamená pojem virtuální realita je velmi těžké. Jeden z „pionýrů“ prosazování virtuální reality na univerzitách G. Burdea začíná svoji definici virtuální reality, tím co virtuální realita není. Jiní autoři přirovnávají svoji představu virtuální realitu ke konstrukci vymyšlených světů v beletrii. Zajímavý a inspirativní obraz o současné rozšířenosti pojmu svědčí např. hledání i v Českém národním korpusu, kde mimo významu spojených s technikou se objevuje i mnoho dalších.

Proč je tedy těžké dnes po padesáti letech historie stále přesně definovat virtuální realitu? Hlavní příčiny jsou dvě.

1. Samotné spojení „virtuální“ a „realita“ je možné chápat jako protimluv. Pod významem slova virtuální většinou chápeme něco možného, zdánlivého, potenciálního nebo i neskutečného. Zatímco realita je pojímána jako skutečnost, existující svět okolo nás. Přesto je těžké pro mnoho lidí i uchopit takový běžný pojem realita. Materialisticky chápaná realita je definována jako prostor, kde existují věci nezávislé na našem vědomí. Někteří z autorů uvádějí důvodu tohoto spojení již ze středověku, např. Duns Scotus, který zpracoval nové pojetí „jsoucná“ jako něčeho „co je a čemu neodporuje být“, tzn. do reality zavádí i další možnosti ...).
2. Historie virtuální reality je na jedné straně historie vývoje technologie a na straně druhé také historií využívání virtuální reality. Výsledkem je, že mnozí autoři nepotřebují technologii, aby mohli pracovat s pojmem a výsledky zkoumání virtuální reality, ať již jsou to na jedné straně např. psychologové nebo na straně druhé spisovatelé. Velmi zajímavým důsledkem využívání technologií pro tvorbu virtuální reality je „zrealističtění“ virtuální reality. Zatímco totiž při čtení příběhu se skoro každému čtenáři vytváří vlastní a originální představa virtuálního světa, tak technologie dodá přesný obraz jednoho konkrétního světa.

Fakticky je první použití termínu virtuální realita přisuzováno vizionáři Jaron Lanierovi („Otec virtuální reality“), který ho v roce 1986 použil při rozhovoru se Scotem Fisherem z NASA. Myron Krueger používal termín „umělá realita“ a William Gibson vytvořil termín kyberprostor.

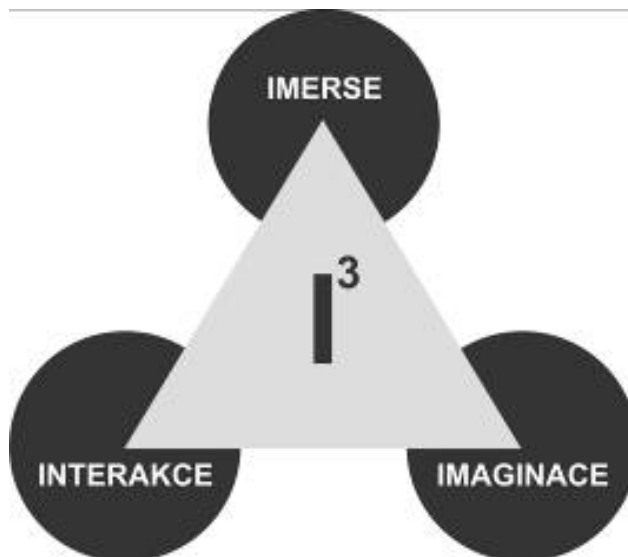
V 90. letech se prosazují v oblasti virtuální reality filosofové jako např. Michael Heim, který ve své knize *The Metaphysics of Virtual Reality* přibližuje pojem virtuální realita k počítačové hře¹².

Zajímavým poznatkem z počátků vývoje virtuální reality je její laicizace – zlidovění. Dříve než se virtuální realita stala objektem zkoumání vědců, tak s jejím využitím přišli spisovatelé a filmaři v oblasti sci-fi např. Ray Bradbury v knize „Veldt“ (Step) nebo film TRON.

Současné definice virtuální reality ji obecně vysvětlují jako **počítačem generované vícerozměrné prostředí, které umožňuje uživateli interakci s prostředím**. Je samozřejmé, že takto obecná definice dává veliký prostor pro další upřesnění. Velmi zajímavé je sledovat část o interakci, která se stále rozšiřuje. Dnes již chápeme interakci běžně jako možnost pohybovat se ve virtuálním prostředí, hýbat s předměty, poslouchat zvuky, experimentovat s pachy a chutěmi. Vícerozměrnost

¹² „We might answer: "Here, try this arcade game. It's from the *Virtuality* series created by Jonathan Waldern. Just put on the helmet and the datagloves, grab the control stick, and enter a world of computer animation. You turn your head and you see a three-dimensional, 360-degree, color landscape. The other players see you appear as an animated character. And lurking around somewhere will be the other animated warriors who will hunt you down. Aim, press the button, and destroy them before they destroy you. Give it a few minutes and you'll get a feel for the game, how to move about, how to be part of a virtual world. That's virtual reality!„ (filosofer Heim, 1993)

je možná ještě rozporuplnější, v tradičním pojetí je chápána jako vymezení prostorových souřadnic, popř. vymezení času. Z pohledu psychologicko-filosofického je možné chápat vícerozměrnost ve smyslu hypermodelů, kdy se nebude představovat jeden konkrétní reálný virtuální svět, ale uživatel bude moci virtualizovat své vlastní virtuální světy. Již zmiňovaný G. Burdea (1993) používá pro svoji definici virtuální reality tzv. „trojité I“ nebo „I³“. Kdy každý roh pomyslného významového trojúhelníku tvoří „immersion“ – vnoření, „interaction“ – interakce, „imaginace“ – lidská představivost.



Obrázek 40 Schéma procesu přenosu informace od reality do různých modelů virtuálního prostředí
Pramen: Burdea, G., Coiffet, P. (2003)

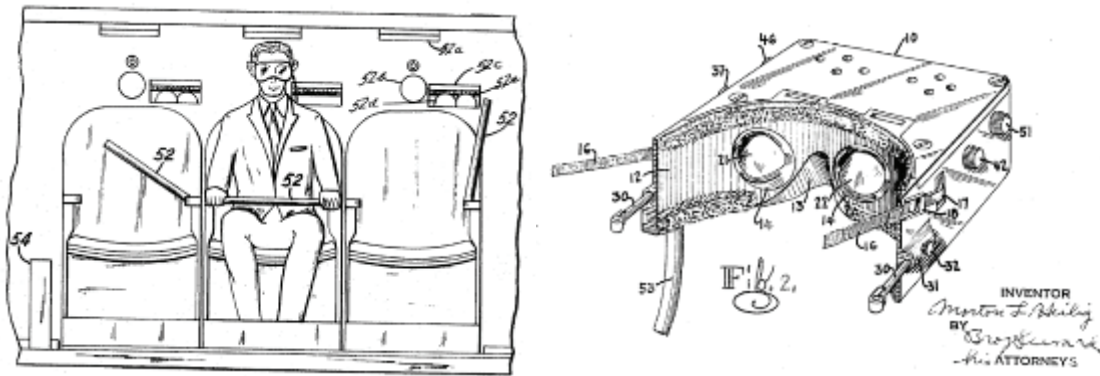
HISTORIE

rok	autor/autoři	výsledek	důsledky
1962	Morton Heilig	Sensorama	Počátky VR
1965	Ivan Sutherland	Ultimate Display	základy VR
1977	Dan Sandin, Richard Sayre, Thomas Defanti	The first dataglove	interakce dosažená pomocí pohybů části těla
1982	Bonnie MacBird	Tron	1. počítačově vytvořený film
1983	Myron Krueger	Videospace	1. virtuální prostředí
1984	William Gibson	Neuromancer	Výraz 'Cyberspace'
1987	Michael Piller	Star Trek - The Next Generation	„Holodeck“ - myšlenka pohlcující VR
1992	Stephen King	Lawnmower Man	možné negativní dopady využívání VR
1995	Silicon Graphics	VRML 1.0	Virtual Reality Modeling Language
1999	Larry and Andy Wachowski	The Matrix	Film propagující a odehrávající se ve VR - výdělek 750 mil. US \$
2009	James Cameron	Avatar	Film – masově propagující prostředí virtuální reality, podpořený 3D technologií obrazu

Pramen: <http://www.bilawchuk.com/mark/history.html>

Počátek historie virtuální reality je uváděn v souvislosti s vynálezem Mortona Heiliga („Otec virtuální reality“) – Sensorama. Kameraman, vynálezce a spisovatel, který v roce 1957 sestavil zařízení „SENSORAMA“ imitující různá virtuální prostředí. V roce 1962 přístroj patentoval a započal období komerčního využívání virtuální reality. Zařízení sloužilo pro 1-4 osoby a bylo schopno vytvářet iluzi pomocí 3 D filmu (jízda motorkou po městě), pachu (zplodiny z motoru, ...), stereo zvuku (motor, zvuky z města), vibrace sedadla (motor) a proudění vzduchu (imitace větru). Pro sestavení zařízení vynalezl kamery umožňující záznam 3D obrazu a také patentoval 3D

projekci. Mimo toto jeho pravděpodobně nejznámější zařízení je autorem několika dalších významných přístrojů v oblasti virtuální reality např. předchůdce Head Mounted Display (HMD) nazvaný „Telesphere mask“, „Experience Theatre“ v podstatě rozšíření technologie SENSORAMY do větších prostor.

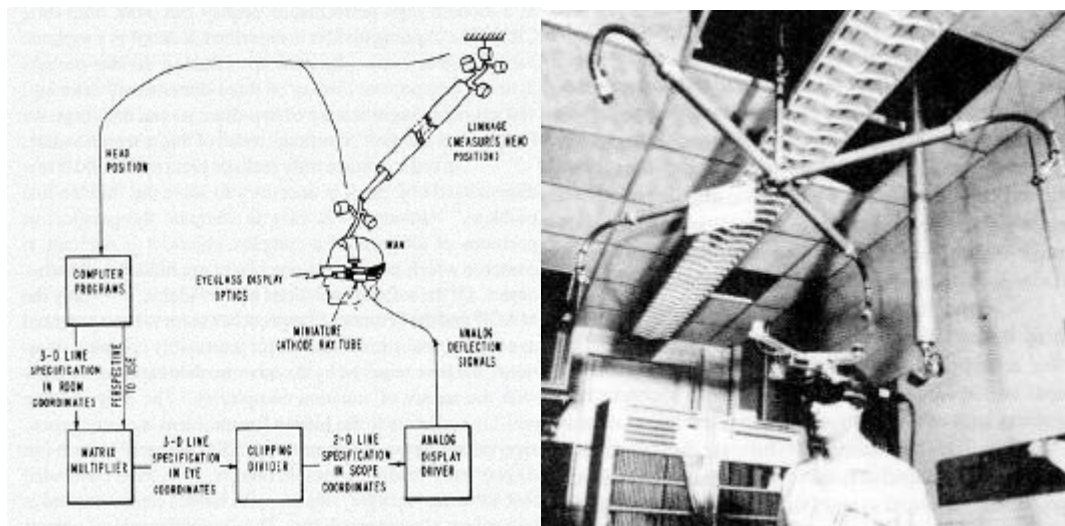


Obrázek 41 Náčrtky z patentové přihlášky „Experience Theatre“

Pramen: <http://www.bilawchuk.com/mark/history.html>

V roce 1961 inženýři z firmy Philco začali sestavovat první HMD nazvaný „Headsight“. Určený byl pro práci v nebezpečných situacích, kdy pohyby hlavou ovládaly kamerový systém a ten přenášel obraz do HMD. Obdobný systém využili ve firmě Bell Laboratories pro piloty vrtulníků (na displej se jim přenášel obraz z infračervené kamery. (<http://electronics.howstuffworks.com>))

Ivan Sutherland představil myšlenku technologie „Ultimate Display“, jako počítačem v reálném čase generovaný interaktivní virtuální svět zprostředkovaný skrz HMD s trojrozměrným zvukem a hmatovými podněty. V roce 1966 zkonstruoval první HMD, který dostával obraz generovaný počítačem. Zkonstruoval i sledovací systém, který umožňoval snímat pozici i orientaci HMD. Pro systém využil dvě technologie (ultrazvukový a mechanický).



Obrázek 42 Schéma a reálné zhotovení HMD

Pramen: <http://www.bilawchuk.com/mark/history.html>

Dalším významným objevem byl „Remote manipulator“ (Dálkový ovladač) zařízení umožňující pomocí elektronicko-mechanického, popř. hydraulického zařízení ovládat jiné zařízení bez fyzického kontaktu uživatele s cílovým zařízením. První prototyp (Master-Slave Manipulator Mk. 8) se objevil již v 50. letech za účelem zajištění vzdálené a bezpečné manipulace s radioaktivním materiálem (CRL). Zařízení zpopularizoval i film z roku 1971 „Kmen Andromeda“.



Obrázek 43 „Remote manipulátor“ z filmu „Kmen Andromeda“

Pramen: <http://www.bilawchuk.com/mark/history.html>

1981: Viewpoint Dependent Imaging – interaktivní stereoskopický systém

1985-1990: VIEWlab, NASA Ames Research Center

Na konci 80. let firma VPL uvedla první datové rukavice (Dataglove) na trh a téhož roku vyšel článek ve vědeckém časopise Scientific American o využití virtuální reality a jejího zprostředkování pomocí právě datových rukavic. V dnešní době je to jedna ze základních technologií umožňující interakci mezi uživatelem a virtuálním prostředím.

V 90. letech začíná rozvoj projekčních velkoplošných systému. V roce 1992 v laboratoři EVL (electronic visualization laboratory) na univerzitě v Chicagu byl vyvinut systém pojmenovaný CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment). Zařízení je složené z několika projekčních ploch (minimálně 3) na které je promítán synchronizovaný stereoskopický obraz. Uživatel stojící uvnitř zařízení má brýle, popř. další zařízení umožňující především interakci (datové rukavice, sledovací systém, ...). Zařízení doznalo od svého počátku mnoha změn, ale základní myšlenka zůstala stejná. V současné době jsou v České republice 3 obdobná zařízení (Škoda Auto v Mladé Boleslavi, ČVUT v Praze, UJEP v Ústí nad Labem). Odvozeným zařízením od CAVE se stal systém jednotěnné stereoskopické projekce (GEOWALL, ...). Následně se tyto systémy začaly komercializovat a v USA začali vznikat první 3D kina.

ROZDĚLENÍ VR

Jak již bylo zmíněno, problematika virtuální reality se vyvíjí velmi rychle. Logickým a hlavním důvodem je rozvoj hardwaru a softwaru, podpořený současnou komercializací a laicizací této problematiky.

Kdybychom měli rozdělit virtuální realitu na základě interakce s uživatelem, vyčleníme 3 subsystémy:

1. pasivní,
2. aktivní,
3. interaktivní.

Pasivní virtuální realita je obecně chápána jako technologie, kdy je uživatel pouze pasivním příjemcem virtuálních vjemů. Příkladem mohou být různá 3D kina. Tento subsystém je i z hlediska technologického nejméně náročný a většinou umožňuje účast většího počtu uživatelů.

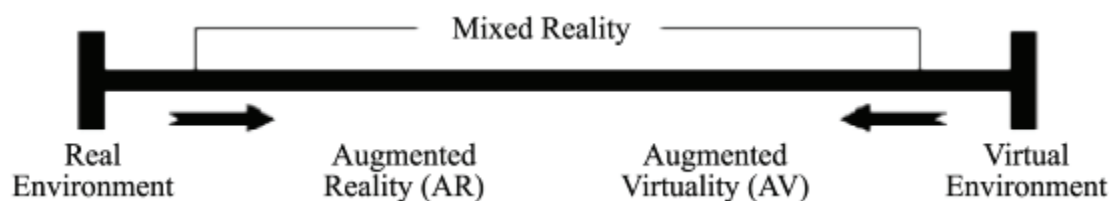
Subsystem aktivní virtuální reality je specifický tím, že uživatel sám rozhoduje o určitých aspektech virtuální reality, ve které je účastníkem. Nejčastějším příkladem aktivity uživatele je určitý druh pohybu (chůze, létání, plavání, ...).

Interaktivní virtuální realita je z pohledu uživatele nejdokonalější, na druhou stranu technologicky nejvíce náročná. V tomto subsystemu je uživateli umožněno mimo např. pohybu i zpětná reakce na určité vjemy, které může sám předávat do prostředí virtuální reality. Typickým příkladem může být použití technologií datových rukavic, které uživateli mohou za pomoci senzorů předávat různé informace a následně i umožnit zpětnou reakci od uživatele.

Dalším hlediskem rozdělení virtuální reality může být využití technologie projekce (nejvýznamnější část technologie zprostředkující virtuální realitu).

Z hlediska realističnosti zobrazovaného prostředí můžeme rozlišit 3 úrovně (Milgram, 1994):

1. realita (reálný prostor okolo nás, který jsme schopni vnímat svými smysly);
2. rozšířená realita (reálný prostor doplněný o další informace, které běžně svými smysly nejsme schopni zachytit nebo nám tyto informace doplňují a zpřesňují);
3. rozšířená virtualita (virtuální prostor rozšířený o reálné objekty);
4. virtuální realita (umělé počítačem vytvořené prostředí).



Obrázek 44 Virtuality Continuum

Pramen: Milgram, 1994

Technologie na implementaci rozšířené reality jsou v současnosti asi nejvíce komerčně prosperující. Jejich význam spočívá především v určité technologické jednoduchosti, oproti technologiím pro tvorbu virtuální reality.

Příkladem využití rozšířené reality v geografii mohou být oblasti:

1. mapování;
2. navigace nebo tzv. LBS (Local Based Service) široce implementované do mobilních technologií;
3. plánování krajiny;
4. vzdělávání;
5. cestovní ruch – průvodcovství, atd.

Z konkrétních systémů se jedná např. o Wikitude (<http://www.wikitude.org>), kdy za pomoci přístroje integrujícího fotoaparát, GPS, a popř. kompas jsou k fotografií přiřazovány další informace z databáze.

Konkrétním příkladem technologie umožňující využití rozšířené virtuality je např. 3D videokonference simulující setkání účastníků face-to-face ve virtuálním prostředí. Dalším příkladem jsou různá virtuální prostředí jako např. Second Life.

Virtuální realita je již pouze umělé prostředí umožňující simulovat různé objekty a jejich vztahy bez nutné vazby na jejich reálnou podstatu.

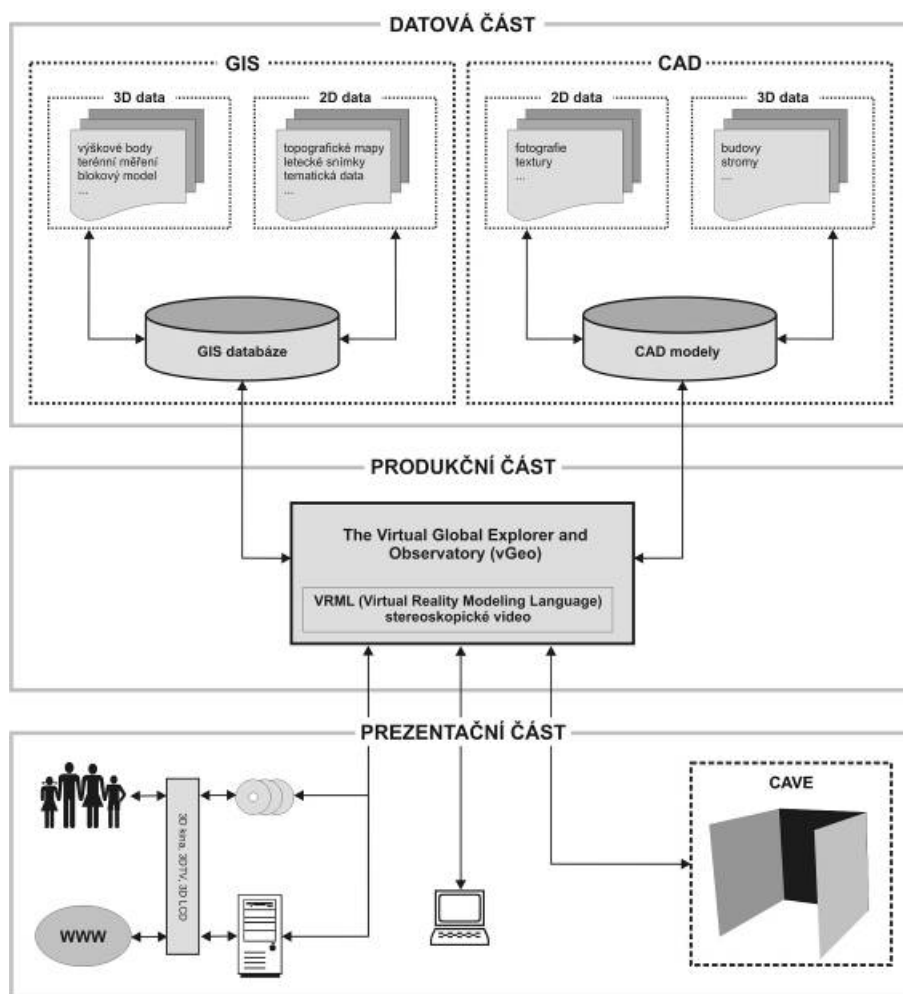
VR ARCHITEKTURA

Pro zprostředkování virtuální reality je nutné sestavit technologii umožňující:

1. vytvářet 3D obraz, popř. zvuk, chuť, hmatové vjemy, ...;
2. zprostředkovat tyto smyslové podněty uživateli;
3. umožnit interakci uživatele s prostředím.

VR architekturu je možné členit do 3 základních komponent:

1. datové;
2. produkční;
3. prezentační.



Obrázek 45 Architektura VR systému

Pramen: autor

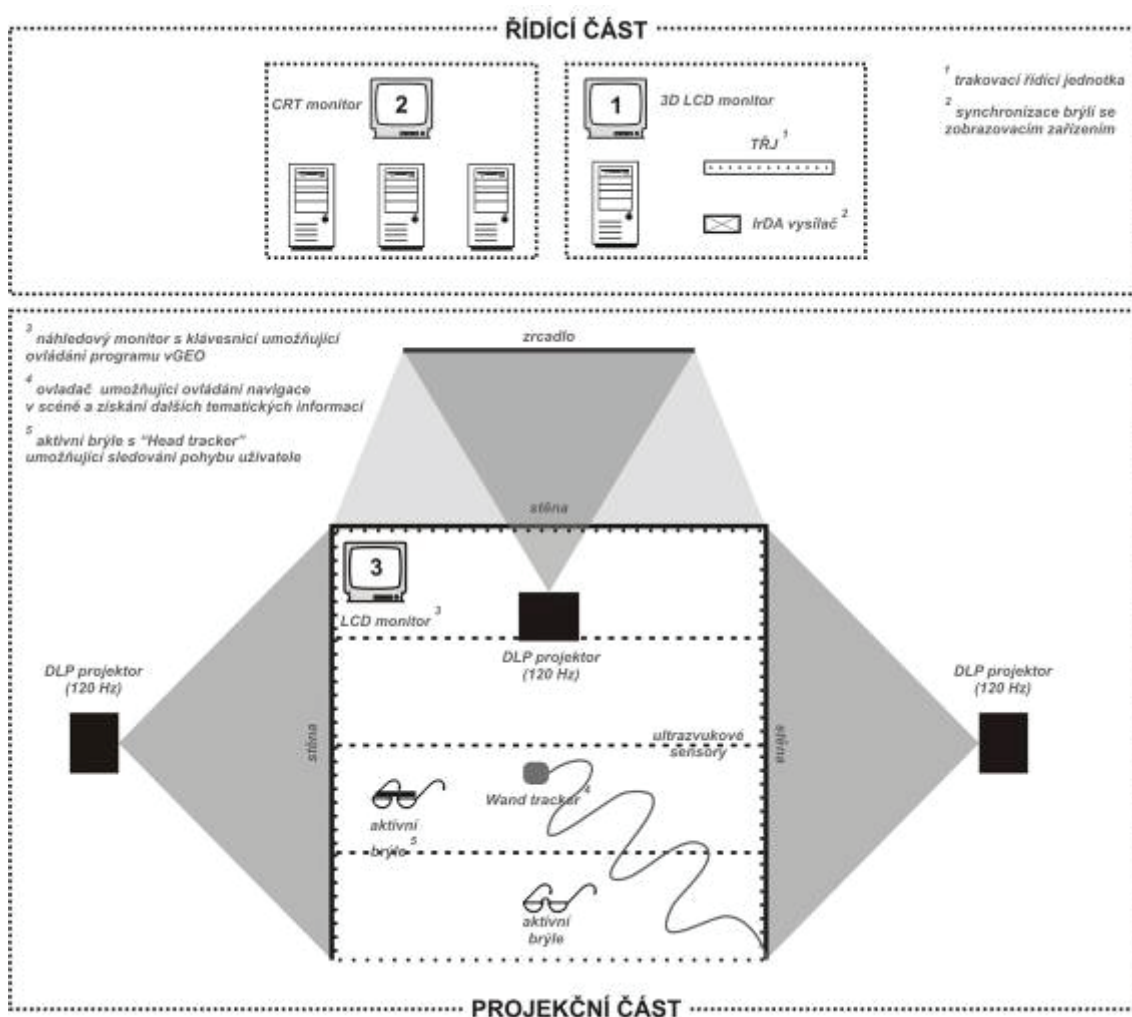
CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)

Základní technologií pro tvorbu prostředí virtuální reality jsou vícestěnové projekce (nejčastěji nazývané CAVE). V našem případě byla vybudována ve spolupráci s firmou Gali-3D třístěnná projekce (bok-střed-bok) doplněná pro získání interaktivity s prostředím o snímací ultrazvukový systém. Řídicí systém je tvořený 4 pracovními stanicemi propojenými do clusteru. Tři z pracovních

stanic zpracovávají 2D obrazová data do 3D obrazových a následně je vysílají do vizualizační části. Čtvrtá pracovní stanice je řídicí a zabezpečuje:

1. chod systému vGeo (tzn. zpracování VRML souborů do nativní struktury dat aplikace);
2. synchronizaci vysílaného obrazového signálu z dílčích grafických stanic na základě příjmu a zpracování interakce z sledovacího zařízení, resp. z řídicí jednotky sledovacího zařízení.

Projekční část systému tvoří trojice projektorů 3D projektor InFocus DepthQ HD WXGA, které zobrazují 3D obraz na 3 stěny spojené do CAVE o velikosti 230 x 200 cm a celkový objem CAVE je cca 11 m³ s čtvercovým půdorysem o ploše cca 5,3 m². Optimální naplnění CAVE jsou 3 účastníci, maximální je 5–6 účastníků. Jeden z účastníků má v brýlích zařízení umožňující trakovacímu (snímacímu) systému snímat jeho polohu a reagovat na prostorové změny polohy změnou obrazu. Snímací zařízení obsahuje drátové ovládací zařízení dávající uživateli možnost získat doplňující tematické informace a navigovat se prostředím virtuální scény. Schéma celého systému je zobrazeno na (Obrázek 44)..



Obrázek 46 Schéma systému CAVE

Pramen: autor



Obrázek 47 Práce v CAVE (fotografie upravená z důvodu větší ilustrativnosti)

Pramen: autor

HMD

HMD (Head Mounted Display) se řadí spolu s dalšími zařízeními mezi tzv. osobní grafické zobrazovače. Definovat je můžeme jako výstupní zobrazovací zařízení využitelné současně pouze pro jednu osobu. HMD je nejčastěji vytvářen v podobě speciálních brýlí, popř. helmy. Vizuální vjem je vytvářen pomocí dvou displejů (CRT, LCD, LED atd.) HMD v podobě helmy je často využíván pro aplikaci prostředí virtuální reality, zatímco v podobě brýlí pro aplikaci rozšířené reality. Zobrazovací část HMD je nejčastěji doplněna o stereo audio vstup. Současná nejmodernější zařízení jsou schopná registrovat pohyby hlavy, popř. očí a reagovat na ně v podobě dodávání dalších informací.



Obrázek 48 Ukázka HMD

Pramen: <http://www.5dt.com>

Zařízení na snímání pohybu a gest

Příkazy uživatele můžeme rozdělit do několika skupin, nejčastěji využívané jsou příkazy k navigaci virtuální scény a manipulaci s objekty včetně získání dalších informací (statické obrazy, text, ...), dále se může jednat o příkazy konfigurační (změna virtuální scény).

Navigačně-manipulační zařízení je možné definovat jako přístroj sloužící k interaktivní změně pohledu na virtuální scény a k prohlížení a manipulaci s objekty ve virtuální scéně. Neméně důležitou funkcí je zjišťování doplňujících informací o scéně popř. objektech ve scéně. K navigaci ve virtuálním prostředí je možné využít Head Tracker, 3D trackball, 3D myš, ...

Zařízení snímající pohyb uživatele je možné opět rozdělit podle typu pohybu, který vykonává na 2 skupiny:

- pohyb těla;
- gesta.

Pohyb těla je nejčastěji sledován pomocí různých druhů trakovacích¹³ zařízení. Zařízení se nejčastěji rozdělují podle metody přenášení pohybu do zaznamenávacího zařízení. Jedná se o:

- mechanické
- ultrazvukové
- magnetické
- optické
- hybridní¹⁴.

Snímání gest je nejčastěji řešeno přes různé druhy datových rukavic¹⁵. Při přenášení gestikulace člověka se využívá jen pohybů prstů na rukách.

VIRTUÁLNÍ REALITA X GEOGRAFIE

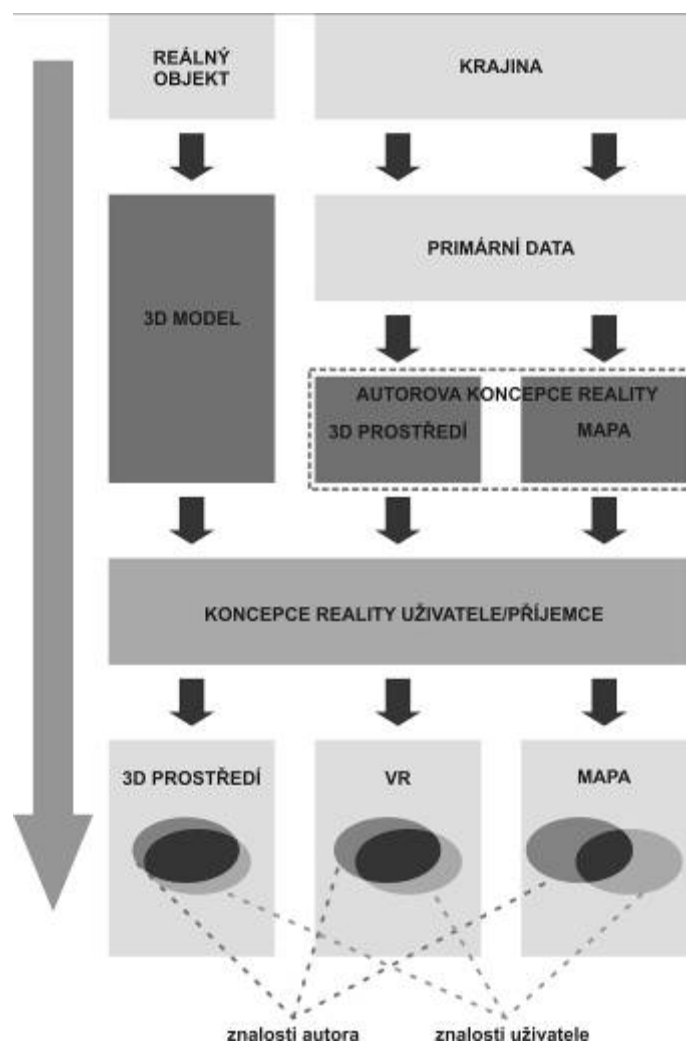
Vztah mezi virtuální realitou a geografii je oboustranný. Lze mluvit o využití virtuální reality v geografii, ale také o využití geografie ve virtuální realitě.

Obecně je možné říci, že geografie představuje pro virtuální realitu zdroj tematického obsahu např. krajiny. Naopak virtuální realita dodává geografickému výzkumu, ale i vzdělávání nástroj, který geografové hledají již od antiky – ideální umělý obraz světa.

¹³ Trakování je převzato ze slova „tracking system“, který znamená snímací/sledovací systém.

¹⁴ Detailní popis jednotlivých typů zařízení přesahuje záměr této publikace, další informace můžete nalézt např. v publikaci *Virtual reality technology* od G. Burdea a P. Coiffet z roku 2003.

¹⁵ Datové rukavice z angl. *datagloves*, popř. *wired gloves* nebo *cybergloves*.



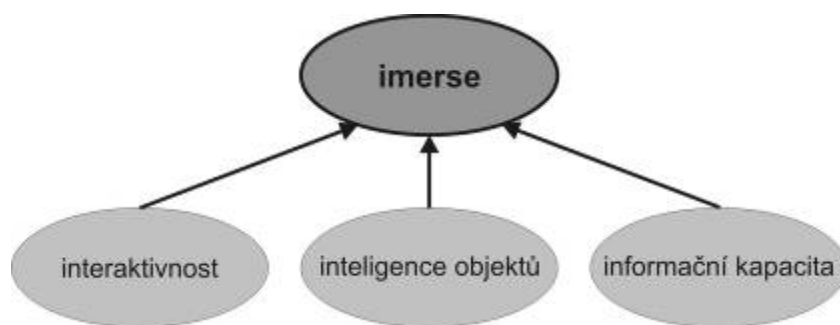
Obrázek 49 Schéma procesu přenosu informace od reality do různých modelů virtuálního prostředí

Pramen: autor

MacEachren (1999) doplňuje 3 základní faktory „I-factors“ (Heim, 1993) virtuálního prostředí (imersi, interakci a informační kapacitu) o další faktor – inteligenci objektů. Při bližším rozboru těchto faktorů je můžeme charakterizovat:

1. imerse – schopnost virtuálního prostředí pohlit smysly uživatele, především zrak, sluch a hmat;
2. interaktivnost – schopnost prostředí přijímat podněty od uživatele, zpracovat je a reagovat na ně;
3. informační kapacita – množství informací, které je schopno prostředí zpracovat a zobrazit v reálném čase;
4. inteligence objektů – schopnost objektů ve virtuálním prostředí reagovat obdobně jako v reálném prostředí, popř. reagovat „reálně“ na podněty uživatele.

Všechny 4 faktory závisí na úrovni technologického vybavení, které produkuje virtuální prostředí. Porovnáním faktorů je možné stanovit, že nejkompexnějším faktorem je imerse, tedy pohlčení smyslů prostředím. Z hierarchického hlediska je pak imerse ovlivněna dalšími třemi faktory (Obrázek 48).



Obrázek 50 Hierarchické členění "I-faktorů"

Pramen: autor

Z hlediska pohledu geografie je možné především faktory interaktivnosti, inteligence objektů a informační kapacity dále specifikovat. Interaktivnost geografického virtuálního prostředí lze využít především k prostorové navigaci prostředím, které je georeferencované. Dále to je schopnost získat další doplňující informace o objektech, příkazy ke změně měřítka, změna objektů (při územním plánování) atd. Informační kapacita je zásadní pro reálnost prostředí, která je ovlivněna podrobností a fotorealističností. Bez dostatečné informační kapacity prostředí není možné generovat přesvědčivě reálně vypadající virtuální prostředí. Bohužel je tento faktor nejvýznamněji ovlivněn výkonem dostupného hardwaru a softwarovým řešením. Je nutné si uvědomit, že veškeré informace se generují a zobrazují v reálném čase. Inteligenci objektů ve vztahu k využití v geografii je možné si představit např. pohybem vegetace, atmosférickými jevy, pohybem Slunce a reakci na něj v podobě změny stínů, resp. osvětlení atd. Již ze specifikace těchto faktorů můžeme říci, že geografická virtuální prostředí jsou specifická. V tematické rovině jde především o virtualizaci krajiny nebo její části. S rozvojem hardwarového vybavení se tento směr rozvoje dále prohlubuje a virtuální realita se stává prostředkem ke zkoumání krajiny. S tímto vývojem se spojuje rozvoj různých pojmů jako „virtuální krajiny“, „virtuální scény“, „virtuální města“ a mnoho dalších. Tyto pojmy jsou vázány na různé případové studie, které většinou řeší implementaci konkrétní technologie.



Obrázek 51 Hierarchicko-tematické rozdělení virtuálních prostředí se zaměřením na krajinu

Pramen: autor

Döllner (2007) se zabývá potenciálem a limity tzv. virtuálních krajin, které definuje jako část reálné nebo imaginární krajiny. Stanovuje 5 klíčových vlastností systému umožňujících vizualizace virtuální krajiny:

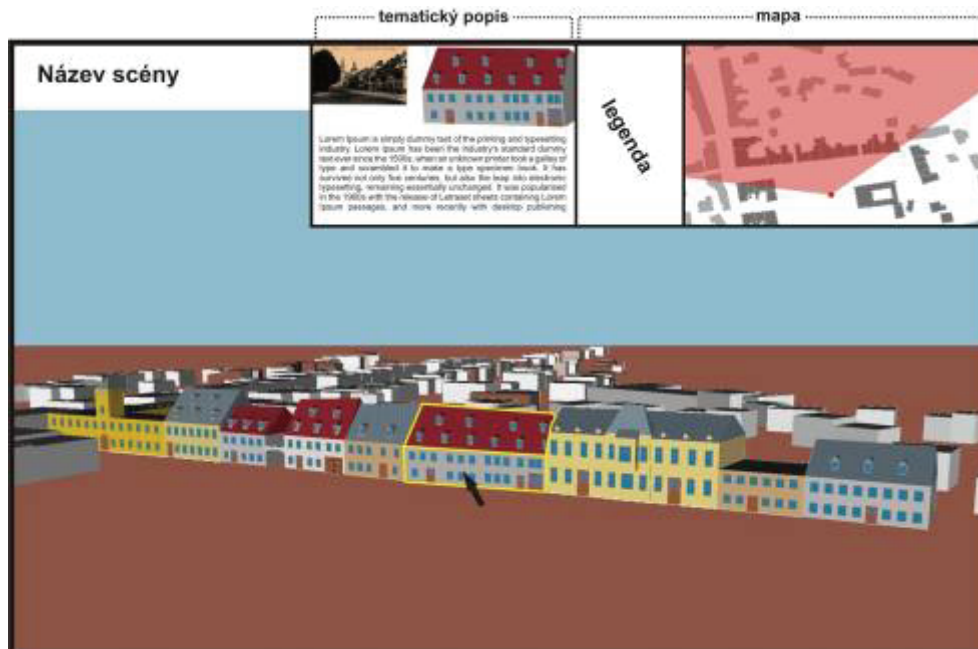
1. schopnost vykreslování fotorealistických krajin ve velkém měřítku;
2. realistické ztvárnění vegetace;
3. možnost přímé manipulace a úpravy objektů v krajině;
4. schopnost bezproblémové integrace heterogenních 2D a 3D geodat;
5. možnost zobrazit krajinu ve všech měřítkách i pohledech (rovinné, z úrovně chodce, z ptáčích perspektivy atd.).

Při kritickém zkoumání výše uvedených bodů je z hlediska pohledu využití virtuálních krajin v prostředí plánování krajiny nutné vymezit další 2 vlastnosti:

6. schopnost generalizace a stanovení legendy pro jednotlivé měřítkové úrovně;
7. možnost provádět měření nad geodaty.

Poslední dva body jsou v určitých významech v konfliktu s předchozími. Stanovení legendy v kartografickém smyslu znamená v praxi sjednotit symboly pro homogenní skupiny prvků v modelu a nahradit je. Bod 6 je tedy v přímém protikladu k bodu 2, který požaduje realistické ztvárnění vegetace. Tento zásadní problém je možné vyřešit stanovením měřítkových úrovní a pro každé definovat jinou úroveň legendy. Je logické, že v případě krajiny v měřítku 1:1 bude těžké stanovit legendu v kartograficky chápaném významu. Daný problém je možné vyřešit např.:

1. hypertextovými odkazy s doplňujícími informacemi, které již jsou generalizované;
2. doplňkovou mapou, která zobrazuje prostorovou generalizovanou situaci uživatele.



Obrázek 52 Ukázka kompozičního ztvárnění virtuální scény s doplňujícími prvky

Pramen: autor

Významný potenciál pro využití virtuální reality v plánování krajiny. Haklay (2002) vytvořil přehled výzkumných prací, v nichž zásadní metodou je užití virtuální reality. Dospěl k

závěru, že více než 50 % tvoří výzkumy zaměřené na územní a regionální plánování, modelování, simulace a hodnocení dopadů změn v území. Paar (2006) ve své práci potvrzuje, že naprostá většina (91 %) expertů, profesně orientovaných (v soukromé i státní sféře) na územní plánování a rozvoj, je přesvědčena o významné přidané hodnotě, kterou aplikace 3D vizualizace a imersivní virtuální reality do procesu územního plánování přináší. Vhodnost, příp. efektivita, užití virtuální reality v praxi oproti klasickým dvourozměrným prostředkům byla již několikrát empiricky dokázána (Kirschenbauer, 2005).

ZDROJE

- [1] Burdea, G., Coiffet, P. (2003): *Virtual Reality Technology (second edition)*. 2. vyd. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.. 444 p. ISBN 0-471-36089-9.
- [2] Döllner, J., (2007): *Real-Time Virtual Landscapes*. In: Cartwright W, Peterson MP, Gartner G. (eds), *Multimedia Cartography*, 2nd ed, Berlin, Heidelberg: Springer.
- [3] Heim, M. (1993): *The metaphysics of virtual reality*. New York, Oxford University Press.
- [4] Haklay, M. (2002): *Virtual Reality and Geographical Information Systems: Analysis and trends*. In: *Virtual Reality and Geography*. Chapter in Fisher, P., Unwin, D. (ed.) . London: Taylor and Francis, pp. 47-57.
- [5] Kirschenbauer, S. (2005). "Applying "True 3D" techniques to geovisualization: An empiric study." In: *Exploring Geovisualization*, J. Dykes, A. M. MacEachren, and M. J. Kraak, eds., Elsevier Ltd., chapter 18, pp. 363–387.
- [6] MacEachren, A.M., a kol. (1999): *Exploring the potential of virtual environments for geographic visualisation*. Dostupné z: <http://www.geovista.psu.edu>.
- [7] Milgram, Paul a kol. (1994): *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. Proceedings of Telemanipulator and Telepresence Technologies. pp. 2351–34.
- [8] Paar, P. (2006): *Landscape visualizations: Applications and requirements of 3D visualization software for environmental planning*. *Computers, Environment and Urban Systems*, Elsevier, 30, pp. 815-839.
- [9] Howstuffworks (2010): Howstuffworks. [Citace: 20. 9 2009.] Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com>
- [10] 5dt (2010): *5dt*. [Citace: 20. 9 2009.] Dostupné z: <http://www.5dt.com>
- [11] Bilawchuk, M. (2004): *Virtual reality*. [Citace: 20. 9 2009.] Dostupné z: <http://www.bilawchuk.com/mark/history.html>



CEVRAMOK

Katedra geografie PŘF UJEP
U Panského dvora 986/3
400 96 Ústí nad Labem
web: <http://cevramok.ujep.cz>



„Tento projekt je součástí IPRM Ústí nad Labem – Centrum“

CZ.1.07.2.2.00/07.0053

Inovace geograficky orientovaných studijních oborů s cílem zvýšit míru uplatnění absolventů na trhu práce