

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Tomáš BARTALOŠ

KARTOGRAFICKÝ PRODUKT S UŽITÍM 3D RENDEROVÉ TECHNOLOGIE

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jan Kolář, Csc.

Praha 2006

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze
Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Fakulta: Přírodovědecká
Školní rok: 2005 - 2006

Zadání bakalářské práce

pro Tomáše BARTALOŠE
obor Geografie a kartografie

Název tématu: Kartografický produkt s užitím 3D renderové technologie

Zásady pro vypracování

Zdrojová data pro kartografický mapový produkt (čáry, polygony, atributy, DTM, 3D modely) vyžadují renderový nástroj (některé jsou volně dostupné) k získání výsledné 3D mapy pro určitý účel. Možnosti renderové technologie budou předvedeny v podobě vizualizace kartografického produktu v 3D s využitím RIB formátu vztahující renderovou techniku do kartografického prostředí (s využitím stínů). Tato metoda bude prakticky využitelná hlavně pro kartografické produkty velkého měřítka (střední města, zábavní centra, lyžařská střediska nebo historická místa). Může to být levnější a jednodušší nahrazení ručně kreslených map a plánů přinejmenším ve stejné kvalitě.

Handwritten notes:
Dokladová práce
Dokladová
Vedoucí
Vedoucí katedry

009.92-2

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 30-50 stran

Seznam odborné literatury:

Server 3DJournal.com

Frank A.U., Egenhofer M.J., Computer Cartography for GIS: An Object Oriented View on the Display Transformation, Computers&Geosciences 18 (8): 975-987, 1992
<http://www.spatial.maine.edu/~max/CoCa.pdf>

Froumentin M., Willis P., An Efficient 2,5 Rendering and Compositing System, Eurographics, 99, 3 (18), 1999
<http://www.w3.org/People/maxf/past/research/publications/eg99.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jan Kolář, Csc

Konzultant bakalářské práce: mgr. Pavel Šára

Datum zadání bakalářské práce: 3.11.2005

Termín odevzdání bakalářské práce: 5.6. 2006

Handwritten signature of Jan Kolář

.....
Vedoucí bakalářské práce

Handwritten signature of Jan Kolář

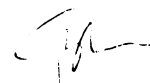
.....
Vedoucí katedry

V Praze dne 31.10.2005

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu literatury. Souhlasím s jejím zapůjčováním.

V Praze dne 1.6. 2006

Tomáš Bartaloš



Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, panu Doc. Ing. Janu Kolářovi, CSc., za podnětné rady a připomínky, které mi pomohly vytvořit tuto práci.

ABSTRAKT

Renderová technologie je silným nástrojem vizualizace. Kartografie, jako transformační proces zobrazení 3D reality do obrazové formy je formou vizualizace geoprostorových dat. Cílem této práce je analýza možností 3D renderové technologie využitelných pro kartografickou tvorbu. V závěru je představen jednoduchý produkt s využitím renderování.

Klíčová slova: geovizualizace, 3D renderování, 3D mapy

OBSAH

1 Úvod	4
1.1 Úvod do problematiky	4
1.2 Literární řešerše	4
1.3 Cíl práce	5
2 3D kartografické produkty	6
2.1 3D mapa	6
2.2 Rozdělení dle 3D prezentačních technik	6
2.2.1 Realistické reprezentace	7
2.2.2 Sugestivní reprezentace	7
2.3 3D interaktivní techniky současnosti	8
3 Vizualizace kartografického produktu	9
3.1 Vizualizační postup	9
3.2 Od vizualizace přes vizualizaci vědeckých dat ke geovizualizaci	10
4 Vizualizační techniky	11
4.1 Rozdělení vizualizačních technik	11
4.1.1 Skalární algoritmy	12
4.1.2 Vektorové algoritmy	13
5 Renderování	14
5.1 Reprezentace těles	14
5.1.1 Hraniční reprezentace (B-rep)	14
5.1.2 Trojúhelníkové síť	14
5.1.3 Konstruktivní geometrie těles (CSG - constructive solid geometry)	15
5.2 Modelování těles	15
5.3 Rendering Pipeline	16
5.4 Osvětlení a stíny	18

6 Globální zobrazovací metody	20
6.1 Zobrazovací rovnice	20
6.2 Ray casting (vržení paprsku) a Ray tracing (sledování paprsku)	21
6.3 Radiozita (radiosity)	23
7 Specifikace RIB	
(Renderman Interface Bytestream) formátu	25
7.1 RIB	25
7.2 RenderMan	25
7.3 Shading language (stínovací jazyk)	26
8 Kartografické aspekty a 3D renderová technologie	27
8.1 Vlastnosti kartografického produktu	27
8.2 Pohled na scénu	28
8.3 Kartometrie, morfometrie	28
8.4 Kartografická interpretace	29
8.4.1 Vizuální parametry	29
8.4.2 Level of detail (stupeň detailu)	30
8.5 Renderování scény	30
8.5.1 Osvětlení	30
8.5.2 Stínování	31
8.5.3 Atmosférické a environmentální efekty	31
8.6 Posouzení možností renderové technologie z hlediska kartografie	31
8.6.1 Fotorealismus vs. nefotorealistické zobrazení	32
8.6.2 Srovnání přístupu kartografie a renderové technologie	33
8.7 Využití renderování v kartografii	34
9 Kartografický produkt	35
9.1 Volba území a nástrojů	35
9.1.1 Volba území	35
9.1.2 Volba softwaru	35
9.2 Postup zpracování	35
9.2.1 Zpracování dat	35

9.2.2 Modelování	36
9.2.3 Renderování	36
10 Závěr	38
10.1 Diskuze	38
10.2 Hodnocení	38
Literatura	40
Seznam obrázků	45
Seznam tabulek	45
Seznam příloh	45
Přílohy	46

1 ÚVOD

1.1 Úvod do problematiky

Způsobů zachycení trojdimenzionální reality (geoprostoru) je mnoho, ale i v současnosti se stále nejrozšířenějším jeví klasická mapa. Trend posunu směrem k 3D prezentacím je ale jednoznačný a dnes už o něm nelze pochybovat. 3D techniky nejsou žádnou novinkou, stačí se podívat do historie na první glóby a prostorové modely. S nástupem výpočetní techniky vyvstala nutnost digitálního zpracování geodat a jejich následná vizualizace, ať už na monitoru nebo v tištěné formě. Různé způsoby vizualizace a renderových, tedy zobrazovacích algoritmů také prodělaly značný vývoj. Uplatnění renderových technologií se brzo potvrdilo např. ve filmovém průmyslu, PC hrách, designu apod. V kartografii je renderová technologie zmiňována především ve spojitosti s 3D mapami a různými 3D prezentacemi krajiny. Nakolik jsou možnosti renderování pro kartografii zajímavé je předmětem této práce.

1.2 Literární rešerše

Počítačová grafika a zejména renderová technologie patří mezi mladé obory, kterých vývoj je úzce spjat s rozvojem výpočetní techniky. Proto také literatura zabývající se touto oblastí přímo souvisí s tímto vývojem.

Souhrnná publikace zahrnující celé téma této práce, včetně využití 3D renderování v kartografii není v současné době k dispozici. Dostupné zdroje je možné rozdělit podle zaměření na ty, které se zabývají samotným procesem renderování z hlediska využití v počítačové grafice, a na práce týkající se vizualizace v kartografii.

Ucelené informace o počítačové grafice pro 2D a 3D prostor zpracovali *Žára, Beneš, Sochor, Felkel (2005)* (přepřacované vydání z 1998). Další obecné informace, zejména co se týká terminologie a základních technik, lze najít na volně přístupných webových stránkách se zaměřením na 3D grafiku. Teoretická práce *Martiška (2002)* se zabývá výhradně matematickými principy grafických systémů. Dílčí informace včetně praktického použití jsou pak dostupné v dnes již bohaté literatuře uživatelských příruček pro jednotlivé CAD/CAM systémy, 3D modelovací programy, GIS, (příp. grafické editory), apod.

Z cizojazyčných publikací převažuje anglicky psaná literatura. Dostupná je nová obsáhlá příručka editorů *Hansena a Johnosa (2005)*, která shrnuje poznatky a teorii vizualizace podle

jednotlivých přístupů. První 3D techniky použité v kartografické tvorbě pak analyzuje *Kraak* ve starší studii z roku 1988. Nověji se téma kartografické vizualizace objevuje především ve spojitosti s GIS (*Hearnshaw, Unwin 1994*), nebo 3D aplikace v GIS (*Raper 1993*). Nová publikace *Voženilka (2005)* v několika kapitolách popisuje vztah 3D prezentací a kartografie, 3D kartografický dizajn a také vliv VRML (Virtual Reality Modeling Language) na kartografii a opačně.

Články z odborných časopisů, příspěvky na mezinárodních konferencích apod. jsou většinou obsahově úzce specializované, téměř výhradně v angličtině. Podrobné informace k metodám pro zobrazování prostorových dat jsem čerpal z prací *Franka a Egenhofera (1992)* a *Froumentina a Willisa (1999)* pro 2.5D zobrazení. Grafické aspekty prezentace 3D map zpracoval *Haerberling (2002, 2003)* a starší pojetí 3D prezentací v kartografii lze najít v klasických učebnicích kartografie - *Hojovec a kol. (1987)*, *Čapek (1992)*, *Robinson et al. (1995)*.

Cenné zdroje informací mi dále poskytly práce zabývající se 3D modelováním měst *Šleisová (2005)*, *Yang, Quing, Chaozheng, Bing (2004)*, také např. práce zabývající se tvorbou pohledových map (*Belková 1994*).

Nové trendy, studované oblasti vizualizace a její využití v kartografii lze sledovat na webových stránkách předních kartografických ústavů a univerzitních geografických pracovišť (*Eidgenössische Technische Hochschule Zürich - Institut für Kartographie (Švýcarsko)*, *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (Holandsko)*, *Geovista Center při Penn State University (Spojené státy americké.)*). Zde najdeme konkrétní informace k řešeným projektům v současnosti.

1.3 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zachycení podstatných vlastností a možného využití 3D renderové technologie v kartografii. V první, teoretické části, budou popsány základní přístupy a techniky renderové technologie v současnosti a nástin možností využití. Tato technologie bude vhodná především pro kartografické produkty velkého měřítka. Uplatnění těchto produktů proto budu očekávat především v oblasti památkové péče (historická centra), cestovním ruchu (zábavní centra, lyžařská střediska), ale také např. v urbanismu (vliv nové zástavby na krajinu) nebo lesním hospodářství (mapování porostů). Druhá část pak má za cíl tyto poznatky využít při sestavení jednoduchého kartografického produktu s užitím 3D renderové technologie.

2 3D KARTOGRAFICKÉ PRODUKTY

Snaha kartografů o co nejdělnější zachycení prostorově vztažených dat byla v minulosti dlouho omezena na transformaci do 2D prostoru - mapy, plánu, nákresu, schématu. Jedinou možností zachycení celé reality byly prostorové modely a v případě celého zemského tělesa glóby (v speciálním případě také např. glóby znázorňující rozložení souhvězdí). U pohledů z ptačí perspektivy, pohledových map a jim podobných technik převládala umělecká složka nad kartografickými zásadami, byly tedy kartografii vzdáleny. Proces tvorby byl omezen na manuální výrobu, v případě modelů z materiálů jako např. dřevo, papír, později plasty a v případě map a mapám podobných zobrazení na kreslení a grafickém citění kartografa.

2.1 3D mapa

Možnosti výpočetní techniky otevírají nové pojetí 3D kartografických produktů. Pojem „3D mapa“ nemá dodnes jasnou definici, přestože je používán. *Haerberling (2002)* udává jako důvod pro používání tohoto spojení to, že takto zpracovaná mapa, resp. na ní zobrazená krajina je vnímána člověkem v 3D perspektivním zobrazení. Mapa pak proto, že tohoto zobrazení je docíleno pomocí základních kartografických postupů, jako je použití symbolů a generalizace. Jako vhodnější se pak naskýtá pojem mapám podobné reprezentace. V konečném důsledku každá z výše zmíněných prezentací nějakým způsobem vychází z trojrozměrného kartografického modelu a vyjadřuje také nepřímou nadmořskou výšku jako třetí rozměr, např. formou vrstevnic. Všechny tyto produkty se konečnému uživateli prezentují na papíře nebo obrazovce, tedy 2D médiu (s výjimkou modelů). Proto otázka, které z nich lze označit za 3D mapy, zůstává otevřená (*Voženilek 2005*).

2.2 Rozdělení dle 3D prezentačních technik

Kraak (1988) rozděluje základní techniky pro prezentaci 3D map na dvě základní skupiny. První je tvořena reálnými 3D prezentacemi, kdy můžeme třetí rozměr vnímat hmatově. Sem řadíme glóby, reliéfové mapy a další. Druhou skupinu dále dělí v závislosti na počtu obrázků, které jsou nutné k dosažení 3D vjemu u pozorovatele. Pro vícesnímkové techniky je obvykle nutné použít speciálních zařízení pro vnímání 3D efektu, navíc část populace vůbec

nemusí být schopna pomocí některých technik tento vjem vnímat a dochází tak k omezení jejich použití. Použití jednotlivých technik se odvíjí od konečného výstupu, který očekáváme.

2.2.1 Realistické reprezentace

Výhodou těchto reprezentací je jejich skutečná třírozměrnost. Lze je hmatově vnímat, i když nejsou většinou pro tento účel primárně určené. Největší nevýhodou je jejich neskladnost a pracná výroba. Tyto techniky jsou vhodné pro zobrazení větších územních celků, např. celého městského centra (nebo Země v případě glóbulů), kdy nám více jde o prostorový charakter celku, než o konkrétní detaily.

2.2.2 Sugestivní reprezentace

Jednosnímkové využívají speciálních technik, pomocí kterých lze dosáhnout 3D vjem i přesto, že výsledné zobrazení se nachází na 2D médiu. Mentální mapy a pohyb paralaxy zde představují specifický případ.

Dvousnímkové techniky pro vyvolání stereovjemu vyžadují další pomůcky. Optické stereo pracuje se dvěma snímky. Každý je zobrazením stejného území, z jiného stanoviska, ale stejné vzdálenosti. Pomocí stereoskopu jsou pak obrazy přiblíženy na vzdálenost blízkou vzdálenosti mezi očima a v mozku pak vzniká virtuální obraz, který se jeví jako trojdimenzionální. V případě anaglyfu pracujeme se dvěma snímky modré a červené barvy (komplementární barvy), které se od sebe liší jen nepatrně. Pomocí brýlí, kde pro jedno oko je použit červený a pro druhé modrý filtr, je docílen 3D vjem scény. Polarizační technika využívá podobný princip, ale místo barevných filtrů jsou využity vlastnosti polarizovaného světla a přes brýle je pro každé oko propouštěno jinak polarizované světlo.

Vícesnímkové techniky používají speciální postupy. V případě holografie se jedná o záznam objektu pomocí laseru, kdy kromě fáze je uchován i údaj o amplitudě vlnění, zatímco běžná fotografie zachytává pouze údaj o intenzitě. Díky tomu lze světelný paprsek rekonstruovat, a tím vzniká 3D obraz původní scény. Varifokální zrcadla vytváří 3D iluzi pomocí sekvence po sobě rychle promítaných snímků (každý zaznamenává jinou prostorovou hloubku scény) na vibrujícím zrcadle. Pro vnímání 3D obrazu dosaženého pomocí těchto technik nejsou potřebná dodatečná zařízení, označují se termínem autostereoskopická. Nevýhodou je ale složitost zařízení pro vytváření 3D obrazů a omezení na laboratorní podmínky.

2.3 3D interaktivní techniky současnosti

Současné moderní trendy již nabízejí pokročilá řešení. Do popředí zájmu vstupuje aspekt interaktivnosti, kdy koncový uživatel může pomocí specializovaného, ale lehce dostupného softwaru jednoduše prohlížet 3D model a pohybovat se intuitivně ve virtuálním 3D prostředí dle svých potřeb, bez nutnosti dalších znalostí. Pojem VRML (Virtual Reality Modeling Language) se poprvé objevuje v polovině 90. let minulého století. Označuje značkovací jazyk (rozšíření jazyka HTML pro tvorbu www stránek) a standard pro zobrazování 3D vektorové grafiky, zejména v internetovém prostředí. Pomocí tohoto jazyka lze vytvářet virtuální svět.

Virtuálním světem se rozumí soubor zapsaný v jazyku VRML pro manipulaci s prostorovými daty s koncovkou *.wrl (*Fairbairn, Parsley 1997*). Tímto virtuálním světem lze interaktivně procházet, prolétat a nabízí bezprostřední vizuální vjem, blízký vnímání běžné trojdimenzionální reality. Toto prostředí lze dále rozšířit o zvukové a hmatové vjemy, které celkový dojem ještě více přibližují realitě. Dále lze do scény přidávat další odkazy, např. na jiné internetové adresy, doplňující texty, obrázky apod. Novější standard X3D dále rozšiřuje možnosti VRML, umožňuje např. animaci postav (*WEB 3D Consortium*).

Pro reprezentaci 3D geografických dat, ve výše uvedeném smyslu, pomocí počítače pak mluvíme o geoprostorovém virtuálním prostředí (Geospatial Virtual Environments - GeoVEs) (*Voženílek 2005*). Charakteristiky vizualizace v kartografii jako interaktivita při manipulaci s daty, kontrola reprezentace uživatelem, zkoumání obrazu, vytváření propojení map nebo vytvoření odkazu na jiné formy prezentace (obrázky, texty, grafy a jiné) lze dále rozšířit o další atributy: 3D a 4D prostředí se zahrnutím časové řady (animací), pohyb a pohled přes bariéry a bez ohledu na gravitaci, tedy úplné ponoření se do prostředí.

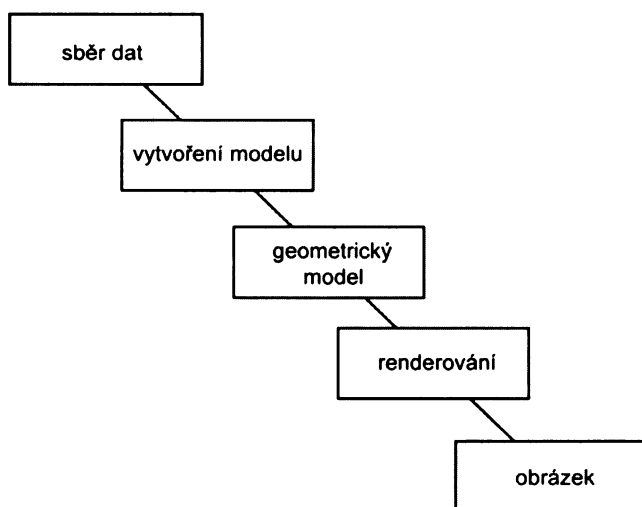
O významnosti nástroje VRML svědčí i založení GeoVRML pracovní skupiny při ICA (International Cartographic Association) v roce 1998 (*GeoVRML*) s cílem vytváření nástrojů a pracovních postupů pro reprezentaci geografických dat pomocí VRML a jejich další propagace.

Obecně tedy mezi 3D produkty můžeme řadit kartografická díla jako jsou 3D modely měst, 3D mapy, 3D kartogramy, perspektivní pohledy, panoramatické mapy, pohledové mapy, plastové modely, piktoriální mapy, glóby a další.

3 VIZUALIZACE KARTOGRAFICKÉHO PRODUKTU

3.1 Vizualizační postup

Současná úroveň poznávání skutečnosti poskytuje nepřehledné množství dat ze všech oblastí přírodní i humánní sféry. V případě, že mluvíme o datech, která jsou vztažená ke konkrétnímu (geo)prostoru, mluvíme o (geo)prostorových datech. Cílem kartografa je prezentovat tato prostorová data tak, aby bylo možné je následně rozpoznávat včetně jejich umístění v prostoru, polohy. Prostorová data lze totiž prezentovat také v neprostorové formě, např. tabulce, ta je však zejména při velkém objemu dat poměrně těžce čitelná, a proto může být informace bez grafické prezentace jen stěží identifikovatelná. Kartografii tedy chápeme jako transformační proces, specificky jako transformaci atributů prostorových dat do grafické podoby (Frank, Egenhofer, 1992). Celý tento transformační proces můžeme rozdělit do několika kroků (viz. obr. 1).



Obr. 1: Pracovní postup při vizualizaci

(převzato a upraveno z Unvin, Hearnshaw 1994)

Vstupem do tohoto procesu jsou data, získaná z měření nebo počítačové simulace. Data lze ve většině případů považovat za vzorky nějaké vnitřní entity, která je vlastně cílem pro zobrazení a ne samotná data. (Jako příklad lze uvést topografickou mapu, kterou chceme zobrazit, tedy ne jednotlivé hodnoty v konkrétních polohách.) Proto jako první krok je nutné vytvořit model této vnitřní entity na základě vstupních dat. Pro přesná data volíme proces interpolace (přesný matematický předpis, kterým dopočítáváme hodnotu ostatních bodů).

Interpolačních metod je více druhů, použití je závislé na typu dat a cíli, který máme v úmyslu pomocí interpolace dosáhnout. Pro méně přesná data pak volíme postup aproximace (tedy přibližného stanovení hodnoty ostatních bodů). V obou případech je však výsledkem model. V dalším postupu tento datový model reprezentujeme geometrickým modelem, který může být následně zobrazen. Zde volíme konkrétní techniku pro vizualizaci. Posledním krokem je výsledné renderování z geometrického modelu, tedy stanovení parametrů, které budou určovat vzhled finálního obrázku (*Brodlie, 1994*). Tento postup je tedy v zásadě použitelný pro 2D i 3D vizualizaci, rozhodujícím momentem je volba geometrického modelu, určeného k renderování a typ dat.

3.2 Od vizualizace přes vizualizaci vědeckých dat ke geovizualizaci

Ve vědecké oblasti a inženýrství je důležitost grafické reprezentace dat odvozena od „vědeckého znázornění dat“. Dnes se tato oblast označuje jako ViSC, tedy „Visualization in Scientific Computing“. Tento pojem se objevuje poprvé ve zprávě National Science Foundation (NSF), která se zasazovala pro další podporu ve vývoji v oblasti vizualizace. První průkopnické práce v oblasti počítačové grafiky použité pro prezentaci vědeckých výsledků však pocházejí již z 60. let z Rutherfordových a Culhamových laboratoří ve Velké Británii, kde byly vědci vytvořeny animované sekvence dat (*Wood, Brodlie 1994*). Pro použití v kartografii probíhal vývoj ve dvou liniích. Jednou z nich byla počítačem podporovaná kartografie (Computer-assisted cartography - CAC) zaměřená na automatizaci mapovacího postupu a s důrazem na grafický výstup. Druhou oblastí bylo využití počítače pro analýzu prostorových dat včetně jejich správy a další práce s nimi (*Kraak 1988*). Moderní GIS pak kombinují oba tyto přístupy.

V případě ViSC se tedy jedná o sadu nástrojů (software) umožňujících vizuální analýzu dat. Pomocí obrazu zobrazeného např. na monitoru počítače je pak docílena vyšší schopnost uživatele pro vizuální analýzu, hodnocení 2D a 3D vztahů a řešení prostorových problémů. Tyto nástroje poskytují víc než jen statické zobrazení; umožňují animace a další možnosti práce s daty. Prezentace 3D prostoru pomocí ViSC zahrnuje širokou oblast vědeckého výzkumu, včetně oblastí geografii velmi vzdálených (např. genetika). Významnou charakteristikou ViSC jsou abstrakce a generalizace, klasifikace a selekce dat, dále zjednodušení a použití symbolů, podobně jako v případě kartografie. V případě vizuálního zkoumání, syntézy a analýzy geoprostorových dat mluvíme o geovizualizaci (GeoVIS) (*Hernandez, Du, Amin 2004*).

4 VIZUALIZAČNÍ TECHNIKY

V roce 1987 National Science Foundation (USA) v již zmiňované zprávě z workshopu s názvem „Visualization in Scientific Computing“ vysvětluje vizualizaci jako počítačovou metodu, která transformuje symbolické na geometrické, a tím umožňuje sledovat simulace a výpočty. Obohacuje vědecké bádání, podporuje hloubku a neočekávané vhledy. Umožňuje metodu vidět neviděné. Cílem vizualizace je podpořit vědecké metody poskytnutím nových vědeckých vhledů pomocí vizuálních metod (*Hansen, Johnson eds., 2005*). Obecně zahrnuje pojem vizualizace jakékoli postupy, pomocí kterých se snažíme vyjadřovat nějaké hodnoty a vztahy pomocí obrázků (*Žára 2005*). Cílem tohoto procesu je pochopení zkoumaných jevů a jejich vnitřních vztahů především tam, kde ostatní metody (negrafické) neposkytují vyhovující možnosti. Při hledání jazykového výkladu slova vizualizace v angličtině se význam ještě více zobecňuje. Vizualizace se odvozuje od slova „visual“ - zrakový, viditelný. Vizualizovat však také znamená představit si nebo pamatovat si (něco, někoho) ve formě obrazu v paměti (*Cambridge International Dictionary of English*).

4.1 Rozdělení vizualizačních technik

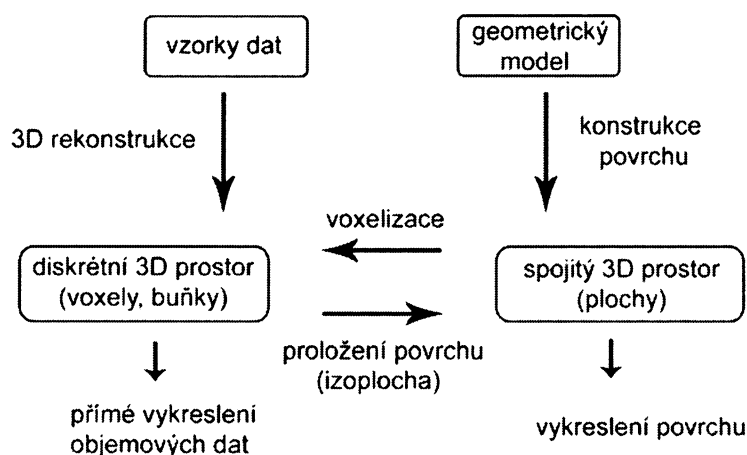
Tradiční rozdělení vizualizačních technik vychází z typu použitých dat. Proto dvě základní skupiny tvoří vizualizace vědeckých dat (scientific visualization) a vizualizace informací (information visualization). Toto rozdělení je založeno na typu dat, resp. na attributech těchto dat. Terminologie však není jednotná, a proto je toto rozdělení problematické. Vizualizace vědeckých výsledků by mělo zahrnovat data, která obsahují podstatnou fyzikální složku, zatímco vizualizace informací je charakterizována daty abstraktními, neprostorovými. V případě některých dat pak toto rozdělení selhává. *Tory a Möller (2002)* uvádějí jako příklad data genetických sekvencí nebo abstraktní matematická data, které lze často řadit částečně do obou skupin. Zároveň však navrhují vlastní taxonomii, založenou na charakteru datového modelu. Dvě základní kategorie pak tvoří modely spojité a diskrétní. *Schroeder a Martin (2005)* algoritmy tvořící jádro vizualizace rozděluje podle struktury a typu dat; strukturou rozumí vliv transformace na topologii a geometrii dat a podle typu (opět s důrazem na nejasnost tohoto označení) dělí algoritmy na skalární, vektorová, tenzorová a modelovací. Smyslem rozdělení a specializace algoritmů je především jejich rychlost a efektivnost zpracování pro určitý typ dat.

Základní rozdělení algoritmů:

- skalární algoritmy

(1D - lineární graf, 2D - mapa barev (color mapping), isolinie)

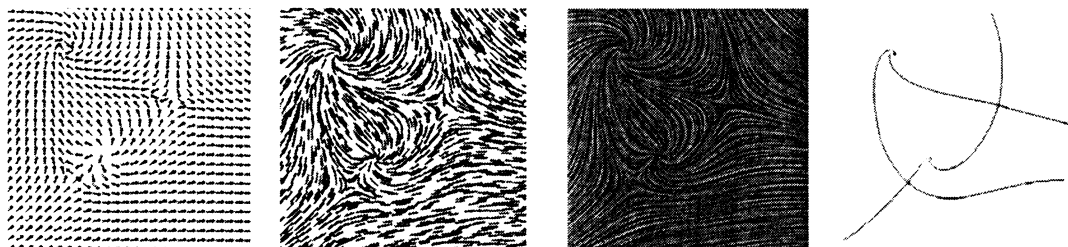
3D - pro objemová data lze dále rozdělit algoritmy na zobrazující povrchy (isosurfaces) a přímé objemové algoritmy (volume rendering) (obr. 2)



Obr. 2: Schéma vztahů mezi algoritmy zobrazujícími povrchy nebo objemy (Žára 2005)

- vektorové algoritmy (obr. 3)

- např. LIC (line integral convolution), particle traces, orientované znaky



Obr. 3: Příklady možné vizualizace vektorů. Zleva: orientované šipky, stroužková reprezentace, LIC, topologicky založená (Weißkopf, Elbacher 2005)

4.1.1 Skalární algoritmy

Obecně je nejvíce využíváno skalárních algoritmů. Povrchy zobrazující algoritmy nejprve provádějí geometrickou reprezentaci povrchů tak, že proloží data plochou, která ji pak reprezentuje (např. síť trojúhelníků). Získání této plochy je možné několika způsoby, mezi nejznámější patří pochodující kostky (marching cubes). V některých případech velkého objemu dat však může být časově náročný, proto bylo navrženo několik dalších způsobů pro urychlení procesu hledání jak pro strukturovaná objemová data, tak i pro nestruturovaná, např. oktalové

dat však může být časově náročný, proto bylo navrženo několik dalších způsobů pro urychlení procesu hledání jak pro strukturovaná objemová data, tak i pro nestrukturovaná, např. oktalové stromy (*Han-wei 2005*). Tuto plochu pak lze následně zobrazit pomocí běžných postupů. Výhodou extrakce povrchové plochy je výrazné zmenšení množství dat, a tedy rychlejší další zpracování (*Žára 2005*). Přímé zobrazování (volume rendering) vizualizuje volumetrická data, nedochází tak ke ztrátě žádné části informace, jako při aproximaci u předešlé metody při hledání povrchů a jejich reprezentace geometrickými primitivy. V důsledku toho ale narůstá čas potřebný ke zpracování a také objem dat. Opět byly vyvinuty akcelerační algoritmy a nejužívanější metodou je vrhání paprsku (ray casting). Uplatnění nachází především v medicíně pro vizualizaci dat získaných z CT skenerů.

4.1.2 Vektorové algoritmy

Pro vizualizaci jevů, které jsou charakterizovány nejenom velikostí, ale i orientovaným směrem - tedy vektorem, je nejjednodušším způsobem popis orientovanou úsečkou. Ta může nabývat různých forem, např. šipky nebo i jiného znaku. Tento přístup je označován jako bodově založený (point based). Jinou možností zachycení pohybu, který je spjat s vektorovými daty je deformace (warping). Sledováním pohybu jednotlivé částičky (particle tracing) proudu lze získat křivku její trajektorie. Podle hustoty takto získaných trajektorií se dále rozlišují globální a lokální metody - podle toho, zda charakterizují část nebo celkový charakter proudu (*Weiskopf, Elbacher 2005*). Těchto vizualizačních postupů je možné využít v meteorologii při sledování pohybu vzduchových hmot, nebo také ke zobrazení charakteru mořských proudů apod.

5 RENDEROVÁNÍ

Nezbytnou součástí počítačového zpracování dat, je jejich následná vizualizace. V procesu transformace, jak o něm mluvíme v kapitole č. 3.1 se jedná o poslední krok. Data reprezentovaná geometrickým modelem potřebujeme převést z 3D modelu do 2D obrazu, např. na monitoru. Proces zobrazení této scény, tedy souhrnu objektů a zdrojů světla označujeme slovem rendering, česky označováno jako zobrazování, nebo syntéza obrazu. Renderování tedy označuje speciální případ vizualizace dat (reprezentovaných geometrickým modelem, tedy popisem 3D objektu prostřednictvím přesně definované datové struktury) pomocí výpočetní techniky. *Frank a Egenhofer (1992)* pak grafickým renderováním rozumí transformační proces, který přiřazuje abstraktní, vnitřní reprezentaci objektu v počítačovém formátu grafické zobrazení, které je člověk schopen vnímat. Z datového modelu tady vytváříme obraz skutečnosti pomocí počítačových prostředků, blížíci se realitě (podobně jako v případě fotografie). Následující podkapitoly a kapitola č.7 o globálních osvětlovacích technikách nemají ambici podat vyčerpávající výklad, ale pouze nastínit základní přístupy.

5.1 Repräsentace těles

Pro práci s geometrickým modelem je používáno jednoduchých metod zobrazování tak, aby odpovídaly možnostem hardwaru a bylo možné rychlé překreslení scény po editaci.

5.1.1 Hraniční reprezentace (B-rep)

Nejjednodušší způsob představuje drátový model (wireframe) a jeho modifikace se skrytím neviditelných hran (hidden edge), zobrazeny jsou pouze hrany a vrcholy. Nevýhodou drátového modelu je jeho možná nejednoznačnost. Toto lze odstranit přidáním hraničních ploch, pak mluvíme o jednoduché ploškové reprezentaci. Komplexní informaci však poskytuje až strukturovaná plošková reprezentace (winged edge), které datová struktura uchovává informaci i o sousedních prvcích (*Shene 2003*).

5.1.2 Trojúhelníkové sítě

Povrch tělesa lze také zobrazit tak, že ho pokryjeme sítí trojúhelníků (obecně polygonů). Sítí se zde míní množina trojúhelníků, které sdílejí své hrany. Tato reprezentace však není vhodná pro modelování (*Žára 2005*).

5.1.3 Konstruktivní geometrie těles (CSG - constructive solid geometry)

CSG je metoda reprezentující těleso, které je složeno z tzv. primitiv (např.: krychle, kužel, koule atd.). Tyto primitivy lze dále pomocí Booleových operací různě kombinovat, konkrétně hledat průnik, rozdíl a sjednocovat je. Vhodné jsou především při práci s jednoduchými a pravidelnými geometrickými tělesy, kdy potřebujeme dosáhnout matematické přesnosti.

5.2 Modelování těles

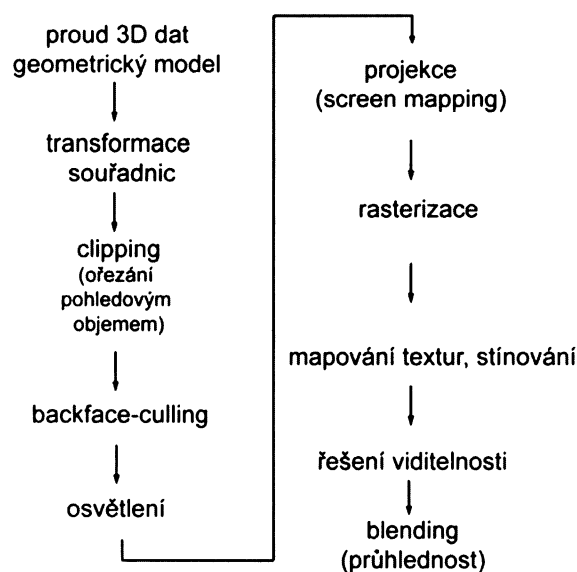
Objekty mohou být charakterizovány také množinou ploch a křivek, které tvoří tělesa. Nejčastěji se používá ploch parametrických, ale i implicitních. Popis procesu modelování křivek se opírá o složitý matematický model a těleso je popsáno analytickou funkcí. Podrobnější popis a další informace lze najít např. v *Žára (2005)*. Zobrazení takových těles je složité a časově náročné, proto se převádí např. na ploškovou reprezentaci. Zde je ještě možné zmínit se krátce o možnostech získání 3D modelu určitého objektu. *Žára (2005)* uvádí tři základní způsoby. První skupinu tvoří metody založené na obrazech reálné skutečnosti (image based modeling), získaných z prostorového skeneru, nebo rekonstrukcí z několika fotografií. Jsou to metody s malou časovou náročností umožňující rychlé renderování a vysoký stupeň realističnosti. Interaktivní modelování je způsob, kterým člověk pomocí vstupních zařízení přímo vytváří model. Výsledek je závislý na schopnostech a zkušenostech animátora. Třetí skupinu pak tvoří procedurální modelování (procedural modeling). Tato metoda je pro kartografii a geografii zvláště zajímavá, protože je vhodná právě pro generování modelů přirozených objektů v přírodě (oblaka, rostliny, povrchy apod.). V přirozeném prostředí se málokdy setkáváme s přesnými geometrickými tělesy, které byly u předešlých metod zmiňovány. Jak už název napovídá, jedná se o postup, neboli proceduru generování pomocí nějakého algoritmu. Algoritmy lze dále rozdělit do několika kategorií, mezi nejpoužívanější patří: fraktály (výhodou je tzv. nekonečné rozlišení), l-systémy (pro generování rostlin) a systémy částic (vhodné pro simulaci dýmu, oblaků).

5.3 Rendering Pipeline

Vraťme se od modelování zpět k reprezentaci objektů. Přestože výše uvedené způsoby reprezentace mohou poskytnout vyhovující zobrazení sledovaných objektů, k reálnému vzhledu jsou nutné další úpravy. Ve skutečném prostředí působí řada dalších faktorů, které tyto reprezentace neberou v úvahu. Úlohou renderování je reprezentace celé scény spolu se zdroji světla. Žára (2005) úlohu zobrazení dělí na postupné řešení dílčích úloh:

- a) globální osvětlení scény
- b) pohled na scénu, volba stanoviště
- c) tvorba rastrového obrazu

Tyto kroky lze dále modifikovat, měnit jejich pořadí a přidávat další dílčí a optimalizační postupy. Tato posloupnost se označuje jako rendering pipeline. Obecně se skládá z kroků znázorněných na obr. 4.



Obr. 4: Rendering Pipeline (dle Andert, Scheidreiter 2003, upraveno)

Vstupní data nejprve prochází transformací z objektových souřadnic, které mohou být pro každý zvlášť modelovaný objekt různé. Převádí se nejprve do souřadnic globálních pro celkovou kompozici scény. Následuje volba místa, ze kterého budeme scénu pozorovat, tedy umístění kamery a příslušná transformace do tohoto souřadnicového systému. Po výběru místa pohledu nebudou pro pozorovatele všechny části scény viditelné, ale jen ty, které se budou nacházet uvnitř tzv. pohledového objemu - jehlanu (view frustum). Objekty mimo tento pohled lze v tuto

chvíli odstranit např. pomocí Cohen-Sutherlandova algoritmu (Andert, Scheidreiter 2003). Pro rozsáhlé scény je vhodné také vyloučit plochy, které s velkou pravděpodobností nebudou mít vliv na obraz, většina odvrácených stran objektů (backface culling). Pomocí lokálního osvětlovacího modelu následuje vyhodnocení parametrů osvětlení na jednotlivých ploškách a transformace do 2D pro zobrazení na obrazovce. Tuto transformaci označujeme jako promítání nebo projekce. Základní dvě skupiny tvoří promítání rovnoběžné, vhodné pro zobrazování v technických disciplínách, protože lze volit takovou polohu průmětny, teda plochy na kterou objekt zobrazujeme, že lze v průmětu měřit a srovnávat vzdálenosti a více realistická perspektivní promítání, u kterých je prostorový vjem intenzivnější, protože odpovídá vidění v reálném světě. Varianty perspektivního zobrazení podle počtu zvolených úběžníků zachycuje obrázek 5. Jejich geometrické aspekty řeší deskriptivní geometrie.



Obr. 5: Varianty perspektivního zobrazení. Zleva: troj-, dvoj- a jednoúběžníková

Proces rasterizace se skládá ze dvou kroků. První určuje místo, tedy pixel (shluk pixelů), kam se daná geometrická primitiva zobrazí, ve druhém kroku se určí barva a hloubka. Po nanesení textur a aplikaci stínů je nutné v závěru vyřešit viditelnost objektů ve scéně. Základní rozdělení algoritmů řešení viditelnosti zahrnuje vektorové a rastrové modely podle výstupu, který nabízejí. Výhodou vektorových je možnost změny měřítka výsledného obrazu bez dalšího výpočtu. Rozměr rastrových výstupů je v tomto případě pevný. Základní přehled technik je naznačen v tab. 1. V závěru je potřeba ještě seřadit plochy průhledné, které mohou způsobit některým algoritmům problémy při řešení. Např. paměť hloubky je potřebné modifikovat, což snižuje její efektivitu (Žára 2005).

prostor řešení	algoritmus	typ
objekty	malířův algoritmus	rastrový
	paměť hloubky (z-buffer)	rastrový
	strom BSP (Binary space Partition tree)	vektorový
	Weiler - Athertonův algoritmus	vektorový
obraz	dělení obrazovky (area subdivision)	rastrový
	scanline	rastrový
	raycast	rastrový
	octree	vektorový

Tab. 1: Přehled algoritmů řešení viditelnosti

5.4 Osvětlení a stíny

Zvlášť se ještě zmíním o základních vlastnostech, které souvisejí se světelnými podmínkami. Jednak je pro otázku zobrazení zásadní správná reprodukce barev objektů a stíny jsou nevyhnutelnou součástí realistického vzhledu, protože prohlubují prostorové vnímání. Simulace chování světla v prostředí pomocí algoritmů plně vychází z fyzikálních modelů a zákonů. Tyto jevy jsou složité a prakticky je nemožné jejich úplné napodobení. Pro zjednodušení budeme nejprve uvažovat jednodušší model lokální, který bere v úvahu pouze zdroj světla a zkoumaný bod na povrchu tělesa. Výsledná, člověkem vnímaná barva v tomto bodě je závislá na tom, jakým způsobem se chová dopadající světlo, na jeho vlnových vlastnostech a jaké charakteristiky má daný povrch. Tento vztah je popsán tzv. dvousměrnou odrazovou distribuční funkcí (BRDF), nebo její obecnější formou dvousměrovou rozptylovací odrazovou distribuční funkcí (BSSRDF), která bere v úvahu i světlo, které pronikne pod povrch a až poté je odraženo (příklad rozdílu výsledného obrázku je na obr. 6).



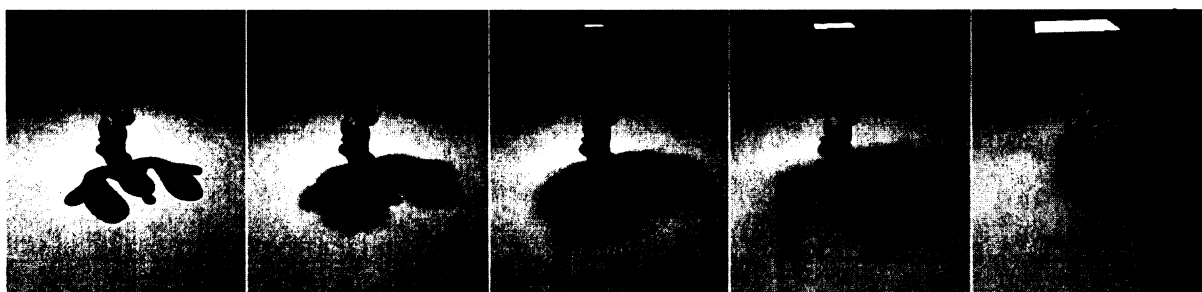
Obr. 6: Srovnání BRDF a BSSRDF (Pulli 2004)

Výpočet této funkce je složitý, proto se využívá empirických modelů. Situaci si můžeme srovnat na třech příkladech. První nejjednodušší je případ, kdy bychom uvažovali pouze ambientní složku odraženého světla. Ambientním se rozumí světlo, které přichází ze všech směrů v plné intenzitě. Obraz získaný pomocí tohoto nulového osvětlení nepůsobí příliš realisticky. Druhým základním modelem je Lambertovo osvětlení, kde uvažujeme ideální difuzní odraz světla na povrchu, který odpovídá odrazu na nelesklých površích. Třetím typem je model Phongův, který kombinuje složku difuzně odraženého světla, složku zrcadlového odrazu a také ambientní složku odrazu. Tím lze zachytit a zobrazit i lesklé povrchy.

Přestože tyto modely jsou již zjednodušením skutečnosti, jejich výpočet osvětlení pro každý bod (zejména při více světelných zdrojích) by bylo výpočetně časově náročné (Žára 2005). Proto místo náročných osvětlovacích modelů používáme jednodušší stínovací algoritmy (shading). Mezi nejjednodušší patří konstantní stínování (flat shading), které počítá model

osvětlení pro každou primitivu. Všechny pixely plošky tak mají barvu vypočtenou podle jedné normály. Gouraudovo stínování aplikuje osvětlovací model na část bodů povrchu, zbytek plochy je dopočítán bilineární interpolací. Přestože výsledný obraz již věrně reprodukuje zakřivené povrchy aniž by byla patrná aproximace, nelze pomocí této metody zachytit všechny efekty osvětlení. Je však výrazně rychlejší než Phongovo stínování, které na rozdíl od Gouraudova neinterpoluje barevný odstín mezi vrcholy, kde provádíme výpočet osvětlovacího modelu, ale normálový vektor. Tím je zaručen barevný odstín v každém bodu a tedy plynulé stínování, ale obvykle je podél obrysů patrné, že byl použit polygonový model.

Modely, které jsme v předchozích řádcích popsali, řeší situaci na povrchu modelu. Světelné podmínky scény se ale projevují i v jejím prostoru. Stíny (shadows) jsou pro správné vnímání vzájemné polohy objektů nezbytné. Rozlišujeme vlastní (self shadows), tedy stíny, které těleso vrhá na sebe a vržené stíny (cast shadows). Globální zobrazovací metody problém stínů řeší, i když výpočet je časově náročný. Vlastní projekční techniky jsou zajímavé zejména pro real-timeové zobrazování a jejich podrobný popis lze najít na stránkách *Shadows techniques*.. Zde uvedu pouze základní charakteristiku vztahu mezi jednotlivými typy osvětlení a stíny, které díky nim vznikají. Charakter světelného zdroje se liší v závislosti na dvou aspektech - na směru vyzařování a na intenzitě. V případě, že zdroj světla se nachází v jednom bodě a intenzita je ve všech směrech stejná, mluvíme o bodovém světle (point light). Reflektorem označujeme takové bodové světlo, kdy intenzita s narůstajícím úhlem od daného směru klesá. Pokud světlo přichází ze specifického směru, paprsky považujeme za rovnoběžné a tudíž je zdroj v nekonečnu, jedná se o rovnoběžný světelný zdroj (directional light), příkladem je sluneční světlo. Plošné zdroje (kdy zdrojem světla je 2D plocha, obvykle polygon) jsou charakteristické tím, že vytvářejí polostíny. Celkové srovnání změny stínu v závislosti na použitém zdroji světla je znázorněné na obr. 7.



Obr. 7: Závislost vrženého stínu na typu světelného zdroje (zdroj: *Shadows techniques*)

6 GLOBÁLNÍ ZOBRAZOVACÍ TECHNIKY

Popsané osvětlovací modely a techniky stínování jsou rychlé a podávají poměrně dobré výsledky. Označují se jako lokální metody, a to právě z důvodu, že do výpočtu zahrnují pouze objekt, pro který je osvětlovací model právě vyhodnocován. Každý objekt ve scéně je jakoby osvětlen samostatně a nakonec se pouze vyřeší viditelnost celé scény. Ve skutečnosti však světlo odražené jednotlivými tělesy dále ovlivňuje světelné podmínky scény. Proto byly vyvinuty algoritmy, které řeší scénu jako celek a berou v úvahu i tyto odražené složky světla. Zvlášť důležité je to v případě lesklých povrchů (a odrazů jiných objektů na jejich povrchu) a kaustik (jev, při kterém dochází díky interferenci ke ztlumení nebo zesvětlení u lesklých nebo průhledných povrchů).

6.1 Zobrazovací rovnice

Matematicky je problém celého osvětlení scény vyjádřen pomocí zobrazovací rovnice (rendering equation), která popisuje tok světelné energie scénou, resp. jaké jsou podmínky pro rovnovážný stav toku světelné energie scénou a její tvar je následovný:

$$L_o(x, \vec{w}) = L_e(x, \vec{w}) + \int_{\Omega} f_r(x, \vec{w}', \vec{w}) L_i(x, \vec{w}') (\vec{w}' \cdot \vec{n}) d\vec{w}'$$

$L_o(x, \vec{w})$ vyzařující světlo v bodě x ve směru w

$L_e(x, \vec{w})$ emitované světlo v bodě x ve směru w

$f_r(x, \vec{w}', \vec{w})$ odrazová funkce v bodě x

$L_i(x, \vec{w}')$ vstupující světlo v bodě x ze směru w

$(\vec{w}' \cdot \vec{n})$ zeslabení závislé na úhlu dopadu

Vychází ze zákona zachování energie a jejím řešením je rovnovážný stav. Další podrobný popis zde není nezbytný, informace lze najít např. v *Žára (2005)*. Podstatný je poznatek, že analytické řešení této rovnice je v obecném případě nemožné. Řešení tedy, opět jako v případech jednoduchých osvětlovacích modelů, je nutné hledat pomocí aproximace. Přístupů, jak aproximaci provést je několik. Techniky rozděluje *Žára (2005)* dle různých kritérií. Záleží, zda se výpočet osvětlení provádí pro všechny plochy ve scéně (pohledově nezávislé), nebo jen pro plochy viditelné z určitého úhlu (pohledově závislé). Kritériem může být i skutečnost, zda metoda pracuje se scénou jako celkem, nebo se scéna dělí na menší části (např. trojúhelníky), a

to na konečný počet prvků (finite elements method). Jak již bylo zmíněno, sledování všech paprsků ve scéně je prakticky nemožné. Používá se proto metod Monte Carlo, které jsou skupinou výpočetních algoritmů, které pracují s tzv. stochastickým vzorkováním, to znamená se simulací náhodných proměnných, což poskytuje několik výhod. Objekty nemusí být děleny, není potřeba velké paměti, geometrie scény může být procedurální, nemusí být k dispozici trojúhelníková síť pro aproximaci povrchu, nevýhodou je šum, který způsobuje zrnitost a sníženou kvalitu výsledného obrazu.

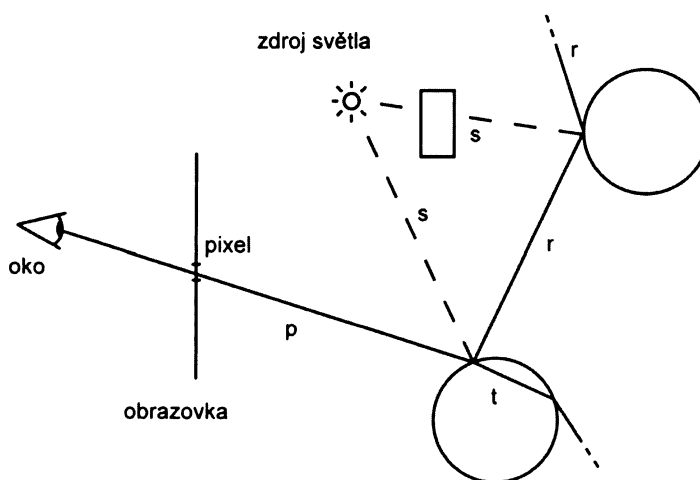
Dále lze metody globálního zobrazování rozdělit podle způsobu, jakým jsou sledovány trajektorie světelných paprsků. Možností je sledování od pozorovatele, nebo naopak od světelného zdroje, případně z obou směrů najednou. Pro dosažení výsledného obrazu může být použito různých technik s různými modifikacemi, já se proto zaměřím na popis jen základních, nejpoužívanějších.

6.2 Ray casting (vržení paprsku) a Ray tracing (sledování paprsku)

Vržení paprsku řadíme k postupům vycházejícím od pozorovatele. (V tomto případě lze samozřejmě postupovat i opačným směrem, tedy zkoumat paprsek vycházející od světelného zdroje. Je však zjevné, že množství paprsků po mnohonásobných odrazech může skončit mimo pohled, ze kterého scénu pozorujeme. Ty tudíž na výsledný obraz nemají žádný vliv a výpočet by byl - vzhledem k počtu paprsků, které bychom museli vrhnout - enormně náročný.)

Princip spočívá v tom, že z pomyslného pixelu na obrazovce vyšleme (vrhneme) paprsek směrem do scény a snažíme se zpětně simulovat jeho trajektorii. V momentě, kdy paprsek zasáhne těleso, vyhodnotíme barvu v tomto místě pomocí některé z metod lokálního osvětlení a v nejjednodušším případě je tato barva přiřazena danému pixelu (ray casting). Lze však také vyslat několik paprsků do více směrů a hodnotu pixelu stanovit jako jejich průměr. Metoda je rychlá, použitelná i pro real-time zobrazení, ale bez dalších úprav působí výsledný obraz ploše. Neřeší totiž, co se s paprskem děje dál, tedy nezohledňuje vzájemný vliv více ploch a nepočítá s možnostmi, že paprsek může dále pokračovat průhledným tělesem. Algoritmus sledování paprsku (ray tracing) jde dál. Jeho hlavní součástí tvoří hledání průsečíků pomocí primárního paprsku (primary ray, p na obr. 8), následuje vyhodnocení osvětlení v místě průsečíku, tedy stanovení barvy v tomto bodě. Následně je vyslán paprsek směrem ke všem světelným zdrojům (s), který označujeme jako stínový paprsek (shadow ray). Jeho úkolem je zjistit, zda se mezi bodem a světelným zdrojem nenachází jiné, stínící těleso. V případě že ne, je zdroj světla

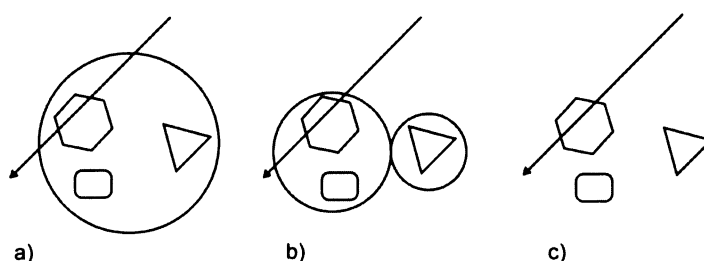
zahrnut do vyhodnocení, v opačném případě zde vznikne stín. Dále jsou vyslány dva paprsky, jeden pro odraženou složku (r) a druhý pro složku, která proniká do tělesa (t). Odražený paprsek je dále sledován a při nalezení dalšího průsečíku je opět vyhodnoceno osvětlení v tomto bodě atd., až dokud paprsek neopustí scénu nebo dorazí do zdroje světla. Podobně se postupuje i v případě paprsku pronikajícího průhledným tělesem, v místě kde paprsek těleso opustí vyhodnotíme osvětlení a dále postupujeme jako v předešlém případě. V této situaci však může dojít k mnohonásobnému odrazu, proto se do algoritmu přidává podmínka maximálního stupně rekurze (například uvnitř skleněné koule (Szirmay 1995)). Volí se obvykle stupeň 3-5, protože větší hloubka zpomaluje výpočet a nemusí přinést výrazné zlepšení obrazu, případně se dynamicky omezuje počet podle významu paprsku, jeho vlivu na výslednou barvu pixelu. Druhé úskalí představuje situace, kdy se mezi bodem a světelným zdrojem nachází těleso průhledné (na obr. 8 těleso obdélníku) a algoritmus není jednoznačně schopen (z důvodu lomu tohoto paprsku v tělese) určit, do jaké míry bude tímto paprskem bod osvětlen, podobně v případě zrcadla odrážejícího světlo jiného světelného zdroje, kdy by bylo nutné vést stínový paprsek právě v tomto směru (Žára 2005).



Obr. 8: Sledování paprsku (dle Szirmay 1995)

Časově nejnáročnější operací je výpočet průsečíků paprsku s objekty, a proto je původní forma algoritmu také časově náročná. Jednou z možností, jak docílit zrychlení tohoto procesu, je aplikace metod, které výpočet průsečíků urychlí zvýšením výkonu nebo snížením počtu těchto výpočtů. Příkladem může být použití obálek a jejich hierarchie. Objekty jsou seřazeny do skupin a kolem této skupiny vytvoříme obálku (obr. 9a). Pak zbývá vyšetřit, jestli paprsek protne obálku či nikoliv, v případě že k protnutí nedojde, nemusíme se dále skupinou objektů zabývat, což vede

k úspoře času potřebného k výpočtu (především u sekundárních paprsků). V případě, že k průniku dojde, postoupíme k obálce nižší úrovně (obr. 9b) atd.



Obr. 9: Hierarchie obálek

Jiným, častějším přístupem je rozdělení prostoru na menší části. Nejjednodušším případem je mřížka. Další možnosti se pak liší podle způsobu, jakým prostor rozdělují. Oktalový strom rozdělí prostor třemi řezy, kolnými na souřadnicové osy. Když si prostorovou jednotku představíme jako krychli, vznikne díky tomuto rozdělení osm menších, ale navzájem stejných krychlí atd. a algoritmus hledá krychle, které paprsek protíná. BSP strom (Binary space partitioning) dělí prostor na dva poloprostory, řez může probíhat obecně. To umožňuje volit řezové roviny v závislosti na rozmístění objektů ve scéně. Složitost scén a odhad paprsků s největším významem však představuje výraznou překážku (Žára 2005).

Nevýhody sledování paprsku zahrnují, kromě zmíněných, další aspekty. Osvětlovací model počítá pouze s bodovým zdrojem světla, nemůžou být tedy zobrazeny polostíny (Szirmay 1995). Tento problém řeší distribuované sledování paprsku. Existuje mnoho dalších rozšíření algoritmu pro věrnější zobrazení, zároveň však zvyšují výpočetní nároky.

6.3 Radiozita (radiosity)

Tato metoda aplikuje model šíření tepla pro simulaci šíření světla. Dále uvažuje, že všechny povrchy jsou neprůhledné a na jejich povrchu dochází pouze k difuznímu odrazu záření. Rozlišuje světlo přímé, směřující ze zdroje přímo na povrch a světlo nepřímé, odražené od jednoho, nebo i více povrchů. To znamená, že odražené světlo nadále ovlivňuje osvětlení okolních ploch. Samotné řešení se skládá ze dvou kroků. Jako první se vyhodnotí osvětlení povrchů přímými zdroji světla za předpokladu difuzního odrazu. Takto vyhodnocená scéna je pohledově nezávislá. Druhým krokem je pak algoritmus pro vyřešení viditelnosti. Matematicky vychází ze základní zobrazovací rovnice, za předpokladu, že nastává pouze difuzní odraz, po zjednodušení mluvíme o radiozitivní rovnici. Ta zachytává vztah mezi energií vyzářenou ploškou a

energií přijatou od světelných zdrojů a energií, která po odrazu z jiné plochy směřuje na vyhodnocovanou plošku. Řešení radiozitivní rovnice podobně jako v případě zobrazovací rovnice pro složité scény není možné a dalšímu zjednodušení se nelze vyhnout. Zavádí se tzv. konfigurační faktor (form factor), který je závislý na vzdálenosti plošek, jejich vzájemné poloze a vzájemné viditelnosti a udává podíl energie vyzářené jednou ploškou a přijaté druhou. Pro každou plošku a její vyzářenou energii lze sestavit rovnici ve vztahu k ostatním ploškám scény a ze soustavy rovnic pro všechny plošky lze spočítat vyzářenou energii jednotlivých plošek. Z výše uvedeného vyplývá, že kvalita výsledku se bude odvíjet od rozdělení povrchu a na stanovení konfiguračního faktoru. Metody způsobů řešení těchto faktorů lze najít v (Žára 2005). Vzhledem k náročnosti výpočtu konfiguračního faktoru se zavádí další algoritmy pro zrychlení a zlepšení výsledků základního algoritmu. Příkladem může být hierarchická radiozita, která předpokládá, že při dělení plošek na menší bude vliv některých malých plošek na vzdálené plochy zanedbatelný a nebude zde třeba počítat konfigurační faktor. Protože ani aplikace těchto přístupů nepřináší výrazný efekt, uplatňuje se přístup Monte Carlo, který pracuje s náhodně vrženými paprsky a za určitých předpokladů pak lze konfigurační faktor odhadnout. Hlavní typ stochastických metod jsou stochastické iterace, které pracují s maticí již aproximovaných konfiguračních faktorů.

Na závěr ještě uvedu základní srovnání dvou popsaných globálních zobrazovacích technik (tab. 2). Samozřejmě nepatří mezi jediné, existují další přístupy, např. fotonové mapy nebo sledování fotonů.

Sledování paprsku (ray tracing)	Radiozita (radiosity)
pomalé	pomalá
ostré stíny, odrazy	ostré i měkké stíny
pouze bodová světla	plošná světla
nelze nepřímé osvětlení	neumí lesklé povrchy
pouze od přímých zdrojů	velice realistická pro difuzní povrchy
pohledová závislost	dobrá optimalizace 3D hardwarem
zrcadlové odrazy - ano	zrcadlové odrazy - ne

Tab. 2: Srovnání metody radiozity a sledování paprsku

7 SPECIFIKACE RIB (RENDERMAN INTERFACE BYTESTREAM) FORMÁTU

7.1 RIB

Definice formátu RIB říká, že se jedná o protokol, který byl vyvinut firmou PIXAR pro poskytnutí standardu rozhraní mezi modelovacími programy a programy schopnými fotorealistického renderování. Záměrem bylo oddělit modelování a renderování, tedy získat mechanismus, který z modelovacího a animačního softwaru je schopen poslat popis scény kompaktně, efektivně a nezávisle na použitém zařízení do renderovacího systému a také s minimálním ohledem na použitý zobrazovací algoritmus (*Kesson 1995*). Z toho také vyplývá, že rozhraní není kompletním 3D interaktivním programovacím prostředím. Není ani specifikován postup, jak má být scéna zobrazena, ale pouze jaký má mít výsledný vzhled. RIB formát je vhodný pro uložení popisu scény pro pozdější renderování, také archivaci nebo renderování prostřednictvím sítě. Není ale primárně určen pro převod mezi různými aplikacemi. V neposlední řadě je třeba zdůraznit, že takovýto zápis musí být kompletní, ale také minimální. Typ tohoto souboru (RIB) můžeme označit za popis scény, definuje abstraktní model. Jedná se tedy o jazyk (někdy označován jako „mini“), pomocí kterého je scéna popsána. Z tohoto zápisu je následně možné získat výsledný obrázek. Běžný renderový soubor, vytvořený aplikací je pro uživatele nepřístupný. Naproti tomu RIB file lze „opravovat“, dále editovat a tím získat větší kontrolu nad procesem vytváření výsledného obrazu.

7.2 RenderMan

Photorealistic RenderMan (renderer firmy PIXAR, určený zejména pro filmový průmysl) pracuje s Reyesovým algoritmem, byť značně upraveným a s mnoha vylepšeními. Partikulární implementace mohou pracovat i se zobrazovacími metodami jako je rozkladový řádek (scanline) (Z-buffer), sledování paprsku (ray tracing), radiozita (radiosity), ale také jiné.

7.3 Shading language (stínovací jazyk)

Stínovací jazyk je programovým jazykem RenderMan Interface, který rozšiřuje možnosti předdefinovaných funkcí. Pomocí tohoto jazyka může uživatel nově definovat rozličné osvětlovací procedury, které se označují jako „shaders“. Tímto způsobem lze vytvářet speciální materiály a modelovat jejich interakci s dopadajícím světlem a podobně různé další zdroje světla s použitím např. speciálních čoček, difuzerů apod. Tento jazyk je podobný jazyku C s rozšířením o práci s barvou a bodovými datovými zdroji. Dále lze provádět matematické a trigonometrické operace včetně např. interpolace.

Formát RIB nelze na základě obecné charakteristiky považovat z hlediska kartografie za zvlášť zajímavý. Jeho výhody jsou spíše obecnějšího charakteru, nelze z nich odvodit přednosti specifické pro kartografickou tvorbu. Možností se jeví podrobná analýza samotného interního jazyka, ta je však mimo rozsah této práce.

8 KARTOGRAFICKÉ ASPEKTY

A 3D RENDEROVÁ TECHNOLOGIE

V kapitole o 3D produktech byly obecně nastíněny základní přístupy a typy mapových (mapám podobných) produktů, které můžeme označit za 3D. V této kapitole se budu zabývat jednotlivými prvky map a způsobu jejich zobrazení s ohledem na renderovou technologii. Pomocí analýzy těchto možností můžeme provést hodnocení, nakolik je (může být) renderová technologie pro kartografii přínosem a jaké možnosti pro kartografickou tvorbu nabízí.

8.1 Vlastnosti kartografického produktu

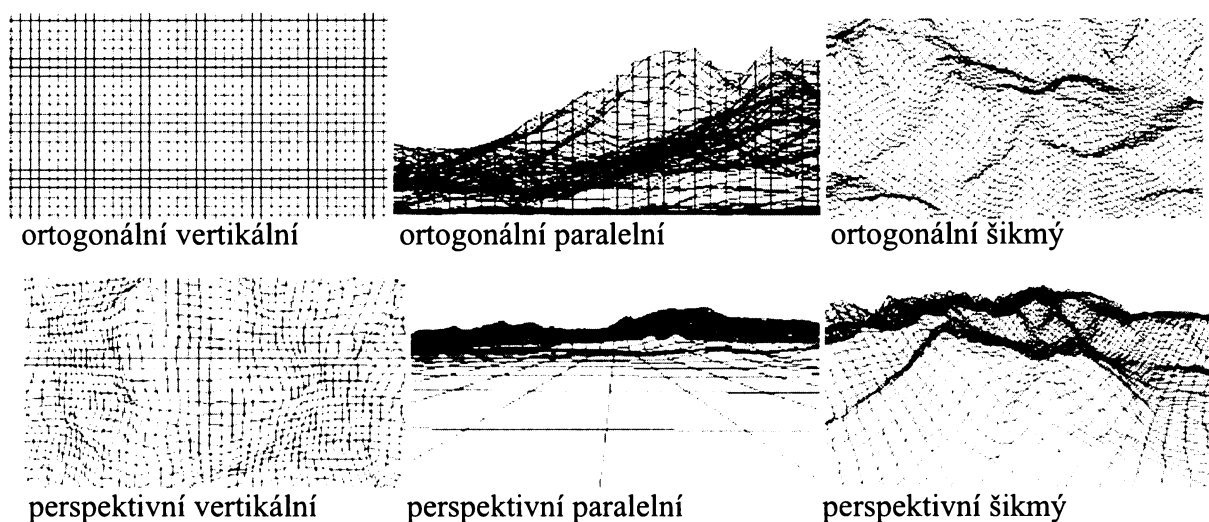
Pro srovnání můžeme vycházet z klasické 2D mapy. Ta představuje dle definice zmenšené a zevšeobecněné zobrazení povrchu Země, sestrojené podle matematického zákona na rovině a vyjadřující pomocí smluvených znaků rozmístění a vlastnosti objektů vázaných na povrch (*Hojovec 1987*). Definice ICA (International Cartographic Association) považuje za mapu symbolizovaný obraz geografické reality reprezentující vybrané prvky a charakteristiky, které jsou výsledkem kreativní práce autora (kartografa) s primárním důrazem na prostorové vztahy. Z podstaty postupů zobrazovacích algoritmů vyplývá snaha o co nejvěrnější zachycení reality. Tyto postupy nacházejí uplatnění především při 3D zobrazeních krajiny. Takto získaný výstup lze ale za mapu podle *Voženilka (2005)* označit pouze za předpokladu splnění některých požadavků tradičních 2D map:

- každý zobrazený objekt je definován geografickou polohou ve zvoleném souřadnicovém systému a tato poloha je pro uživatele dostupná
- zobrazení objektů na zemském povrchu do souřadnicového systému je docíleno pomocí kartografické projekce (včetně zkreslení)
- výměna informací mezi kartografem a uživatelem probíhá pomocí kartografických symbolů
- detailnost mapy podléhá kartografickým pravidlům generalizace

Tato pravidla nejsou vždy dodržována. Často je definice redukována na počítačem vytvořený, matematicky definovaný, 3D fotorealistický obraz krajiny spolu s přírodními i člověkem vytvořenými objekty (Bandrova cit. in Voženilek 2005).

8.2 Pohled na scénu

Volba místa, ze kterého scénu budeme pozorovat je zásadní. V rendering pipeline jsme o této transformaci mluvili jako o projekci. Může nastat několik případů. Obecně se na scénu můžeme dívat dvojím způsobem, a to ortogonálně nebo perspektivně. Podle úhlu, který svírá směr pohledu a vodorovná rovina, můžeme rozlišit pohled vertikální, paralelní a šikmý. Možné kombinace jsou na obrázku 10. Faktický význam mají zejména ortogonální vertikální, který představuje 2D mapu, ortogonální šikmý a perspektivní šikmý (resp. paralelní) pro pohledové mapy (Petrovic 2001), které jsou pro nás z hlediska 3D renderování zajímavé.



Obr. 10: Typické možnosti volby pohledu na terén (převzato z Petrovic 2001)

8.3 Kartometrie, morfometrie

Vzhledem k faktu, že 2D mapa je modelem reality a mezi realitou a modelem jsou exaktní matematicky vyjádřitelné vazby, jednoznačně určené zobrazovacími rovnicemi, lze z mapy zpětně odvozovat hodnoty platné na zemském povrchu (Hojovec 1987). Měřit lze vzdálenosti ve všech směrech, ale i sklony a objemy prvků členitosti reliéfu. Když ale přihlídneme na výše zmíněnou volbu pohledu, takovéto měření je možné pouze při pohledu ortogonálním (vertikálním). Nevýhodou je nepřímé zobrazení výšek. Měřítko u perspektivních zobrazení není konstantní, navíc některá data nejsou vidět. (Jedinou možností zde je případ, že

pracujeme přímo s kartografickým modelem a software umožňuje výpočty přímo z dat, to však platí pouze pro interaktivní mapy.) Částečné řešení mohou poskytnout vrstevnice pro výškovou členitost a mřížka (grid) na povrchu jako souřadnicová síť. Zvláště pro výškovou členitost je často využíváno převýšení, pro lepší čitelnost reliéfu.

8.4 Kartografická interpretace

Kartografické symboly představují prostředek pro sdělení informace mezi kartografem a uživatelem. Jsou to jednoduché grafické znaky a jsou potenciálně nositeli informace mající pro uživatele určitý význam. Pro 2D mapy je problematika znakového klíče podrobně zpracována. Principy tvorby kartografických znaků se utvářely dlouhodobě a poskytují spolehlivý prostředek pro tvorbu map. V případě 3D map je tento vývoj teprve v počátcích, teoretická klasifikace chybí a otázka reprezentace dat ve 3D scéně je předmětem diskuze. Ve 2D pojetí pracujeme s jednoduchými geometrickými útvary (body, linie, plošné znaky), na které lze dále aplikovat další parametry jako je pozice, velikost, tvar, (hodnota), orientace, barva a textura, tzv. vizuální parametry. Ve 3D prostředí musíme znaky nahradit volumetrickými objekty (Voženílek 2005).

8.4.1 Vizuální parametry

V případě vizuálních parametrů pro 3D objekty je ale situace složitější, než v případě 2D zobrazení. Parametry lze rozdělit do dvou skupin (Hardisty, MacEachren, Takatsuka 2001).

První skupinu lze označit za „hmatatelné“ parametry a vystihují realitu objektu. Jsou to tvar, velikost, poloha a orientace. Velikost v perspektivním zobrazení může být relativní. V případě dvou objektů, kdy první je blíže, ale je menší než druhý (vzdálenější), lehce dojde ke špatné interpretaci a určení vzájemné velikosti (v důsledku perspektivního zkreslení se první jeví větší a druhý naopak menší než ve skutečnosti, ve výsledku se pozorovateli zdají stejně veliké). Poloha může být určena souřadnicemi (x,y,z) v kartézské soustavě, relativně, ale také jako georeferencovaná. Orientace nemusí být vždy jednoznačně určitelná, např. v případě koule. Navíc když vezmeme v úvahu možnost (v případě interaktivity mapy), že úhel pohledu lze poměrně jednoduše měnit, význam tohoto parametru je výrazně oslaben, muselo by docházet ke změně orientace spolu s každou změnou pohledu.

Druhá skupina je tvořena „pouze viditelnými“ parametry. Jedná se o barvu, texturu, odrazivost a průhlednost. Barva je v případě 3D scény úzce spjata s tvarem objektů, typem a umístěním zdroje(ů) osvětlení. Dnes již díky vyspělým nástrojům softwaru neexistuje prakticky žádné omezení ve využití barev. Rozhodujícím faktorem však nadále zůstává grafické cítění

autora (*Haerberling 2002*). Proto je nutné např. při snaze použití vlastností barev pro tematické mapování vzít v úvahu i tyto faktory (*Fosse, Veiga, Sluter 2005*). Pro tvorbu různých povrchů lze využít textur. Je možné využít předdefinovaných, nabízených možnostmi aplikací, ale také vytvářet vlastní pomocí rozličných algoritmů. Tímto způsobem lze na jednoduchý objekt použít i fotografii, místo složitých polygonálních tvarů, které bychom byli nuceni modelovat, např. na fasádu objektu (*Hardisty, MacEachren, Takatsuka 2001*).

8.4.2 Level of detail (stupeň detailu)

Z perspektivního zobrazení pak plynou další zákonitosti pro zobrazování ve 3D scéně. Objekty v 3D prezentaci, které jsou k pozorovateli blíže, se podobně jako v realitě jeví větší a zřetelnější než objekty v pozadí. Také z tohoto důvodu, ale i pro urychlení vykreslení se zavádí koncept LOD (level of detail). To znamená, že pro objekty, které jsou pozorovateli nejbliže, můžeme objekt znázornit třeba i přímo zjednodušeným modelem, pro objekt stejného typu, ale vzdálenější, je použit znak, který je zjednodušený výrazně. Stupňů zjednodušení může být i více.

Obecně pak pro znaky platí, že pro objekty, které jsou dílem člověka, je vhodnější zobrazení pomocí abstraktního symbolu. Pro přírodní útvary jako stromy a vodopády se jeví jako vhodnější použití symbolů odpovídajících realitě (*Voženílek 2005*). Nedoporučuje se také používat příliš geometrické znaky pro významné objekty, protože pak lehce unikají zájmu uživatele (*Rojc 1986 cit. in Voženílek 2005*).

8.5 Renderování scény

V kapitole o renderování jsme úlohu rozdělili na řešení tří dílčích úkolů. Součástí této úlohy bylo vyřešení pohledu na scénu, jehož možnosti jsou obsahem podkapitoly 8.2 (Pohled na scénu). Druhým krokem je vyřešení světelných podmínek scény.

8.5.1 Osvětlení

Řešení světelných zdrojů je charakteristické pro 3D zobrazení (ve 2D se objevuje pouze specifická forma - stínování pohoří). Parametry světelných zdrojů charakterizují poloha jejich umístění, směr a velikost. Volba správné konfigurace má na výsledek zásadní vliv. Použití různých typů světelných zdrojů podává zcela odlišné výsledky. V případě 3D mapy lze předpokládat, že využito bude zejména vlastností přímého světla (simulace Slunce) a ambientního světla. Umělé zdroje bude možné využít jen ve speciálních případech a v omezeném rozsahu.

8.5.2 Stínování

Pro vhodnou volbu stínovacího modelu, lze plně využít možností algoritmů. Podobně jako v případě osvětlení, které se stínováním přímo souvisí, na správné konfiguraci možností stínování bude záviset, aby scéna působila přirozeně. Nejsložitější optické jevy, které řeší komplikované algoritmy, nehrají v případě přírodních scén zásadní roli. S mnohonásobnými odrazy, různými možnostmi průhlednosti apod. se v případě přírodních scénérií nesetkáváme často. V případě zobrazování složitějších struktur, jako je městská zástavba jsou podmínky složitější, ale současná úroveň algoritmů je pro simulaci takovýchto scén dostačující.

8.5.3 Atmosférické a environmentální efekty

Jako poslední skupinu faktorů lze zmínit efekty, které simulují atmosférické a environmentální jevy v 3D prostředí. Tyto efekty posouvají abstraktní zobrazení více na stranu přirozeného vzhledu. Může se jednat o zobrazení oblačnosti, oparu, mlhy apod. (*Terribilini 2001, Haerberling 2002*).

8.6 Posouzení možností renderové technologie z hlediska kartografie

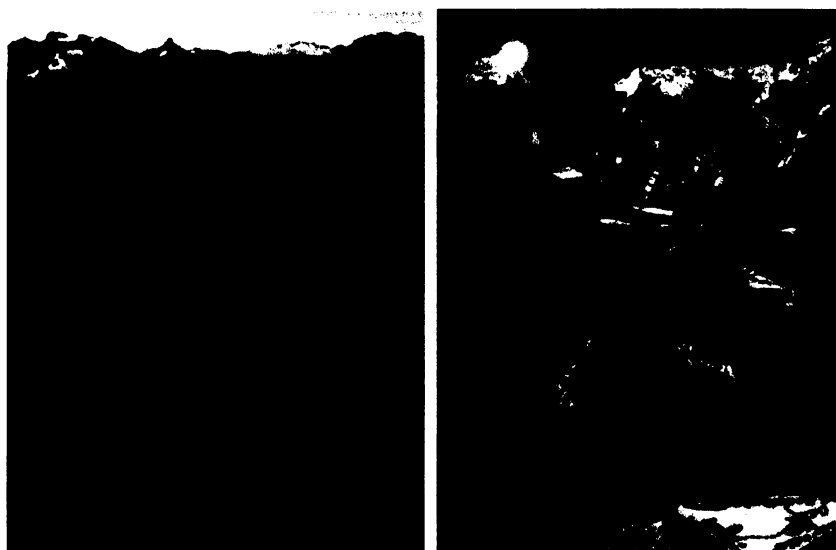
3D prezentace krajiny nepatří v kartografii k novinkám a snaha o zachycení reality jinak než ve formě 2D mapy se objevuje opakovaně i v historii. Renderová technologie, umožněná rozvojem výpočetní techniky nabízí řešení, která přispívají rychlosti tvorby takových prezentací ve formě automatizace procesu a můžou přispět i ke kvalitě takto vzniklých děl a nahradit ruční kreslené zpracování. K implementaci renderingu z oblasti počítačové grafiky by však mělo z kartografického hlediska docházet pouze v případě, že tyto metody přispívají k hlavnímu účelu mapy, tedy objasnění prostorových vztahů (*Kraak 1988*). Mapa nemůže pouze kopírovat realitu (*Voženilek 2005*).

Největší užitek z 3D zobrazení a tedy využití renderových nástrojů můžeme dosáhnout tam, kde nám jde o zobrazení objemových dat. V kartografii je ale primárně cílem zachycení prostorových vztahů. Proto 3D zobrazení nemusí při mapových, nebo mapám podobných zobrazeních situaci zjednodušit (*Diabase 1994*). Například Tufte zkoumal rychlost analýzy dat zobrazených ve 3D a 2D. Rychlost v případě 2D zobrazení byla vyšší, navíc také jistota řešitelů o správnosti výsledku, než u 3D zobrazení. K podobným výsledkům dospěl i Kraak, když zjistil,

že čas odezvy v případě 3D nebyl kratší. To vede k otázce, nakolik 3D zobrazení a potažmo fotorealismus dosažený prostředky renderování přispívá ke kvalitě mapy z hlediska analýzy prostorových vztahů na mapě.

8.6.1 Fotorealismus vs. nefotorealistické zobrazení

3D prezentace geo-objektů v sobě zahrnují část přirozeného vzhledu. Přesto pro některé úlohy je snaha o takové zobrazení, které by se blížilo realitě. Zde má renderování široké možnosti uplatnění, protože dosahuje vysokého stupně věrnosti, srovnatelné s realitou. Opět je ale třeba upozornit, že úplně reálné zobrazení, podobné fotografii, nemusí splňovat účel. Pro mnohé z aplikací je vhodnější volbou nefotorealistické zobrazení. Srovnání přístupů nabízí obr. 11 (*Meng 2002*), nalevo fotografie a napravo model terénu potažen mapou území.



Obr. 11: Srovnání fotografie a nefotorealistického zobrazení

Tato zobrazení se záměrně nesnaží o věrnou simulaci, ale blíží se spíše ruční kresbě. (Chyby fotorealistických algoritmů způsobují, že ne všechny renderované obrazy realitě skutečně odpovídají. Nelze je však za nefotorealistické označit, protože nefotorealistické pracují s tímto zjednodušením zcela účelově a záměrně.) Právě přílišná komplexnost renderovaného obrazu může působit nevhodně a nečitelně. Za jakousi dobu generalizace v kartografii můžeme označit nefotorealistické zobrazení. Umožňuje totiž pracovat s realitou a některé prvky zvýraznit, nebo naopak potlačit v zájmu toho, co máme za cíl pomocí mapy vyjádřit. Nejčastěji se uplatňuje práce s 3D modelem, ale místo skutečných (realistických) textur se používají umělé, symbolické.

8.6.2 Srovnání přístupu kartografie a renderové technologie

V tab. 3 jsou uvedeny základní principy a přístupy kartografie a renderování. Na základě tohoto srovnání a se zřetelem k jednotlivým vlastnostem kartografických produktů můžeme pak hodnotit možnosti a výhodnost využití renderování pro kartografii. Přestože u obou je základním cílem zobrazení reality, představa o tom, jakou má mít výsledek konečnou formu, se liší. Liší se i dílčí postupy, pomocí kterých je cíl dosahováno. Renderová technologie poskytuje téměř dokonalá řešení zobrazení reality, naproti tomu v klasické kartografické tvorbě není takový stupeň potřebný. Na druhé straně může být oživujícím přínosem tam, kde klasické řešení ztrácí na přehlednosti. Podobně může využití renderování nahradit ruční práci u map kreslených, které představují prostředek pro orientaci (např. pro méně zkušené uživatele). Příkladem mohou být pohledové turistické mapy nebo orientační mapy v lyžařských střediscích. Jiná situace bude v případě digitální kartografie. Trendy ve vývoji jsou jednoznačné a posun k 3D mapám a hlavně interaktivní práce s nimi, se bez renderové technologie neobejde. Všude tam, kde chceme uživateli umožnit vlastní volbu pohledu na zobrazované území ve 3D prostředí, je aplikace renderových algoritmů nutná. Jejich použití ale musí být v souladu s pravidly, které jsou ve shodě s kartografickými postupy a využití fotorealistických parametrů těchto algoritmů musí být jednoznačně odůvodněné.

kartografie	renderování
cílem není absolutně věrné zobrazení	cílem je snaha o co nejrealističtější vzhled
neřeší globální model osvětlení (pouze ho využívá pro prohloubení prostorového vjemu, např. pro stínování pohoří)	snaha o maximální podobnost s reálnými světelnými podmínkami
snaha o interaktivitu i dynamiku	statické i real-timeové renderování
symbolika jako základní princip	reálný vzhled objektů

Tab. 3: Srovnání základních přístupů kartografie a renderování

8.7 Využití renderování v kartografii

Renderová technologie pro 3D prostředí může přispět ke kvalitě 3D mapového produktu. Jak z předešlých úvah vyplynulo, půjde o oblasti, kde pro podporu prostorových vztahů můžeme sáhnout na prostředky, které díky kvalitě zobrazení můžeme srovnávat s pohledem, který odpovídá realitě. S použitím nefotorealistických metod lze dosáhnout schematizovaných výstupů. Volba perspektivního pohledu u 3D map výrazně omezuje kartometrické vlastnosti, tudíž využití pro tyto účely nebude vhodné.

Největšího využití naleznou 3D mapy v případě zobrazení území, kde zjednodušeně řečeno něco bude, ale ještě není, tedy v oblasti plánování. Cílem bude posouzení vlivu staveb nebo jiných úprav (změna vegetace, rekultivace apod.) na krajinu; podobně se již renderování v hojně míře využívá v architektuře pro vizualizaci projektovaných staveb. Uplatnění



Obr. 12: Etna, vizualizace (zdroj: NSF)

renderových postupů (především real-time) probíhá i v aplikacích dynamických modelů VRML. Jejich uplatnění je zatím využíváno především v cestovním ruchu pro různé prezentace historických center měst. Renderová technologie má smysl i pro tvorbu 3D map horských oblastí, kde může poskytnout pohodlnější a rychlejší orientaci, podobě v případě rozsáhlých nákupních center. V neposlední řadě pak oceníme výhody renderové technologie v oblasti vzdělávání. Lze vytvořit 3D kartografické produkty, které mohou poskytnout pohledy v reálném světě neuskutečnitelné, například v oblasti geologie. Příkladem může být 3D mapa mořského dna nebo poloodkrytého vulkánu (obr. 12).

9 KARTOGRAFICKÝ PRODUKT

9.1 Volba území a nástrojů

9.1.1 Volba území

Pro vlastní produkt jsem se snažil vybrat jednoduché, ale zajímavé modelové území, na kterém by bylo možné pomocí základních funkcí některého dostupného modelovacího a renderovacího softwaru vytvořit jednoduchou 3D mapu. Nakonec jsem zvolil území a údolí obce Vrané nad Vltavou, několik kilometrů jižně od Prahy.

9.1.2 Volba softwaru

Prvotní záměr počítal s využitím programu Rhinoceros 3.0, který pracuje s NURBS křivkami a plochami. Výhodou tohoto softwaru byla především možnost použití zásuvného modulu RhinoMan, který je renderovací aplikací kompatibilní s Renderman Interface s možností exportu scény v RIB formátu. Na začátku práce se však vyskytly problémy, při tvorbě a snaze o editaci základního terénu území docházelo k opakovanému výpočetnímu selhání. Proto byl zvolen produkt firmy Autodesk, 3ds max, verze 8.

9.2 Postup zpracování

Postup zpracování lze rozčlenit na tři základní kroky. První fází bylo obstarání a předzpracování vstupních dat. Následovala jejich editace a zpracování, vytvoření modelu území a jednotlivých prvků a v závěru byla scéna vyrenderována.

9.2.1 Zpracování dat

Jako zdroj vstupních dat byla zvolena Základní mapa ČR, topografická odvozená mapa v měřítku 1: 25 000. Referenční plochou je v tomto případě Besselův elipsoid a použito je Křovákovo zobrazení. Mapa byla nascanována a následně vektorizována pomocí softwarového produktu Autodesk Land Desktop 2005 a přes dwg formát exportována do programu Autodesk 3ds max. Vektorizován byl výškopis, a to vrstevnice v intervalu po 20m. Dále byly vektorizovány další základní prvky, jako říční síť, zástavba, silnice apod. Pro další práci je použit výhradně lokální souřadnicový systém.

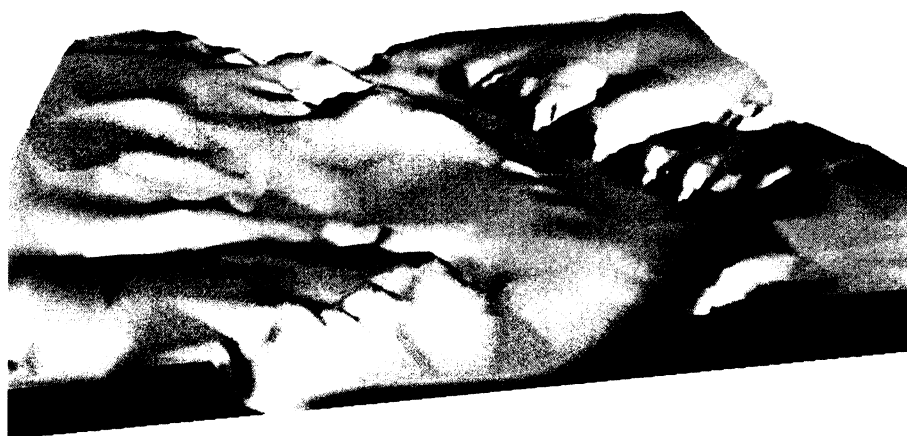
9.2.2 Modelování

Dalším krokem byla úprava a editace v prostředí 3ds max. Z vrstevnic byl generován terén a postupně přidány další prvky polohopisu. Výšková členitost byla zdůrazněna pomocí převýšení, které činí dvojnásobek výšky skutečné. Pro některé prvky, např. zástavbu byla zvolena objemová reprezentace, řeky, silnice a další liniové prvky byly promítnuty na povrch, tak aby kopírovaly terén. Pro jednotlivé oblasti terénu byly aplikovány rozličné textury, dle charakteru území a byly upraveny parametry kartografických prvků.

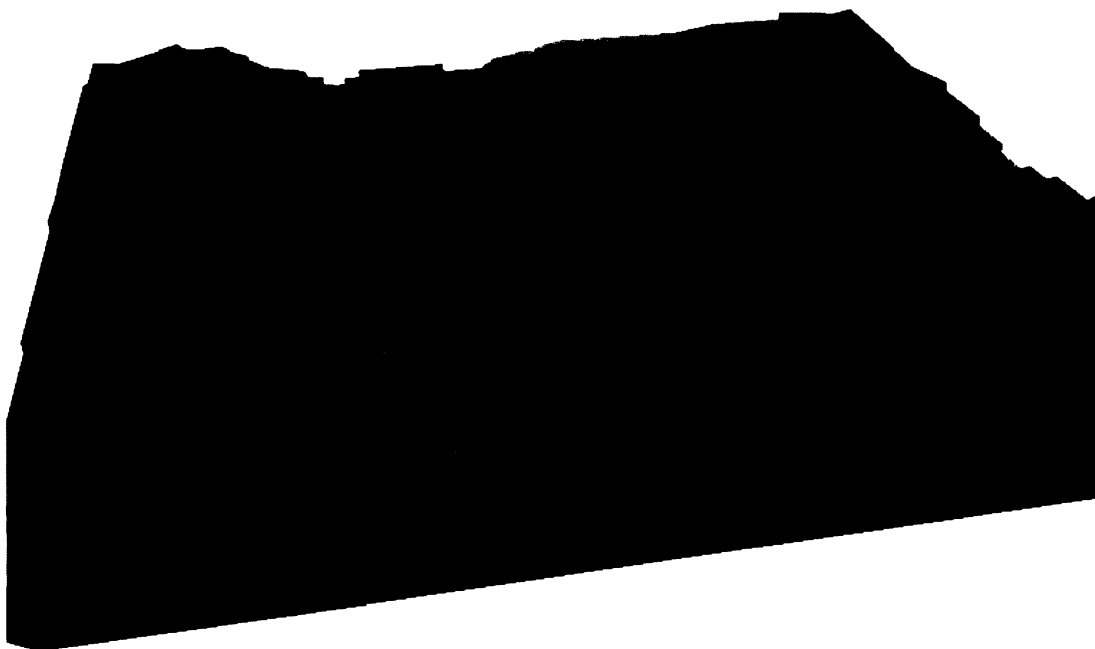
9.2.3 Renderování

Závěrečnou fází byl proces renderování. Pro jednotlivé povrchy byl zvolený vhodný stínovač, který odpovídal skutečnosti (v případě přírodních prvků). Pro osvětlení bylo zvoleno světlo typu omni, kdy paprsky světla jsou vysílány do všech směrů, nejvíce se podobá světlu slunečnímu. Formát výstupu byl zvolen A3, dle toho byl nastaven počet pixelů pro renderování. Výsledná 3D mapa je v příloze I.

Následujících pár obrázků zachytává dílčí výsledky průběhu vytváření 3D mapy. Bezprostředně po vytvoření 3D modelu území se nabízí několik možností jednoduchých úprav, které jsou dnes běžně dostupné v geografických informačních systémech. Výchozím prvkem je model území (obr. 13). Na obrázku 14 je zachycen terasovitý model, kombinovaný s barevnou hypsometrií. Jako nejjednodušší možnost tvorby 3D mapy lze uvést model povrchu, potažený 2D mapou (obr. 15).



Obr. 13: Model terénu



Obr. 14: Terasovitý model s barevnou hypsometrií



Obr. 15: Model terénu s potaženou 2D mapou

10 ZÁVĚR

10.1 Diskuze

Pokud se chceme zamyslet nad významem renderové technologie v 3D kartografické produkci, musíme se vrátit na začátek, kdy jsme začínali s vymezením, za jakých podmínek můžeme mluvit o 3D produktech. Jak jsem v kapitole 2 naznačil, pohledy se různí. Otázka definice 3D mapy je nejčastěji spojována s formou, jak je uživatelem zobrazený prostor vnímán, protože výsledný obraz je prezentován nejčastěji prostřednictvím 2D média. Nepochybně nejvýznamnější mírou k tomu přispívá volba pohledu na scénu, konkrétně perspektivní zobrazení se jeví jako nejvhodnější. To však samo o sobě nestačí pro označení takového zobrazení za kartografické. Je nutné, aby takto vzniklá prezentace splňovala další požadavky. Nelze než souhlasit, že základní postupy jako generalizace a použití symbolů je pro 3D prezentace výhodné. Zde renderová technologie nabízí možnosti, které mohou výslednou prezentaci oživit, ale fotorealistické zobrazení prvků lze výhodně využít pouze v omezené míře. Přílišná podobnost s reálným vzhledem objektů vede k přesycení obrazu, ve kterém se podstatný obsah lehce stane nečitelným, snahou kartografa je ale přesný opak. Renderování v tomto smyslu nepřináší kvalitativní změnu k lepšímu přesto, že výsledný vizuální vjem může působit atraktivně. Pouze nabízí možnosti, jak tvorbu rozšířit a zefektivnit pomocí nástrojů, které software nabízí. Doménou 3D renderování je také řešení světelných podmínek. Ty se v kartografii příliš neuplatní, mohou pouze sloužit jako posílení 3D prostorového vjemu, podobně simulace různých atmosférických jevů jako mlha apod. Největším přínosem renderování se jeví možnost aplikace různých povrchů - materiálů. Pro tématické mapování všeho druhu zde prakticky neexistují limity, lze pracovat jak s abstrakcí, tak s reálně vyhlížejícími texturami.

10.2 Závěr a hodnocení

Cílem této práce byla analýza možností, které nabízí 3D renderová technologie kartografii. V první části bylo nejprve nutné vymezit jaké kartografické produkty budeme brát v úvahu a jakými prostředky dosahují 3D prostorového vjemu. Pro renderovou technologii se jako vhodné z této úvahy jevíly 3D mapy a mapám podobná 3D zobrazení. Pro zasazení

problematiky do širších souvislostí jsem popsal obecné aspekty vizualizace, resp. geovizualizace a konkrétní postup získání obrazu z pořízených dat. Na základě teoretického popisu dvou nejrozšířenějších renderovacích algoritmů (radiozity a sledování paprsku) pak bylo možné specifikovat parametry, které sejevily z hlediska kartografie jako klíčové. Sem můžeme zařadit volbu stanoviště, resp. pohled na scénu a vizuální parametry kartografických vyjadřovacích prostředků, které se od 2D map liší. Pro složitější scény je nezbytné aplikovat koncept „level of detail“. Naopak možnosti renderování v oblasti osvětlení a stínů je omezeno pouze na prohloubení prostorového vjemu. Speciální efekty jako i složité optické jevy lze uplatnit jen výjimečně. Využití fotorealistického zobrazení se pak ukázalo jako opodstatněné pouze v případě, že přispívá k posílení schopnosti uživatele analyzovat prostorové vztahy, případně lze připustit i posílení estetické kvality. V druhé části jsem vytvořil jednoduchý kartografický produkt pro posouzení vlivu nové zástavby v územním plánování.

POUŽITÁ LITERATURA

Odborná literatura:

BELKOVÁ, E. (1992): Tvorba pohledových map pomocí počítače. [Magisterská práce.]
Praha, Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK.

BRODLIE, K. (1994): A Typology for Scientific Visualization.

In: UNVIN, D.J., HEARNshaw, H.M. (eds.): Visualization in Geographical Information System. Wiley. Chichester. str. 34-41.

DIABASE, D. et al. (1994): Multivariate Display of Geographic Data: Application in Earth System Science. In: MacEACHREN, A.M., TAYLOR, D.R.F.: Visualization In Modern Cartography. Pergamon. Oxford. 345 stran.

FAIRBAIRN, D., PARSLEY, S. (1997): The Use of VRML for Cartographic Presentation. Computers & Geosciences 23 (4), str.475 - 481.

[http://www1.elsevier.com/homepage/sad/cageo/cgvis/fairbair/vr_carto.htm]

FOSSE, J.M., VEIGA, L.A.K., SLUTER, C.R. (2005): Color Hue As a Visual Variable in 3D Interactive Maps. ICC2005 - La Coruña, España.

[<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/poster/TEMA26/JULIANA%20MOULIN%20FOSSE.pdf>]

FRANK, A.U., EGENHOFER, M. J. (1992): Computer Cartography for GIS: An Object-oriented View on the Display Transformation. Computers & Geosciences 18 (8), str. 975-987.

[<http://www.spatial.maine.edu/~max/CoCa.pdf>]

FROUMENTIN, M., WILLIS, P. (1999): An Efficient 2 ½ D Rendering and Compositing System. Eurographics '99. Volume 18 (1999), Number 3.

[<http://www.w3.org/People/maxf/past/research/publications/eg99.pdf>]

HAEBERLING, C. (2002): 3D Map Presentation - A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects. Presentation at International Cartographic Association (ICA) Mountain Cartography Workshop „Mount Hood“. Oregon.

[http://www.mountaincartography.org/mt_hood/pdfs/haeberling1.pdf]

HAEBERLING, C. (2003): «Topografische 3D-Karten»: Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze. [Disertační práce.] Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

[<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/diss/fulltext/eth15379.pdf>]

HAN-WEI, S. (2005): Time Dependent Isosurface Extraction.

In: HANSEN, D. CH., JOHNSON, CH. R.(eds.): The Visualization Handbook. Elsevier-Butterworth Heinemann. Burlington. 962 stran.

HANSEN, D.CH., JOHNSON, CH.R.(eds.) (2005): The Visualization Handbook.

Elsevier-Butterworth Heinemann. Burlington. 962 stran.

HARDISTY, F., MacEACHREN, A.M., TAKATSUKA, M. (2001): Cartographic Animation in Three Dimensions: Experimenting with the Scene Graph. 20th International Cartographic Conference (ICA). Beijing. str. 2810 - 2817. Conference proceedings.

HOJOVEC, V. a kol. (1987): Kartografie. Geodetický a kartografický podnik. Praha. 660 stran.

KESSON, M.A. (1995): An Introduction to 3D Computer Graphics *Exploring Photo-Realism with MacRenderMan*. ACM SIGGRAPH Education Materials.

[www.siggraph.org/education/materials/renderman/pdf_tutorial/rman_booklet.pdf]

KRAAK, M.J. (1988): Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques. TU Delft. Delft. 175 stran.

MARTIŠEK, D. (2002): Matematické principy grafických systémů. Littera. Brno. 278 stran.

MENG, L. (2002): How Can 3D Geovisualization Please Users Eyes Better?. Geoinformatics Magazine for GEO-IT Professionals, Vol.5, str. 34 - 35.

[http://129.187.175.5/publications/meng/paper/how_can_3D.pdf]

SCHROEDER, W., J., MARTIN, K.M., (2005): Overview of Visualization.

In: HANSEN, D. CH., JOHNSON, CH. R.(eds.): The Visualization Handbook. Elsevier-Butterworth Heinemann. Burlington. 962 stran.

SZIRMAY, K.L. et al. (1995): Theory of Three Dimensional Computer Graphics. Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest. 430 stran.

[<http://www.iit.bme.hu/~szirmay/book.html>]

ŠLEISOVÁ, L. (2005): Tvorba a vizualizace 3D modelů měst. [Magisterská práce.] Praha, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK.

TORY, M., MÖLLER, T. (2002): A Model-Based Visualization Taxonomy. Technical Report CMPT-TR 2002-06. Computer Science Department Simon Fraser University.

UNVIN, D.J., HEARNshaw, H.M. (eds.)(1994): Visualization in Geographical Information System. Wiley. Chichester. 243 stran.

VOŽENÍLEK, V. (2005): Cartography for GIS. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc. 142 stran.

WEIßKOPF, D., ERLEBACHER, G. (2005): Overview of Flow Visualization.

In: HANSEN, D. CH., JOHNSON, CH. R.(eds.): The Visualization Handbook. Elsevier-Butterworth Heinemann. Burlington. 962 stran.

WOOD, M., BRODLIE, K. (1994): ViSC and GIS: Some Fundamental Considerations.

In: UNVIN, D.J., HEARNshaw, H.M. (eds.): Visualization in Geographical Information System. Wiley. Chichester. str. 3 - 8.

YANG, Z., QING, X., CHAOZHENG, L., BING, T. (2004): Research on Visualization Technology of CyberCity 3D Scene. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing XXth Congress, Istanbul, 12.7. - 23.7. 2004.

[<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm5/papers/632.pdf>]

ŽÁRA, J., BENEŠ, B., SOCHOR, J., FELKEL, P. (2005): Moderní počítačová grafika. Computer Press. Brno. 609 stran.

Cambridge International Dictionary of English (1995). Cambridge University Press. Cambridge. 1774 stran.

Internetové zdroje:

ANDERT, F., SCHEIDEREITER, P. (2003): Die Rendering Pipeline. Bilderzeugung in 3D Grafiksystemen. [Seminární práce.] Humboldt Universität Berlin.

[http://www2.informatik.hu-berlin.de/~andert/Rendering_Pipeline_Reader.pdf]

HERNANDEZ, T., DU, M., AMIN, T. (2004): Advances in Retail Visualization.

[<http://www.cscs.ryerson.ca/publications/2004-11.html>]

PETROVIC, D. (2001): New Approaches in Mountain Maps.

[http://www.icc.es/workshop/abstracts/paper_petrovic.pdf]

PULLI, K. (2004): Shading & Scene Graph.

[Course notes for Computer Graphics]

[http://www.ee.oulu.fi/~kapu/cg_course/bigfiles/5_shdscg_4.pdf]

SHENE, C.K. (2003): Boundary representation.

[Course notes for Computing with Geometry Course]

[<http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/model/b-rep.html>]

GeoVRML Working Group of the Web3D Consortium.

[<http://www.geovrml.org> - 15.2.2006]

NSF (National Science Foundation)

[<http://www.nsf.gov> - 15.5.2006]

Shadow techniques

[http://www.shadowstechniques.com/intro_cz.html - 24.4.2006]

WEB 3D Consortium - X3D Overview

[<http://www.web3d.org/x3d/specifications/x3d/> - 15.2.2006]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Pracovní postup při vizualizaci

Obr. 2: Schéma vztahů mezi algoritmy zobrazujícími povrchy nebo objemy

Obr. 3: Příklady možné vizualizace vektorů

Obr. 4: Rendering Pipeline

Obr. 5: Varianty perspektivního zobrazení

Obr. 6: Srovnání BRDF a BSSRDF

Obr. 7: Závislost vrženého stínu na typu světelného zdroje

Obr. 8: Sledování paprsku

Obr. 9: Hierarchie obálek

Obr. 10: Typické možnosti volby pohledu na terén

Obr. 11: Srovnání fotografie a nefotorealistického zobrazení

Obr. 12: Etna, vizualizace (zdroj: NSF)

Obr. 13: Model terénu

Obr. 14: Terasovitý model s barevnou hypsometrií

Obr. 15: Model terénu s potaženou 2D mapou

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled algoritmů řešení viditelnosti

Tab. 2: Srovnání metody radiozity a sledování paprsku

Tab. 3: Srovnání základních přístupů kartografie a renderování

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I: Vrané nad Vltavou (3D mapa vlivu nové zástavby)

Vrané nad Vltavou

plánovaná výstavba rodinných domků

-
- vrstevnice
 - vodní tok
 - silnice
 - železnice
 - stávající zástavba
 - nová zástavba

Praha 2006, Tomáš Bartaláš