

Univerzita Karlova v Praze  
Přírodovědecká fakulta  
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Lucie Knížová

**Využití VRML pro tvorbu webového Informačního  
systému Jizerské magistrály**

Diplomová práce

Praha 2006

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Bayer, Ph.D.

## **Zadání magisterské práce** **(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)**

pro **Lucii Knížovou**

obor **Kartografie a geoinformatika**

Název tématu:

### **Využití VRML pro tvorbu webového Informačního systému Jizerské magistrály**

V souvislosti s technickým a technologickým rozvojem dochází v posledních desetiletích k přesunu zájmu od klasické kartografie k digitální kartografii a geoinformatice. Poptávka po interaktivních dynamických aplikacích stále roste. Uživatelé chtějí přizpůsobovat obsah a vzhled kartografických děl svým vlastním požadavkům tak, aby co nejrychleji získali hledané informace a snadno jim porozuměli. Zároveň existují určité předpoklady, že trojrozměrná vizualizace dat (je-li vhodně použita) prospívá přehlednosti aplikace, uživatel se v ní lépe orientuje a její prvky snáze interpretuje.

Cílem magisterské práce je prozkoumat možnosti využití VRML a World Wide Webu k zabezpečení interaktivity, dynamiky, veřejné dostupnosti a přehlednosti kartografické aplikace. Problematikou vizualizace prostorových dat ve VRML se zabývala již řada autorů, interaktivita a dynamika díla však ve většině těchto případů nebyla řešena a zůstala omezena možnostmi VRML prohlížeče. Magisterská práce bude proto zaměřena na stanovení vlastních metod pro zajištění interaktivního ovládání webové 3D aplikace, které vychází z kartografické podstaty díla. Cílem bude vytvořit webový informační systém simulující jednodušší GIS funkce. K doprogramování těchto funkcí bude využito dynamických uzlů VRML a možnosti propojení VRML s dalšími skriptovacími jazyky.

Daná problematika bude v práci prakticky použita při návrhu webového Informačního systému Jizerské magistrály pro účely lyžařské turistiky. Tento systém by měl sloužit turistům Jizerských hor ke zjištění základních informací o tratích lyžařské magistrály vhodných k naplánování trasy výletu.

Zásady pro vypracování:

- 1) Shromáždění dostupné literatury a projektů vztahujících se k tématu
- 2) Uvedení do problematiky WWW, 3D vizualizace, VRML, webového 3D GIS
- 3) Zpracování metodologie využití VRML v geovizualizaci – metodologie tvorby 3D modelů ve VRML; metodologie vizualizace bodových, liniových a plošných prvků ve VRML; metodologie interaktivního ovládání virtuální scény atd.
- 4) Návrh vlastní metody pro vytvoření interaktivní webové 3D aplikace a zajištění funkcí informačního systému (zapínání/vypínání vrstev, vyvolávání informací o objektech, zjištění názvů a souřadnic objektů atd.)
- 5) Návrh a tvorba webového Informačního systému Jizerské magistrály:
  - a) tvorba virtuální scény v GIS, export do VRML, úprava VRML kódu
  - b) uplatnění vlastní metody při návrhu a tvorbě webové aplikace
  - c) spuštění a testování funkčnosti aplikace v prostředí sítě Internet

Rozsah magisterské práce: cca 70 – 100 stran

Seznam odborné literatury:

- Bidoshi, K. (2003): *Virtual Reality Visualization for Maps of the Future*. [Dissertation] The Ohio State University.
- Fisher, P., Unwin, D. eds. (2002): *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis.
- Gergelitsová, Š. (2004): *VRML v příkladech*. Praha, Ben – technická literatura.
- Kraak, M.-J., Brown, A. eds. (2000): *Web Cartography: developments and prospects*. Taylor&Francis.
- Peterson, M. P. (1995): *Interactive and Animated Cartography*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc.
- Zrzavý, J. (1999): *VRML – tvorba dokonalých www stránek*. Praha, Grada Publishing.
- Žára, J. (2002): *Jazyky pro popis virtuální reality*. Praha, ČVUT.
- Žára, J. (1999): *VRML 97 Laskavý průvodce virtuálními světy*. Brno, Computer Press.
- Žára, J., Beneš, B., Felkel, P. (1998): *Moderní počítačová grafika*. Praha, Computer Press.

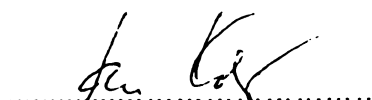
Vedoucí magisterské práce: Ing. Tomáš Bayer, PhD.

Konzultant magisterské práce:

Datum zadání magisterské práce: 30. 6. 2005

Termín odevzdání magisterské práce: jarní termín 2006

  
.....  
Vedoucí magisterské práce

  
.....  
Vedoucí katedry

V Praze dne 9. 4. 2005

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací na téma “Využití VRML pro tvorbu webového Informačního systému Jizerské magistrály“ vypracovala samostatně s využitím zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů a literatury. Svoluji k jejímu zapůjčení s tím, že veškeré (i přejaté) informace budou řádně citovány.

V Praze, dne 20. dubna 2006

*Lucie Knížová*  
.....

Lucie Knížová



Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Tomáši Bayerovi, Ph.D. za cenné rady a vedení diplomové práce a Doc. RNDr. Vítu Voženílkovi, CSc. za podnětné připomínky, které mi pomohly při jejím vypracování. Dále děkuji firmám Kartografie HP a ARCDATA PRAHA za poskytnutí vstupních dat a softwaru pro zpracování webové aplikace, RNDr. Ince Vyorálkové (ARCDATA PRAHA) a Kevinu Voelkerovi (Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC) za rady k programu ERDAS IMAGINE, Ondřeji Šimánkovi a RNDr. Šárce Gergelitsové za pomoc s jazykem VRML a Ing. Blance Nedvědické, ředitelce Jizerské o. p. s., za informace o Jizerské magistrále.

## OBSAH

<b>1. Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Uvedení do problematiky</b> .....	<b>10</b>
2.1. Geografická vizualizace .....	10
2.1.1. Interaktivní a dynamická vizualizace .....	11
2.1.2. 3D vizualizace .....	12
2.2. Virtuální realita.....	13
2.3. Interaktivní geovizualizace ve VRML .....	15
2.4. Problematika webového 3D GIS .....	18
<b>3. Virtual Reality Modeling Language</b> .....	<b>20</b>
3.1. Vývoj VRML .....	20
3.2. Vlastnosti VRML .....	21
3.3. Struktura souboru VRML .....	22
3.3.1. Uzly jazyka VRML.....	24
3.3.2. Třídy parametrů ve VRML.....	25
3.3.3. Typy dat ve VRML.....	25
3.3.4. Přesnost dat ve VRML.....	26
3.3.5. Jazykové konstrukce ve VRML.....	27
3.4. Navigace ve VRML.....	28
3.5. GeoVRML .....	29
<b>4. Metody tvorby virtuální scény ve VRML</b> .....	<b>31</b>
4.1. Software pro tvorbu virtuální scény .....	31
4.1.1. Textové editory.....	31
4.1.2. VRML editory .....	32
4.1.3. Grafické 3D editory .....	32
4.1.4. Nástroje pro tvorbu virtuálních scén z geografických dat.....	33
4.2. Data pro tvorbu virtuální scény .....	35
4.3. Metody tvorby modelu terénu ve VRML.....	36
4.3.1. IndexedFaceSet – Množina ploch.....	36
4.3.2. ElevationGrid – Výšková mapa.....	37
4.3.3. Porovnání modelů IndexedFaceSet a ElevationGrid.....	37
4.3.4. Export modelu terénu z GIS do formátu VRML.....	39
4.4. Metody vizualizace kartografických znaků ve VRML.....	41

4.4.1.	3D bodové znaky .....	42
4.4.2.	3D liniové znaky.....	42
4.4.3.	3D plošné znaky .....	42
4.5.	Definice vzhledu objektů VRML scény.....	43
4.5.1.	Barva a osvětlení objektů .....	43
4.5.2.	Mapování textur.....	44
4.6.	Dokreslení iluze prostoru ve VRML.....	45
4.6.1.	Světlo .....	45
4.6.2.	Pozadí .....	46
4.6.3.	Mlha.....	47
4.6.4.	Zvuk.....	47
4.7.	Optimalizace VRML scény .....	48
4.7.1.	Načítání souboru.....	49
4.7.2.	Rychlost zobrazování a pohybu .....	50
4.7.3.	Vizuální kvalita .....	51
<b>5.</b>	<b>Metody interakce a dynamiky ve VRML scéně.....</b>	<b>53</b>
5.1.	Prohlížení VRML scény.....	53
5.1.1.	VRML prohlížeče .....	53
5.1.2.	Zobrazení VRML scény na internetu .....	54
5.2.	Tvorba animací ve VRML .....	54
5.3.	Základní možnosti interakce ve VRML .....	55
5.4.	Aplikační rozhraní pro interaktivní ovládání VRML scény.....	56
5.4.1.	Script Authoring Interface (SAI) .....	57
5.4.2.	External Authoring Interface (EAI) .....	58
5.4.3.	Jiná externí rozhraní tvořená ovládacími prvky ActiveX/LiveConnect.....	59
5.4.4.	Serverové aplikace .....	60
5.5.	Základní funkce interaktivního rozhraní kartografických děl ve VRML.....	60
5.5.1.	Volný pohyb ve scéně.....	61
5.5.2.	Změna měřítka.....	62
5.5.3.	Změna stupně generalizace.....	64
5.5.4.	Změna obsahu scény .....	65
5.5.5.	Změna vzhledu scény.....	65
5.5.6.	Zpřístupnění atributů a informací vztahujících se k objektům .....	66
5.5.7.	Vyhledávání objektů .....	67

<b>6. Návrh a tvorba Informačního systému Jizerské magistrály .....</b>	<b>68</b>
6.1. Jizerská magistrála.....	68
6.2. Konfigurace systému – hardware a software .....	69
6.3. Vstupní data .....	70
6.4. Návrh webové aplikace.....	70
6.4.1. Účel webové aplikace .....	70
6.4.2. Vymezení zájmového území .....	71
6.4.3. Funkční schéma webové aplikace.....	71
6.5. Tvorba digitálního modelu terénu.....	73
6.6. Tvorba virtuální scény .....	74
6.6.1. Výškopis .....	76
6.6.2. Polohopis.....	78
6.6.3. Popis .....	79
6.7. Funkce informačního systému.....	80
6.8. Spuštění a testování aplikace v prostředí sítě Internet.....	83
6.9. Hodnocení funkčnosti aplikace.....	84
<b>7. Diskuse.....</b>	<b>86</b>
<b>8. Závěr.....</b>	<b>90</b>
<b>9. Seznam použitých pramenů a literatury .....</b>	<b>91</b>
9.1. Prameny .....	91
9.2. Literatura.....	94
<b>10. Seznam použitých zkratk a výrazů.....</b>	<b>100</b>
<b>11. Seznam obrázků .....</b>	<b>103</b>
<b>12. Seznam tabulek .....</b>	<b>104</b>
<b>13. Seznam příloh.....</b>	<b>105</b>

## 1. ÚVOD

V souvislosti s technickým a technologickým rozvojem v posledních desetiletích se v oblasti kartografie a geoinformatiky zvyšuje zájem o interaktivní vizualizaci geografických dat. Poptávka po interaktivních a dynamických aplikacích ze strany odborné i neodborné veřejnosti stále roste. Uživatelé chtějí přizpůsobovat obsah a vzhled kartografických děl svým vlastním požadavkům tak, aby co nejrychleji získali hledané informace a snadno jim porozuměli. Zároveň existují určité předpoklady, že 3D vizualizace dat prospívá přehlednosti aplikace. Uživatelé, lidé žijící přirozeně v trojrozměrném světě, se v 3D aplikaci lépe orientují a její prvky snáze interpretují.

Základním východiskem diplomové práce je předpoklad, že vhodným nástrojem interaktivní 3D geovizualizace je kombinace virtuální reality (VR) a World Wide Web (WWW).

Cílem práce je prozkoumat možnosti využití Virtual Reality Modeling Language (VRML), HyperText Markup Language (HTML) a dalších skriptovacích jazyků k tvorbě interaktivního, dynamického a veřejně dostupného digitálního kartografického díla. Kromě metod sloužících k tvorbě virtuální scény budou v práci prezentovány a posuzovány také metody interaktivního ovládání scény, které vychází z kartografické podstaty díla.

Vzhledem k tomu, že problematika interaktivní geovizualizace ve VRML je značně široká, bude pro účel diplomové práce zúžena na vizualizace „volné“ krajiny, ne zástavby a na abstraktní a symbolické virtuální scény, nikoli scény věrně napodobující skutečnost. V oblasti tvorby interaktivního uživatelského rozhraní na WWW bude pozornost věnována zejména klientským aplikacím.

Výsledky práce budou demonstrovány při tvorbě webového Informačního systému Jizerské magistrály. Jeho účelem bude sloužit turistům Jizerských hor ke zjištění základních informací o tratích magistrály vhodných k naplánování trasy výletu.

Pojmem Jizerská magistrála se označují strojově upravované tratě pro klasické lyžování v Jizerských horách, které již řadu let patří mezi vyhledávané cíle lyžařské turistiky. Každoročně pořádaný závod Jizerská padesátka je toho důkazem. Bohužel zatím neexistuje mnoho map ani publikací, které by poskytly obsáhlejší informace o tratích, jejich průběhu, převýšení, turistickém zázemí atd.

Doufám, že diplomová práce přispěje do oboru digitální kartografie a geoinformatiky novými poznatky z oblasti geovizualizace.

Diplomovou práci tvoří několik hlavních kapitol:

Kapitola 2 je věnována uvedení do problematiky virtuální reality a interaktivní 3D geovizualizace ve VRML a je zpracována na základě rešerše literatury a projektů vztahujících se k tématu.

Kapitola 3 pojednává o jazyku VRML, jeho historii, vlastnostech, struktuře atd. Zmíněny jsou též základní informace o jeho extenzi zvané GeoVRML.

Kapitola 4 zahrnuje informace o softwaru a datech vhodných pro tvorbu virtuální scény, popisuje metody tvorby modelů terénu a vizualizace kartografických znaků ve VRML. Závěr kapitoly je věnován optimalizaci virtuální scény.

Kapitola 5 se zabývá metodami interakce a dynamiky ve virtuální scéně. Popsány jsou především klientské, ale i serverové webové technologie. Speciální pozornost je věnována dynamickým uzlům VRML a dalším prvkům a rozhráním, prostřednictvím kterých lze virtuální scénu ovládat.

Kapitola 6 popisuje aplikační část práce, tj. návrh a postup tvorby webového Informačního systému Jizerské magistrály, a hodnotí funkčnost aplikace v prostředí WWW.

Kapitola 7 je věnována diskusi nad dosaženými výsledky a vhodností použití jednotlivých metod.

## 2. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

### 2.1. Geografická vizualizace

„Rozhraní mezi kartografií, vědeckou vizualizací, technologiemi pro mapování a způsoby, jakými může mapování usnadnit geografické myšlení, se označuje pojmem *geografická vizualizace (geovizualizace)*“ (MacEachren a Monmonier 1992, cit. v Howard a MacEachren 1996, s. 59).

Problematikou geografické vizualizace se zabývá Commission on Visualization & Virtual Environments (URL (15)) fungující v rámci International Cartographic Association (ICA) (URL (16)). MacEachren a Kraak (2001) a MacEachren (1998) zmiňují, že geovizualizace poskytuje teorii, metody a nástroje pro vizuální výzkum, analýzu, syntézu a prezentaci geoprostorových dat. Zároveň představují čtyři základní témata rozsáhlého výzkumu ICA Commission on Visualization & Virtual Environments, který probíhal v letech 1997-2001.

Prvním tématem výzkumu byla *reprezentace geoprostorových dat*. Fairbairn et al. (2001) se zabývá pěti různými aspekty reprezentace. Posuzuje ji z hlediska dat, formy, účelu, uživatelů a technologií reprezentace. Pro efektivní zobrazení dat je vyzdvížena důležitost znalosti jejich metadat. Co se týká formy reprezentace, diskutovány jsou metody rozšiřující reprezentaci o zvuk, animace, hypertextové odkazy či propojení s databází a výhody či nevýhody 2D a 3D vizualizace. Z hlediska účelu reprezentace je zkoumána otázka stupně detailu dat, kartografické generalizace a navigace, z pohledu uživatelů především interaktivita a navigace. Otevřena je také problematika víceuživatelského prostředí. V souvislosti s technologiemi a nástroji pro reprezentaci dat se autoři zmiňují o možnostech virtuální reality, WWW atd.

Druhým tématem výzkumu byl *návrh uživatelského rozhraní*. Cartwright et al. (2001) zdůrazňuje, že proces návrhu uživatelského rozhraní je důležitý pro vývoj interaktivních nástrojů a technik pro efektivní využívání vizualizačních nástrojů. Zabývá se především možnostmi interaktivity a dynamiky kartografických děl, estetikou grafického uživatelského rozhraní (GUI - Graphical User Interface) a důsledky standardizačních snah v oblasti návrhu rozhraní. Problematikou virtuální reality jako webového uživatelského rozhraní se zabývá také Çöltekin (2003) a Çöltekin (2002).

Třetím tématem výzkumu se stala problematika *propojení vizualizace a databáze*. Gahegan et al. (2001) se zmiňuje o potřebě užšího propojení geografické vizualizace a databáze za účelem využití výpočetních nástrojů pro získání informací z geodat. Tato problematika souvisí s možností propojení geovizualizace s geoinformačními systémy (GIS).

Čtvrtým tématem výzkumu byly *kognitivní (poznávací) aspekty vizualizačních nástrojů*. V rámci tohoto šetření nahlíží Slocum et al. (2001) na geovizualizaci jako na nástroj pro podporu rozhodování, dále jsou zkoumány poznávací aspekty dynamické vizualizace, 3D reprezentace a virtuality, hypermediální navigace atd. Práce stanovuje základní témata, která by měla být řešena v případě, že geovizualizační metody mají poskytnout efektivní informace o prostorových objektech a jevech. Poznávací aspekty virtuální reality zkoumá Bleisch (2005), Bleisch (2004) a Dias et al. (2003). Efektivitu využití 2D a 3D reprezentací pro orientaci v krajině porovnává Wood et al. (2005).

Shrňme-li poznatky výše uvedených autorů zabývajících se trendy geografické vizualizace, docházíme k závěru, že pozornost je stále více soustředěna na rozvoj interaktivní, dynamické a trojrozměrné vizualizace.

Voženílek (2005) zmiňuje, že v informačním věku, tj. ve 21. století, nemohou standardní tištěné statické mapy uspokojit požadavky svých uživatelů. Kartografové dnes musí vyvíjet mapy s ohledem na nové teorie a technologie a s cílem zvýšení jejich efektivity. Publikace pojednává např. o 3D geovizualizaci, dynamických reprezentacích, virtuální realitě, hypermédiiích v kartografii nebo webové kartografii.

### *2.1.1. Interaktivní a dynamická vizualizace*

Rozvoj interaktivní a dynamické vizualizace úzce souvisí s rozvojem počítačů a technologií. V oblasti digitální kartografie a geoinformatiky dochází k novému přístupu ke kartografickým dílům. Počítač již neslouží pouze jako nástroj pro rychlejší automatizovanou tvorbu analogových map, ale jeho potenciálu interakce a animace se využívá při tvorbě interaktivních a dynamických kartografických děl (Peterson 1995). Vizualizovat data již neznamena pouze dát jim viditelnou podobu, ale také zajistit, aby se stala aktivním nástrojem pro myšlenkové procesy uživatelů.

Kraak (2000b) popisuje proces geografické vizualizace jako soubor technik vedoucích k přeměně geoprostorových dat z databáze do mapových produktů. Výhodou



interaktivní a dynamické vizualizace je, že uživatel může přizpůsobit obsah a vzhled mapy svým požadavkům tak, aby hledanou informaci našel co nejrychleji.

Podle Cartwright et al. (2001) patří mezi standardní nástroje interaktivního rozhraní kartografických produktů změna měřítka, kartografického zobrazení, stupně generalizace a úhlu pohledu. Je třeba zajistit možnost pohybu po mapě, změny parametrů reprezentace (barvy, textury, rychlosti pohybu atd.) a zpřístupnit atributy a informace vztahující se k prostorovým objektům.

Bidoshi (2003) k této problematice dodává, že úkolem kartografa při tvorbě interaktivní aplikace je stanovit uživateli takové limity, aby svými zásahy do díla nemohl změnit jeho kartografickou správnost.

Vhodným médiem pro interaktivní a dynamické aplikace je WWW. Mezi jeho nejcennější vlastnosti patří veřejná dostupnost a potenciál interakce. WWW lze s výhodou využít pro publikaci a distribuci prostorových dat. Prostřednictvím serverových aplikací, klientských plugin, Java appletů či skriptů je možné s těmito daty interaktivně pracovat (Köbben 2000, Kraak 2000a).

Webovou kartografií se zabývá např. Kraak a Brown (2000c). Osou celé knihy je klasifikace webových map na mapy statické a dynamické. Pro mapy dynamické je typická změna nebo animace jejich obsahu či vzhledu. Oproti tomu mapy statické se na webu vyskytují častěji a jedná se obvykle o naskenované kopie analogových map. Mapy statické i dynamické lze dále dělit na mapy určené pouze k prohlížení a na mapy interaktivní (uživatel má možnost ovlivnit vzhled a obsah mapy, získat další informace).

Webové standardy a směrnice vyvíjí World Wide Web Consortium (W3C) (URL (36)).

### *2.1.2. 3D vizualizace*

Lidé žijí přirozeně v trojrozměrném prostředí. Lze tedy předpokládat, že jsou schopni lépe porozumět informacím prezentovaným ve třech dimenzích než informacím prezentovaným ve dvou dimenzích. 3D vizualizace usnadňuje představivost, orientaci a interpretaci výsledků analýz. Na druhou stranu, pohled shora z „ptačí perspektivy“ bývá velmi důležitý pro vnímání relativní polohy sledovaného objektu (Çöltekin 2002). Efektivitu 2D topografických map a 3D modelů terénu pro orientaci a navigaci lidí v horách porovnává Wood et al. (2005). Výzkum zatím není ukončen, nicméně první

pozorování v oblasti chápání členitosti terénu (odhadu převýšení atd.) prokázalo mnohem větší úspěšnost 3D reprezentací. Autor však odůvodňuje tento výsledek faktem, že test byl zatím proveden pouze na skupině lidí s malými zkušenostmi s navigací a orientací v horách.

Nejčastěji se 3D vizualizace využívá pro znázorňování výškopisu a popis terénu. Obdobně jako u klasické 2D mapy můžeme však i v 3D kartografickém díle reprezentovat kromě samotných objektů (topografická kartografie) i vlastnosti objektů a jevy (tematická kartografie). Příklad využití 3D vizualizace ke znázornění tematického jevu, konkrétně vývoje počtu obyvatel v obcích regionu Overijssel v Nizozemí v letech 1811-2001, popisuje Kraak (2001).

## 2.2. Virtuální realita

Volný překlad termínu virtuální realita zní „neskutečné skutečno“. Základem virtuální reality jsou postupy z oboru počítačové grafiky, např. tvorba prostorových modelů a scén, manipulace s nimi, pohyb v trojrozměrném prostoru a zobrazování v reálném čase (Žára et al. 1998).

Aplikací z oblasti virtuální reality nazveme podle Žáry (1999) takový program, který se vyznačuje následujícími rysy:

- veškeré děje se provádějí v reálném čase, pokud možno s okamžitou odezvou na vstupní aktivitu uživatele,
- scéna a objekty mají trojrozměrný charakter nebo alespoň vytvářejí jeho iluzi,
- uživatel neprohlíží virtuální scénu pouze zvenčí, ale vstupuje do ní a pohybuje s v ní po rozličných drahách,
- scéna není statická, s jejími částmi uživatel manipuluje. Virtuální tělesa často působí jako samostatné bytosti – pohybují se po animačních křivkách, ovlivňují se s uživatelem i mezi sebou navzájem.

Díky těmto vlastnostem se virtuální realita zdá být vhodným prostředkem pro interaktivní a dynamickou 3D vizualizaci.

Zajímavé je chápání virtuální reality jako „human-computer interface“ (HCI), přel. „rozhraní člověk-počítač“ (Brodlie et al. 2002a). Toto pojetí považuje interaktivitu za

nejdůležitější vlastnost virtuální reality. Virtuální realita tvoří rozhraní, prostřednictvím kterého uživatel interaktivně hledá informace uložené v počítači.

Fairbairn a Parsley (1997, cit. v Bidoshi 2003) považují hardware a HCI za základní kritéria rozvoje virtuální reality (VR). Podle těchto dvou kritérií ji dělí na:

- *Pohlující VR* (Full/Immersive VR) – je spjata se speciálními technickými zařízeními (helma, rukavice atd.), jež mají uživatele co nejvíce oprostit od vnímání skutečného světa a umožnit mu ponořit se do světa umělého. Uživatel pak může reagovat s virtuálními objekty mnoha smysly – zrak, sluch, hmat, rovnováha.
- *Rozšiřující VR* (Augmented/Transparent VR) – používá obraz reálného světa (obvykle snímaného kamerou) jako pozadí ve virtuální realitě. Informace z reálného světa jsou pak kombinovány s doplňujícími prvky virtuální reality. Příkladem takové VR jsou např. letecké simulace.
- *Promítaná VR* (Project VR) – jedná se o prezentaci VR na velkoměřítkových grafických displejích. Příkladem je planetárium.
- *Desktop VR* (Desktop VR) - tento typ VR je nejužívanější, protože ho lze prezentovat na obyčejném monitoru počítače. Uživatel se naviguje jako by byl součástí scény v počítači.

Ve své diplomové práci se budu zabývat výhradně desktop VR.

Pro popis virtuální reality a 3D vektorové grafiky v prostředí WWW existuje několik jazyků, resp. formátů: VRML (Virtual Reality Modeling Language), X3D (XML-enabled 3D), SVR (Superscape Virtual Reality), QuicktimeVR, Java3D, 3DML (3D Markup Language), PGML (Precision Graphics Markup Language), VML (Vector Markup Language), Flash atd. Nejčastěji se používá jazyk VRML a to zejména proto, že jde o široce přijímaný otevřený standard, který je nezávislý na platformě a k prohlížení jeho souborů je zapotřebí pouze VRML plugin k webovému prohlížeči, který je k dispozici zdarma.

I přes svou poměrně krátkou historii si virtuální realita našla značné využití. Techniky virtuální reality se v současné době nejvíce využívají v architektuře a stavebnictví (vizualizace návrhů staveb, simulování deformace konstrukce), medicíně (modely orgánů i celých těl, simulace průběhu operace), armádě (letecké a bitevní simulace) a v neposlední řadě v komerci a zábavě (počítačové hry).

O možnostech využití virtuální reality v geografii pojednává Fisher a Unwin (2002). Práce nabízí poměrně rozsáhlý přehled projektů vztahujících se k této problematice. Pozornost je věnována jak virtuálním krajinám, tak virtuálním městům. Naprostá většina aplikací je založena na jazyku VRML. Virtuální realita je v nich použita jako prostředek pro výuku navigace v horách (Purves et al. 2002), výuku práce v terénu (Moore a Gerrard 2002a), vizualizaci změn v zemědělské krajině (Lovett et al. 2002), vytváření interaktivních virtuálních modelů měst (Fairbairn a Taylor 2002, Moore 2002b) atd.

Dykes et al. (1999) na příkladech ukazuje, že virtuální realitu lze využít k tvorbě kartografických děl různého stupně abstrakce. Vytvářet lze jak věrné napodobeniny skutečného světa, tak i abstraktní reprezentace. Tím, co dělá virtuální realitu „realitou“, nejsou detailní reprezentace objektů, ale spíše svoboda pohybu, dynamika, možnost interakce, zvuk, dotyk atd. V podobném duchu se vyjadřují i Gillings a Goodrick (1996), když tvrdí, že virtuální realita není pouze metodou pro imitaci reality, ale také pro simulaci aspektů reality jako smyslové formy komunikace. Otázka schopnosti uživatele získat informaci z fotorealistických reprezentací je v současné době předmětem výzkumu (MacEachren a Kraak 2001, Dykes et al. 1999). Použitelnost realistických 3D vizualizací posuzuje také Bleisch (2005) a Bleisch (2004). Podle výzkumu autorky je jen málo lidí schopno získat informaci z realistických reprezentací a leteckých snímků. Poznávací aspekty virtuální reality dále zkoumá Dias et al. (2003).

### **2.3. Interaktivní geovizualizace ve VRML**

Jazyk VRML je obecně uznávaným standardem pro popis virtuální reality. Mezi jeho největší výhody patří silná orientace na WWW, nezávislost na platformě, dynamika a interaktivita. Verze VRML 2.0 byla roku 1997 oficiálně přijata za standard International Organization for Standardization (ISO), norma nese název VRML97 (URL (35)).

V souvislosti s vytvářením virtuálních scén z geografických dat jsou obvykle řešena tato témata: tvorba prostorových modelů terénu ve VRML, vizualizace objektů virtuální scény, dokreslení iluze prostoru, optimalizace virtuální scény, navigace/orientace ve virtuální scéně, její dynamika a interaktivní ovládání.

Pro geografické a kartografické účely bylo vyvinuto rozšíření jazyka VRML nazvané GeoVRML. Jazykem GeoVRML se zabývají např. Reddy et al. (2001), Reddy et

al. (2000), Rhyne (1999). Rozšířením přímo jazyka VRML o funkce využitelné v geografii se zabývá Moore et al. (1997c). Mezi takové funkce patří např. možnost transformace modelu, využití relativních souřadnic a orientace, interpolace modelu terénu, georeference textur atd.

VRML je jazykem textového formátu. To znamená, že VRML scény lze vytvářet zápisem v běžném textovém editoru. K vizualizaci komplexních těles a scén je však zapotřebí buď grafický editor nebo možnost exportovat vytvořenou scénu z jiného softwaru (GIS, CAD atd.) do formátu VRML. V současné době existuje řada 3D nadstaveb GIS, které to dokáží, např. ArcGIS 3D Analyst, IMAGINE VirtualGIS.

Klíčovým problémem při tvorbě interaktivní aplikace ve VRML zůstává zajištění interaktivního ovládní virtuální scény. Možnosti interakce nabízené standardními VRML prohlížeči jsou v mnohých ohledech velmi omezené. Jsou zde dostupné pouze funkce určené k navigaci virtuálním prostředím (výběr způsobu pohybu, změna stanoviště atd.), ale i ty jsou podle Fuhrmann a MacEachren (2001) nepřehledné a nedostačující.

Vrátíme-li se k požadavkům na standardní nástroje interaktivního rozhraní kartografických děl podle Cartwright et al. (2001) zmiňovaným v kap. 2.1.1. zjistíme, že běžné VRML prohlížeče navíc samy o sobě nedovolují měnit parametry reprezentace ani nezpřístupňují atributy a informace vztahující se k prostorovým objektům.

Vhodným prostředím pro zajištění těchto a dalších chybějících interaktivních nástrojů je WWW. Architektura klient-server, applety či skripty umístěné ve webové stránce jsou řešením, jak s VRML scénou interaktivně pracovat.

Jedním ze základních rysů VRML je schopnost z určitého objektu scény odkázat do jiného souboru či webové stránky (Çöltekin 2003, Çöltekin 2002). Této vlastnosti lze s výhodou využít pro zobrazení informací o objektech scény.

Problematikou webových virtuálních prostředí se zabývá Brodlie a El-Khalili (2002b). Autoři ve své práci vymezují dvě základní složky virtuálního prostředí: prezentaci a simulaci. Prezentace je proces zobrazení virtuálního světa uživateli, zatímco simulace značí proces, jímž je modelováno chování lidí a objektů ve virtuálním světě. V případě interaktivní geovizualizace ve VRML v prostředí WWW je prezentace tvořena jazykem VRML a probíhá vždy na straně klienta. Pro simulace pak může být použit některý z programovacích jazyků pro webové aplikace, např. Java. Podle toho, zda simulace běží na straně klienta či serveru rozlišujeme aplikace klientské a serverové.

Klientské aplikace pod operačním systémem Windows využívají k zabezpečení interaktivity (resp. k simulaci) klientské pluginy, prvky ActiveX/LiveConnect nebo Java applety vložené do webové stránky (Huang et al. 2001; Marrin 1996, cit. v Kim et al. 1998).

V případě použití Java appletu je komunikace mezi appletem a virtuální scénou zajištěna prostřednictvím External Authoring Interface (EAI). Jedná se o druh Application Programming Interface (API), tj. aplikačního rozhraní, jež umožňuje předávat data či události mezi VRML scénou a externí aplikací. Rozhraní EAI využívala pro interaktivní práci s virtuální scénou naprostá většina projektů, se kterými jsem se v průběhu své práce setkala, např. „Singapore Terrain Explorer“ (Zhu et al. 2003), „traVelleR“ (Moore a Gerrard 2002a), „UrbanModeller“ (Moore 2002b), „Virtual Glamorgan“ (Brown et al. 2002), „CAL package for mountain navigation“ (Purves et al. 2002), „3D-Map“ (Koppers 1998), „3D Web-GIS“ (Kim et al. 1998).

Jinou možností je ovládat scénu skriptem obsaženým v uzlu (příkazu) `Script` ve VRML. Tento skript lze pak spouštět nejrůznějšími událostmi odehrávajícími se ve scéně i mimo ni. Zajímavou kombinací je napojení skriptu na objekty zvané HUD (Head-Up Displays), jež ve scéně představují interaktivní tlačítka reagující na dotyk. Tento druh interaktivního rozhraní využili ve svých projektech „Virtual Santa Rita Experimental Range“ Olsson (2000), „e-Agora“ Adamec et al. (2001) a „Virtual Old Prague“ Žára et al. (2001).

Princip serverových aplikací spočívá v komunikaci mezi serverem a klientem v počítačové síti, např. v síti Internet. Požadavky uživatele zadané na klientu jsou v případě komunikace přes HyperText Transfer Protocol (HTTP) zakódovány do Uniform Resource Locator (URL) a poslány na server. Server požadavky pomocí určitého programu zpracuje a výsledek pošle zpět klientu. Mezi serverové aplikace můžeme zařadit např. „GeoV&A“ (Huang et al. 2001, Huang a Lin 2000, Huang a Lin 1999), v níž je vytvoření 3D VRML scény zajištěno softwarem ArcView 3D Analyst běžícím na serveru.

Aplikace z oblasti interaktivní geovizualizace ve VRML většinou vznikají na akademické půdě v rámci výzkumné činnosti, komerčních aplikací je minimum.

V České republice se vizualizací ve VRML zabývá zejména výzkumná skupina Computer Graphics Group (CGG) (URL (6)), která má své působíště na katedře počítačů, FEL ČVUT Praha a vede ji Doc. Ing. Jiří Žára, CSc. Mezi jejich projekty patří např.



„Virtual Old Prague“ (Žára et al. 2001, Žára 2002), „e-AGORA“ (Adamec et al. 2001, URL (7)) nebo „Nautilus“ (Chludil a Žára 2002).

Možnosti tvorby VRML scén z geoprostorových dat ve svých diplomových pracích popisují Klinková (2004), Havrlant (2002) a Janda (2001). Studenti hornicko-geologické fakulty Vysoké školy báňské-Technické univerzity (VŠB-TU) Ostrava pracují již od roku 1998 na projektu „Virtuální realita a GIS“ (Bauckmann 1999), v rámci něhož vytváří 3D informační systém VŠB-TU Ostrava. Na Západočeské univerzitě v Plzni je vytvářen „Virtuální model Západočeské univerzity“ (Olivík 2003, URL (23)).

Velmi populární se v posledních letech stala tvorba virtuálních měst. Kromě již zmiňované „Virtual Old Prague“ (Žára et al. 2001) je ve VRML tvořen i „Virtuální model Zámeckého náměstí v Teplicích“ (URL (21)). Dalšími virtuální městy jsou např. Telč či Plzeň, tyto projekty však nejsou ve formátu VRML.

#### 2.4. Problematika webového 3D GIS

S problematikou interaktivní geovizualizace úzce souvisí i závěrečná fáze problematiky webového 3D GIS, která začíná tvorbou 3D datových modelů a končí právě 3D vizualizací. Většina kartografů či geoinformatiků používá při návrhu a implementaci interaktivních nástrojů své aplikace jako vzor právě funkční nástroje GIS. Nejčastěji jsou však implementovány pouze funkce zobrazovací (zobrazení/skrytí prvků, zvýraznění/změna vzhledu prvků atd.) a informační (získání informací o prvcích, vyhledávání informací atd.). Nicméně v případě, že aplikace disponuje i funkcemi analytickými a výsledky těchto analýz je možné ukládat (tzn. z původních dat vznikají data nová), lze ji označit za GIS. Pracuje-li navíc tento GIS s 3D geografickými daty v prostředí WWW, jedná se o webový 3D GIS.

Na tomto místě je třeba uvést poznámku o rozdílu mezi 2.5D a 3D modely. 2.5D modely jsou takové modely, kdy každému bodu o souřadnicích X, Y je přiřazena právě jedna hodnota Z vyjadřující výšku (De Floriani et al. 1999, cit. v Bidoshi 2003). Tyto modely se často používají pro modelování povrchu terénu (TIN, grid). Oproti tomu 3D modely mohou mít ke každé dvojici X, Y několik hodnot Z ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_N$ ). V případě 2.5D modelu (resp. povrchu) se navíc hodnota výšky Z uvádí v databázi GIS jako jeden z atributů, nikoli jako hodnota třetí souřadnice. Je zřejmé, že tvorba webového 3D GIS je

v dnešní době stále značně limitována. Téměř všechny GIS označované za 3D GIS, jsou v podstatě 2.5D GIS, protože jsou schopny pracovat pouze s 2.5D, nikoli 3D modely. Pojmy 2.5D a 3D model se však často ani mezi odborníky nerozlišují, používá se shodného označení 3D model.

Desktop systémy (např. ArcView 3D Analyst, IMAGINE VirtualGIS), komerčně označované jako 3D GIS, projevují nedostatky zejména ve 3D strukturování, 3D manipulaci a 3D analýze dat. Často chybí 3D geometrie, 3D topologie atd. (Zlatanova et al. 2002). V prostředí WWW navíc existují technické limity - objem přenášených dat, přístup a sdílení síťových dat atd.

Pro 3D vizualizaci dat v prostředí WWW je vhodné využít virtuální realitu, která je jednou z nejpokročilejších metod vědecké vizualizace (SciVis - Scientific Visualization). Klíčovým krokem pro vytvoření webového GIS je propojení GIS a SciVis, které může být různě pokročilé a vyžaduje rozsáhlé znalosti z oblasti programování. Rhyne (1997, cit. v Bidoshi 2003) definuje čtyři úrovně propojení GIS a SciVis:

- *Základní* (Rudimentary) – minimální sdílení dat mezi oběma technologiemi
- *Operační* (Operational) – snaha o odstranění redundancí mezi GIS a SciVis
- *Funkční* (Functional) – zřetelná komunikace mezi příslušnými softwary
- *Sloučená* (Merged) – systémy jsou sloučeny ve snaze vytvořit komplexní nástroj

Možnosti využití nástrojů virtuální reality v kartografii a GIS zkoumají také Haklay (2002), Fairbairn a Parsley (1997).

Mezi aplikace, které se svou pokročilostí a funkcí velmi blíží webovému 3D GIS můžeme zařadit např. již zmíněné „GeoV&A” (Huang et al. 2001, Huang a Lin 2000, Huang a Lin 1999). Tento systém umožňuje v prostředí WWW provádět analýzy viditelnosti, generovat profily, dotazovat se do databáze atd. Výsledky dotazů a analýz lze vizualizovat jak ve 2D, tak ve 3D.



### 3. VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE

Virtual Reality Modeling Language (VRML) můžeme chápat jako programovací jazyk, pomocí něhož zapisujeme virtuální scény do souborů, a zároveň jako formát, tj. předpis pro zapisování informací (Žára 1999). Jeho předností je, že vznikl spoluprací mnoha firem a stal se obecně uznávaným univerzálním standardem pro virtuální realitu.

O jazyku VRML byla napsána řada publikací. Jako doplněk k mé diplomové práci doporučuji používat např. česky psané příručky Gergelitsová (2004), Zrzavý (1999), Žára (1999). Na WWW je možné využít oficiální stránky se specifikací standardu VRML97 (URL (35)) nebo v češtině manuál „Výukové pásmo VRML“ (Černohorský et al. 2006).

Přesto však pro přehlednost a lepší pochopení podstaty VRML věnuji úvodu do VRML kapitolu i v mé práci. Uvedené informace jsou většinou obecná fakta a často pochází právě z výše zmíněných publikací.

#### 3.1. Vývoj VRML

Historie jazyka VRML počíná rokem 1994 na konferenci o WWW pořádané v Ženevě, kde poprvé zazněl požadavek na vytvoření trojrozměrné analogie jazyka HyperText Markup Language (HTML). Nový jazyk měl sloužit k prezentaci 3D grafiky v prostředí WWW. „Pracovní název byl stanoven na VRML čili Virtual Reality Markup Language, později bylo slovo Markup nahrazeno slovem Modeling, které lépe vystihovalo grafickou podstatu tohoto jazyka“ (Klinková 2004, s. 17).

Základem jazyka VRML 1.0 definovaného roku 1995 se stal již existující OpenInventor ASCII File Format od firmy Silicon Graphics, Inc. „Současně se vznikem VRML 1.0 byla založena nezávislá skupina programátorů a návrhářů nazvaná VRML Architecture Group (VAG). Tato skupina stanovila tři základní milníky budoucího vývoje jazyka VRML: prostředky pro popis statických světů (pokryto VRML 1.0), prostředky pro popis dynamických světů (nejbližší cíl), prostředky pro spolupráci více uživatelů ve virtuálním prostředí (vzdálenější cíl)“ (Žára 1999, s. 5). S těmito cíli se skupina VAG obrátila na tvůrce systémů pro virtuální realitu, internetovou veřejnost a odborníky na grafiku s výzvou k vytvoření specifikace budoucího jazyka VRML 2.0.

V roce 1996 byla z osmi různých návrhů zvolena specifikace Moving Worlds firem Silicon Graphics, Inc. a Sony, jež se stala základem jazyka VRML 2.0. Z neformální skupiny VAG se stalo VRML Consortium, Inc. (později roku 1999 přejmenováno na Web3D Consortium) a byla zahájena spolupráce s mezinárodní standardizační organizací (ISO - International Organization for Standardization) na vzniku VRML v podobě mezinárodní normy. Koncem roku 1997 byl jazyk VRML 2.0 oficiálně přijat za standard ISO s označením ISO/IEC 14772 (URL (35)). Norma nese název VRML97. Pod označením VRML budu dále v textu mé práce vždy chápat definici VRML97.

V únoru 1998 byla založena oficiální pracovní skupina GeoVRML působící v rámci Web3D konsorcia (URL (34)). Jejím cílem je vývoj nástrojů pro prezentaci geografických dat pomocí VRML. Vytvořen byl jazyk GeoVRML, který je dnes k dispozici ve verzích 1.0 a 1.1, verze 2.0 je ve vývoji. Více o jazyku GeoVRML pojednává kapitola 3.5.

V současné době je hlavním cílem Web3D konsorcia vytvoření obecného formátu nazvaného X3D a určeného pro popis, přenos a prezentaci prostorových dat na WWW.

### **3.2. Vlastnosti VRML**

Základní vlastnosti VRML lze shrnout do následujících bodů (podle Šimánek 2002, Žára 1999, Žára et al. 1998):

- VRML je textovým formátem, který je snadno čitelný a nezávislý na výpočetní platformě.
- Scéna se skládá z uzlů (příkazů), které jsou organizovány do stromové struktury, umožněno je dědění vlastností uzlů.
- Ve VRML lze tvořit zcela nové parametrické objekty.
- Je zde podporována především plošková hraniční reprezentace objektů.
- Kromě prostorových objektů je možné do virtuálních scén vkládat i multimediální prvky (video, obraz, zvuk, hypertextové odkazy atd.).
- Ve VRML jsou podporovány prostředky pro popis animace, interakce a manipulace s virtuálními objekty.
- Součástí jazyka jsou definice způsobů pohybu uživatele (chůze, let, zkoumání), podpora automatické navigace ve virtuálním prostředí či popis reakce na chování uživatele.

- VRML obsahuje prostředky pro řízení rychlosti zobrazování v závislosti na konkrétním výkonu počítače.
- Virtuální scény mohou tvořit jak prvky umístěné v lokálních souborech, tak i na vzdálených počítačích v síti Internet.
- Virtuální světy lze snadno vkládat do webových stránek.
- VRML umožňuje spolupráci s dalšími programovacími jazyky (Java, JavaScript atd.) i aktivaci jiných programů.
- Virtuální scény lze jednoduše interaktivně prohlížet prostřednictvím VRML prohlížeče, tj. pluginu k webovému prohlížeči, který je k dispozici zdarma.
- Velikost VRML souboru je možno výrazně snížit kompresí gzip, jíž je prohlížeč schopen sám dekodovat.

### 3.3. Struktura souboru VRML

VRML scéna se zapisuje do souboru textového formátu s příponou `.wrl`, která pochází z anglického slova *world* (svět). Tato přípona zůstává zachována i v případě, že je soubor komprimován za použití algoritmu gzip.

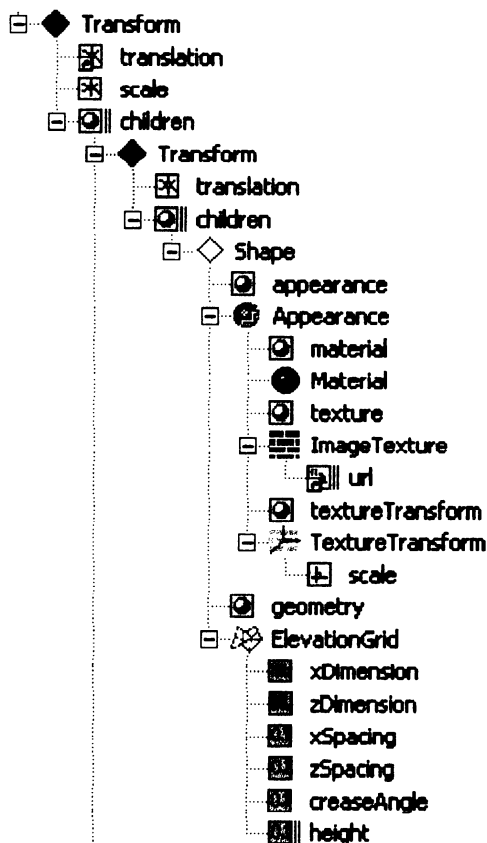
Každý VRML soubor se skládá z několika logických celků (viz tab. 3.1). Zápis hlavičky souboru je povinný. V hlavičce souboru se uvádí typ souboru, verze VRML a způsob kódování znaků. Uvedení a řazení dalších částí souboru VRML již není závazné. Má-li být do souboru vložena poznámka, která se nemá stát součástí vlastní definice virtuálního světa, musí být na začátku označena znakem `#`.

**Tab. 3.1:** Doporučené logické členění souboru VRML

příklad	část VRML souboru
<code># VRML V2.0 utf8</code>	Hlavička souboru VRML.
<code>WorldInfo {...}</code> <code>NavigationInfo {...}</code> <code>Viewpoint {...}</code>	Úvodní všeobecné informace o virtuálním světě.
<code>Transform {...}</code> <code>Group {...}</code> <code>PositionInterpolator {...}</code>	Popis těles, jejich vlastností, definice prvků potřebných pro animaci a interakci.
<code>ROUTE...TO...</code>	Propojení dynamických a statických prvků z předchozí části.

Zdroj: Žára (1999)

Co se jazykové podstaty týká, soubor VRML je uspořádán do hierarchické struktury (tzv. *stromu*) (viz obr. 3.1). Základním stavebním prvkem této struktury je *uzel (nod)*. Uzly obsahují jednotlivé *parametry (pole)*, do nichž jsou vkládány buď určité hodnoty (*data*) nebo další uzly. Podle vzájemné polohy uzlů ve stromu mluvíme o vztazích: rodič, potomek, sourozenec. Ve VRML je zároveň umožněno, aby potomci přejímali určité vlastnosti po svých rodičích.



**Obr. 3.1:** Ukázka části stromové struktury souboru VRML (VrmlPad 2.0 demo)

Speciálními příkazy ve VRML jsou tzv. *jazykové konstrukce*. Tyto příkazy se využívají k definici vlastních uzlů, zajištění předávání dynamických událostí atd. Více o nich pojednává kapitola 3.3.4.

Názvy uzlů ve VRML začínají velkým písmenem, názvy polí se píší písmeny malými a názvy jazykových konstrukcí písmeny velkými. Tuto konvenci je třeba dodržovat.

### 3.3.1. Uzly jazyka VRML

Černohorský et al. (2006) dělí VRML uzly podle jejich funkce do dvou hlavních skupin, na uzly *statické* a *dynamické*.

Statické uzly popisují tvar a vzhled objektů, světla, zvuky atd. a dále se dělí na:

- **geometrické uzly** - popisují geometrické parametry - tvar a velikost objektů
  - např. *Box, Cone, ElevationGrid, Extrusion, FontStyle, PointSet, Text*
- **uzly vlastností** - definují vlastnosti objektů - normály, souřadnice
  - např. *Color, Coordinate, Normal*
- **uzly vzhledu** - popisují povrch objektů - materiály, textury
  - např. *Appearance, ImageTexture, Material, PixelTexture, TextureTransform*
- **uzly světlo&zvuk** - definují různé druhy světel a zvuků
  - např. *AudioClip, DirectionalLight, PointLight, Sound, SpotLight*
- **speciální uzly** - jsou uzly pro zvláštní použití - odkaz, úroveň detailu atd.
  - např. *Anchor, Background, Fog, Inline, LOD, Script, Viewpoint, WorldInfo*
- **skupinové uzly** - jsou uzly sdružující jiné uzly do skupin
  - např. *Billboard, Group, Shape, Switch, Transform*

Dynamické uzly jsou schopny generovat události, které lze použít ke změně stavu ostatních uzlů. Dále je dělíme na:

- **senzory** - generují výstupní události jako reakci na specifické situace, které jsou důsledkem činnosti návštěvníka virtuálního světa
  - např. *Collision, ProximitySensor, TimeSensor, TouchSensor, VisibilitySensor*
- **manipulátory** - jsou zvláštní podmnožinou senzorů, umožňují jednoduše převádět posuvný pohyb myši na pohyb geometrického objektu
  - např. *CylinderSensor, PlaneSensor, SphereSensor*
- **interpolátory** - jsou uzly, které převádějí vstupní hodnotu (reálné číslo typu *SFFloat*) na hodnotu jiného typu podle průběhu nadefinované lineární funkce
  - např. *ColorInterpolator, CoordinateInterpolator, PositionInterpolator*

### 3.3.2. Třídy parametrů ve VRML

Ve VRML je možné vymežit čtyři třídy parametrů (polí) podle jejich schopnosti přijímat a vysílat události. Tyto události slouží k zabezpečení dynamiky virtuálního světa. S jejich využitím můžeme měnit hodnoty polí jednotlivých uzlů. K zaslání události mezi uzly slouží jazyková konstrukce `ROUTE . . . TO . . .` (viz kapitola 3.3.4).

Přehled čtyř základních tříd parametrů a jejich schopností přibližuje tab. 3.2.

**Tab. 3.2:** Třídy parametrů ve VRML

třída parametru	schopnost
field	Statická veličina s iniciální hodnotou. Lze ji měnit zapsáním nové hodnoty v souboru VRML, nikoli však dynamicky.
eventIn	Parametr schopný přijmout událost daného datového typu. Hodnota parametru je změněna přijetím události.
eventOut	Parametr schopný vyslat událost v okamžiku, kdy dojde ke změně jeho hodnoty. Tato změna je nejčastěji vyvolána chováním návštěvníka virtuálního světa nebo je důsledkem zpracování jiných událostí.
exposedField	Parametr s iniciální hodnotou, který je schopný přijmout události měnící jeho hodnotu a také po změně své hodnoty události vysílat.

Zdroj: Žára (1999)

Platí nepsané pravidlo, že jména parametrů *eventIn* mají předponu *set\_* a jména parametrů *eventOut* příponu *\_changed*. Parametr *exposedField* se ve skutečnosti skládá ze všech tří základních parametrů. Lze k němu přistupovat přes *jméno* (field), přes *set\_jméno* (eventIn) při příjmu událostí i přes *jméno\_changed* (eventOut) při vysílání událostí.

### 3.3.3. Typy dat ve VRML

Každý parametr v jazyce VRML má jednoznačně určeno, jaká data (tj. hodnoty) lze do něj vkládat. Existuje několik datových typů, jejich přehled nabízí tab. 3.3. Většina z nich se může vyskytovat ve dvou variantách, buď v podobě jediné hodnoty (datové typy začínající předponou *SF* – *Single Field*) nebo jako seznam více hodnot (datové typy začínající předponou *MF* – *Multiple Field*).

Délky ve VRML se udávají v metrech, čas v sekundách, úhly v radiánech a barva se zapisuje trojicí hodnot RGB v rozsahu <0, 1>. Textové řetězce musí být ohraničeny uvozovkami.

**Tab. 3.3:** Datové typy ve VRML

název	označení datového typu	příklad jednoduché hodnoty
Logické hodnoty	SFBool	TRUE nebo FALSE
Celá čísla (rozsah 32 bitů)	SFInt32, MFInt32	5236, -9862
Reálná čísla	SFFloat, MFFloat	2.35687, 45.32e5, 1e-5
Textové řetězce	SFString, MFString	"Ahoj světe"
Hodnoty času	SFTime, MFTime	15.535
Uzly VRML scény	SFNode, MFNode	Cylinder, Color
Vektory ve 2D prostoru	SFVec2f, MFVec2f	2.5 8.3
Vektory ve 3D prostoru	SFVec3f, MFVec3f	2.5 8.3 5.7
Osa rotace a úhel otočení	SFRotation, MFRotation	0 1 0 1.57
Barva RGB	SFColor, MFColor	0.3 0.8 0.5
Obraz/Vzor pixelů	SFImage	-

Zdroj: Šimánek (2002)

### 3.3.4. Přesnost dat ve VRML

Vzhledem k tomu, že VRML byl původně navržen pro účely počítačové grafiky, nacházíme při práci s geografickými daty v tomto jazyce jisté limity. Jednou z těchto limit je omezení přesnosti dat. Jazyk VRML umožňuje zadávat hodnoty dat v jednoduché 32-bitové přesnosti (*single precision*). Reálná čísla jsou vyjadřována jako čísla s pohyblivou desetinnou čárkou (*floating point number*). V těchto případech je 1 bit využit na zápis znaménka čísla, 23 bitů na zápis mantisy, 1 bit na zápis znaménka exponentu a 7 bitů je použito na vlastní exponent. Za těchto podmínek odpovídá přesnost zobrazení 7 až 8 platným dekadickým cifrám, číslo s největší absolutní hodnotou je přibližně  $3,4 \cdot 10^{38}$ , číslo s nejmenší absolutní hodnotou různé od nuly je přibližně  $1,4 \cdot 10^{-45}$ .

K reprezentaci detailů na submilimetrové úrovni je však třeba zadávat hodnoty souřadnic přinejmenším s dvojitou 64-bitovou přesností (*double precision*). Tento požadavek je ve VRML možné splnit tak, že geografické souřadnice zapisujeme jako

textové řetězce do pole datového typu SFString nebo MFString. S řetězci pak lze dále operovat v rámci k tomuto účelu vytvořených prototypů a skriptů. Podobným způsobem je zajištěna dvojitá přesnost v GeoVRML. Nutno dodat, že zapsání souřadnic do textového řetězce je možné využít pro stanovení přesné polohy vztažného bodu, jež je dále považován za počátek lokálního souřadného systému (URL (12)). V modelech menšího územního rozsahu pak obvykle pro lokální souřadnice dalších bodů jednoduchá přesnost postačuje.

### 3.3.5. Jazykové konstrukce ve VRML

V jazyce VRML existují tři druhy jazykových konstrukcí (příkazů).

Příkazy DEF a USE dovolují znovu použít již jednou definovaný uzel pouze odkazem na jeho jméno. Jméno nadefinované příkazem DEF se dále použije v souboru na místě, kde je potřeba stejný uzel, pomocí direktivy USE.

Příkazy PROTO, EXTERNPROTO a IS mají podobné použití jako předchozí konstrukce, umožňují znovu použít již definovaný uzel. Je zde však jeden zásadní rozdíl. Pomocí těchto příkazů se definuje zcela nový typ uzlu (tzv. prototyp) s možností zadávat parametry jako je tomu u standardních VRML uzlů. EXTERNPROTO má ten samý význam jako PROTO s tím rozdílem, že samotná definice uzlu je uložena v jiném souboru.

Příklady použití dvou výše zmíněných jazykových konstrukcí ve VRML jsou uvedeny v tab. 3.4.

**Tab. 3.4:** Příklady použití jazykových konstrukcí ve VRML

jazyková konstrukce DEF a USE	jazyková konstrukce PROTO a IS
<pre>Shape {   appearance <b>DEF</b> App1 Appearance {     material Material {       diffuseColor 0.1 0.5 0.8       specularColor 1 0 1     }   }   geometry Sphere {} }  Shape {   appearance <b>USE</b> App1   geometry Cone {} }</pre>	<pre><b>PROTO</b> GreenBox [   field SFCOLOR boxColor 0 1 0 ]  {   Shape {     appearance Appearance {       material Material {         diffuseColor <b>IS</b> boxColor       }     }     geometry Box {}   } }</pre>

Zdroj: Černohorský et al. (2006)



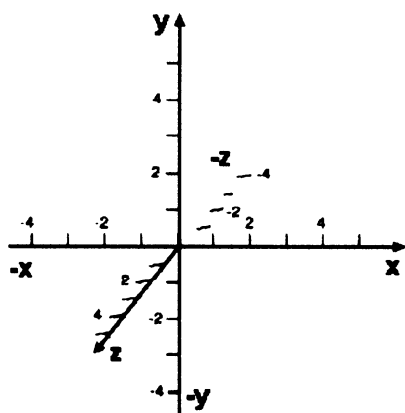
Poslední jazyková konstrukce ROUTE...TO... vytváří spojení mezi uzlem, který generuje událost, a uzlem, který ji přijímá. Uzly, na které se odkazuje, musí být již nadefinovány pomocí konstrukce DEF. Datové typy vstupní a výstupní události si musejí odpovídat. Syntaxe má následující podobu:

```
ROUTE <název uzlu>.<název pole/název události> TO <název uzlu>.<název pole/název události>
```

### 3.4. Navigace ve VRML

Virtuálního dvojníka, který představuje ve virtuální realitě nás samé, označujeme pojmem *návštěvník* nebo *avatar*. „Jméno avatar pochází z hinduistické mytologie, kde označuje dočasnou tělesnou schránku, do které se vtěluje bůh při své návštěvě Země“ (Žára 1999, s. 15). Systém pro ovládání avatara nazýváme *velitelské stanoviště*, ve VRML prohlížeči je reprezentováno prvky na ovládacím panelu aplikace. Vlastnosti avatara a některé prvky velitelského stanoviště je možné nadefinovat v navigačním uzlu s názvem NavigationInfo. Můžeme zde specifikovat rozměry avatara (avatarSize), zapnutí jeho čelní svítilny (headlight), jeho dohled (visibilityLimit), rychlost (speed) a způsob (type) pohybu. Existují tři základní způsoby pohybu avatara – běžná chůze “walk“, let “fly“ a metoda zkoumání objektů “examine“.

Kromě těchto možností existuje ještě jeden efektivní způsob prohlížení virtuálních světů. Uzel Viewpoint lze využít k nadefinování nových stanovišť. Nabídka s názvy těchto předem nadefinovaných stanovišť je poté k dispozici na ovládacím panelu VRML prohlížeče. Výběrem konkrétního stanoviště v této nabídce se na něj můžeme přemístit.



Obr. 3.2: Souřadný systém VRML

Zdroj: Moore et al. (1997b)

Poslední důležitá poznámka z oblasti navigace ve VRML se týká zdejšího souřadného systému. Ve VRML se používá kartézský souřadný systém orientovaný osou x vpravo od avatara, osou z směrem k avatarovi a osou y směřující kolmo nahoru (viz obr. 3.2).

### 3.5. GeoVRML

GeoVRML je rozšíření jazyka VRML o uzly vhodné pro prezentaci a vizualizaci geografických dat. Uzly GeoVRML jsou definovány v externích souborech pomocí konstrukce `PROTO` a vkládány do VRML souborů příkazem `EXTERNPROTO`.

Jazyk GeoVRML je dnes k dispozici ve verzích 1.0 a 1.1, verze 2.0 je ve vývoji. Níže uvedené specifikace se vztahují ke GeoVRML 1.1.

Možnosti VRML a GeoVRML se liší v následujících bodech (URL (12)):

- **souřadný systém** GeoVRML podporuje 3 souřadné systémy (systém zeměpisných souřadnic, systém UTM a geocentrický souřadný systém), 21 elipsoidů a 1 geoid.
- **přesnost** GeoVRML disponuje v popisu čísel s plovoucí desetinnou čárkou dvojitou 64-bitovou přesností (*double precision*), zatímco VRML pouze jednoduchou 32-bitovou přesností (*single precision*). Více o přesnosti ve VRML pojednává kapitola 3.3.4.
- **měřítko** GeoVRML poskytuje různé nástroje související se změnou měřítka, zejména pro účely prezentace modelů o více rozlišeních na WWW.
- **metadata** GeoVRML zabezpečuje možnosti provázání dat s metadaty.
- **animace** GeoVRML má schopnost interpolace v rámci souřadného systému, což umožňuje vytvářet animace přímo pomocí zeměpisných souřadnic klíčových bodů na zemském povrchu.
- **introspekce** GeoVRML má funkce umožňující dotazovat se do scény a získat zeměpisné souřadnice jakéhokoli georeferencovaného bodu.
- **navigace** GeoVRML poskytuje základní nástroje pro navigaci, které jsou specifické pro geografické aplikace. Jedná se např. o vyřešení problematiky závislosti rychlosti pohybu na výšce nad terénem nebo problematiky pohybu po křivce. Ve VRML je možný pouze přímý pohyb.

Přehled uzlů jazyka GeoVRML 1.1 a jejich stručný popis je uveden v tab. 3.5. Bližší specifikace uzlů je možné nalézt na oficiálních webových stránkách pracovní skupiny GeoVRML, která jazyk vyvíjí (URL (12)).

**Tab. 3.5:** Základní uzly GeoVRML

<b>název uzlu</b>	<b>popis</b>
GeoCoordinate	Stanovení seznamu souřadnic v geografickém souřadnicovém systému.
GeoElevationGrid	Popis geometrie modelu terénu pomocí zeměpisných souřadnic.
GeoLocation	Georeference VRML modelu na zemský povrch.
GeoLOD	Správa úrovně detailu pro modely o více rozlišeních.
GeoMetadata	Zahrnuje sadu metadat popisující geografická data.
GeoOrigin	Definice lokálního souřadnicového systému (např. za účelem zvýšení přesnosti).
GeoPositionInterpolator	Interpolace hodnot zeměpisných souřadnic (např. pro animaci objektů v geografickém souřadnicovém systému).
GeoTouchSensor	Sleduje polohu a stav bodového zařízení a detekuje body označené uživatelem (např. pro zobrazení zeměpisných souřadnic objektu při jeho označení kurzorem).
GeoViewpoint	Definice stanovišť pomocí zeměpisných souřadnic.

Zdroj: URL (12)

## 4. METODY TVORBY VIRTUÁLNÍ SCÉNY VE VRML

Pojmem virtuální scéna, resp. virtuální svět, myslíme vizualizovaný soubor VRML nebo jiného formátu virtuální reality (např. SVR, X3D, QuicktimeVR). Tvorba virtuální scény spočívá ve výběru vhodného softwaru a dat pro tvorbu scény, ve 3D vizualizaci objektů, dokreslení iluze prostoru ve virtuálním světě a optimalizaci výsledného souboru.

### 4.1. Software pro tvorbu virtuální scény

Pro tvorbu virtuální scény lze využít nepřeberné množství různých programů. V této kapitole bude prezentován především software sloužící k tvorbě virtuálního světa v jazyce VRML. Zvláštní pozornost bude věnována nástrojům, které jsou zaměřeny na tvorbu virtuálních scén z geografických dat.

Software pro tvorbu VRML scény můžeme rozdělit do tří skupin:

- *textové editory* – aplikace pro přímý zápis VRML kódu v textové podobě
- *VRML editory* – aplikace pro 3D modelování, jejichž nativním formátem je VRML
- *grafické 3D editory* – aplikace pro 3D modelování, nativním formátem nemusí být VRML, ale existuje zde možnost exportu do VRML

#### 4.1.1. Textové editory

Nejdostupnějším softwarem, který umožňuje vytvořit virtuální svět, je obyčejný textový editor. Výhodou tvorby scény v textovém editoru je nízká cena editoru (často zdarma), efektivita zápisu VRML kódu a přístup ke všem uzlům jazyka VRML. Nevýhoda naopak spočívá v nutné dokonalé znalosti syntaxí VRML uzlů. Zápis komplexních 3D tvarů (např. modelu terénu) je obvykle v textovém editoru velmi složitý, ne-li nemožný. V textovém editoru rovněž není možné editovat již zkomprimované soubory VRML.

Příkladem textového editoru, ve kterém je možné vytvořit virtuální scénu přímým zápisem VRML kódu, může být *Notepad (Poznámkový Blok)* nebo *WordPad*.

#### 4.1.2. VRML editory

Mezi nejjednodušší VRML editory patří program *VrmlPad* od firmy ParallelGraphics (URL (26)). Jedná se v podstatě o textový editor s automatickou kontrolou syntaxe uzlů, zobrazením stromové struktury scény (viz obr. 3.1), průvodcem pro publikaci souboru atd. K obohacení programu slouží plugin Material Editor (vizuální definice materiálů těles), Extrusion Editor (vizuální podpora pro editaci těles vytvářených „tažením“ profilu) a FREEaddin (makra pro zjednodušení tvorby virtuálních prostředí).

Následující VRML editory již mají na rozdíl od programu *VrmlPad* vizuální vývojové prostředí a označují se jako VRML buildery. Výhodou použití takového softwaru je, že nemusíme znát detailně syntaxi VRML uzlů a svět modelujeme v grafickém uživatelském prostředí. Na druhou stranu některé VRML editory nepodporují všechny VRML uzly a zápis VRML kódu už nemusí být tak efektivní jako v textovém editoru.

Mezi nepoužívanější buildery podporující VRML97 patří *Cosmo Worlds* (Silicon Graphics, Inc., Platinum Technology, Inc.) (URL (31)), *Internet Space Builder* (ParallelGraphics) (URL (26)), *Spazz3D* (Virtock Technologies, Inc.) (URL (32)) atd.

#### 4.1.3. Grafické 3D editory

K tvorbě VRML scény se dají využít i další grafické 3D editory, jejichž nativním formátem není VRML, ale které umožňují vytvořený model exportovat do VRML prostřednictvím zabudovaného překladače. Do této skupiny programů patří různé 3D modeláře. Funkce pro modelování mají i 3D CAD (Computer-Aided Design) a 3D GIS.

Výhodou grafických 3D editorů jsou jejich obrovské možnosti v oblasti vizualizace a animací a snadná tvorba komplexních objektů. Skutečnost, že tyto systémy nejsou navrženy pro VRML, však s sebou přináší i řadu nevýhod. Export do formátu VRML obvykle nebývá efektivní a často nejsou podporovány všechny VRML uzly. Omezením je také to, že v řadě těchto programů chybí import formátu VRML.

Jedním z nejrozšířenějších a nejkvalitnějších CAD systémů pro vytváření 3D grafiky je software *3ds Max* (Autodesk, Inc.) (URL (2)). Tento software je však velmi drahý. Cenově přijatelnějším a také velmi dobrým 3D CAD systémem s exportem do

VRML je *Rhinoceros* (Robert McNeel & Associates) (URL (30)). K exportu do VRML z dalšího známého programu *AutoCAD* (Autodesk, Inc.) (URL (2)) slouží aplikace *VRMLout* a *VRML Translator*. Mezi nejznámější freeware 3D modeláře patří *Blender* (BlenderFoundation) (URL (5)).

#### 4.1.4. Nástroje pro tvorbu virtuálních scén z geografických dat

Softwarovými nástroji pro tvorbu virtuálních scén z geografických dat jsou především 3D nadstavby GIS. Virtuální scénu získáme exportem do formátu VRML (více v kapitole 4.3.4.). Vzhledem k tomu, že v mnohých případech není při exportu zápis VRML kódu příliš efektivní, je vhodné ho zkontrolovat a případně upravit v textovém editoru.

##### **ArcGIS Desktop**

3D nadstavbou produktu *ArcGIS Desktop* (ESRI) je *ArcGIS 3D Analyst* (URL (8)). Tato extenze slouží k tvorbě 3D dat pro GIS (datové modely grid, TIN, 3D Shapefile) a jejich analýze (orientace svahů, sklon, změna sklonu, rozdíl dvou ploch, výpočet kubatury, profil, analýza viditelnosti atd.). *ArcGIS 3D Analyst* v sobě zahrnuje i aplikace *ArcGlobe* a *ArcScene*, pomocí kterých se můžeme v modelu území interaktivně pohybovat a svůj pohyb či let zaznamenat v podobě videozáznamu. *ArcGIS 3D Analyst* se stal jednou z technologií, které při své tvorbě webového 3D GIS zvaného „GeoV&A“ využil Huang et al. (2001).

##### **ShapeViz**

Zajímavým produktem je *ShapeViz* (My3D, LLC) (URL (22)), který slouží k vizualizaci vektorových dat formátu ESRI Shapefile a zároveň umožňuje jejich konverzi do VRML, případně GeoVRML.

##### **ERDAS IMAGINE**

Rozšiřujícím modulem systému *ERDAS IMAGINE* (Leica Geosystems) je *IMAGINE VirtualGIS* (URL (1)). „*IMAGINE VirtualGIS* umožňuje vytvořit na základě polohopisných a výškopisných digitálních dat 3D scénu, která mimo to, že působí velmi realisticky, nepostrádá návaznost na veškeré informace obsažené ve využitých datech. Jedná se tedy o profesionální 3D GIS, jenž je možno využít pro prezentaci současného

stavu, zamýšlených změn v území i potenciálních krizových situací. 3D scénu vytvořenou v IMAGINE VirtualGIS lze uložit ve formátu VRML a umožnit, aby ji další osoby prohlížely pomocí standardního VRML prohlížeče, který je k dispozici zdarma. Zde se již sice nebude jednat o 3D GIS, ale jen o 3D vizualizaci, ovšem zatímco původní scéna sama mohla být vytvořena z dat o objemu stovek megabajtů, ve formátu VRML je její objem o dva řády menší, takže může být snadno poskytnuta k prohlížení širokému okruhu uživatelů prostřednictvím Internetu. Nejnovější způsob předávání scén vytvořených v prostředí IMAGINE VirtualGIS nabízí nadstavbový modul *IMAGINE Virtual Delivery*. Tato aplikace umožňuje snadno připravit 3D scény pro prohlížení prostřednictvím Internetu, aniž by další uživatelé museli mít speciální software“ (URL (1), s. 1). Software IMAGINE VirtualGIS jsem v rámci své diplomové práce využila při tvorbě Informačního systému Jizerské magistrály. Podrobnější informace o možnostech využití tohoto programu tedy zmíním ještě v 6. kapitole.

## **GRASS**

Dalším GIS s možností exportu do VRML je *GRASS* (GRASS Development Team) (URL (14)). Kromě standardní dvojrozměrné analýzy dovoluje GRASS zpracovávat data i ve třech dimenzích pomocí modulu *NVIZ*. „Program GRASS má také možnost exportu rastrových map do VRML pomocí příkazu *p.vrml*. Mapy jsou exportovány do uzlu *ElevationGrid*. Při exportu však vznikají značně velké soubory, takže jejich načtení a zobrazení ve VRML prohlížeči je často nemožné“ (Klinková 2004, s. 50).

## **MapInfo**

Jiným systémem pro vytváření VRML světů z prostorových dat je nadstavba *Pavan* k programu *MapInfo* (MapInfo Corporation) (URL (20)). *Pavan* umožňuje vytvářet kompletní virtuální světy, sady VRML modelů a HTML dokumentů, které lze snadno publikovat na Internetu. Software *Pavan* byl využit např. v projektu University of the West v Anglii při tvorbě VRML modelu revitalizovaného přístaviště v centru Bristolu (Counsell 1998).

## **Speciální 3D software**

Kromě 3D nadstaveb a modulů klasických GIS můžeme k tvorbě virtuální scény použít speciální 3D software. Tyto programy jsou ve většině případů postaveny na bázi

GIS. Některé z nich disponují exportem do VRML, jiné používají pro tvorbu virtuální scény vlastní formát, který je třeba prohlížet prostřednictvím speciálního prohlížeče.

Jedním z nástrojů pro modelování, manipulaci a analýzu 2D/3D GIS dat a 3D CAD dat v prostředí virtuální reality je sada produktů *K2Vi* (Asset Information Systems) (URL (19)). Tento software nabízí možnost exportu do formátu VRML.

K interaktivní 3D vizualizaci slouží též sada programů *Terra* (Skyline Software Systems, Inc.). Virtuální scéna má vlastní formát a k jejímu prohlížení je třeba prohlížeč *TerraExplorer Viewer*. Nabídkou realizace aplikačních projektů založených na technologii *Terra* se v České republice zabývá *GEOMETRA OPAVA, spol. s r.o.* (URL (10)). Software *Terra* byl využit pro interaktivní 3D vizualizaci modelu města Plzně (URL (13)).

K podobnému účelu slouží i set produktů *GeoShow3D* (GeoVirtual) (URL (11)). Nástroje *GeoShow3D Pro* a *GeoShow3D Publisher* slouží k tvorbě a editaci virtuálních terénů, jejich prohlížení umožňuje *GeoShow3D Lite*. Produkty *GeoShow3D* využila v České republice např. firma *GEODIS BRNO, s r. o.* při tvorbě interaktivního 3D modelu města Telče (URL (9), URL (24)).

Novinkou na trhu v oblasti interaktivní 3D geovizualizace je set produktů *Leica Virtual Explorer* (Leica Geosystems), který byl veřejnosti představen na konci roku 2005. Software umožňuje prezentovat realistické 3D scény na Internetu, provádět GIS analýzy atd.

Podobných programů existuje velmi mnoho. Rozsáhlý seznam softwaru určeného k 3D modelování z geografických dat nabízí webové stránky *Virtual Terrain Project* (URL (33)). Nalezneme zde odkazy, popisy a ceny komerčních, nekomerčních, vládních i akademických programů. Zmiňovány jsou systémy CAD, GIS a další.

## **4.2. Data pro tvorbu virtuální scény**

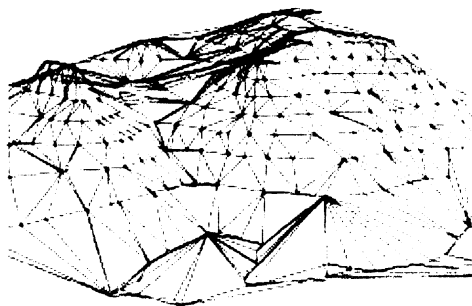
Pro tvorbu virtuální scény lze použít různé typy dat. Vektorová data slouží jako základ pro modelování dílčích 3D objektů (např. domů, cest, řek). Rastrová data (letecké či družicové snímky, výsledky analýz digitálního modelu terénu, fotografie) se obvykle používají jako textury promítané na model terénu nebo jiné objekty scény. Digitální výšková data (TIN, grid) se využívají k tvorbě modelu terénu ve VRML.



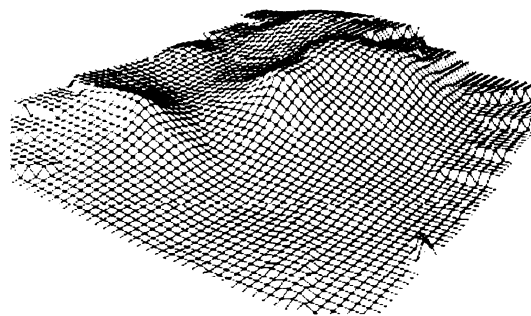
Ve virtuální scéně mohou být dále obsažena i data multimediální. Virtuální svět lze pomocí nich obohatit například zvukem, obrázky, videem, nebo hypertextovými odkazy.

### 4.3. Metody tvorby modelu terénu ve VRML

V jazyce VRML existují dva uzly sloužící k popsání geometrie modelu terénu. Jedná se o `IndexedFaceSet` (Množina ploch) a `ElevationGrid` (Výšková mapa) (viz obr. 4.1). Tyto uzly se mohou vyskytovat pouze v poli geometry uzlu `Shape`. Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody a je vhodná pro jiné účely. Příklady zápisu VRML kódu a vizualizace obou typů modelů uvádí příloha č. 1.



a) `IndexedFaceSet`



b) `ElevationGrid`

**Obr. 4.1:** Modely terénu ve VRML

Zdroj: Havrlant (2002)

#### 4.3.1. `IndexedFaceSet` – Množina ploch

Model terénu tvořený uzlem `IndexedFaceSet` v podstatě odpovídá modelu `Triangulated Irregular Network (TIN)` s tím rozdílem, že umožňuje tvořit nejen trojúhelníky, ale všechny obecné  $n$ -úhelníky.

Geometrie objektu je v tomto uzlu definována dvěma seznamy v polích `coord` a `coordIndex`. První seznam je tvořen výpisem  $x, y, z$  souřadnic vrcholů v rámci uzlu `Coordinate` v již zmíněném poli `coord`. Druhý seznam definuje pořadí těchto bodů, kterými jsou určeny jednotlivé plochy, a nachází se v poli `coordIndex`.

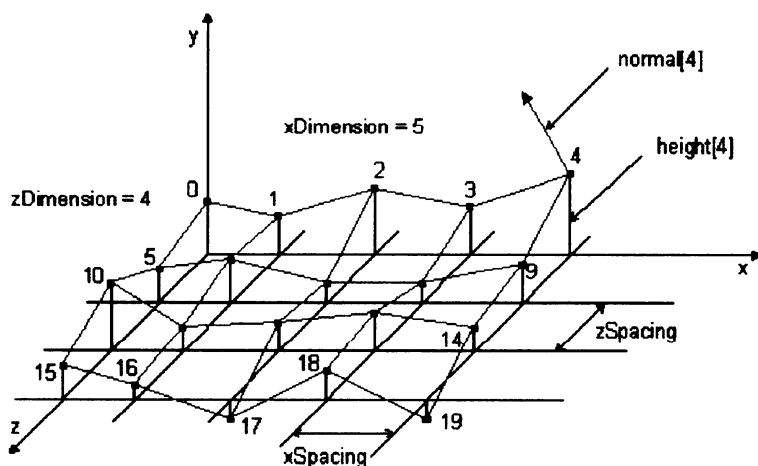
Pomocí dalších polí uzlu `IndexedFaceSet` můžeme definovat například barvu, normály, mapování textur, vyhlazení modelu atd.

### 4.3.2. ElevationGrid – Výšková mapa

Druhým způsobem tvorby modelu terénu ve VRML je uzel ElevationGrid. Obdobně jako IndexedFaceSet odpovídá svým zápisem modelu TIN, existuje určitá podobnost mezi uzlem ElevationGrid a pravidelným rastrem (model grid).

Uzel ElevationGrid popisuje geometrii objektu jako pravidelnou mřížku, jejíž každý bod má určitou výšku. Důležitými poli tohoto uzlu jsou xDimension a zDimension, jež definují počet bodů v ose x a z, dále xSpacing a zSpacing, kterými je dána vzdálenost mezi jednotlivými body na osách (tj. rozlišení modelu), a nakonec pole height, ve kterém jsou zadány výšky (hodnoty y) jednotlivých bodů mřížky (viz obr. 4.2).

Stejně jako u uzlu IndexedFaceSet můžeme dále definovat také barvu, normály, mapování textur, vyhlazení modelu atd.



**Obr. 4.2:** Uzel ElevationGrid

Zdroj: Černožský et al. (2006)

### 4.3.3. Porovnání modelů IndexedFaceSet a ElevationGrid

Modely tvořené uzlem IndexedFaceSet a ElevationGrid se od sebe v mnoha ohledech velmi liší. Kartografové a geoinformatici, kteří se rozhodnou využít VRML pro vizualizaci svého díla, musí nutně zvolit jeden z těchto způsobů. Podívejme se tedy na odlišnosti, které jsou určující při volbě správného uzlu pro danou situaci.

Mezi výhody uzlu `IndexedFaceSet` bezpochyby patří schopnost znázornit území jakéhokoli tvaru (např. kraje, obce, chráněné krajinné oblasti). Uzlem `ElevationGrid` můžeme zobrazit model pouze obdélníkového tvaru – tedy v případě, že nechceme oblast dělit do více modelů. Také zobrazení jakéhokoli terénního detailu či tvaru (např. převisu) je možné pouze pomocí uzlu `IndexedFaceSet` (Havrlant 2002).

Reddy et al. (1999, cit. v Brown et al. 2002) vidí další výhodu modelů `IndexedFaceSet` v možnosti zohlednit zakřivení zemského povrchu a použít pro jeho zápis 3D prostorové pravoúhlé souřadnice. Nadmořské výšky modelu `ElevationGrid` jsou vždy vztaženy k vodorovné rovině kartézské soustavy souřadnic ve VRML.

Modely, jejichž geometrie je popsána uzlem `ElevationGrid`, se snáze generalizují, stačí pouze sjednotit několik buněk do jedné (Havrlant 2002). Naopak při tvorbě modelů o více rozlišeních, které se integrují v rámci uzlu `LOD`, je preferován uzel `IndexedFaceSet`, protože je schopen lépe vystihnout terénní detaily a zároveň efektivně používá pro popis roviny menší objem dat (méně trojúhelníků) než pro popis hor (Brown et al. 2002).

Georeference a shodnostní transformace (posunutí, otočení) modelů s geometrií `ElevationGrid` je obecně snazší než modelů popsanych pomocí uzlu `IndexedFaceSet` (Moore 1997a, Moore et al. 1997b). `ElevationGrid` je standardně ve VRML definován v rovině  $x, z$  s výškami  $y$  a počátkem v bodě  $(0, 0, 0)$ , který slouží jako vztažný bod. Oproti tomu `IndexedFaceSet` vztažným bodem standardně nedisponuje. Více v kapitole 4.3.4.

V případě mapování textury na model je rovněž vhodnější použít `ElevationGrid`, protože nemusíme definovat souřadnice textury (Havrlant 2002, Moore 1997a, Moore et al. 1997b). Texturu mapovanou na model `ElevationGrid` je nutné pouze svisle převrátit. Více o této problematice pojednává kapitola 4.5.2.

Povrch modelu tvořený uzlem `ElevationGrid` je hladší (Moore 1997a), nejsou zde patrné ostré přechody mezi jednotlivými plochami. Vyhlazení modelů lze explicitně ovlivnit hodnotou pole `creaseAngle` v uzlech `ElevationGrid` i `IndexedFaceSet`. Pokud je úhel mezi dvěma přiléhajícími plochami menší nebo roven hodnotě tohoto pole (v radiánech), jsou vygenerovány normály tak, aby napojení obou ploch bylo hladké.

Co se týká objemu dat, vychází ze srovnání modelů přibližně stejného detailu lépe model tvořený uzlem `ElevationGrid`. Nicméně tento uzel v poměrně jednoduchém zápisu geometrie skrývá složitou strukturu, což se projeví v nižší rychlosti zobrazování (tzv. *frame rate*) modelu ve VRML prohlížeči (Brown et al. 2002).

Brown et al. (2002) se zmiňuje také o možnosti integrace vektorových dat a modelu ve VRML. Z tohoto pohledu upřednostňuje modely tvořené uzlem `IndexedFaceSet`, neboť ty jsou na rozdíl od modelů tvořených uzlem `ElevationGrid` schopny integrovat tato data na model přesně a nenastává zde případ, že se objekty nad modelem „vznáší“. Poznámku tohoto autora ovšem nemohu vlastní zkušeností potvrdit.

Výše zmíněné výhody a nevýhody obou typů VRML modelů shrnuje tab. 4.1.

**Tab. 4.1:** Výhody a nevýhody modelů `IndexedFaceSet` a `ElevationGrid`

<b>schopnost uzlu</b>	<b>IndexedFaceSet</b>	<b>ElevationGrid</b>
znázornění území jakéhokoli tvaru	+	-
zobrazení jakéhokoli terénního detailu či tvaru (např. převisu)	+	-
zohlednění zakřivení Země a elipsoidu	+	-
generalizace	-	+
tvorba modelů o více rozlišeních (integrování modelů v uzlu LOD)	+	-
georeference, shodnostní transformace	-	+
mapování textury na model	-	+
vyhlazení modelu	-	+
efektivita popisu krajiny z hlediska objemu dat	+	-
menší objem dat	-	+
vyšší rychlost zobrazování ve VRML	+	-
integrace vektorových dat	+	-

#### 4.3.4. Export modelu terénu z GIS do formátu VRML

Přímý zápis geometrie komplexněji utvářených těles, jako je model terénu, je ve VRML mnohdy velmi složitý. Pro převod do formátu VRML se proto v takových

případech využívají různé softwary. Kartografové zřejmě nejčastěji využijí možnost exportu do VRML z 3D GIS.

Uzel použitý pro popis modelu terénu ve VRML bývá často při exportu modelu z GIS určen typem digitálního modelu terénu (DMT). Digitální výšková data jsou v GIS nejčastěji uchovávána ve formě TIN nebo grid. Speciálním případem gridu je lattice. Hodnoty výšek nejsou v tomto případě vztaženy ke středům buňky, ale k jejím rohům.

Při exportu do VRML z GIS je grid konvertován do uzlu `ElevationGrid`, zatímco TIN do uzlu `IndexedFaceSet`. Lattice je ve VRML zobrazován jako zvláštní případ `IndexedFaceSet`, který vznikl trojúhelníkovým dělením gridu. Lattice lze tedy s výhodou použít jako meziproduct při tvorbě modelů `IndexedFaceSet` z gridu (Moore 1997a, Moore et al. 1997b).

Export modelu TIN do VRML uzlu `IndexedFaceSet` je jednoznačný, zaznamenány jsou x, y, z souřadnice vrcholů trojúhelníkové sítě a následuje seznam definující pořadí těchto bodů, kterými jsou určeny jednotlivé plochy.

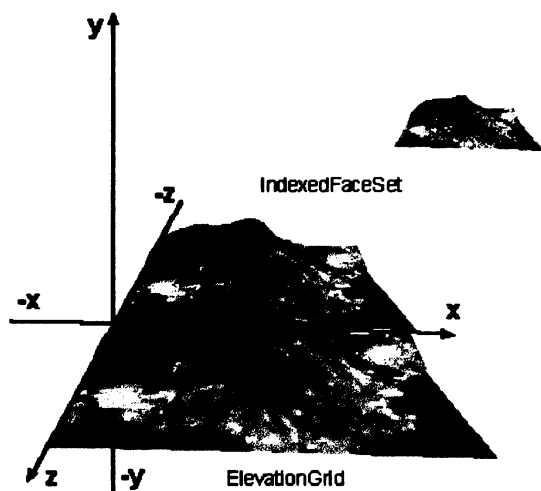
Při konverzi modelu grid do uzlu `ElevationGrid` je třeba si uvědomit, že zatímco u gridu jsou výšky vztaženy ke středům buněk, v uzlu `ElevationGrid` jsou zaznamenávány souřadnice rohů buněk (viz obr. 4.1). Jsou-li tedy souřadnice středů buněk gridu zapsány jako vrcholy modelu `ElevationGrid`, musí se počítat se zmenšením celkového rozsahu modelu na každé straně o polovinu délky buňky. Má-li být rozsah modelu zachován, je třeba souřadnice rohů buněk získat interpolací ze souřadnic středů buněk.

Dalším důležitým faktem, který je třeba si uvědomit při exportu všech typů modelů z GIS do VRML, je změna souřadnicového systému. V GIS obvykle používáme zeměpisné souřadnice (zeměpisná délka a šířka), 3D prostorové pravoúhlé souřadnice (X, Y, Z – kartézská soustava souřadnic) nebo jiné národní či lokální souřadnicové systémy. Ve VRML je souřadnicový systém orientován osou x vpravo od avatara, osou z směrem k avatarovi a osa y značí výšku objektů. Rotace VRML modelů do roviny x, y s výškou z za účelem zachování původního souřadnicového systému se nedoporučuje vzhledem k implicitní definici avatara, stanovišť atd.

Georeferencí ve VRML se zabývá Moore (1997a) a Moore et al. (1997b). Autorka doporučuje umísťovat VRML modely do počátku souřadnicového systému (0, 0, 0) tak,

aby kladný směr osy x reprezentoval rostoucí zeměpisnou délku, záporný směr osy z rostoucí zeměpisnou šířku a kladný směr osy y nadmořskou výšku (viz obr. 4.3).

Výše zmíněné zásady provázející export modelů z GIS do VRML nebývají v řadě programů dodrženy. Chybné bývá především umístění modelu do souřadného systému VRML. Kontrola zdrojového kódu VRML souboru je proto nezbytná.



**Obr. 4.3:** Vhodné umístění modelů terénu do souřadného systému ve VRML

Zdroj: Moore et al. (1997b)

#### **4.4. Metody vizualizace kartografických znaků ve VRML**

Odlišujeme tři základní druhy kartografických znaků – bodové, liniové a plošné. Objekty či jevy bodového charakteru jsou znázorňovány bodovými znaky, objekty či jevy liniového charakteru liniovými znaky a objekty či jevy plošného charakteru znaky plošnými. V trojrozměrném prostředí je třeba tyto znaky vizualizovat ve třech dimenzích.

Vzhled a geometrii všech druhů znaků definujeme pomocí polí appearance a geometry uzlu Shape. Pole appearance slouží k popsání vzhledu znaku a zpravidla obsahuje uzel Appearance, pomocí kterého můžeme definovat barvu či texturu znaku (více v kapitole 4.5). Pole geometry popisuje geometrii znaku a obsahuje některý z geometrických uzlů definující tvar těles.

Které z geometrických uzlů jsou vhodné pro jaké druhy kartografických znaků zkoumá Kim et al. (1998):

#### 4.4.1. 3D bodové znaky

K vizualizaci bodového znaku ve VRML lze použít uzel `PointSet`. V takovém případě má však bod velikost pouze jednoho pixelu, změnou měřítka (zoom) se jeho velikost nemění, není možné ho osvětlovat ani na něj aplikovat textury. Tyto body nejsou testovány na kolize a není možné je použít jako odkaz.

V případě, že je nutné znak více zviditelnit a přidělit mu určitý objem, je možné jej ve VRML vytvořit pomocí uzlu `Sphere`. V tomto případě má znak tvar koule. Střed koule je umístěn do  $x,y,z$ -souřadnice znaku a poloměr koule je stanoven úměrně k měřítku virtuálního světa nebo nastavení rozměru znaku.

Podobně jako koulí můžeme bodový znak vizualizovat i objektem tvaru krychle (uzel `Box`), jehlanu (uzel `Cone`) nebo válce (uzel `Cylinder`).

#### 4.4.2. 3D liniové znaky

K tvorbě 3D liniových znaků existuje ve VRML uzel `IndexedLineSet`. Stejně jako u uzlu `PointSet` je i v tomto případě šířka čáry rovna pouze jednomu pixelu a změnou měřítka se nemění. Lomené čáry tvořené tímto uzlem nemohou být otexturovány, nejsou ovlivněny světlem, testovány na kolize a není možné je použít jako odkaz.

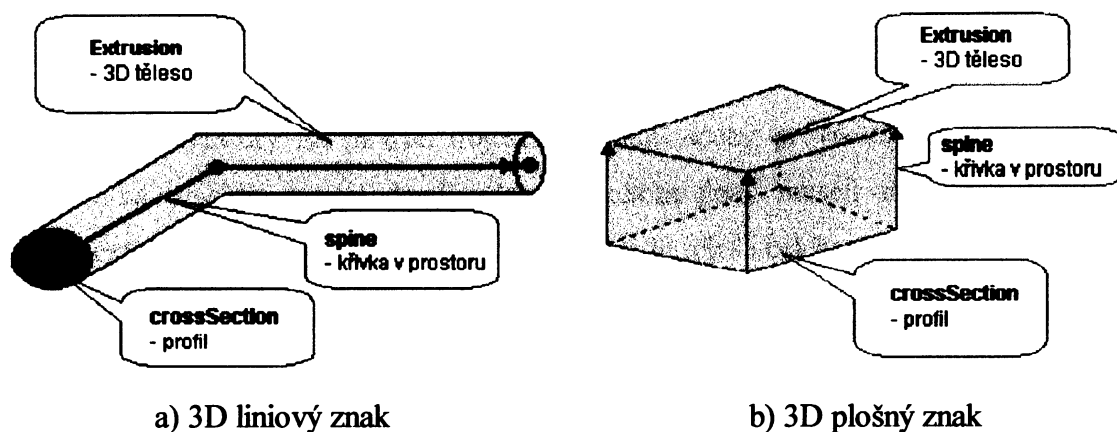
Další možností je použít uzel `Extrusion` (viz obr. 4.4a). Tento uzel poskytuje aparát pro popis těles, které vzniknou „tažením“ profilu po křivce v prostoru. V poli `crossSection` je popsán profil, který je „tažen“ po křivce popsané v poli `spine`. Profil může být v každém řídicím uzlu křivky, po které je tažen, zvětšen či zmenšen v nějakém měřítku nebo rotován podle hodnot parametrů `scale` a `orientation`. Například liniový znak potrubí může být vytvořen „tažením“ kruhu podél křivky potrubí. V případě liniového znaku ulice je možné zvolit za tvar průřezu tenký obdélník.

#### 4.4.3. 3D plošné znaky

Již zmíněný uzel `Extrusion` lze použít i pro vizualizaci 3D plošných znaků (viz obr. 4.4b). Průřez je tvořen obrysem 2D polygonu složeného ze souřadnic  $x, z$ . Tento průřez je poté „tažen“ podél osy  $y$  až do hodnoty výšky 3D znaku. Výsledkem této

operace je trojrozměrné těleso. Tvarové variace za použití rotace a změny měřítka uzlu `Extrusion` jsou možné. Tato metoda je jedním ze základních principů tvorby těles ve virtuálním světě.

Dalším způsobem, jak modelovat 3D těleso ve VRML, je použít uzel popisující množinu ploch `IndexedFaceSet`.



**Obr. 4.4:** 3D znaky tvořené uzlem `Extrusion`

Zdroj: Kim et al. (1998)

## 4.5. Definice vzhledu objektů VRML scény

Jak již bylo zmíněno, vzhled objektů VRML scény lze ovlivnit parametrem `appearance` uzlu `Shape`. Tento parametr obsahuje samostatný uzel `Appearance`, který má tři pole – `material`, `texture` a `textureTransform`.

### 4.5.1. Barva a osvětlení objektů

Vlastnosti povrchu objektů (barvy, odraz světla, odlesky atd.) definuje uzel `Material`, který se vkládá do pole `material` uzlu `Appearance`. Je-li obsahem pole `material` hodnota `NULL`, je objekt definovaný daným uzlem `Shape` neosvětlený. Jestliže `material` obsahuje prázdný uzel `Material`, jsou použity implicitní hodnoty pro vzhled a osvětlení definované pro uzel `Material`. Například „...`appearance Appearance { }`...“ bude znamenat vykreslení neosvětleného objektu, ale



„...appearance Appearance {material Material { }}...“ nakreslí osvětlený objekt za použití implicitních hodnot pro uzel Material (Černohorský et al. 2006). Pomocí uzlu Material lze dále popsat barvu objektu (diffuseColor), stupeň zrcadlového odrazu (shininess), barvu zrcadlových odlesků (specularColor), barvu vyzařovaného světla (emissiveColor), průhlednost (transparency) atd.

#### 4.5.2. Mapování textur

Nanesení textury na povrch objektu virtuální scény provádíme obvykle tehdy, chceme-li na objektu popsat detaily, které bychom jinak museli složitě modelovat. Pomocí textur jsme schopni docílit reálnějšího vzhledu těles i celého virtuálního světa.

K aplikaci textury na těleso slouží pole texture a textureTransform uzlu Appearance. Pole texture definuje podobu obrázku a obsahuje jeden z uzlů ImageTexture (textura v podobě obrázku), MovieTexture (pohyblivá textura) nebo PixelTexture (textura v podobě opakující se kombinace barev). Opakování textury se nastavuje v rámci polí repeatS a repeatT. Pole textureTransform může obsahovat pouze uzel TextureTransform, který popisuje způsob mapování textury na povrch tělesa, tj. vztažný bod (center), posunutí (translation), otočení (rotation) a změnu měřítka (scale) obrázku.

Zmíněné pole scale tohoto uzlu lze nastavením hodnot na 1 -1 s výhodou použít pro svislé převrácení obrázku při mapování textury na model terénu ElevationGrid (viz kapitola 4.4.3). Tato úprava je důležitá, protože zatímco vztažný bod textury se nachází v levém dolním rohu obrázku, zadávání bodů modelu terénu počíná levým horním rohem, do kterého bývá implicitně umístěn také vztažný bod textury (Havrlant 2002).

Mapování textur je provázáno nejrůznějšími deformacemi. Zatímco textura je definována jako obdélníkový obrázek, povrchy objektů scény mohou být zakřivené.

Všechna čtyři základní tělesa (koule, kvádr, válec a kužel) mají jednoznačně určený způsob mapování textury. Žára (1999, s. 33) jej popisuje takto: „Na kouli je textura nanášena pouze jednou tak, že se „omotá“ kolem rovníku, na pólech dojde k výraznému zkreslení, když se okraje zhroutlí do jediného bodu. Naopak na kvádr je textura mapována bez zkreslení, celkem v šesti kopiích – jedna na každou stěnu. Podobně je bez zkreslení

textura nanášena na válec. Není-li pomocí uzlu `TextureTransform` zadáno jinak, je obraz právě jednou namapován na celý plášť a dále je nanesen na obě podstavy tak, že podstavy tvoří kruh vepsaný čtverci textury. Podobně je tomu i u kuželu, u jeho vrcholu však dochází ke zkreslení.“

Jako textury mohou být ve VRML použity obrázky ve formátu JPEG, GIF nebo PNG. JPEG je vhodným formátem pro plnohodnotné fotografie, používá však ztrátovou kompresi a zanedbává některé detaily a barevné přechody. GIF lze použít pro textury o maximálně 256 barvách, komprese je bezztrátová a formát umožňuje uložit jednu barvu jako průhlednou. PNG dokáže kódovat plnobarevné obrazy včetně informací o průhlednosti a používá bezztrátovou kompresi. Jako pohyblivou texturu lze využít soubor typu MPEG-1, některé VRML prohlížeče jsou schopny zobrazit i tzv. animovaný GIF.

Umístění a jméno obrázku se definuje v poli `url` uzlu `ImageTexture` nebo `MovieTexture`.

## **4.6. Dokreslení iluze prostoru ve VRML**

### *4.6.1. Světlo*

Nejvýznamnějším prvkem scény zdůrazňujícím iluzi trojrozměrného světa je světlo. Ve VRML rozlišujeme tři druhy zdrojů světla – uzly `DirectionalLight` (Směrové světlo), `PointLight` (Bodové světlo) a `SpotLight` (Koželové světlo). Důležitou vlastností světelných paprsků ve VRML je, že žádný objekt scény je nemůže zastavit na jejich dráze a zaclonit tak jiný objekt. Jinými slovy to znamená, že tělesa nevrhají stíny. Dále je třeba na tomto místě poznamenat, že zdroje světla ve VRML nejsou vidět. Chceme-li zdroj světla zviditelnit, musíme ho definovat jako svítící těleso (např. kouli).

Parametry všech tří uzlů popisujících světelný zdroj jsou téměř shodné. Parametr `on` indikuje, zda je světlo zapnuté nebo vypnuté. Pole `location` definuje polohu světelného zdroje, `color` barvu světla, `intensity` jeho intenzitu a `ambientIntensity` jeho příspěvek k celkovému projasnění scény. `DirectionalLight` je dále definováno směrem světelných paprsků (`direction`), `PointLight` dosahem světla (`radius`) a `SpotLight` směrem i dosahem paprsků (`direction` a `radius`) a tvarem světelného kuželu (`beamWidth` a `cutOffAngle`).

Působnost světla `DirectionalLight` je omezena pouze na jeho sourozence, zatímco světla `PointLight` a `SpotLight` osvětlují všechny objekty scény.

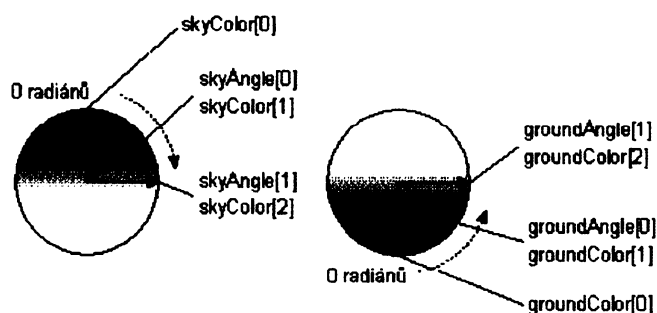
Specifickým příkladem směrového světla je čelní svítidla avatara, jejíž zapnutí/vypnutí definujeme parametrem `headlight` v uzlu `NavigationInfo`. Nemáme-li ve virtuální scéně aktivní jiné světlo, je nutné čelní svítidlo zapnout, aby byl model vůbec vidět.

Pro dokreslení iluze prostoru ve virtuální krajině je vhodné použít pouze jeden zdroj světla. Tento zdroj vytvoří stálé stínování terénu a prohloubí tak prostorový vjem. Další světelné zdroje, zejména čelní svítidlo (`headlight`), by účinek tohoto stínování potlačily.

#### 4.6.2. Pozadí

Dalším způsobem, jak prohloubit iluzi prostoru ve virtuální scéně je definovat pozadí pomocí uzlu `Background`. Pozadí ve VRML má dvě podoby. Je-li definováno pomocí barev a barevných přechodů, má pozadí tvar koule. Aplikujeme-li na něj textury, nese podobu krychle (Havrlant 2002).

Barvy pozadí ve tvaru koule lze popsat pomocí polí `skyColor` (barva oblohy) a `groundColor` (barva země). Každé z těchto polí může obsahovat i více hodnot. V takovém případě pak pomocí parametrů `skyAngle` a `groundColor` definujeme hraniční úhly, pod kterými jsou postupně vidět tyto barvy na obloze a na zemi. Nastavení těchto barevných přechodů dokumentuje obr. 4.5.

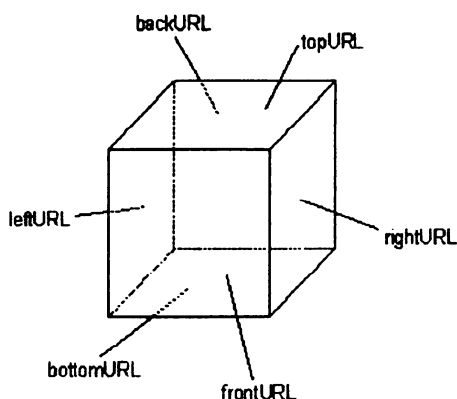


**Obr. 4.5:** Uzel `Background` – barevné přechody

Zdroj: Černoorský et al. (2006)

Pozadí ve tvaru krychle popisují pole `frontUrl`, `backUrl`, `leftUrl`, `rightUrl`, `topUrl`, `bottomUrl`, ve kterých jsou zadány odkazy na šest obrázků,

kteře jsou mapovány na vnitřní strany panoramatické krychle, jež obklopuje celou virtuální scénu (viz obr. 4.6).



**Obr. 4.6:** Uzel Background – panoramatický obrázek

Zdroj: Černoorský et al. (2006)

Jinou možností, která se nabízí, je kombinace obou druhů pozadí. V takových případech bývá krychle vepsána do koule. Koule pak může prosvítat skřez poloprůhledné obrázky aplikované na krychli nebo skřez vynechané části krychle.

#### 4.6.3. *Mlha*

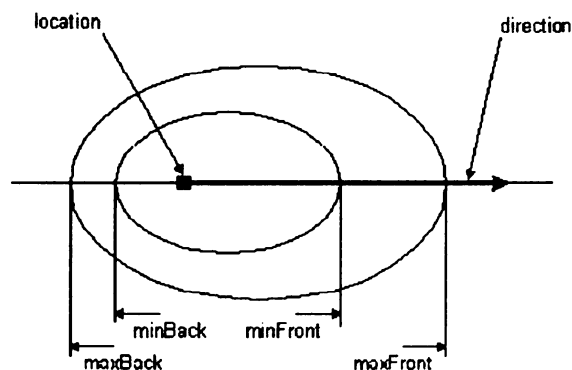
K dokreslení reálnosti virtuální scény výrazně přispívá také použití uzlu Fog, kterým se do scény vkládá mlha. Tento uzel obsahuje pole `fogType` definující typ mlhy (tj. způsob jakým mlha houstne – lineární nebo exponenciální), `visibilityRange` udávající maximální vzdálenost, ve které ještě skřez mlhu vidíme objekty, a `color` definující barvu mlhy.

#### 4.6.4. *Zvuk*

Mezi velké výhody virtuální reality patří to, že nejsme omezeni pouze na vjemy vizuální. Uzlem Sound je možné do virtuální scény vložit zdroj zvuku. Právě zvuk může velmi dobře prohloubit iluzi prostoru.

Uzel Sound obsahuje několik polí. Pole `location` definuje polohu zdroje zvuku, pole `direction` hlavní směr šíření zvuku. Zvuk je slyšitelný v celém prostoru

definovaném dvěma elipsoidy. Tyto elipsoidy jsou popsány parametry `minBack`, `minFront`, `maxBack` a `maxFront` (viz obr. 4.7). Parametr `source` obsahuje URL zvukového souboru, pole `intensity` popisuje intenzitu zvuku a pole `priority` uvádí důležitost zvuku ve scéně. Poslední významné pole `spatialize` určuje, zda se zvuk šíří stejně ze všech stran nebo zda je zdroj zvuku přesně lokalizovatelný.



**Obr. 4.7:** Uzel Sound

Zdroj: Černohorský et al. (2006)

#### 4.7. Optimalizace VRML scény

Optimalizací virtuální scény, resp. VRML souboru, se myslí soubor metod vedoucích k efektivnímu zpracování virtuálních scén a napomáhajících rychlejšímu zobrazování těchto scén. Zobrazení rozsáhlejších virtuálních světů, např. modelu krajiny, klade velké nároky na výkon počítače vzhledem ke značnému objemu dat. Úvahy o tom, jak snížit potřebu výpočetního výkonu a zároveň docílit kvalitního vzhledu světa s minimem prostředků, jsou proto velmi důležité, a to zejména tehdy má-li být virtuální svět funkční v síti Internet.

Problematikou optimalizace virtuálních světů se zabývala řada autorů, např. Havrlant (2002), Žára (1999). Pokusím se tedy na jejich práci navázat a uvést příklady aplikace těchto metod ve vizualizaci geografických dat.

Dříve než přistoupím k samotným metodám optimalizace, je třeba zmínit ještě jednu možnost, jak lze zvýšit rychlost zobrazování virtuálních světů – *hardwarové zrychlení*. Většina dnešních grafických karet má v sobě integrovaný tzv. grafický 3D akcelerátor. Tento akcelerátor je propojen s VRML prohlížečem prostřednictvím rozhraní

DirectX nebo OpenGL. Aby prohlížeč zobrazoval virtuální svět co nejrychleji, je třeba v něm aktivovat zobrazování pomocí jednoho z těchto rozhraní.

Pro optimalizaci VRML souborů určených k publikaci na Internetu slouží např. software Internet Model Optimizer od firmy ParallelGraphics.

Žára (1999) stanovil tři kritéria, na která je třeba při optimalizaci souboru brát ohled. Jedná se o zkrácení doby načítání souboru (tj. snížení množství dat), zrychlení zobrazování a manipulace ve virtuálním prostoru a zlepšení vizuální kvality. Je zřejmé, že tyto aktivity bývají často v protikladu, přesto však lze navrhovat virtuální světy s ohledem na všechna uvedená kritéria.

#### 4.7.1. Načítání souboru

První metodou, jak zajistit rychlejší načítání souboru, je *rozdělení virtuálního světa do několika souborů*. Tyto soubory jsou pak do „hlavní“ virtuální scény vkládány pomocí uzlu `Inline`. „Současné čtení více souborů bývá rychlejší než postupné zpracování jednoho rozsáhlého“ (Žára 1999, s. 174). Tuto metodu lze výhodně použít v uzavřenějších světech, např. modelech měst či budov. Pohyb uživatele je zde omezen na průchod užšími místy (dveře, ulice), na která lze umístit senzor, který vloží dílčí svět (další místnost, budovu) v okamžiku, kdy zachytí přítomnost avatara. Ve scénách s modely volné krajiny, kde pohyb uživatele není nijak omezen, lze spíše doporučit rozdělení modelu do několika pravidelných částí (tj. do více uzlů), které jsou renderovány pouze když jsou v záběru avatara nebo dát uživateli možnost vypínat/zapínat jednotlivé soubory scény.

Osvědčeným postupem je též *využívání násobné reprezentace pomocí uzlu LOD*. Tento uzel umožňuje definovat několik stupňů detailu virtuální scény. Načítání většího detailu scény může být závislé např. na výkonu počítače, na vzdálenosti avatara atd. Právě tato metoda je klíčová při vytváření rozsáhlých virtuálních světů složených z mnoha složitých objektů.

Další možností optimalizace je *využívání prototypů a konstrukcí DEF a USE*. Tato metoda spočívá v tom, že předem nadefinujeme určité vlastnosti objektu, který je ve scéně použit vícekrát. Například je-li ve virtuálním světě několik podobných domů, je vhodné vytvořit prototyp takového domu, který je pak umísťován na různá místa. To znamená, že domům se mění pouze parametr polohy, vlastnosti vzhledu jsou shodné.

Načítání VRML souboru může urychlit také *definování pomocných obálek (bbox)* u všech rodičovských uzlů obsahujících velké množství potomků. Prohlížeč vždy automaticky vyhodnocuje rozměry potomků a zapisuje je do obálky tvaru kvádru obklopující celý rodičovský uzel. Jakmile tato obálka zmizí ze záběru avatara, počítač se přestane věnovat jejím vnitřním objektům. Definujeme-li tedy takovou obálku sami, ušetříme tím prohlížeči čas.

Významnou úlohu ve větší rychlosti načítání souboru hraje také *správné stanovení prostorového rozlišení textur*. Obrazové textury obvykle představují velké množství dat. Obsahuje-li textura písmo nebo liniové prvky, jejichž čitelnost chceme zachovat, musíme zvolit větší rozlišení textury. Pokud je to možné, je dobré používat textury, které se mohou opakovat.

Z podobných důvodů jako malá velikost textur se doporučuje *používat krátké zvukové záznamy*, které je možné opakovat.

Rychlejšímu načítání souboru dále přispívá *správná definice plošných objektů*. Parametry `solid`, `convex` a `ccw by` u uzlů `ElevationGrid`, `Extrusion` a `IndexedFaceSet` měly vždy být nastaveny na hodnotu `TRUE`.

Poslední možností, kterou zde zmíním k tomuto tématu, je *používání komprese*. Soubory VRML lze komprimovat za použití algoritmu `gzip`, velikost původního souboru jím bývá snížena zhruba pětkrát. Soubor s touto kompresí umí VRML prohlížeč sám dekomprimovat.

#### 4.7.2. Rychlost zobrazování a pohybu

Rychlost zobrazování (tzv. *frame rate*) se udává v počtech snímků za sekundu (`frames per second - fps`). Pro lidské oko se pohyb jeví plynulým, je-li rychlost zobrazování větší než 25 fps. Mezní rychlost, kdy pohyb ještě není příliš trhaný je zhruba 10 fps (Brown et al. 2002, Žára 1999, Žára et al. 1998).

Prvním řešením zvýšení rychlosti zobrazování VRML světa je již zmíněné využití *násobné reprezentace pomocí uzlu LOD*.

Jinou možností, jak zefektivnit zápis VRML kódu, je snažit se *šetřit počtem ploch*. Žára (1999) zdůrazňuje, že častou chybou bývá například zápis geometrie billboardu

pomocí kvádrů, ačkoliv by stačilo použít obdélník. Podobnou chybou bývá také povolení tvorby podstav u kuželů či válců v případech, kdy podstavu není nikdy vidět.

Další metodou, jak zrychlit zobrazování virtuálního světa, je *omezení používání textu*. Text zapsaný uzlem `Text` bývá převáděn do mnoha malých trojúhelníků. V mnohých případech lze text nahradit jednoduchou texturou, jejíž zpracování a zobrazení je méně časově náročné. Příkladem kartografického využití posledních dvou výše uvedených metod může být např. zobrazení místopisných názvů nebo souřadnic objektu virtuálního světa prostřednictvím textury aplikované na billboard v uzlu `Billboard`.

Rychlost zobrazování a pohybu ve scéně lze bezesporu zlepšit *správným definováním materiálů a světel*. V uzlu `Material` by nemělo být uvedeno zbytečně mnoho parametrů, ale jen ty opravdu nutné. Důležité je také správné nastavení dosahu světel a vypínání zdrojů světel, je-li jim avatar vzdálen.

Podobně jako vypínání světel je důležité i *vypínání animací*, které se odehrávají mimo dohled avatara.

Brown et al. (2002) navrhuje v rámci svého projektu další možnosti optimalizace VRML světa. První z nich je *stanovení dohledu avatara*, tj. hraniční vzdálenosti, za níž už objekty nejsou renderovány. Toto lze definovat v poli `visibilityLimit` uzlu `NavigationInfo`.

Další metoda navržená stejným autorem spočívá ve *zúžení úhlu záběru* v okamžiku, kdy je pozorován pokles rychlosti zobrazování. Důsledkem zúžení úhlu záběru je však zdánlivé oddálení se od virtuálního světa. K nastavení úhlu záběru slouží pole `fieldOfView` uzlu `Viewpoint`.

#### 4.7.3. Vizuální kvalita

Co se kritéria vizuální kvality týká, platí zde několik zásad. Především je důležité, aby návštěvníkovi virtuálního světa bylo na první pohled zřejmé, co vidí, co všechno může udělat, kam smí jít atd.

Záleží především na účelu virtuálního díla, zda bude vytvořen model věrně napodobující skutečnost nebo model spíše abstraktní. Vyskytují-li se ve virtuálním světě



místa, která jsou modelována nepřesně, je vhodné *zakázat avatarovi vstup do těchto prostor* využitím jeho kolizí s objekty (uzel `Collision`).

Již několikrát zmiňovaná *násobná reprezentace objektů pomocí uzlu LOD* může pomoci i ke zlepšení vizuální kvality virtuálního světa.

Důležitým prvkem každého virtuálního světa je *navigace a orientace* v tomto prostředí. Ve virtuálním světě by měla kromě jednotlivých objektů světa být definována také tlačítka, nápisy a šipky (tzv. průvodci), které slouží k navigaci avatara, popř. upozorňují na zajímavá místa.

Vhodným způsobem zlepšení vizuální kvality virtuální scény je *vytvoření kvalitních animací*. Animován může být nejen pohyb samotného návštěvníka (průlety světem), ale také pohyb ostatních objektů virtuálního světa (např. otevírání dveří, jízda auta atd.). Pohyb těchto těles by měl být plynulý a přirozený. Dynamika virtuálního světa se vytváří pomocí senzorů (uzly `TouchSensor`, `ProximitySensor` atd.), interpolátorů (uzly `PositionInterpolator`, `OrientationInterpolator` atd.), skriptů (uzel `Script`) nebo pomocí uzlu `Switch`. Možnostmi interakce a dynamiky ve virtuálních světech se podrobněji zabývá 5. kapitola.

## 5. METODY INTERAKCE A DYNAMIKY VE VRML SCÉNĚ

### 5.1. Prohlížení VRML scény

#### 5.1.1. VRML prohlížeče

Jak již bylo několikrát zmíněno, k prohlížení virtuálního světa psaného jazykem VRML je třeba mít v počítači nainstalován tzv. VRML prohlížeč. Těchto prohlížečů existuje několik a jedná se většinou o pluginy k webovému prohlížeči, které jsou k dispozici zdarma.

Mezi nejpoužívanější a dodnes vyvíjené VRML prohlížeče patří např. *Cortona VRML Client* (URL (26)) a *BS Contact VRML/X3D* (do r. 2002 nazýván *blaxxun Contact*) (URL (3)). Domnívám se, že tyto dva prohlížeče patří dnes k těm nejlepším na trhu. Pro oba existuje řada extenzí, které jazyk VRML obohacují o další nestandardní uzly. Dále lze k zobrazení VRML světů použít např. prohlížeče *Flux Player*, *Octaga Player*, *Venues X3D Viewer*, které zobrazí jak VRML, tak X3D soubory. Dodnes se často používá i plugin *CosmoPlayer*. Vývoj jeho verze pro osobní počítače byl však již zastaven, dále se vyvíjí pouze verze pro operační systémy IRIX. Vývoj prohlížečů *WorldView* či *Viscape Universal* byl také zastaven.

VRML prohlížeče umožňují uživateli volný pohyb ve virtuální scéně a zajišťují navigaci a základní interakci se scénou. Pomocí ovládacích prvků v prohlížeči má uživatel možnost:

- zvolit *způsob pohybu* – „walk“ (chůze), „fly“ (let), „examine“ (zkoumání objektů)
- zvolit *způsob prohlížení světa* – „plan“ (posun vpřed/vzad), „pan“ (posun nahoru/dolů a vpravo/vlevo), „turn“ (otáčení pohledu), „roll“ (rotace modelu), „goto“ (přiblížení)
- zvolit *stanoviště* z nabídky „view“
- dále je možné v parametrech nastavení prohlížeče nebo pomocí klávesových zkratk ovlivnit *rychlost pohybu*, *zapnutí čelní svítilny* atd.

Výše uvedené názvy ovládacích prvků se týkají prohlížeče Cortona VRML Client, nicméně obdobné ovládací prvky lze najít i u všech dalších VRML prohlížečů.

### 5.1.2. Zobrazení VRML scény na internetu

Pro zobrazení VRML scény na internetu existují dvě možnosti. První možností je umístit na webovou stránku odkaz na soubor .wrl, který obsahuje virtuální scénu. Scéna se pak zobrazí v celém okně webového prohlížeče.

Druhou možností je začlenit virtuální scénu do webové stránky např. pomocí HTML tagů EMBED nebo OBJECT. V těchto případech je okno VRML prohlížeče součástí webové stránky a nemusí ji vyplňovat celou. Pomocí atributů těchto tagů lze specifikovat velikost, rozměry a tvar virtuálního okna nebo nastavit některé vlastnosti VRML prohlížeče a virtuální scény (URL (29)).

## 5.2. Tvorba animací ve VRML

Základním prostředkem pro tvorbu animací ve virtuálním světě jsou tzv. *události*. Jedná se v podstatě o datové záznamy, které jsou generovány dynamickými uzly a které lze použít ke změně stavu ostatních uzlů. Jako mechanismus předávání událostí mezi uzly slouží ve VRML jazyková konstrukce ROUTE . . . TO . . . (viz kapitola 3.3.5).

Pro dynamické akce (tj. animace) platí ve VRML několik zásad (Žára 1999):

- Událost je vysílána z parametru eventOut nebo exposedField, jehož datový typ je shodný s datovým typem události.
- Událost je přijímána parametrem eventIn nebo exposedField, jehož datový typ je shodný s datovým typem události.
- Uzly, které vysílají a přijímají události musí být pojmenovány příkazem DEF, příp. USE.
- Jedna událost může být zaslána více uzlům, resp. parametrům.
- Událost je tvořena dvěma datovými položkami – přenášeným údajem a časem svého vzniku.

Na počátku každé animace ve VRML musí stát uzel, který detekuje příčinu dynamické akce a jako odezvu vygeneruje výstupní událost. Tuto funkci plní tzv. *senzory*. Podle způsobu aktivace rozlišujeme senzory Collision (detektor nárazu), ProximitySensor (detektor přítomnosti), TouchSensor (detektor dotyku) a VisibilitySensor (detektor viditelnosti).

Zvláštní podmnožinu senzorů tvoří *manipulátory*. Ty umožňují jednoduše převádět posuvný pohyb myši na pohyb geometrického objektu. Do této skupiny uzlů patří CylinderSensor (válcový manipulátor), PlaneSensor (rovinný manipulátor), SphereSensor (kulový manipulátor). Způsoby pohybů vyvolaných jednotlivými manipulátory jsou blíže popsány v tab. 5.1.






Výstupní události generované senzory mohou vstoupit buď přímo do cílového uzlu, na němž je animace viditelná nebo vstupují do uzlů zvaných *interpolátory*. Interpolátory slouží k převodu vstupní hodnoty události (tj. reálného čísla typu SFFloat) na hodnotu jiného typu podle průběhu nadefinované lineární funkce. Mezi tyto uzly řadíme ColorInterpolator (interpolace barvy), CoordinateInterpolator (interpolace souřadnic), NormalInterpolator (interpolace normál), OrientationInterpolator (interpolace orientace, tj. natočení), PositionInterpolator (interpolace polohy) a ScalarInterpolator (interpolace čísla).

Ke správnému načasování průběhu animace se používá uzel TimeSensor (časovač) a pole key a keyValue v interpolátorech.

### 5.3. Základní možnosti interakce ve VRML

V jazyce VRML existuje několik uzlů (viz tab. 5.1), jejichž využitím lze objekty scény učinit interaktivními. Interaktivními se stávají všechny potomci těchto uzlů.

**Tab. 5.1:** Přehled interaktivních uzlů VRML

	TouchSensor	Detekuje dotyk avatara na objektu. Vyvolaná aktivita ve scéně je stanovena autorem VRML scény.
	Anchor	Kliknutí na objekt odkáže (teleportuje) avatara na jiné stanoviště, do jiné virtuální scény nebo do HTML dokumentu.
	CylinderSensor	Převádí pohyb stisknuté myši na rotaci objektu kolem své osy.
	SphereSensor	Převádí pohyb stisknuté myši na rotaci objektu kolem svých dvou os.
	PlaneSensor	Převádí pohyb stisknuté myši na posun objektu v daném směru v rovině.

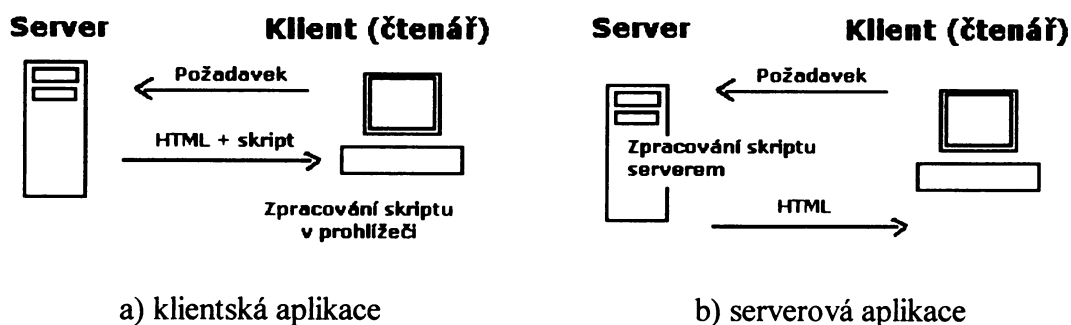
Zdroj: Help/User's Guide - Cortona VRML Client 4.2

Mezi interaktivní uzly patří i další senzory (tj. Collision, ProximitySensor, VisibilitySensor). Ty však nejsou aktivovány na základě vědomého rozhodnutí avatara, ale jeho samovolným chováním či přítomností v místě detektoru.

#### 5.4. Aplikační rozhraní pro interaktivní ovládání VRML scény

K realizaci složitějších funkcí a nástrojů interaktivních kartografických děl ve VRML je třeba využít i další programovací jazyky a webové technologie. Komunikaci mezi VRML scénou (resp. VRML prohlížečem) a programy nebo skripty psanými jinými jazyky zajišťuje tzv. *aplikační programovací rozhraní* (API - Application Programming Interface). Uzly VRML scény, na které mají být funkce aplikovány, musí být pojmenovány konstrukcí DEF.

Interaktivita webových aplikací je obvykle založena na architektuře klient-server, příp. vícevrstevné architektuře. Servery jsou výkonné počítače, které klientům poskytují požadovaná data (např. webové stránky). Zatímco vizualizace ve VRML se vždy odehrává na straně klienta (ve VRML prohlížeči), skript zajišťující určitou funkci kartografické aplikace může probíhat na klientu i na serveru. Podle toho, kde jsou skripty zpracovány, rozlišujeme aplikace klientské a serverové (obr. 5.1).



Obr. 5.1: Klientská a serverová aplikace

Zdroj: Janovský (2006)

Klientské aplikace umožňují moderní design uživatelského rozhraní (GUI - Graphical User Interface) a poskytují flexibilní interakci. Serverové aplikace vynikají v

oblasti početně náročného zpracování komplexních dat a na klienta obvykle kladou menší nároky na výkon počítače a instalaci pluginů (Huang et al. 2001).

Pro klientské aplikace ve VRML existují dva základní druhy aplikačního rozhraní, *Script Authoring Interface (SAI)* a *External Authoring Interface (EAI)*. Dále lze využít i některá další *externí rozhraní tvořená ovládacími prvky ActiveX nebo LiveConnect*.

V serverových aplikacích jsou požadavky klienta posílány serveru. Program na serveru dotaz zpracuje a výsledek pošle zpět klientu. Serverových technologií existuje celá řada, nejpoužívanější jsou Hypertext Preprocesor (PHP), Active Server Pages (ASP), Common Gateway Interface (CGI), Extensible Markup Language (XML).

#### 5.4.1. *Script Authoring Interface (SAI)*

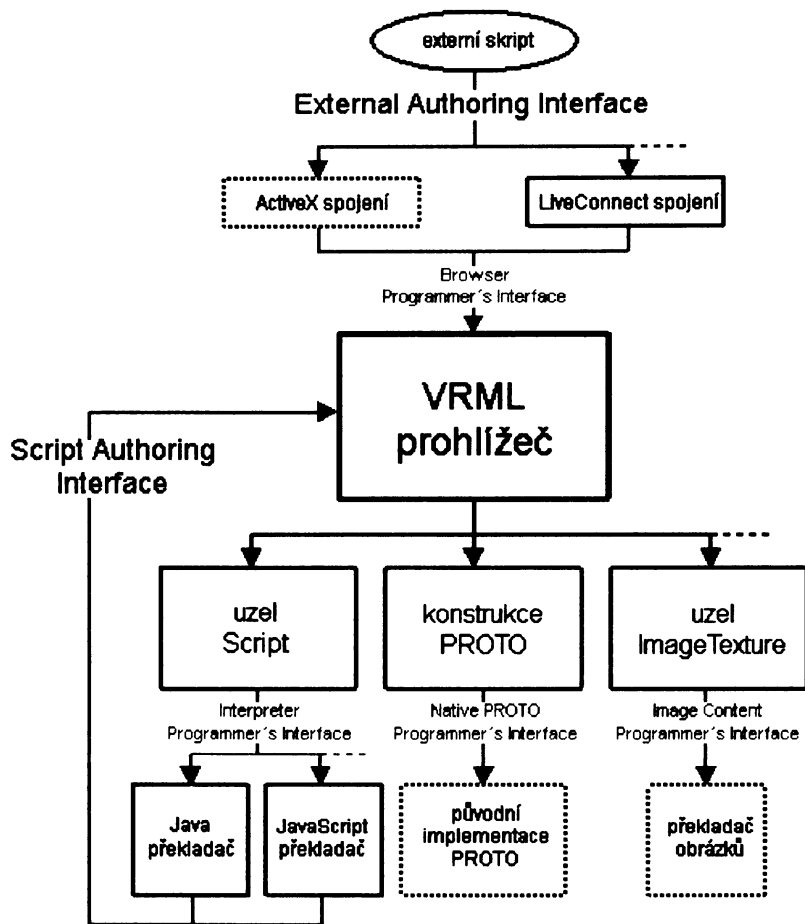
Script Authoring Interface (SAI) je rozhraní, které využívá k ovládní virtuální scény skript obsažený v uzlu `Script` (Holečko 1999, Kim 1998). Kód skriptu lze zapsat v jazyce ECMAScript (JavaScript) nebo Java. Žára (1999, s. 154) tvrdí, že „síla skriptu spočívá v možnosti zavedení libovolného počtu dalších parametrů. V uzlu `Script` jsou pak tyto parametry zpracovávány vnitřními funkcemi“. Schématické vazby SAI znázorňuje obr. 5.2.

Zajímavou kombinací je propojení skriptu s objekty virtuální scény zvanými Head-Up Displays (HUD), jež ve scéně představují interaktivní tlačítka reagující na dotyk. Pomocí uzlu `ProximitySensor` lze detekovat přítomnost avatara a změnu jeho polohy a orientace. Prostřednictvím výstupních událostí `position_changed` a `orientation_changed` tohoto uzlu a konstrukce `ROUTE . . . TO . . .` lze nastavit odpovídající změnu pozice a otočení ovládacího panelu HUD. Tímto dochází ke zdánlivému „svázání“ avatara s panelem HUD. Ovládací tlačítka se hýbou společně s avatarem a ve VRML prohlížeči se tedy zobrazují stále na stejném místě. Napojení tlačítek HUD na skript je možné realizovat např. pomocí uzlu `TouchSensor` a jeho výstupní události `isActive`.

Mezi největší výhody této metody patří její univerzální použití ve všech VRML prohlížečích podporujících skripty. Dále je výhodné, že ovládací panel je součástí VRML prohlížeče. Virtuální scéna je tak nezávislá na webové stránce a je možné ji otevřít na celou plochu okna WWW prohlížeče.

Nevýhodou je složitost modelování jednotlivých tlačítek HUD jako objektů VRML scény. Dalším problémem je optimální stanovení vzdálenosti ovládacího panelu HUD od

avátara. Je-li vzdálenost příliš velká, může při prohlížení scény nastat situace, kdy se mezi avátara a ovládací panel dostanou jiné objekty scény a ovládací panel zakryjí. Naopak, jsou-li tlačítka avatarovi příliš blízko, je patrné jejich drobné „klepání“ při vyrovnávání polohy a orientace.



**Obr. 5.2:** Schématické znázornění vazeb v EAI a SAI

Zdroj: Holečko (1999)

#### 5.4.2. External Authoring Interface (EAI)

*External Authoring Interface (EAI)* umožňuje ovládat virtuální scénu z Java appletu umístěného na stejné webové stránce. Zpřístupnění scény je realizováno pomocí rozhraní tvořeného prvky LiveConnect (Netscape) nebo ActiveX (Microsoft). Na rozdíl od SAI může tedy v tomto případě VRML scéna komunikovat s vnějším světem a naopak (Havrlant 2002, Holečko 1999, URL (35)). Schématické vazby EAI znázorňuje obr. 5.2.

Java EAI bylo roku 2004 standardizováno a začleněno do normy VRML97 (ISO/IEC 14772). Všechny novější verze zmiňovaných VRML prohlížečů EAI s menšími

či většími rozdíly implementují. Pomocí EAI lze např. editovat atributy virtuálního světa nebo zprostředkovat napojení na databázi.

Mezi nevýhody Java EAI patří jeho nestabilita. Dalším závažnějším omezením je, že pro správné použití Java appletu na HTML stránce je nutné použít webový prohlížeč s nainstalovanou podporou Java Virtual Machine (Microsoft). Rozšířenější podpora Java Runtime Environment (Sun Microsystems) není rozhraním podporována. EAI lze tedy rozumně použít pouze tehdy, pokud je možné správně nastavit počítače, na kterých bude prezentována výsledná VRML scéna.

#### 5.4.3. Jiná externí rozhraní tvořená ovládacími prvky ActiveX/LiveConnect

S virtuální scénou lze z prostředí webové stránky interaktivně manipulovat také prostřednictvím dalších externích rozhraní. VRML prohlížeč se scénou je v těchto případech, podobně jako u Java EAI, vložen do webové stránky jako ovládací prvek ActiveX, resp. LiveConnect. Scénu lze ovládat prostřednictvím skriptů (JavaScript, VBScript) obsažených na této stránce. Na skript je ve webové stránce odkazováno např. prostřednictvím hlášky ONCLICK v tagu INPUT v HTML formuláři.

Na rozdíl od Java EAI, které bylo standardizováno, tato rozhraní nelze univerzálně použít pro všechny VRML prohlížeče. Volání ze skriptů do jednotlivých VRML prohlížečů se liší. Externí rozhraní pro jazyky JavaScript a VBScript podporují oba nejrozšířenější VRML prohlížeče, Cortona VRML Client i BS Contact VRML/X3D. V Cortoně se rozhraní nazývá *VRML Automation Interface*. Možnosti jeho využití popisuje produkt Cortona SDK (URL (27)). BS Contact označuje rozhraní pojmem *Script EAI*, informace o něm jsou k dispozici v produktu BS SDK (URL (3), URL (4)).

Využitím externího rozhraní je možné z vnějšku scény měnit hodnoty polí uzlů scény, vytvářet a přidávat do scény nové uzly nebo je naopak ze scény odstraňovat. Základní struktura volání ze skriptu do VRML prohlížeče pro případ změny hodnoty pole určitého uzlu je následující:

a) pro Cortonu (URL (25)):

```
Cortona.Engine.Nodes("název uzlu").Fields("název pole") = hodnota
```

b) pro BS Contact (URL(4)):

```
Browser.setNodeField("název uzlu", "název pole", hodnota)
```



Výhodou externích rozhraní pro JavaScript a VBScript je jejich relativně snadné programování, moderní design uživatelského rozhraní a flexibilní interakce.

Mezi nevýhody patří nutnost používat prvky ActiveX nebo LiveConnect, které mohou pro klienta představovat určité nebezpečí v podobě průniku virů do počítače nebo podvodného přesměrování internetového dial-up připojení na linky se zvýšeným tarifem. Další nevýhodou této metody je, že každý VRML prohlížeč používá jiné skriptové externí rozhraní. Výsledná aplikace tedy správně funguje pouze v prohlížeči, pro který byla navržena.

#### 5.4.4. *Serverové aplikace*

Klientské technologie obvykle postačují pro zajištění většiny základních interaktivních funkcí. Pro zpracování komplexních dat je vhodnější použít technologie serverové. Mezi nejpoužívanější patří Hypertext Preprocessor (PHP), Active Server Pages (ASP), Common Gateway Interface (CGI), Extensible Markup Language (XML). Všechny uvedené technologie vyžadují instalaci své softwarové podpory na serveru.

Princip serverových aplikací spočívá v komunikaci mezi serverem a klientem. Požadavky uživatele zadané na klientu jsou v případě komunikace přes protokol HTTP zakódovány do URL a poslány na server. Program na serveru požadavky zpracuje a výsledek (např. ve formě HTML nebo VRML) pošle zpět klientu.

Ke zpracování geografických dat určených k vizualizaci ve VRML může server využít např. software GIS s exportem do VRML. Takovým způsobem lze provádět složitější analýzy geografických dat v prostředí WWW.

### 5.5. **Základní funkce interaktivního rozhraní kartografických děl ve VRML**

V předešlých kapitolách byly prezentovány možnosti interakce a dynamiky ve virtuální scéně z hlediska jejich technické proveditelnosti. Nyní se pokusím stanovit základní interaktivní funkce, které by uživatelské rozhraní kartografických děl ve VRML nemělo postrádat a navrhnout, jakou z výše uvedených metod je vhodné použít pro jejich zabezpečení. Touto problematikou se zabývá např. Bidoshi (2003), Cartwright et al. (2001) a Howard (1996). Jako předloha jsou použity funkce dostupné v GIS a 2D

mapových serverech na Internetu. Pozornost je věnována pouze funkcím určeným k vizualizaci dat, nikoli k jejich analýze.

### 5.5.1. Volný pohyb ve scéně

Nejdůležitějšími interaktivními nástroji, které by v žádné interaktivní aplikaci neměly chybět, jsou nástroje volného pohybu po virtuální scéně. Uživatel by měl mít možnost změnit svou polohu, směr a rychlost pohybu, příp. i úhel pohledu. Veškeré zmíněné funkce jsou zabezpečeny VRML prohlížečem.

Uživatelé bez větších zkušeností však mají s pohybem a orientací ve virtuální scéně problémy (Fuhrmann a MacEachren 2001). Z toho důvodu je vhodné, aby tvůrce virtuální scény volný pohyb uživateli částečně omezil. S ohledem na účel díla je užitečné omezit např. způsob pohybu ve scéně (chůze, let, zkoumání) v poli typu uzlu `NavigationInfo`. K usnadnění navigace scénou bezpochyby přispívá i dostatečný počet předdefinovaných stanovišť (uzel `Viewpoint`), která jsou rozmístěna rovnoměrně po celém modelu a upozorňují na zajímavá místa. Nabídka stanovišť je uživateli k dispozici na ovládacím panelu VRML prohlížeče. Jinou možností je definovat ve VRML scéně tzv. průvodce – objekty (informační tabulky, ukazatele atd.), které jsou potomkem interaktivního uzlu `Anchor` (příp. `TouchSensor`) a návštěvníkovi dovolují vyvolat nápovědu nebo se přesunout na jiné stanoviště (Žára 1999). V každém virtuálním světě se vyskytují místa, která nejsou modelována dokonale. Pro tento případ je vhodné avatarovi zakázat vstup do těchto míst využitím uzlu `Collision` (Žára 1999).

Rychlost pohybu avatara by měla být definována s ohledem na jeho výšku nad terénem. Bidoshi (2003) doporučuje do výšek 100 m nad terénem stanovit rychlost na 25 m/s a nad 100 m použít k výpočtu rychlosti vzorec  $v = h * 0,25$ , kde  $v$  je rychlost pohybu avatara a  $h$  jeho výška nad terénem.

Aplikaci je pro usnadnění navigace a orientace vhodné doplnit lokalizační mapkou, tj. mapou znázorňující polohu avatara nebo záběr jeho pohledu.

Orientaci ke světovým stranám lze ve virtuální realitě nejlépe vyjádřit směrovou růžicí koncipovanou jako prvek HUD, který vůči avatarovi zachovává svou pozici, ale ne orientaci.

Ovládací prvky pro výběr stanoviště, změnu rychlosti pohybu a jiné funkce lze využitím API přesunout do HUD panelu nebo do webové stránky vně VRML prohlížeč.

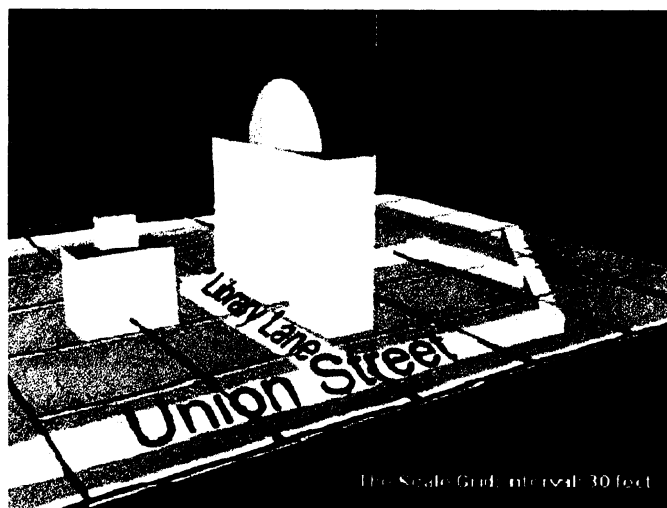
### 5.5.2. Změna měřítka

Měřítka mapy je definováno jako poměr zmenšení referenční plochy. Z tohoto hlediska jsou virtuální scény obvykle konstruovány v měřítku 1:1. VRML prohlížeč pak slouží jako „okno“ do tohoto virtuálního světa. Model terénu může mít pro zdůraznění výškových rozdílů zvětšené měřítko pro výškovou složku. Pak je třeba dbát na odlišení měřítka horizontálního a vertikálního.

Díky volnému pohybu ve virtuální scéně lze dílčí objekty scény pozorovat z různé vzdálenosti. Tím dochází ke zmenšování či zvětšování obrazů těchto objektů na ploše monitoru. Měřítka statického obrazu scény promítaného v určitém okamžiku na plochu monitoru počítače je vlivem perspektivního pohledu na scénu nejednotné, ale pro odhad skutečných vzdáleností znázorněných v obraze je vhodné ho uvádět.

Existuje několik způsobů, jak takové měřítko ve virtuálních scénách zobrazit, níže uvedené možnosti prezentuje ve své práci Bidoshi (2003).

Prvním řešením je obklopit model ve virtuální scéně 3D mřížkou o určité hodnotě rozpětí (viz obr. 5.3). V podstatě jde o 3D obdobu pravoúhlé rovinné (resp. kilometrové) sítě známé z topografických map. Tento způsob vyjádření měřítka je ze všech uvedených variant nejpresnější, protože nejlépe vystihuje proměnlivost měřítka ve virtuálním prostoru a nevztahuje se pouze k jedinému bodu.



Obr. 5.3: Měřítka v podobě 3D mřížky

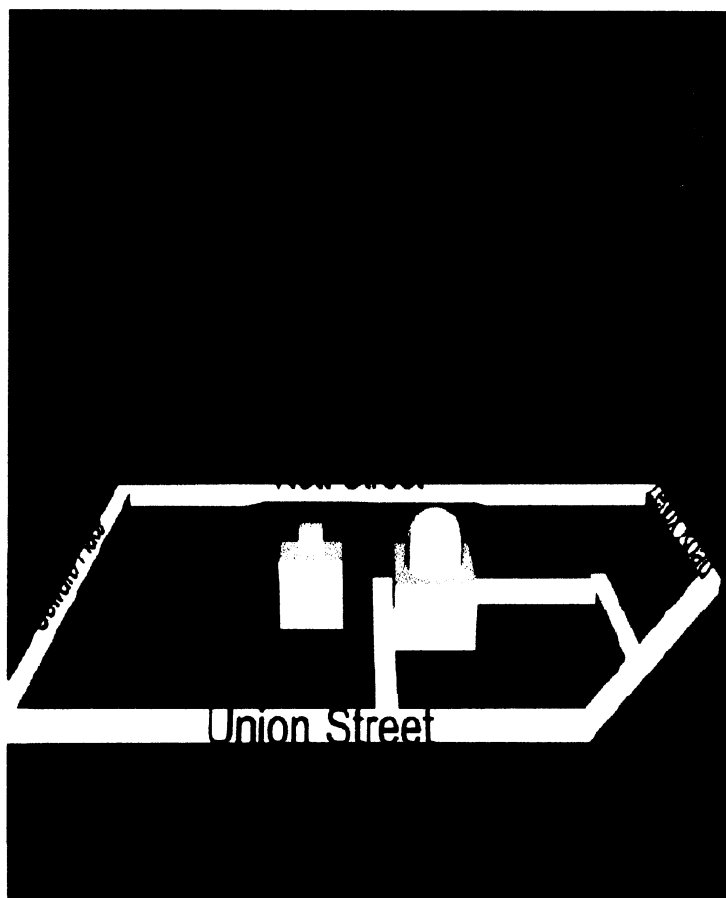
Zdroj: Bidoshi (2003)

Druhou možností je stanovit *grafické měřítko v podobě krychle* (obr. 5.4 – vpravo nahoře). Měřítka není jednotné ve všech směrech. Hrany krychle reprezentují tři hlavní osy souřadnicového systému a každá tedy vyjadřuje jinou vzdálenost. Vzdálenosti jsou v tomto případě odvozeny podle následujících vzorců:

$$s_x = \frac{f_x}{D_x}, \quad s_y = \frac{f_y}{D_y}, \quad s_z = \frac{f_z}{D_z},$$

kde  $f_{x,y,z}$  jsou ohniskové vzdálenosti objektivu kamery,  $D_{x,y,z}$  vzdálenosti pozorovaného bodu od stanoviště avatara a  $s_{x,y,z}$  měřítka ve směru jednotlivých os.

Měřítka se vztahuje k bodu zobrazujícího se do středu okna VRML prohlížeče. Krychle je vytvořena jako prvek HUD, aby pro uživatele zůstávala stále v okně prohlížeče. Orientace měřítkové krychle se s pohybem avatara mění, její velikost zůstává stejná. Hodnoty vzdáleností představující měřítko jsou při pohybu scénou automaticky obnovovány.



**Obr. 5.4:** Grafické měřítko v podobě krychle a číselné měřítko

Zdroj: Bidoshi (2003)

Poslední variantou je stanovit ve virtuální scéně *číselné měřítko* (obr. 5.4 – vlevo dole), tj. vyjádřit poměr zmenšení ve tvaru zlomku. I v tomto případě se měřítko vztahuje k bodu zobrazujícího se do středu okna VRML prohlížeče a vypočítá se podle následujícího vzorce:

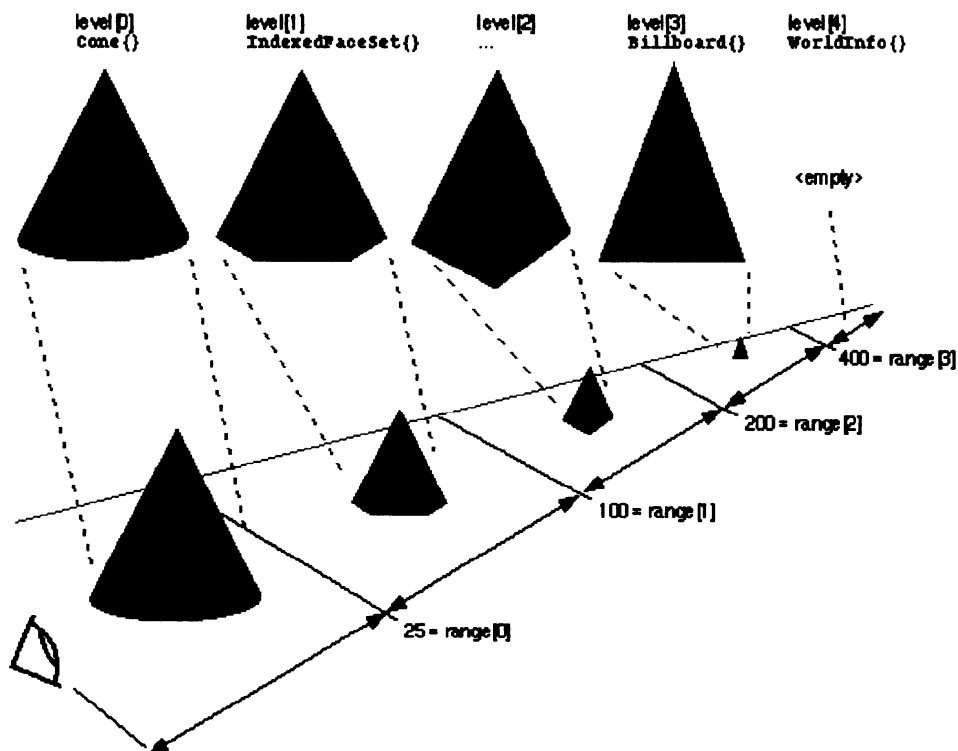
$$s = \frac{f}{D}$$

, kde  $f$  je ohnisková vzdálenost objektivu kamery,  $D$  vzdálenost pozorovaného bodu od stanoviště a  $s$  průměrné měřítko.

Odlíšnosti měřítka v různých směrech nejsou zohledněny, měřítko je vyjádřeno jedním číslem a je pouze přibližné.

### 5.5.3. Změna stupně generalizace

Možnost změny stupně kartografické generalizace ve virtuální scéně je velmi důležitá, protože svoboda pohybu umožňuje uživateli pozorovat objekt z různé vzdálenosti.



**Obr. 5.5:** Uzel LOD - různé reprezentace téhož objektu

Zdroj: Carey, Bell (1997)

Při zmenšování měřítka virtuální scény musí docházet k zevšeobecnění objektů ze dvou hlavních důvodů - snížení náročnosti renderování scény a usnadnění vnímání scény uživatelem (Bidoshi 2003).

Generalizace je ve VRML podporována uzlem LOD (Level Of Detail), kterým je možné zapsat objekt v několika reprezentacích. Objekt je poté zobrazen v takové reprezentaci, která odpovídá jeho vzdálenosti od avatara (viz obr. 5.5).

Uzel LOD má tři pole. V poli `level` se definuje seznam reprezentací objektu s postupně klesající přesností. Pole `range` slouží k zápisu rostoucí posloupnosti kladných vzdáleností indikujících přepnutí reprezentace. Polem `center` lze stanovit bod, vůči kterému se tato vzdálenost měří.

Uzlem LOD lze ve VRML zabezpečit všechny tři základní druhy generalizace – výběr, zjednodušování tvarů i slučování. Nevýhodou zůstává manuální definice všech úrovní reprezentace.

#### 5.5.4. Změna obsahu scény

Interaktivní nástroje určené ke změně obsahu virtuální scény prospívají přehlednosti kartografického díla. Poskytují uživateli možnost zapínat či vypínat jednotlivé objekty nebo skupiny objektů scény.

K seskupování objektů slouží uzel `Group`, ale stejně dobře lze využít např. uzel `Transform`. Vhodným řešením je seskupení objektů, které mají být společně zapínány/vypínány, do zvláštního souboru `.wrl`, který je do hlavní scény vložen uzlem `Inline`. Tento způsob výrazně zlepšuje rychlost načítání a zobrazování virtuální scény.

Zapínání/vypínání objektů lze zajistit prostřednictvím skriptu obsaženého v uzlu `Script` nebo vně VRML scény, podle volby API. Skript může být aktivován pomocí senzorů, tlačítek a jiných ovládacích prvků.

#### 5.5.5. Změna vzhledu scény

Každý uživatel interaktivní kartografické aplikace by měl mít k dispozici nástroje, pomocí nichž si přizpůsobí vzhled virtuální scény tak, aby co nejlépe získal hledanou

informaci. Možnost úpravy velikosti, barvy, příp. textury objektu může být z tohoto hlediska velmi nápomocná.

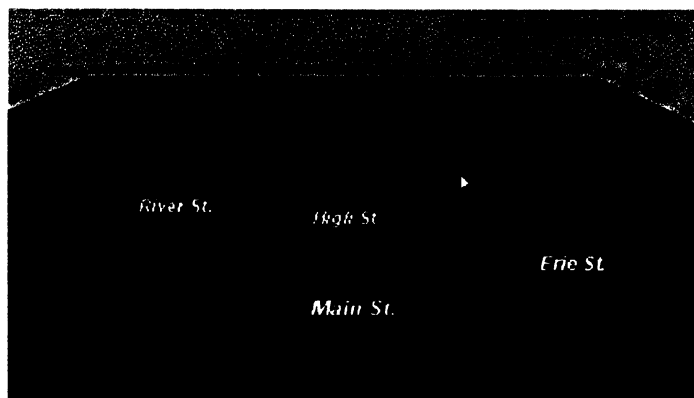
Změnu vzhledu virtuální scény lze realizovat prostřednictvím skriptů, podobně jako zapínání/vypínání objektů. Má-li docházet ke střídání několika podob objektu, je možné skript kombinovat s uzlem `Switch`.

#### 5.5.6. *Zpřístupnění atributů a informací vztahujících se k objektům*

Nezbytnou součástí virtuálního světa je popis jeho objektů. Pro uživatele je pravděpodobně nejdůležitější možnost identifikace objektu podle jeho názvu. Jména objektů můžeme ve virtuální realitě podobně jako na běžných mapách uvést nápisem (uzel `Text`), ale využít lze i zvuk (uzel `AudioClip` ve spojení s uzlem `Sound`) (Bidoshi 2003). V případě použití textu je pro dobrou čitelnost žádoucí, aby byl nápis potomkem uzlu `Billboard` a automaticky se natáčel směrem k avatarovi.

Popis mapy má obvykle nežádoucí vliv na přeplnění jejího obsahu. Čitelnost textu ve virtuálních scénách je navíc komplikována faktem, že uživatel může libovolně měnit svou polohu. Z určitých stanovišť se pak uživateli názvy mohou navzájem překrývat nebo se skrývat za jiné objekty scény. Tomuto problému lze čelit využitím interaktivních uzlů VRML. Díky nim je možné zajistit, aby se popis objektu objevil až na žádost uživatele (uzel `TouchSensor`) nebo vlivem jeho přítomnosti v blízkosti objektu (uzel `ProximitySensor`).

Možnosti zobrazení názvů objektů ve VRML scéně dokumentuje obr. 5.6.



**Obr. 5.6:** Názvy objektů ve virtuální scéně

Zdroj: Bidoshi (2003)

Pro poskytnutí rozsáhlejších informací o objektu je vhodné objekt učinit potomkem uzlu *Anchor*. Objekt se stane aktivním a po kliknutí na něj je uživatel pomocí URL odkázán do dokumentu, který obsahuje všechny potřebné informace (fotografie, historie objektu, výpis hodnot atributů objektu z databáze atd.).

#### 5.5.7. *Vyhledávání objektů*

Nástroje pro vyhledávání objektů je možné realizovat pomocí skriptů komunikujících s VRML scénou.

Mají-li být objekty vyhledávány podle nominálních atributů, např. názvů objektů, je třeba v uživatelském rozhraní vytvořit vyhledávací pole obsahující seznam s těmito názvy nebo dát uživateli možnost vyhledat objekt podle klíčového slova. Hodnota zvolená (příp. zadaná) uživatelem je poté zpracována skriptem a hledaný objekt je zvýrazněn změnou své velikosti, barvy, textury nebo vytvořením objektu nového, který na hledaný upozorňuje (např. šipka).

Vyhledávání objektů podle ordinálních, intervalových či poměrových atributů a podmínek jiného typu než rovnosti je již složitější a vyžaduje propojení virtuální scény s databází. Nejlepšími prostředky pro propojení s databází disponuje rozhraní Java EAI. I přesto je však komunikace s databází velmi komplikovaná a nestabilní.



## 6. NÁVRH A TVORBA INFORMAČNÍHO SYSTÉMU JIZERSKÉ MAGISTRÁLY

### 6.1. Jizerská magistrála

Pojmem Jizerská magistrála se označují strojově upravované tratě pro klasické lyžování v Jizerských horách.

„Jizerská magistrála patří k nejnavštěvovanějším trasám pro běh na lyžích v České republice. Od roku 1968 se zde každoročně pořádá populární dálkový běh na lyžích Jizerská padesátka. Strojová úprava těchto tras vznikla v roce 1984 a v Jizerských horách se tak začala poprvé v Čechách upravovat lyžařská stopa pro širokou veřejnost.

V současné době je délka Jizerské magistrály cca 115 km. Na trasy existuje 8 základních nástupních míst (2x Bedřichov, Jizerka, Smědava, Josefův důl, Hrabětice, Albrechtice a Jablonec n. N. - Břízky). Je zde rozmístěno celkem 18 mapových stojanů a 56 rozcestníků. Občerstvení nabízejí sezónní kiosky, které bývají otevřeny o víkendech po celou sezónu (na Maliníku, na Hřebínku, na Promenádní cestě, na Knajpě), dále pak restaurace v Bedřichově, na Nové Louce, Smědavě a Jizerce.

Od roku 1999 je Jizerská magistrála upravována Jizerskou o. p. s. (URL (17)), která byla založena obcí Bedřichov za tímto účelem z důvodu zkvalitnění celoroční úpravy tras a tím umožnění dalšího rozvoje a zlepšení podmínek pro turistický ruch v Jizerských horách“ (URL (18), s. 1).

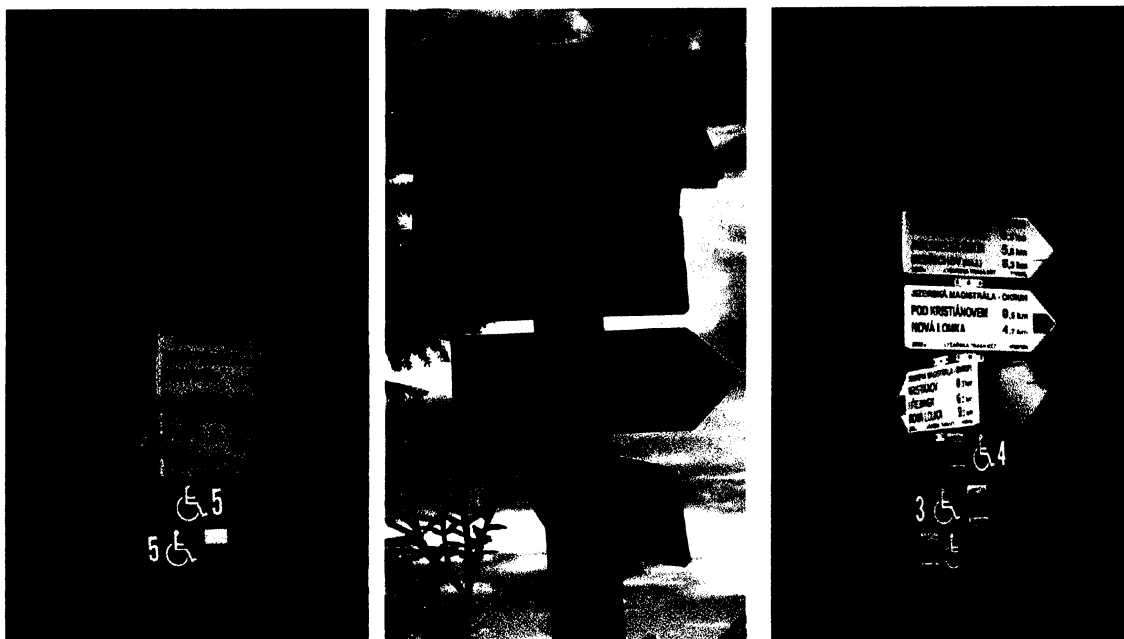
Vzhledem k velkým finančním nárokům na udržování tratí se do budoucna uvažuje i o zpoplatnění vstupu na magistrálu.

Jizerskou magistrálu tvoří dvě páteřní hřebenové tratě (červená a modrá), které vedou napříč Jizerskými horami od Bedřichova na Jizerku. V západní části hor dále nalezneme dvě kratší okružní trasy (zelenou a žlutou). Přístup na tyto hlavní tratě magistrály je zajištěn po tzv. tratích nástupních. Orientační průběh hlavních tratí magistrály je následující:

- **červená:** Bedřichov – Nová Louka – Blatný rybník – Kristiánov – Rozmezí – Čihadla – Knajpa – Rozc. silnic – Hraniční - Promenádní – Jizerka (21,5 km)
- **modrá:** Maliník – Rozc. k přehradě Bedřichov – Závory – Pod Olivetskou horou – Bílá Kuchyně – Hřebínek – Krásná Máří – Čihadla – Knajpa – Smědava – Hraniční – Jezdecká – Jizerka (28,6 km)

- zelená: Nová Louka – Gregorův kříž – Hřebínek – Nová cesta – Kristiánov – Pod Kristiánovem – Nová Louka (14,5 km)
- žlutá: Bedřichov – U Nové Louky – Nová Louka – Blatný rybník – Kristiánov-most – Pod Kristiánovem – Jablonecká chata – Bedřichov (13,5 km)

V terénu je Jizerská magistrála značena žlutými nebo oranžovými směrovými tabulkami (viz obr. 6.1). Žlutý okruh magistrály je na tabulkách pro zvýraznění znázorněn bílou barvou, nástupní tratě se značí průhledně, jinak je barevné rozlišení tratí zachováno.



**Obr. 6.1:** Značení Jizerské magistrály v terénu

## 6.2. Konfigurace systému – hardware a software

Informační systém Jizerské magistrály byl vytvářen na počítači s 512 MB operační pamětí, 3.06 GHz procesorem (Intel Pentium 4), 128 MB grafickou kartou (ATI Radeon 9600 Series) využívající 3D rozhraní Direct3D/DirectX, 19" monitorem s rozlišením 1152x864 obrazových bodů a frekvencí 75 Hz, ADSL připojením k internetu o rychlosti 512/128 kb/s a operačním systémem Microsoft Windows 2000 Professional.

Při tvorbě aplikace jsem využívala jazyky VRML, HTML, JavaScript, VBScript a následující software:

- OCAD 8.12 Professional – úprava vstupních dat a jejich export do formátu SHP, TIFF

- ERDAS IMAGINE 8.7 – tvorba digitálního modelu terénu; tvorba základní virtuální scény a její export do formátu VRML; tvorba rastrů hypsometrie; tvorba profilů
- Adobe Photoshop 7.0 – grafická úprava textur
- VrmIPad 2.0 Trial – úprava a zápis VRML kódu, ukládání souborů je omezeno 64 kB
- Microsoft Poznámkový blok 5.0 – ukládání VRML souborů větších než 64 kB
- ASCII to UTF8 Converter 1.0 – přepis názvů z kódování ASCII do UTF-8
- Homesite 5.5 Trial – zápis HTML kódu
- Microsoft Internet Explorer 6.0 – WWW prohlížeč; prohlížení aplikace
- Cortona VRML Client 4.2 – VRML prohlížeč; prohlížení virtuální scény

### 6.3. Vstupní data

Vstupní data pro tvorbu virtuální scény Jizerských hor poskytla firma Kartografie HP. Data byla uložena v souboru programu OCAD, vznikla digitalizací vojenské Topografické mapy 1:50 000 po 4. obnově (1987-1996) a jejich poslední aktualizace proběhla roku 2005. Data jsou v souřadnicovém systému S-42 založeném na Gauss-Krügerově zobrazení Krasovského elipsoidu. Výškovým systémem je Výškový systém baltský - po vyrovnání. Vrstevnicový interval je 10 m. Přesnost dat testována nebyla, ale při požadavku 0,1 mm přesnosti ji lze pro měřítko 1:50 000 odhadovat na 5 m, s tím, že další nepřesnosti vyplývají z následné digitalizace původní mapy.

### 6.4. Návrh webové aplikace

#### 6.4.1. Účel webové aplikace

Účelem webové aplikace s názvem „Informační systém Jizerské magistrály“ je poskytnout informace o lyžařské magistrále jejím uživatelům.

„V zimní sezóně navštíví Jizerskou magistrálu dle průzkumu návštěvnosti Horské služby Jizerské hory více než 200 000 uživatelů, z nichž je cca 1/3 stálými návštěvníky a 2/3 jsou jednorázoví návštěvníci. Zimní sezóna je počítána v průměru od 1. prosince do 15. března (URL (18), s. 1).“

Bohužel zatím neexistuje mnoho map ani publikací, které by se Jizerské magistrále věnovaly podrobněji. Průběh tratí magistrály je znázorněn např. na mapách SHOCart

(2006), Žaket (2006), Kartografie HP (2005), Kartografie HP (2003) nebo Vojenský kartografický ústav (2003). Kartografie HP (2003) uvádí také profily jednotlivých tratí, Žaket (2006) disponuje např. jízdními řády do některých nástupních míst magistrály.

Vzhledem k úvahám o zpoplatnění Jizerské magistrály a plánovanému Mistrovství světa v klasickém lyžování (SKI 2009), které se bude konat v Liberci, lze očekávat růst poptávky turistů po podrobných informacích o magistrále.

Informační systém bude poskytovat informace o průběhu a převýšení jednotlivých tratí, o možnostech ubytování a občerstvení na magistrále nebo v její blízkosti, možnostech dopravy do nástupních míst, aktuálních sněhových podmínkách atd.

#### 6.4.2. Vymezení zájmového území

Zájmové území, pro které byl vytvářen model terénu a virtuální scéna, má rozlohu 180 km<sup>2</sup> a celé se nachází v chráněné krajinné oblasti (CHKO) Jizerské hory. Území zahrnuje centrální část Jizerských hor, svým severovýchodním okrajem zasahuje i do Polska (viz příloha č. 3).

Vymezení modelového území úzce souvisí se stanovením prostorového rozlišení modelu terénu. Při rozšiřování území objem dat rychle narůstá, což má zejména v případě publikace na Internetu negativní vliv na rychlost načítání a zobrazování virtuální scény. Velikost souboru lze snížit zhoršením prostorového rozlišení modelu.

Jako optimální řešení byl stanoven model terénu s rozlišením 50 m, který ovšem nezahrnuje okrajové nížinné části CHKO a severní část Jizerských hor s vrcholem Smrk, přestože v těchto oblastech nalezneme ještě cca 10 km nástupních tratí magistrály.

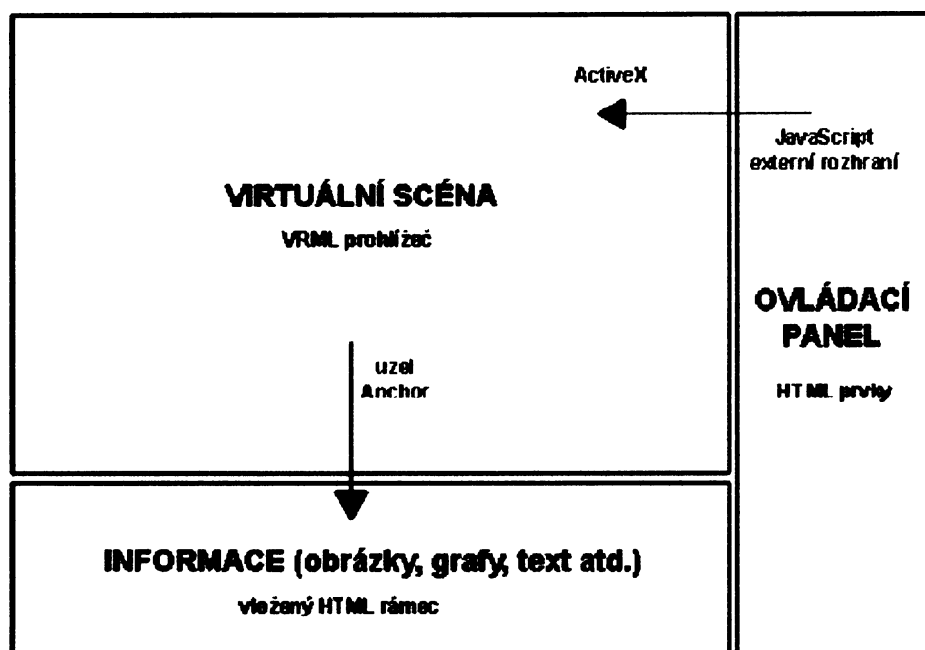
Zájmové území o rozměrech 18x10 km je vymezeno těmito body:

- levý horní roh:  $Y_1(S-42) = 3507500$  m,  $X_1(S-42) = 5637500$  m
- pravý dolní roh:  $Y_2(S-42) = 3525500$  m,  $X_2(S-42) = 5627500$  m

#### 6.4.3. Funkční schéma webové aplikace

Kostru Informačního systému Jizerské magistrály tvoří webová stránka psaná standardizovaným jazykem HTML 4.01 podle specifikace doporučené organizací W3C (URL (37)). Webová aplikace se skládá ze tří hlavních komponent – okna VRML

prohlížeče s virtuální scénou, HTML rámce s informacemi o objektech scény a ovládacího panelu s interaktivními nástroji pro ovládání virtuální scény (viz obr. 6.2).



**Obr. 6.2:** Funkční schéma Informačního systému Jizerské magistrály

Webová aplikace je navržena jako aplikace klientská. Ovládací panel je tvořen interaktivními HTML prvky napojenými na skripty psané jazykem JavaScript, resp. VBScript. Tyto skripty komunikují s VRML scénou (resp. VRML prohlížečem) prostřednictvím externího aplikačního rozhraní ActiveX. VRML scéna je do webové stránky vložena tagem OBJECT, jehož parametr CLASSID specifikuje ActiveX prvek.

Ukázka HTML kódu pro vložení VRML scény do webové stránky:

```
<OBJECT id="Cortona" name="okno" classid="CLSID:86A88967-7A20-11d2-8EDA-00600818EDB1"
codebase="http://www.parallelgraphics.com/bin/cortvrml.cab#Version=4,2,0,93" width="600" height="340" renderername="DirectX Renderer"
skin="{1706B265-E103-4332-9871-7FEE6C37C699}" showfps="TRUE">
<PARAM name="SRC" value="virtualni_scena.wrl">
</OBJECT>
```

Jednotlivé objekty virtuální scény jsou zapsány jako potomci uzlu Anchor, který je činí aktivními a umožňuje jejich aktivací otevřít HTML dokument s informacemi o objektu. Tyto informace jsou otevírány do vloženého rámce HTML stránky.

Aplikace je doplněna hypertextovými odkazy na webové stránky s dalšími užitečnými informacemi o sledované oblasti (např. 2D mapa, ubytování a stravování, doprava, předpověď počasí atd.).

Grafické uživatelské rozhraní Informačního systému Jizerské magistrály je vyobrazeno v příloze č. 4.

## 6.5. Tvorba digitálního modelu terénu

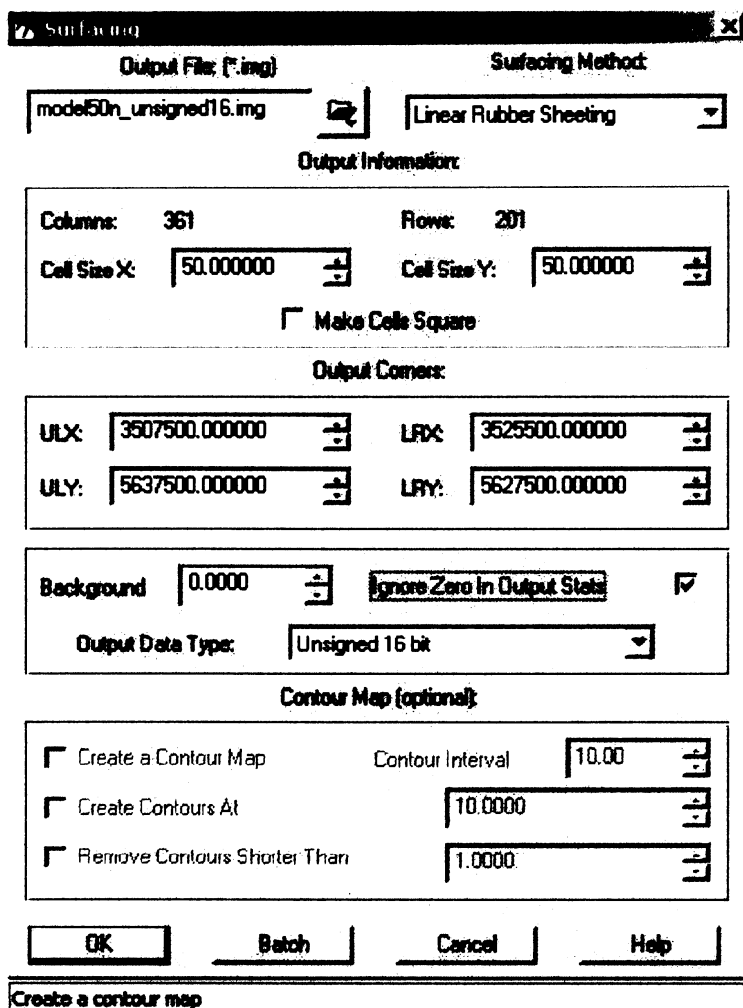
Digitální model terénu byl vytvořen z vrstevnic s intervalem 10 m a výškových bodů ve formátu SHP získaných exportem vstupních dat z programu OCAD.

Vzhledem k tomu, že původní data byla ve 2D formě a nezahrnovala v sobě informace o výšce (vrstevnice byly okótovány pouze formou anotací), bylo třeba jim nejprve do atributové tabulky výšky doplnit. K editaci vrstevnic a výškových bodů jsem využila modul Viewer softwaru ERDAS IMAGINE, ve kterém jsem data formátu SHP okótovala.

Vlastní tvorba digitálního modelu terénu byla provedena v modulu DataPrep téhož softwaru. Je nutné použít data většího rozsahu území, než má mít výsledný model, aby na jeho okrajích nevznikaly chyby. Parametry nastavení při tvorbě modelu ilustruje obr. 6.3.

Model byl z vrstevnic a výškových bodů odvozen metodou lineární interpolace hodnot (Linear Rubber Sheeting). Přesnost byla stanovena na celá nezáporná 16-ti bitová čísla. Optimální by bylo dodržet maximální možnou přesnost dat VRML, tj. jednoduchou přesnost (32 bit) s pohyblivou desetinnou čárkou. Nicméně velikost VRML souboru obsahujícího model je v takovém případě pětikrát vyšší, z cca 300 kB u 16-ti bitového modelu vzroste na cca 1500 kB pro model v jednoduché přesnosti, což by výrazně zpomalilo načítání a zobrazování virtuální scény. Digitální model terénu jsem ponechala ve stejném souřadnicovém systému jako vstupní data, v systému S-42. Výsledným modelem je grid ve formátu IMAGINE Image (IMG) o prostorovém rozlišení 50 m.

Za povšimnutí stojí uvedený počet sloupců a řádků modelu, který je vždy o jeden větší, než bychom při 50 m rozlišení očekávali. To proto, že zadávaný rozsah modelu je určen středy okrajových buněk, zatímco hranice rastru je stanovena okraji těchto buněk. Při exportu modelu grid do uzlu ElevationGrid ve VRML jsou však souřadnice středů buněk gridu zapsány jako vrcholy modelu ElevationGrid, takže zadávaný rozsah bude rozsahem modelu ve VRML.



Obr. 6.3: Nastavení parametrů při tvorbě modelu terénu (ERDAS IMAGINE 8.7)

Vytvořený DMT byl testován na přesnost dat ve výšce. Testováno bylo 44 výškových bodů, které byly zpětně promítnuty na model a byly jim odvozeny nové výšky. Původní a odvozené výšky byly porovnány. Odvozená výška je u všech bodů nižší než výška původní. Maximální rozdíl výšek je 14 m, minimální 0 m, průměrně se pohybuje okolo 4 m. Směrodatná odchylka rozdílů výšek je rovna cca 3 m. Střední kvadratická chyba výškových dat modelu činí přibližně 5 m. Hlavní příčinou těchto rozdílů jsou pravděpodobně chyby v poloze výškových bodů a vrstevnic u vstupních dat.

## 6.6. Tvorba virtuální scény

Jak již bylo zmíněno, pro tvorbu základní virtuální scény byl využit software ERDAS IMAGINE. Jedná se o profesionální nástroj pro práci s geografickými daty.

Rozšiřující modul IMAGINE VirtualGIS nabízí široké možnosti v oblasti vytváření virtuálních scén a jejich exportu do formátu VRML.

Digitální model terénu ve formátu IMG lze v IMAGINE VirtualGIS otevřít dvěma způsoby, jako „DEM“ nebo jako „VirtualDEM“. Dvě možnosti existují také pro export virtuální scény do VRML – „Save as VRML“ a „Export VRML“. Po vyzkoušení všech možných kombinací vedoucích k získání výsledné VRML scény byla zvolena jako nejpříjemnější varianta otevření modelu jako „DEM“ a uložení scény pomocí nástroje „Save as VRML“. Tato kombinace vede k vizualizaci modelu terénu ve VRML pomocí uzlu `ElevationGrid`, což bylo mým cílem. Do VRML ukládá spolu s DMT i vektorové a rastrové vrstvy, kterými je model ve VirtualGIS pokryt, všechny přednastavené stanoviště, barvu pozadí či nastavení světla. Zatímco rastrové vrstvy jsou po exportu součástí hlavního souboru VRML s virtuální scénou, vektorové vrstvy jsou uloženy do zvláštních VRML souborů a do hlavní scény vloženy uzlem `Inline`.

Nedostatky exportu scény z VirtualGIS do VRML vidím v dělení modelu, vektorů a rastrů na části. Ke členění elementů na menší díly dochází za účelem zrychlení načítání a zobrazování scény, což je samo o sobě výhodné, nicméně VirtualGIS nenabízí tvůrci virtuální scény přímý nástroj pro stanovení počtu a rozměrů těchto částí. Tuto skutečnost potvrdilo i oddělení zákaznické podpory společnosti Leica Geosystems, která software vyvíjí.

Umístění modelu do souřadnicového systému ve VRML (x, y, z) je následující: levý horní (tj. severozápadní) roh modelu je umístěn VRML souřadnicemi x a z do počátku souřadnicové soustavy, osa x směřuje k východu, osa z k jihu a osa y představuje nadmořskou výšku.

Převod souřadnic S-42 (X, Y, Z) na souřadnice VRML (x, y, z) je:

$$x = Y - 3507500$$

$$y = Z$$

$$z = -(X - 5637500)$$

Výše uvedené umístění modelu do souřadnicového systému VRML se liší od způsobu, který nabízí export z ERDAS VirtualGIS, kdy je počátek modelu `ElevationGrid` (tj. severozápadní roh) posunut do bodu  $x = 3507500$ ,  $y = 5637500$ ,  $z = 0$ . Takové umístění je chybné, protože posun souřadnice X systému S-42 je zde realizován na ose y ve VRML, která ovšem ve virtuální scéně značí výšku. Zmíněná chyba byla potvrzena i oddělením zákaznické podpory firmy Leica Geosystems.



Za účelem zrychlení načítání a zobrazování souboru a zlepšení vizuální kvality scény je virtuální scéna optimalizována s využitím většiny metod uvedených v kapitole 4.7. K definici modelu terénu i ostatních objektů byly vytvořeny vlastní prototypní uzly, využity byly jazykové konstrukce DEF a USE, virtuální scéna je rozdělena do více souborů a je komprimována pomocí algoritmu gzip.

Úprava VRML kódu do finální podoby byla provedena v programu VrmlPad. Vizualizace výškopisných, polohopisných a popisných prvků scény je popsána níže.

### 6.6.1. Výškopis

Nejnižší nadmořská výška modelu terénu zájmového území činí 394 m, nejvyšší 1122 m. Průměrná nadmořská výška je cca 822 m.

#### Model terénu:

Geometrie modelu terénu ve VRML je tvořena uzlem `ElevationGrid`, který byl zvolen na základě porovnání modelů uvedeného v kap 4.3.3. Jeho největší výhodou je jednoduchost mapování textur, která byla v mém projektu klíčová. Prostorové rozlišení modelu je 50 m. Aby členitost terénu lépe vynikla, je vertikální měřítko modelu dvakrát větší než horizontální. Měřítko modelu lze nastavit v parametru `scale` uzlu `Transform` obsahujícího geometrii modelu.

Po exportu scény z VirtualGIS do VRML byl model rozdělen do šesti částí, tj. šesti uzlů `ElevationGrid`. Tento počet byl úpravou VRML kódu snížen na části tři, což považuji za optimální vzhledem k rozloze modelu a způsobu jeho prohlížení.

Na povrch modelu terénu je nanášeno několik textur (uzel `ImageTexture`), které uživatel může podle svých požadavků vypínat či zapínat. Aplikaci více textur umožňuje uzlu `AdvancedAppearance`, který není součástí normy VRML97, ale patří mezi doplňkové uzly vytvořené firmou `ParallelGraphics` k obohacení funkčnosti scén vytvářených pro prohlížení v prohlížeči `Cortona VRML Client` (URL (28)). Uživatel má na výběr čtyři textury určující základní vzhled modelu, z nichž vždy jedna musí být zvolena. Jedná se o textury „bílý podklad“, „les“, „hypsometrie - léto“ a „hypsometrie - zima“. Poslední jmenovaná je stanovena jako standardní. Dále jsou k dispozici čtyři textury ve formátu průhledného GIF, které znázorňují další polohopisné či výškopisné prvky –

„vrstevnice“, „polohopis – základ mapy“, „značené turistické trasy“ a „kilometrová síť“. Tyto textury je možné libovolně zapnout či vypnout. Vertikální sled textur je určen pořadím zápisu textur v poli textures v uzlu AdvancedAppearance.

### Barevná hypsometrie:

Barevná hypsometrie vychází z modelu terénu s rozlišením 20 m. Tento model byl vytvořen v programu ERDAS IMAGINE obdobně jako model terénu s rozlišením 50 m s tím rozdílem, že rozsah modelu byl stanoven na každé straně o polovinu délky buňky gridu (tj. o 10 m) menší tak, aby rozsah modelu ve VRML a textury hypsometrie byl shodný (viz poznámka v kap. 6.5).

Výškových vrstev je celkem šestnáct, výškový stupeň barevné hypsometrie byl stanoven na konstantních 50 m. Hypsometrie byla vyhotovena ve dvou barevných stupnicích – „letní“ od zelené přes žlutou po hnědou a „zimní“ od zelené po bílou.

Rastry barevné hypsometrie byly upraveny v programu Adobe Photoshop a uloženy do formátu GIF tak, aby mohly být použity jako textury modelu ve VRML.

### Vrstevnice a výškové body:

Kromě modelu terénu a barevné hypsometrie výškopis ve scéně dále dokresluje vrstevnice a výškové body. Vrstevnice jsou znázorněny, jak již bylo řečeno, ve formě průhledné textury formátu GIF, vrstevnicový interval je 20 m. Výškové body jsou tvořeny objekty tvaru koule (uzel Sphere) a jsou potomky uzlu LOD, aby při přibližování avatara docházelo k jejich zmenšování.

### Osvětlení/stínování:

Iluze prostoru je ve virtuální scéně dokreslena dvěma druhy osvětlení tvořenými směrovými světly (uzly DirectionalLight). Volba osvětlení je ponechána na uživateli. První možností je, že hlavní osvětlení přichází ze severozápadu pod úhlem 35° a vedlejší pomocné osvětlení ze severu pod úhlem 2°. Druhá možnost nabízí hlavní osvětlení z jihozápadu a vedlejší z jihu, sklon dopadajících paprsků je stejný jako u předchozí varianty. Zatímco SZ osvětlení bývá často využito při stínování na klasických 2D mapách, osvětlení z JZ je bližší skutečným podmínkám osvětlení severní polokoule v odpoledních hodinách.

V případě exportu virtuální scény s nastavenými podmínkami osvětlení z programu IMAGINE VirtualGIS dochází bohužel k chybě v zápisu směru osvětlení. Pokud bylo ve scéně ve VirtualGIS nastaveno osvětlení ze SZ, vyexportovalo se osvětlení z JZ a naopak. Chyba se projeví v zápisu hodnoty z v poli `direction` uzlu `DirectionalLight`. Má-li být hodnota záporná, je kladná a opačně.

### 6.6.2. Polohopis

#### Rostlinný kryt:

Zájmové území je z většiny pokryto lesem, který je ve virtuální scéně vizualizován texturou s názvem „les“. Bohužel vstupní data neobsahují bližší klasifikaci lesa, takže není možné rozlišit, kde se jedná o les vzrostlý a kde je porost nízký, ani zda jde o jehličnatý, listnatý nebo smíšený les. Textura má formát GIF, její rozlišení je 20 m.

#### Vodstvo, sídla, komunikace, hranice:

Základní polohopisné prvky vodstva, sídel a komunikací jsou vizualizovány texturou „polohopis – základ mapy“. Nechybí zde ani vyznačení česko-polské státní hranice. Textura má rozlišení 5 m a je ve formátu průhledného GIF.

#### Jizerská magistrála:

Tratě Jizerské magistrály jsou ve VRML tvořeny uzly `IndexedLineSet`, které jim dávají podobu tenkých čar o tloušťce jednoho obrazového bodu. Záměrem bylo, aby tratě ve VRML byly potomkem interaktivního uzlu `Anchor`, který by je propojil s HTML dokumentem obsahujícím informace o jejich průběhu a převýšení. Ačkoli norma VRML97 nevylučuje, aby se uzel `IndexedLineSet` stal potomkem uzlu `Anchor`, prakticky tento způsob není funkční, protože čáry jsou tak tenké, že je uživatel není schopen kurzorem myši vybrat a aktivovat. Z tohoto důvodu byly kolem tratí pomocí uzlu `Extrusion` vytvořeny průhledné objekty ve tvaru „trubice“ s čtvercovým průřezem. Tyto objekty nejsou vidět, ale již je možné je aktivovat. Objem dat vzhledem k definici celkové geometrie tvaru jako prototypu ani příliš nenarostl. Použití pouze uzlu `Extrusion` k vizualizaci tratí působilo nevzhledně a navíc by bylo nutné využít uzlu `LOD` s více velikostními reprezentacemi tratí pro různé vzdálenosti od avatara.

Ke čtyřem základním trasám magistrály byl vytvořen vždy profil a animace simulující průlet nad tratí.

### Prvky turistického zázemí:

Uživatelé mají v informačním systému k dispozici texturu obsahující klasické značené turistické trasy. Textura je ve formátu průhledného GIF s rozlišením 5 m.

Turistické rozcestníky jsou ve virtuální scéně vizualizovány objekty tvaru válce (uzel Cylinder), turistické zajímavosti značí kužely (uzel Cone). Chaty, chalupy a penziony mají podobu jednoduchých domů (uzel Box + uzal IndexedFaceSet), kiosky a občerstvení jsou vyjádřeny krychlí (uzel Box) a přístřešky značí objekty ve tvaru sedlové střechy (uzel IndexedFaceSet).

Všechny tyto objekty jsou potomky uzlu LOD (objekty se s přibližováním avatara zmenšují) a uzlu Anchor (objekty jsou aktivní a jsou k nim vztaheny HTML dokumenty s fotografiemi a doplňkovými informacemi).

Existence výše uvedených prvků byla ověřena během několika terénních šetření v Jizerských horách, při kterých byla pořízena také většina fotografií objektů.

### 6.6.3. *Popis*

Popis aktivních objektů virtuální scény je realizován pomocí uzlu Anchor. Jeho pole description informuje uživatele při nastavení kurzoru na objekt o názvu objektu. Kliknutím na objekt se na webové stránce v HTML rámci pod virtuální scénou otevře dokument s bližšími informacemi a fotografiemi atd.

Neaktivní prvky jsou popsány prostřednictvím uzlu Text, který je potomkem uzlu Billboard, aby byl stále natočen směrem k uživateli. Z neaktivních prvků, obsažených zejména na texturách, jsou pojmenovány jen ty nejdůležitější objekty.

Při zápisu názvu objektu do VRML kódu je třeba uvést název v kódování UTF-8. K převodu textu z kódování ASCII do UTF-8 byl využit program ASCII to UTF8 Converter od firmy ParallelGraphics, který je k dispozici zdarma.

## 6.7. Funkce informačního systému

### Volný pohyb ve virtuální scéně:

Volný pohyb avatara ve virtuální scéně je zabezpečen VRML prohlížečem Cortona VRML Client. Jeho ovládací prvky blíže popisuje kap. 5.1.1. Uživateli informačního systému jsou ponechány na výběr všechny tři možnosti způsobu pohybu se standardním nastavením „examine“. Předdefinováno je čtrnáct stanovišť a čtyři průletové animace, které je možné zvolit jak v ovládacím panelu prohlížeče, tak na HTML stránce v ovládacím panelu aplikace.

Svoboda pohybu uživatele je omezena uzlem `Collision` aplikovaným na model terénu ve VRML. Tento uzel nedovoluje avatarovi prostupovat skrze model.

Výška „očí“ avatara je rovna 100 m tak, aby uživatel nemohl vidět povrch modelu příliš zblízka a měl nad krajinou určitý nadhled. Dosadíme-li tuto hodnotu do vzorce, který doporučuje použít k výpočtu rychlosti avatara Bidoshi (2003) (viz kap. 5.5.1), získáme rychlost 25 m/s. Pro případ mé aplikace je však taková rychlost pro pohyb scénou velmi pomalá. Model je příliš rozlehlý, není hustě zaplněn objekty a uživatel se může odpoutat od země („fly“, „examine“) a pozorovat model z větší výšky. Rychlost pohybu avatara je proto stanovena až na 500 m/s. Čelní svítlna avatara je vypnutá, aby nerušila osvětlení scény směrovými světly.

Orientaci ke světovým stranám ve virtuální scéně ukazuje směrová růžice koncipovaná jako prvek HUD. Sever je značen ve směru původní souřadnice X systému S-42. Meridiánová konvergence není vzhledem k blízkosti zájmového území a základního poledníku (15° v. d.) pásu Gauss-Krügerova zobrazení velká a zanedbává se.

Otáčení růžice je realizováno skriptem obsaženým v uzlu `Script` ve VRML. Na začátku růžice směřuje k severu. V okamžiku otočení avatara se spustí skript a růžici orotuje o stejnou hodnotu opačným směrem.

Ukázka VRML kódu pro otáčení směrové růžice:

```
DEF SKRIPT_RUZICE Script {
  eventIn SFRotation set_otoc
  eventOut SFRotation otoc_changed
  url ["javascript: function set_otoc (value) {otoc_changed = new
  SFRotation(value[0], value[1], value[2], -value[3]) }" ] }
```

```
ROUTE POLOHA.orientation_changed TO SKRIPT_RUZICE.set_otoc
ROUTE SKRIPT_RUZICE.otoc_changed TO RUZICE.rotation
```

### Změna měřítka:

Ke změně měřítka dochází díky volnému pohybu ve virtuální scéně. Měřítka je ve virtuální scéně nahrazeno kilometrovou sítí (1x1 km), pomocí které může uživatel odhadovat vzdálenosti. Kilometrová síť je vizualizována texturou formátu průhledného GIF s rozlišením 20 m.

### Změna osvětlení:

V nabídce ovládacího panelu aplikace má uživatel na výběr ze dvou druhů osvětlení – ze severozápadu s přisvětlením ze severu a z jihozápadu s přisvětlením z jihu (viz kap. 6.6.1). Funkce změny osvětlení je na straně HTML realizována dvěma přepínacími tlačítky napojenými na skript, který odpovídající hodnoty směru osvětlení přeposílá do VRML scény. Skript je psaný jazykem VBScript, který je pro posílání řetězců hodnot vhodnější než JavaScript.

Ukázka HTML kódu pro změnu osvětlení:

```
<INPUT type="Radio" onClick="VBScript:osvetleniSZ()"
name="svetlo" checked> osvětlení ze SZ
<INPUT type="Radio" onClick="VBScript:osvetleniJZ()"
name="svetlo"> osvětlení z JZ

<SCRIPT language="VBScript" type="text/VBScript">
Sub osvetleniSZ()
Cortona.Engine.Nodes("SVETLO_HLAVNI").Fields("direction")
= Array(0.579228, -0.573576, 0.579228)
Cortona.Engine.Nodes("SVETLO_VEDLEJSI").Fields("direction")=
Array(0, -0.0348995, 0.999391)
End Sub
Sub osvetleniJZ()
Cortona.Engine.Nodes("SVETLO_HLAVNI").Fields("direction")
= Array(0.579228, -0.573576, -0.579228)
Cortona.Engine.Nodes("SVETLO_VEDLEJSI").Fields("direction")=
Array(0, -0.0348995, -0.999391)
End Sub
</SCRIPT>
```

Ve VRML kódu jsou definovány dva druhy směrových světél (hlavní a vedlejší), do jejichž parametrů `direction` jsou zaslány řetězce hodnot z HTML.

Ukázka VRML kódu se zápisem směrových světél:

```
DEF SVETLO_HLAVNI DirectionalLight
{direction 0.579228 -0.573576 0.579228}
DEF SVETLO_VEDLEJSI DirectionalLight
{intensity 0.5 direction 0 -0.0348995 0.999391}
```

### Zapínání/vypínání textur a objektů:

Funkce vypínání a zapínání textur a objektů virtuální scény je realizována také pomocí externího rozhraní. Interaktivní HTML tlačítka jsou v tomto případě napojena na skript psaný jazykem JavaScript a hodnota 1 (tj. „true“) je jím přeposlána do VRML uzlu Script. Skript v něm obsažený se tímto aktivuje.

Ukázka HTML kódu pro zapínání/vypínání textur a objektů:

```
<INPUT type="Checkbox" onClick="javascript:textury(this.value)"
name="vrstva" value="set_km"> kilometrová síť
<INPUT type="Checkbox" onClick="javascript:textury(this.value)"
name="vrstva" value="set_vrstevnice"> vrstevnice
<INPUT type="Checkbox" onClick="javascript:objekty(this.value)"
name="vrstva" value="set_vrcholy"> výškové body

<SCRIPT language="JavaScript" type="text/javascript">
function textury(prikaz)
{Cortona.Engine.Nodes("SKRIPT_TEXTURY").Fields(" "+prikaz)= 1;}
function objekty(prikaz)
{Cortona.Engine.Nodes("SKRIPT_OBJEKTY").Fields(" "+prikaz)= 1;}
</SCRIPT>
```

### Vyhledávání objektů:

Ovládací panel aplikace obsahuje výběrové pole s názvy objektů virtuální scény. Zvolením názvu objektu se aktivuje skript v HTML a poté i skript ve VRML obdobně, jako je tomu v minulém příkladě.

Ve VRML scéně je definován průhledný objekt tvaru šipky umístěný v počátku souřadného systému. Skript aktivovaný zvolením názvu objektu způsobí přesun této šipky na souřadnice vyhledávaného objektu a přidělí jí žlutou barvou.

### Změna velikosti virtuálního okna:

Webová aplikace nabízí uživateli možnost přizpůsobit velikost virtuálního okna svým požadavkům nebo rozlišení monitoru počítače. Webová stránka je optimalizována pro čtyři druhy rozlišení monitorů – 1024x768, 1152x864, 1280x960 a 1600x1200.

### Legenda:

Legenda podává vysvětlení kartografických znaků použitých ve scéně. Vzhledem k poměrně malému počtu položek obsahuje legenda vždy vysvětlení všech prvků scény a není sestavována interaktivně pouze podle zapnutých prvků. Odkaz na HTML stránku s legendou nalezneme v ovládacím panelu aplikace.

### Nápověda:

Také nápověda k aplikaci je zpracována ve formě HTML stránky, na kterou je odkazováno z ovládacího panelu aplikace. Nápověda informuje o požadavcích na hardware a software klientského počítače, o způsobu ovládání aplikace, obsahuje odkaz na instalaci VRML prohlížeče a popisuje jeho nastavení.

### Hypertextové odkazy:

Aplikace je doplněna hypertextovými odkazy na webové stránky s dalšími užitečnými informacemi. Dostupné jsou:

- interaktivní 2D mapy
- jízdní řády do nástupních míst magistrály
- ubytování a stravování v Jizerských horách
- předpověď počasí
- Horská služba v Jizerských horách
- Jizerská o.p.s. - správce magistrály
- Jizerská padesátka

## **6.8. Spuštění a testování aplikace v prostředí sítě Internet**

Softwarové požadavky na správnou funkčnost webové aplikace jsou:

- VRML prohlížeč Cortona VRML Client 3.0 a vyšší verze
- webový prohlížeč Internet Explorer 4.0 a vyšší verze
- operační systém Microsoft Windows 95/98/Me nebo Microsoft Windows NT/2000/XP

Optimalizace pro jiné prohlížeče a operační systémy je značně komplikovaná, především kvůli nedostatečné podpoře externích aplikačních rozhraní a vícenásobného texturování.



Vícenásobné texturování i ActiveX rozhraní podporuje kromě Cortony VRML Client ještě VRML prohlížeč BS Contact VRML/X3D. K texturování však používá uzel MultiTexture a struktura volání ze skriptu v HTML stránce do VRML scény se od Cortony také liší.

Podpora prvků ActiveX je zabudována pouze v prohlížeči Internet Explorer. Netscape Navigator, Mozilla Firefox nebo Opera technologii ActiveX přímo nepodporují, využití je nutné plugin moduly zmíněných prohlížečů.

Co se operačních systémů týká, Cortona VRML Client je k dispozici pro Microsoft Windows a Mac OS, BS Contact VRML/X3D pouze pro Microsoft Windows. Verze těchto prohlížečů pro Linux nebo Unix zatím neexistují.

Hardwarové nároky na spuštění aplikace nejsou nijak velké. Potřeba je 300 MHz procesor, 8 MB grafická karta a 32 MB operační paměť. Od výkonu hardwaru se však odvíjí rychlost zobrazování virtuální scény. Uživatelům aplikace doporučuji využívat hardwarové zrychlení s rozhraním DirectX.

Velikost všech VRML souborů tvořících virtuální scénu se pohybuje kolem 1 000 kB v nezkomprimované podobě, po komprimaci klesne na 240 kB. Velikost všech textur je cca 870 kB. Kompletní velikost webové aplikace je 3,8 MB.

Načtení úvodní webové stránky aplikace na Internetu na systému s konfigurací uvedenou v kap. 6.2 trvá přibližně 4 s. Test rychlosti zobrazování virtuální scény byl proveden na pohybu průletu z úvodního stanoviště směrem ke středu modelu. Při ponechání všech elementů vypnutých se rychlost zobrazování pohybuje v průměru kolem 60 fps. Při zapnutí všech objektů scény činí 45 fps. Potíže nastávají ve chvíli, kdy uživatel zapne více průhledných textur najednou. Zapnutí všech textur a objektů scény způsobí pokles rychlosti zobrazování na zhruba 3 fps. Za takových podmínek je již bohužel pohyb scénou trhaný.

## **6.9. Hodnocení funkčnosti aplikace**

Informační systém prezentuje uživatelům tratě Jizerské magistrály tak, aby byli schopni vnímat jejich průběh v závislosti na členitosti terénu. Aplikace je obohacena několika interaktivními nástroji (viz. kap. 6.7), které umožňují přizpůsobit obsah a vzhled virtuální scény požadavkům uživatele nebo slouží k získání doplňkových informací o objektech scény.

Vstupní data pro zpracování virtuální scény byla v měřítku 1:50 000. Vzhledem k tomu, že aplikace má mít pouze informační charakter, jejími uživateli budou turisté a v případě publikace na Internetu budou data volně k dispozici, považuji přesnost dat odpovídající tomuto měřítku za dostačující. Pokud by aplikace měla sloužit odborníkům k topografickým a jiným analýzám, bylo by vhodné použít co nejpřesnější data, nejlépe v 3D prostorových pravouhlých souřadnicích.

Funkčnost interaktivní aplikace ve VRML spočívá podle mého názoru v tom, že veškeré děje ve virtuální realitě se odehrávají v reálném čase a pokud možno s okamžitou odezvou na reakci uživatele. Tomuto faktu je třeba se při návrhu a tvorbě aplikace plně podřídít, zejména je nutné zjednodušit vzhled virtuální scény a scénu řádně optimalizovat. Značná část polohopisných i výškopisných prvků (např. vrstevnice, sídla, komunikace, vodstvo) je proto ve scéně vizualizována pouze formou textury a není 3D modelována.

Domnívám se, že aplikace funguje v systémech s konfigurací uvedenou v kap. 6.2 poměrně dobře, rychlost zobrazování je většinou dostačující (tj. minimálně 10 fps). V určitých případech ale dochází k poklesu hodnoty pod 10 fps, který je způsoben zejména vysokým prostorovým rozlišením některých textur. Myslím, že těchto případů však není tolik, aby bylo nutné snížit rozlišení textur. Počítače s uvedenými parametry již dnes také patří mezi standardní. Správným řešením této situace by bezpochyby bylo vytvořit více reprezentací znázorňovaných objektů (ať již formou textury nebo 3D modelů) v uzlu LOD. Tento způsob je ale značně časově náročný a částečně komplikuje i programování skriptů pro interaktivní ovládání scény.

Nedostatky aplikace vidím zejména v absenci lokalizační mapky znázorňující záběr pohledu avatara a nástrojů pro zjištění souřadnic objektů a měření vzdáleností. Jejich příčinou jsou nároky na znalost programování přesahující mé schopnosti. Efektivita zápisu některých skriptů by bezpochyby také mohla být vyšší.

Prokázalo se, že uživatelé, kteří nemají zkušenosti s virtuální realitou, mají při práci s aplikací problémy s pohybem ve virtuální scéně a ovládáním VRML prohlížeče. Většinu z nich odrazuje i nutnost instalace pluginu na svém počítači.

Informační systém Jizerské magistrály je aplikace klientská. To znamená, že obdobně jako na Internetu může fungovat i na Intranetu nebo offline. Webová aplikace je k dispozici na přiloženém CD (příloha č. 5).

## 7. DISKUSE

Peterson (1995) se v úvodu své práce zamýšlí nad úlohou počítačů v kartografii. Dochází k závěru, že počítače by neměly být pouze nástrojem k urychlení tvorby papírových map, ale mělo by se na ně nahlížet jako na médium, které může mapu obohatit o interakci a dynamiku. S tímto názorem souhlasím a domnívám se, že právě virtuální realita může být pro interaktivní a dynamická kartografická díla vhodným prostředkem.

Podle Žáry (1999) jsou kromě potenciálu interakce a dynamiky dalšími rysy virtuální reality také trojrozměrný charakter, začlenění uživatele do virtuálního světa a odehrávání dějů v reálném čase.

Výhodou 3D vizualizace je, že může uživateli usnadnit vnímání třetího rozměru a interpretaci znázorňovaných objektů a jevů. Ne každý člověk je schopen vytvořit si představu o reliéfu z vrstevnic zakreslených v mapě. Lidé žijí přirozeně v trojrozměrném prostředí, a proto jsou schopni lépe porozumět informacím prezentovaným ve třech dimenzích (Thoen 1997, cit. v Bidoshi 2003).

Začlenění uživatele do virtuální scény je velmi poutavé a odpovídá podmínkám reálného světa. Nicméně „úspěch kartografie spočívá v tom, že svět je příliš komplexní na to, abychom ho mohli vnímat jako celek - potřebujeme abstrakci a naši separaci od jeho reprezentace, abychom mu porozuměli“ (Slocum et al. 2001, s. 63). Z tohoto důvodu doporučuji vždy ponechávat uživatelům virtuálních scén možnost podívat se na model z „ptačí“ perspektivy a získat tak přehled o celém znázorňovaném území. Çöltekin (2002) tvrdí, že pohled shora je velmi důležitý pro vnímání relativní polohy sledovaného objektu.

Další vlastnost virtuální reality, odehrávání dějů v reálném čase s okamžitou odezvou na vstupní aktivitu uživatele, je limitujícím faktorem pro obsah a vzhled virtuálních scén. Jsou-li scény přesně modelované a obsahují mnoho kvalitních textur, velikost VRML souboru roste, což má negativní vliv na rychlost načítání a zobrazování scény. Nicméně Miller et al. (2002) ve své práci zmiňuje, že realistický vzhled scény není pro uživatele při utváření představy klíčový, pozornost je třeba zaměřit spíše na dynamiku a interakci ve scéně. V podobném duchu se vyjadřují i Gillings a Goodrick (1996). K jejich názoru se přikláním. Otázka schopnosti uživatele získat informaci z fotorealistických reprezentací je v současné době předmětem výzkumu (Bleisch 2005, Bleisch 2004, MacEachren a Kraak 2001, Dykes et al. 1999).

Největší výhodou VRML je podle mého názoru možnost propojení geografických dat s multimediálními prvky (obrázky, zvuky, text, animace), silná orientace na WWW a fakt, že je standardizován a k dispozici zdarma. Export virtuálních scén z GIS do VRML je stále velmi nedokonalý. Většinou vznikají zbytečně velké soubory, zápis VRML kódu je neefektivní a nejsou podporovány všechny uzly VRML. Proto je vhodné, když můžeme soubor otevřít v textovém editoru a scénu si upravit a dotvořit podle vlastních představ.

Na druhou stranu, je-li VRML scéna publikována na Internetu, geografická data jsou volně k dispozici všem uživatelům. Proto dnes vzniká mnoho speciálních programů (K2Vi, Terra, GeoShow3D, Leica Virtual Explorer atd.) pro vytváření virtuálních scén vlastních formátů, které nejsou volně šířitelné. K jejich prohlížení většinou slouží speciální plugin. Jako příklad aplikace lze uvést interaktivní 3D model města Telče (URL (9), URL (24)), pro jehož tvorbu firma GEODIS BRNO využila produkty GeoShow3D.

V posledních letech se VRML dostává do pozadí zájmu i díky vývoji nového formátu X3D, který vyvíjí stejně jako VRML Web3D Consortium. Obsah obou formátů je podobný, ale syntaxe jazyka X3D je založena na XML, zatímco syntaxe VRML vychází z OpenInventor. X3D je považován za vyzrálější a přesnější jazyk pro popis virtuální reality.

Pro tvorbu Informačního systému Jizerské magistrály jsem zvolila jazyk VRML proto, abych se v něm mohla pokusit realizovat všechny své představy o tom, jak by měl systém vypadat a jakými funkcemi by měl disponovat a nebyla přitom odkázána pouze na možnosti některého softwaru. K exportu základu virtuální scény (geografických dat) do VRML jsem samozřejmě software využít musela. Rozhodla jsem se pro IMAGINE VirtualGIS, který považuji za všestranný GIS s velmi kvalitními nástroji pro vizualizaci geografických dat. Dále už jsem pracovala přímo s VRML, příp. HTML kódem.

Vstupními daty pro zpracování virtuální scény Jizerských hor se stala digitalizovaná Topografická mapa 1:50 000. Přesnost geografických dat odpovídající tomuto měřítku považuji vzhledem k charakteru a účelu webové aplikace za dostačující.

Pro tvorbu modelu terénu ve VRML byl využit uzel ElevationGrid. Jeho výhodou oproti modelu IndexedFaceSet vidím především v jednoduchosti mapování textur, přehlednosti VRML kódu a menším objemu dat. 3D vizualizace modelu terénu je vhodná zejména pro případy, kdy máme prezentovat objekty nebo jevy závislé na členitosti reliéfu. Hlavním cílem bylo vystihnout průběh tratí Jizerské magistrály tak, aby

ho uživatelé byli schopni intuitivně vnímat v souvislosti s terénem a dokázali si představit v jakém úseku trati budou stoupat a v jakém klesat. Věřím, že tento cíl se podařilo díky virtuální realitě splnit. Vizualizace virtuální scény je založena na 3D modelování objektů a mapování textur ve VRML.

Dalším důležitým požadavkem na aplikaci byla interaktivita. Snažila jsem se uživatelům poskytnout nástroje, které by jim usnadnily orientaci ve virtuální scéně, umožnily upravit vzhled a obsah virtuální scény a získat podrobnější informace o objektech scény. Interaktivitu aplikace zajišťují skripty psané jazyky JavaScript nebo VBScript. Ovládací panel s interaktivními nástroji je tvořen HTML prvky a umístěn na webové stránce vně VRML prohlížeč. HUD tlačítka nebyla použita z důvodu složitosti jejich modelování ve VRML, externí rozhraní EAI s Java appletem zase vyžaduje instalaci Java Virtual Machine (Microsoft) a nepodporuje rozšířenější Java Runtime Environment (Sun Microsystems).

Nedostatky mé aplikace spatřuji zejména v omezeném používání uzlu LOD pro definici více reprezentací objektů scény v závislosti na vzdálenosti avatara, v absenci lokalizační mapky a nástrojů pro zjištění souřadnic objektu a měření vzdáleností. Jejich příčinou jsou zejména časová náročnost jejich realizace a mé malé zkušenosti v oblasti programování.

Ráda bych na tomto místě uvedla porovnání mnou vytvořeného Informačního systému Jizerské magistrály s podobnými aplikacemi jiných autorů. Vzhledem k tomu, že se mi bohužel nepodařilo najít žádný projekt, ve kterém by byly využity stejné metody, bude toto porovnání do jisté míry spekulativní.

Zajímavým projektem je „GeoV&A“ (Huang et al. 2001, Huang a Lin 2000, Huang a Lin 1999), který slouží k vizualizaci a analýze GIS dat. Tento systém disponuje na rozdíl od mé aplikace i dvěma analytickými funkcemi. V prostředí WWW lze provádět analýzu viditelnosti a generovat profily. Výsledky analýz lze vizualizovat jak ve 2D, tak ve 3D. Aplikace je založena na kombinaci klientských a serverových technologií (ArcView 3D Analyst, ArcIMS, Avenue, CGI, HTML, VRML atd.). Projekt je výsledkem několikaletého výzkumu a považuji ho za velmi pokročilý.

Další aplikací, která se zabývá interaktivní vizualizací geografických dat ve VRML je „Virtual Santa Rita Experimental Range“ (Olsson 2000). Interaktivní uživatelské rozhraní je tvořeno ovládacím panelem s tlačítky HUD, která umožňují zapínat/vypínat

jednotlivé „vrstvy“ scény (vrstevnice, srážkoměry, typ půdy, pastviny atd.). Některé objekty scény jsou stejně jako v mé aplikaci aktivní (odkazují na podrobnější informace) a je na ně aplikován uzel LOD. Nedostatky tohoto projektu vidím zejména v podcenění navigace a orientace ve scéně (chybí směrová růžice a detekce kolize s terénem) a neexistenci legendy. Definice HUD panelu ve VRML kódu je nepřesná, při prohlížení virtuální scény panel nezůstává na jednom místě a chvílemi se bohužel dostává i mimo okno prohlížeče. Na druhou stranu, tento nedostatek částečně kompenzuje možnost panel v prohlížeči manuálně přesouvat pomocí manipulátoru `PlaneSensor`.

Posledním projektem, který zde pro porovnání uvedu, je „Virtual Glamorgan“ (Brown et al. 2002), interaktivní vizualizace regionu Glamorgan v jižním Walesu. Interaktivita je v aplikaci zajištěna prostřednictvím Java EAI. K dispozici jsou stejně jako v mé aplikaci nástroje pro volbu textury modelu terénu, zapínání/vypínání objektů, spuštění předdefinovaných animací, změnu směru osvětlení a výběr stanoviště. Navíc zde nalezneme i funkce sloužící k určení souřadnic polohy avatara, ke zjištění morfologických atributů a informace o metadatech. K dispozici je také lokalizační mapka. Aplikace působí propracovaně a její ovládání je velmi intuitivní.

## 8. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá možnostmi využití virtuální reality a WWW k tvorbě interaktivního, dynamického a veřejně dostupného digitálního kartografického díla. Cílem práce bylo prozkoumat a zhodnotit metody tvorby virtuální scény ve VRML a metody interaktivního ovládání scény a na základě tohoto výzkumu zpracovat webový Informační systém Jizerské magistrály, který některé ze zmiňovaných postupů prakticky ověří.

Věřím, že cíle práce se podařilo naplnit a že práce bude přínosem i pro další zájemce o tuto problematiku. Velká pozornost je věnována metodologii interaktivní vizualizace geografických dat ve VRML. Shrnutí a posouzení výhod a nevýhod jednotlivých metod považuji za cennou součást práce.

Pro tvorbu digitálního modelu terénu a export virtuální scény Jizerských hor do VRML byl využit software ERDAS IMAGINE, který považuji za všestranný GIS s velmi kvalitními nástroji pro vizualizaci geografických dat. Vizualizace virtuální scény je založena na 3D modelování objektů a mapování textur ve VRML. Interaktivita aplikace je realizována využitím interaktivních a dynamických uzlů VRML a skriptů propojujících VRML scénu s webovou stránkou, na níž je celý Informační systém Jizerské magistrály umístěn. Zvolené metody považuji pro daný účel za vhodné. Jejich výběr byl dán jednoduchostí programování a univerzální použitelností.

Diplomová práce potvrdila předpoklad o vhodnosti využití VRML, HTML a dalších skriptovacích jazyků pro účely interaktivní 3D vizualizace a odhalila obrovský potenciál virtuální reality pro tvorbu kartografických děl. Pro jeho využití v současné době existují limity v podobě nízkého výkonu počítačů a rychlosti připojení k síti Internet, nicméně do budoucna lze s rozvojem technologií očekávat podmínky stále příznivější.

Problematika interaktivní geovizualizace ve VRML je poměrně nová. Výzkum možností vedoucích k obohacení interaktivních webových aplikací o analytické funkce považuji za klíčový směr, jakým lze téma dále rozvíjet. Důležité je zaměřit se také na možnosti automatizace postupů tvorby virtuálních scén.

## 9. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ A LITERATURY

### 9.1. Prameny

#### Elektronické zdroje:

- URL (1) *ArcData Praha – ERDAS IMAGINE – IMAGINE VirtualGIS* [online].  
<[http://www.arcdata.cz/software/leica-geosystems/erdas-  
imagine/modules/virtual-gis](http://www.arcdata.cz/software/leica-geosystems/erdas-<br/>imagine/modules/virtual-gis)> [cit. 5.11.2005]
- URL (2) *Autodesk, Inc. - products* [online].  
<<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=331041&siteID=123112>>  
[cit. 5.11.2005]
- URL (3) *Bitmanagement Software* [online].  
<<http://www.bitmanagement.com/developer/index.html>> [cit. 28.2.2006]
- URL (4) *Blaxxun Client SDK* [online].  
<<http://developer.blaxxun.com/developer/contact/3d/eai/>> [cit. 28.2.2006]
- URL (5) *Blender – Open source 3D graphics creation* [online].  
<<http://www.blender3d.org/cms/Home.2.0.html>> [cit. 5.11.2005]
- URL (6) *CGG – Computer Graphics Group* [online].  
<<http://www.cgg.cvut.cz/>> [cit. 3.1.2006]
- URL (7) *e-Agora - Virtual Platform for Performing Arts* [online].  
<<http://www.e-agera.info/>> [cit. 3.1.2006]
- URL (8) *ESRI – products* [online].  
<<http://www.esri.com/products.html>> [cit. 5.11.2005]
- URL (9) *Geodis Brno, s r. o. – 3D modelování a vizualizace* [online].  
<[http://www.geodis.cz/www/index.php?page=fotogrammetrie/3d\\_modely](http://www.geodis.cz/www/index.php?page=fotogrammetrie/3d_modely)>  
[cit. 5.11.2005]
- URL (10) *Geometra Opava – interaktivní 3D vizualizace TERRA* [online].  
<<http://www.geometra-opava.com/cz/produkty/terra/nabidka.php>>  
[cit. 5.11.2005]
- URL (11) *GeoVirtual - GeoShow 3D technology* [online].  
<[http://62.81.142.158/geovirtual\\_web/index\\_en0.htm](http://62.81.142.158/geovirtual_web/index_en0.htm)> [cit. 5.11.2005]
- URL (12) *GeoVRML 1.1 Specification* [online].  
<<http://www.geovrml.org/1.1/doc/index.html>> [cit. 24.11.2005]
- URL (13) *GIS portál města Plzně – 3D model* [online].  
<<http://gis.plzen-city.cz/3d.asp>> [cit. 27.12.2005]



- URL (14) *GRASS GIS - The World Leading Free Software GIS* [online].  
<<http://grass.itc.it/>> [cit. 5.11.2005]
- URL (15) *ICA Commission on Visualization and Virtual Environments* [online].  
<<http://kartoweb.itc.nl/icavis>> [cit. 27.12.2005]
- URL (16) *International Cartographic Association - ICA* [online].  
<<http://www.icaci.org/>> [cit. 27.12.2005]
- URL (17) *Jizerská o. p. s.* [online].  
<<http://www.jizerskaops.cz/>> [cit. 28.2.2006]
- URL (18) *Jizerská o. p. s. – Jizerská magistrála* [online].  
<<http://www.jizerskaops.cz/cz/zima/jizerska-magistrala-zima/>> [cit. 28.2.2006]
- URL (19) *K2Vi - Virtual Reality Software for 3D Visualization of Spatial Data* [online].  
<<http://www.k2vi.com/>> [cit. 30.1.2005]
- URL (20) *MapInfo Corporation* [online].  
<<http://www.mapinfo.com/>> [cit. 3.1.2006]
- URL (21) *Město Teplice – Virtuální město* [online].  
<<http://old.teplice.cz/vrml/default.php>> [cit. 3.1.2006]
- URL (22) *My3D ShapeViz* [online].  
<<http://www.esri.com/products.html>> [cit. 5.11.2005]
- URL (23) *Oficiální stránka týmu řešitelů VRML modelu Západočeské univerzity* [online].  
<<http://www.mhs.webx.cz/model.php>> [cit. 28.2.2006]
- URL (24) *Oficiální stránky města Telče – 3D mapy* [online].  
<<http://www.telc-etc.cz/telc/?target=staticka&id=491&menu=829>>  
[cit. 5.11.2005]
- URL (25) *ParallelGraphics – Forums – Authoring Tools* [online].  
<[http://forums.parallelgraphics.com/show/forum/authoring\\_tools/messages/1676](http://forums.parallelgraphics.com/show/forum/authoring_tools/messages/1676)>  
[cit. 28.2.2006]
- URL (26) *ParallelGraphics – web 3D products* [online].  
<<http://www.parallelgraphics.com/products/>> [cit. 1.9.2005]
- URL (27) *ParallelGraphics – Cortona SDK contents* [online].  
<<http://www.parallelgraphics.com/products/sdk/structure/>> [cit. 28.2.2006]
- URL (28) *ParallelGraphics – Cortona VRML Client – VRML extensions* [online].  
<<http://www.parallelgraphics.com/developer/products/cortona/extensions/>>  
[cit. 12.10.2005]
- URL (29) *ParallelGraphics – Cortona VRML Client – Using in HTML* [online].  
<<http://www.parallelgraphics.com/developer/products/cortona/html/>>  
[cit. 12.10.2005]

- URL (30) *Rhinoceros – Modeling tools for designers* [online].  
<<http://www.rhino3d.com/>> [cit. 5.11.2005]
- URL (31) *Silicon Graphics, Inc. – Cosmo Worlds* [online].  
<<http://www.sgi.com/products/software/cosmo/worlds.html>> [cit. 5.11.2005]
- URL (32) *Spazz3D VRML97 Editor* [online].  
<<http://www.spazz3d.com/>> [cit. 5.11.2005]
- URL (33) *Virtual Terrain Project* [online].  
<<http://www.vterrain.org/index.html>> [cit. 5.11.2005]
- URL (34) *Web3D Consortium* [online].  
<<http://www.web3d.org/>> [cit. 5.11.2005]
- URL (35) *Web3D Consortium – VRML97 ISO Specifications* [online].  
<<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO-IEC-14772-VRML97/>> [cit. 5.11.2005]
- URL (36) *W3C – World Wide Web Consortium* [online].  
<<http://www.w3.org>> [cit. 1.8.2005]
- URL (37) *W3C – World Wide Web Consortium – HTML 4.01 Specification* [online].  
<<http://www.w3.org/TR/REC-html40/>> [cit. 1.8.2005]

#### Mapy:

KARTOGRAFIE HP (2005): *Jizerské hory, Krkonoše - západ 1:50 000*. SHOCart, spol. s r. o.

KARTOGRAFIE HP (2003): *Jizerské hory – mapa Jizerské magistrály pro lyžařskou turistiku 1:50 000*. Nisa o. p. s.

SHOCART (2006): *Jizerské hory – zimní turistická mapa 1:60 000*. SHOCart, spol. s r. o.

SHOCART (2005): *Jizerské hory, Český ráj – turistická mapa 1:100 000 (v edici č. 203)*. SHOCart, spol. s r. o.

VOJENSKÝ KARTOGRAFICKÝ ÚSTAV (2003): *Jizerské hory a Frýdlantsko – turistická mapa 1:50 000 (v edici KČT č. 20-21)*. Vojenský kartografický ústav, š. p.

ŽAKET (2006): *Jizerské hory – lyžařská mapa 1:50 000*. Kartografické vydavatelství Žaket.

## 9.2. Literatura

- ADAMEC, J., ČÍŽEK, J., MÁŠA, M., SILONDI, P., SMETANA, P., ŽÁRA, J. (2001): *Virtual House of European Culture: e-AGORA*. In: Balet, O., Subsol, G., Torguet, P. (eds.), *Virtual Storytelling: Using Virtual Reality Technologies for Storytelling*. Berlin, Springer, s. 208-211.  
<<http://www.cgg.cvut.cz/~zara/papers/ICVS2001.pdf>> [cit. 3.1.2006]
- BAUCKMANN, D. (1999): *GIS a VRML*. 6. ročník konference „GIS...Ostrava“, Ostrava; 25.-27.1.1999.  
<[http://gis.vsb.cz/GIS2002/Publikace/Sborniky/GIS\\_Ova/gis\\_ova\\_1999/sbornik/bauckmann/Bauckmann.htm](http://gis.vsb.cz/GIS2002/Publikace/Sborniky/GIS_Ova/gis_ova_1999/sbornik/bauckmann/Bauckmann.htm)> [cit. 3.1.2006]
- BIDOSHI, K. (2003): *Virtual Reality Visualization for Maps of the Future*. [Dissertation.] Columbus, The Ohio State University.  
<<http://www.ohiolink.edu/etd/view.cgi?osu1046459366>> [cit. 20.4.2005]
- BLEISCH, S. (2005): *Planning Hikes Virtually – How Useful are Realistic 3D Visualizations?*. The 22<sup>nd</sup> International Cartographic Conference – Mapping Approaches into a Changing World, A Coruña; 9.-16.7.2005.  
<[http://193.222.241.21/mgi/publi/Bleisch\\_PlanningHikesVirtually\\_PAPER.pdf](http://193.222.241.21/mgi/publi/Bleisch_PlanningHikesVirtually_PAPER.pdf)> [cit. 4.3.2006]
- BLEISCH, S. (2004): *Planning Hikes Virtually - Assessment of the Usefulness of Realistic 3D Visualizations*. [Master Thesis.] London, City University.  
<[http://www.fhbb.ch/tools/publikationen/pdf/0203\\_70\\_PlanningHikesVirtually\\_MGI\\_MasterThesis\\_Report.pdf](http://www.fhbb.ch/tools/publikationen/pdf/0203_70_PlanningHikesVirtually_MGI_MasterThesis_Report.pdf)> [cit. 4.3.2006]
- BRODLIE, K., DYKES, J., GILLINGS, M., HAKLAY, M. E., KITCHIN, R., KRAAK, M.-J. (2002a): *Geography in VR: context*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 7-16.
- BRODLIE, K., EL-KHALILI, N. (2002b): *Web-based virtual environments*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 35-46.
- BROWN, I. M., KIDNER, D. B., WARE, J. M. (2002): *Multi-resolution virtual environments as a visualization front-end to GIS*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 144-162.
- CAREY, R., BELL, G. (1997): *The Annotated VRML97 Reference Manual* [online].  
<<http://www.cs.vu.nl/~eliens/documents/vrml/reference/CH3.HTM#LOD>> [cit. 28.2.2006]
- CARTWRIGHT, W., CRAMPTON, J., GARTNER, G., MILLER, S., MITCHELL, K., SIEKIERSKA, E., WOOD, J. (2001): *Geospatial Information Visualization User Interface Issues*. *Cartography and Geographic Information Science* 28, č. 1, s. 45-60.  
<<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/agenda/PDF/Cartwright.pdf>> [cit. 20.12.2005]

- COUNSELL, J. (1998): *3D Built Form and Landscape from 2D Maps*. Habitat 6, č. 2, s. 41-43.  
 <<http://www.cebe.heacademy.ac.uk/learning/habitat/HABITAT6/pavan.pdf>>  
 [cit. 16.6.2005]
- ČERNOHORSKÝ, D., KUBEC, M., ŽÁRA, J. (2006): *Výukové pásmo VRML* [online].  
 <<http://www.cgg.cvut.cz/vyuka/VRML/tutorial/pasmo/tutorial/pasmo/vrml97.html>>  
 [cit. 4.3.2006]
- ÇÖLTEKIN, A. (2003): *Virtual Reality As An Interface To GIS - Focus On WWW*. The 21<sup>st</sup> International Cartographic Conference – Cartographic Renaissance, Durban; 10.-16.8. 2003.  
 <[http://www.foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA\\_ICC2003.pdf](http://www.foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA_ICC2003.pdf)> [cit. 2.1.2006]
- ÇÖLTEKIN, A. (2002): *An Analysis of VRML-based 3D Interfaces for Online GISs: Limitations and Solutions*. Surveying Science in Finland 20, č. 1-2, s. 80-91.  
 <[http://www.foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA\\_SSF2002.pdf](http://www.foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA_SSF2002.pdf)> [cit. 2.1.2006]
- DIAS, E., VAN DE VELDE, R., NOBRE, E., ESTÊVÃO, S., SCHOLTEN, H. (2003): *Virtual Landscape Bridging the Gap between Spatial Perception and Spatial Information*. The 21<sup>st</sup> International Cartographic Conference – Cartographic Renaissance, Durban; 10.-16.8. 2003.
- DYKES, J. A., MOORE, K. E., FAIRBAIRN, D. (1999): *From Chernoff to Imhof and Beyond: VRML & Cartography*. The 4<sup>th</sup> International Conference on the Virtual Reality Modeling Language and Web 3D Technologies, Paderborn; 23.-26.2.1999.  
 <<http://jerry.c-lab.de/vrml99/vrml99papers/dykes.pdf>> [cit. 2.1.2006]
- FAIRBAIRN, D., TAYLOR, G. (2002): *Data collection issues in virtual reality for urban geographical representation and modelling*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 220-238.
- FAIRBAIRN, D., ANDRIENKO, G., ANDRIENKO, N., BUZIEK, G., DYKES, J. (2001): *Representation and its relationship with cartographic visualization: a research agenda*. *Cartography and Geographic Information Science* 28, č. 1, s. 13-28.  
 <<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/agenda/PDF/Fairbairn.pdf>> [cit. 20.12.2005]
- FISHER, P., UNWIN, D. eds. (2002): *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc.
- FUHRMANN, S., MACEACHREN, A. M. (2001): *Navigation in desktop geovirtual environments: Usability assessment*. The 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference – Mapping the 21<sup>st</sup> Century, Beijing; 6.-10.8.2001.  
 <<http://www.geovista.psu.edu/publications/Beijing01/FuhrmannICA01.pdf>>  
 [cit. 27.12.2005]
- GAHEGAN, M., WACHOWICZ, M., HARROWER, M., RHYNE, T.-M. (2001): *The Integration of Geographic Visualization with Knowledge Discovery in Databases and Geocomputation*. *Cartography and Geographic Information Science* 28, č. 1, s. 29-44.  
 <<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/pdf/knowledge0900.pdf>> [cit. 20.12.2005]

- GERGELITSOVÁ, Š. (2004): *VRML v příkladech*. Praha, BEN - technická literatura.
- GILLINGS, M., GOODRICK, G. (1996): *Sensuous and Reflexive GIS Exploring Visualisation and VRML* [online]. Internet Archaeology 1. <[http://intarch.ac.uk/journal/issue1/gillings\\_toc.html](http://intarch.ac.uk/journal/issue1/gillings_toc.html)> [cit. 18.3.2006]
- HAKLAY, M. E. (2002): *Virtual reality and GIS: applications, trends and directions*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 47-57.
- HAVRLANT, J. (2002): *Automatizovaná tvorba prostorových modelů map*. [Diplomová práce.] Praha, katedra mapování a kartografie FSv ČVUT. <<http://gama.fsv.cvut.cz/~soukup/dip/havrlant/>> [cit. 16.6.2005]
- HOLEČKO, M. (1999): *External Authoring Interface (EAI)* [online]. <[http://moon.felk.cvut.cz/%7Epjv/Jak/\\_info/i574/eaipopis.html](http://moon.felk.cvut.cz/%7Epjv/Jak/_info/i574/eaipopis.html)> [cit. 28.2.2006]
- HOWARD, D., MACEACHREN, A. M. (1996): *Interface design for geographic visualization: Tools for representing reliability*. Cartography and GIS 23, č. 2, s. 59-77. <<http://www.geovista.psu.edu/publications/others/howard/howmac96.html>> [cit. 15.12.2005]
- HUANG, B., JIANG, B., LIN, H. (2001): *An integration of GIS, virtual reality and the Internet for spatial data exploration*. International Journal of Geographical Information Science 15, č. 5, s. 439-456. <<http://www.hig.se/~bjg/ijgis.pdf>> [cit. 10.11.2004]
- HUANG, B., LIN, H. (2000): *GIS-based Interactive 3D Visualization and Analysis on the Internet*. Journal of Geospatial Engineering 2, č. 2, s. 27-35. <[http://www.lsgi.polyu.edu.hk/sTAff/zl.li/vol\\_2\\_2/04\\_lin.pdf](http://www.lsgi.polyu.edu.hk/sTAff/zl.li/vol_2_2/04_lin.pdf)> [cit. 28.2.2006]
- HUANG, B., LIN, H. (1999): *GeoVR: a web-based tool for virtual reality presentation from 2D GIS data*. Computers & Geosciences 25, č. 10, s. 1167-1175. <[http://www.geomatics.ucalgary.ca/~huang/CG\\_huanglin.pdf](http://www.geomatics.ucalgary.ca/~huang/CG_huanglin.pdf)> [cit. 20.6.2005]
- CHLUDIL, J., ŽÁRA, J. (2002): *Nautilus - The Environment for Training and Testing*. In: Jacobs, A. (ed.), *Proceedings of the 6<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Distributed Simulation and Real-Time Applications*. Los Alamitos, IEEE Computer Society Press, s. 134-139. <<http://www.cgg.cvut.cz/~zara/papers/ChludilZara-DSRT02.pdf>> [cit. 3.1.2006]
- JANDA, K. (2001): *Prostorové modely terénu ve virtuální realitě na Internetu*. [Diplomová práce.] Praha, katedra mapování a kartografie FSv ČVUT. <<http://gama.fsv.cvut.cz/~soukup/dip/janda/>> [cit. 20.6.2005]
- JANOVSKÝ, D. (2006): *Jak psát web* [online]. <[www.jakpsatweb.cz](http://www.jakpsatweb.cz)> [cit. 28.2.2006]

- KIM, K.-H., LEE, K., LEE, H.-G., HA, Y.-L. (1998): *Virtual 3D GIS's Functionalities Using Java/VRML Environment*. In: Strobl, J., Best, C. (eds.), Proceedings of the Earth Observation & Geo-Spatial Web and Internet Workshop '98 = Salzburger Geographische Materialien 27 [CD-ROM]. Salzburg, Institut für Geographie der Universität Salzburg, s. 343-352.  
<<http://www.sbg.ac.at/geo/eogeo/authors/kim/kim.html>> [cit. 10.11.2004]
- KLINKOVÁ, J. (2004): *Využití VRML v geovizualizaci*. [Diplomová práce.] Praha, katedra aplikované geoinformatiky a kartografie PřF UK.
- KOPPERS, L. (1998): *3D-Map - Virtual Reality and Geo-Data*. In: Strobl, J., Best, C. (eds.), Proceedings of the Earth Observation & Geo-Spatial Web and Internet Workshop '98 = Salzburger Geographische Materialien 27 [CD-ROM]. Salzburg, Institut für Geographie der Universität Salzburg.  
<<http://www.sbg.ac.at/geo/eogeo/authors/koppers/koppers.html>> [cit. 3.1.2006]
- KÖBBEN, B. (2000): *Publishing maps on the Web*. In: Kraak, M.-J., Brown, A. (eds.), Web Cartography: developments and prospects. London, Taylor & Francis, Inc., s. 73-86.
- KRAAK, M.-J. (2001): *Visualize Overijssel's past - interactive animations on the WWW*. The 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference – Mapping the 21<sup>st</sup> Century, Beijing; 6.-10.8.2001.  
<<http://www.itc.nl/personal/kraak/overijssel/beijing2001-kraak.pdf>> [cit. 2.1.2006]
- KRAAK, M.-J. (2000a): *Settings and needs for web cartography*. In: Kraak, M.-J., Brown, A. (eds.), Web Cartography: developments and prospects. London, Taylor & Francis, Inc., s. 1-8.
- KRAAK, M.-J. (2000b): *Trends in cartography*. In: Kraak, M.-J., Brown, A. (eds.), Web Cartography: developments and prospects. London, Taylor & Francis, Inc., s. 9-20.
- KRAAK, M.-J., BROWN, A. eds. (2000c): *Web Cartography: developments and prospects*. London, Taylor & Francis, Inc.
- LOVETT, A., KENNAWAY, R., SÜNNENBERG, G., COBB, D., DOLMAN, P., O'RIORDAN, T., ARNOLD, D. (2002): *Visualizing sustainable agricultural landscapes*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), Virtual Reality in Geography. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 102-130.
- MACEACHREN, A. M., KRAAK, M.-J. (2001): *Research Challenges in Geovisualization*. Cartography and Geographic Information Science 28, č. 1, s. 3-12.  
<<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/pdf/visagenda.pdf>> [cit. 20.12.2005]
- MACEACHREN, A. M. (1998): *VISUALIZATION - Cartography for the 21<sup>st</sup> century*. The Polish Spatial Information Association Conference, Warsaw; 19.-21.5.1998.  
<<http://kartoweb.itc.nl/icavis/draftAgenda.html>> [cit. 27.12.2005]
- MILLER D. R., DUNHAM R. A., WARE, J. M. (2002): *The application of VR modelling in assessing potential visual impacts of rural development*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), Virtual Reality in Geography. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 131-143.

- MOORE, K. E., GERRARD, J. W. (2002a): *A Tour of the Tors*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 190-207.
- MOORE, K. E. (2002b): *Visualizing data components of the urban scene*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 257-269.
- MOORE, K. E. (1997a): *Interactive Virtual Environments for Fieldwork*. British Cartographic Society 34<sup>th</sup> Annual Symposium, Leicester; 12.-14.9.1997.  
<<http://www.geog.le.ac.uk/mek/VirtEnv.htm>> [cit. 5.11.2005]
- MOORE, K. E., DYKES, J., WOOD, J. (1997b): *Using Java to interact with geo-referenced VRML within a Virtual Field Course*. ICA Commission on Visualisation and Virtual Environments Meeting, Gävle; 18.-21.6.1997.  
<<http://www.geog.le.ac.uk/mek/usingjava.html>> [cit. 5.11.2005]
- MOORE, K. E., DYKES, J., WOOD, J., BASTIN, L., FISHER, P. (1997c): *VR Geofunctions*. Resume of a discussion held at Leicester University, Leicester; 25.7.1997.  
<<http://www.geog.le.ac.uk/mek/VRGeoFunctions.html>> [cit. 5.1.2006]
- OLIVÍK, S. (2003): *3D virtuální model areálu ZČU Borská pole*. [Diplomová práce.] Plzeň, katedra matematiky FAV ZČU.  
<<http://mat.fsv.cvut.cz/olivik/vrml/img/diplomka.pdf>> [cit. 3.1.2006]
- OLSSON, A. (2000): *Santa Rita Experimental Range* [online]. University of Arizona.  
<<http://ag.arizona.edu/agnet/srer/vrml/>> [cit. 1.9.2005]
- PETERSON, M. P. (1995): *Interactive and Animated Cartography*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc.
- PURVES, R., DOWERS, S., MACKANESS, W. (2002): *Providing context in virtual reality: the example of a CAL package for mountain navigation*. In: Fisher, P., Unwin, D. (eds.), *Virtual Reality in Geography*. New York, Taylor&Francis, Inc., s. 175-189.
- REDDY, M., IVERSON, L., LECLERC, Y., HELLER, A. (2001): *GeoVRML: Open Web-based 3D Cartography*. The 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference – Mapping the 21st Century, Beijing; 6.-10.8.2001.  
<[http://www.martinreddy.net/pubs/pdf/icc2001\\_geovrml.pdf](http://www.martinreddy.net/pubs/pdf/icc2001_geovrml.pdf)> [cit. 5.1.2006]
- REDDY, M., IVERSON, L., LECLERC, Y. (2000): *GeoVRML 1.0: Adding Geographic Support to VRML*. *GeoInformatics* 3, č. 6, s. 18-21.  
<<http://www.martinreddy.net/pubs/pdf/geoinformatics.pdf>> [cit. 5.1.2006]
- RHYNE, T.-M. (1999): *A Commentary on GeoVRML: A Tool for 3D Representation of GeoReferenced Data on the Web*. *International Journal of Geographic Information Science* 13, č. 4, s. 439-443.  
<<http://www.siggraph.org/~rhyne/carto/3D/3D-geovrml.html>> [cit. 5.1.2006]

- SLOCUM, T. A., BLOK, C., JIANG, B., KOUSSOULAKOU, A., MONTELLO D. R., FUHRMANN, S., HEDLEY, N. R. (2001): *Cognitive and Usability Issues in Geovisualization*. *Cartography and Geographic Information Science* 28, č. 1, s. 61-75. <<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/agenda/PDF/SlocumLong.pdf>> [cit. 20.12.2005]
- ŠIMÁNEK, O. (2002): *Web - Principy virtuální reality, VRML* [online]. <<http://wise.felk.cvut.cz/%7Eapag/apg-tutorials02/ch09s220.html>> [cit. 24.11.2005]
- VOŽENÍLEK, V. (2005): *Cartography for GIS: Geovisualization and Map Communication*. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci.
- WOOD, M., PEARSON, D. G., CALDER, C., MILLER, D. (2005): *The comparative effects of 2D and 3D representations on human wayfinding*. The 22<sup>nd</sup> International Cartographic Conference – Mapping Approaches into a Changing World, A Coruña; 9.-16.7.2005. <[http://www.mountaincartography.org/cmc-publications/ica\\_cmc\\_sessions/4\\_Coruna\\_Sessions\\_Mountain\\_Carto/Coruna\\_18\\_1\\_3\\_MICHAEL\\_WOOD.pdf](http://www.mountaincartography.org/cmc-publications/ica_cmc_sessions/4_Coruna_Sessions_Mountain_Carto/Coruna_18_1_3_MICHAEL_WOOD.pdf)> [cit. 4.3.2006]
- ZHU, C., TAN, E. C., CHAN, K. Y. (2003): *3D Terrain visualization for Web GIS*. Map Asia 2003, Kuala Lumpur; 13.-15.10.2003. <<http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/pdf/ma03065.pdf>> [cit. 3.1.2006]
- ZLATANOVA, S., RAHMAN, A. A., PILOUK, M. (2002): *3D GIS: current status and perspectives*. The Joint Conference on Geo-spatial theory, Processing and Applications, Ottawa; 8.-12.7.2002. <[http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/SZ\\_AR\\_MP02.pdf](http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/SZ_AR_MP02.pdf)> [cit. 4.1.2006]
- ZRZAVÝ, J. (1999): *VRML – tvorba dokonalých www stránek*. Praha, Grada Publishing.
- ŽÁRA, J. (2002): *Concise Tour to the Virtual Old Prague*. In: Alvaro, N., Slusallek, P. (eds.), EUROGRAPHICS 2002 - Short Presentations. Saarbrücken, Eurographics Association, s. 191-198. <<http://www.cgg.cvut.cz/~zara/papers/Zara-EG2002.pdf>> [cit. 3.1.2006]
- ŽÁRA, J., ČÍŽEK, J., GHAI, K., MIKEŠ, S., RAJNOCH, J., HOLUB, M., CHROMÝ, P. (2001): *Virtual Old Prague* [online]. <<http://www.cgg.cvut.cz/vsp/>> [cit. 3.1.2006]
- ŽÁRA, J. (1999): *VRML97 Laskavý průvodce virtuálními světy*. Brno, Computer Press.
- ŽÁRA, J., BENEŠ, B., FELKEL P. (1998): *Moderní počítačová grafika*. Praha, Computer Press.



## 10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A VÝRAZŮ

**ActiveX** – programátorské rozhraní a rozsáhlá sada technologií a nástrojů od firmy Microsoft

**API** (Application Programming Interface) – aplikační programovací rozhraní

**applet** – menší program, který plní zcela konkrétní, úzce specializovanou úlohu

**architektura klient-server** – komunikační model počítačové sítě, klient (využívá službu) a server (poskytuje službu) spolu komunikují na základě určitého protokolu (FTP, HTTP,...)

**ASCII** (American Standard Code for Information Interchange) – způsob kódování řetězců znaků; americký standardní kód pro výměnu informací

**ASP** (Active Server Pages) – technologie Microsoftu určená pro tvorbu dynamických webových aplikací, skripty jsou prováděny na straně serveru

**avatar** – virtuální dvojník, který představuje ve virtuální realitě nás samé

**builder** – program, editor s vizuálním vývojovým prostředím

**CAD** (Computer-Aided Design) – pokročilé počítačové programy určené k projektování

**CGG** (Computer Graphics Group) – výzkumná skupina v ČR zabývající se virtuální realitou a VRML

**CGI** (Common Gateway Interface) – technologie určená pro tvorbu dynamických webových aplikací, skripty jsou prováděny na straně serveru

**DirectX** – rozhraní určené především pro práci s trojrozměrnou grafikou a umožňující hardwarové zrychlení grafické karty

**DMT** – digitální model terénu (DTM – Digital Terrain Model)

**DXF** (Drawing Interchange Format, Drawing Exchange Format) – formát vektorových dat programu AutoCAD

**EAI** (External Authoring Interface) – externí aplikační rozhraní jazyka VRML

**Flash** – jazyk, formát pro popis vektorové grafiky a animací (zejména v prostředí WWW)

**freeware** – zdarma šířitelný počítačový program

**georeference** – „umístění“ prostorových dat nebo map do souřadného systému

**GeoVRML** – rozšíření jazyka VRML o uzly vhodné pro prezentaci a vizualizaci prostorových geografických dat

**GIF** (Graphics Interchange Format) – formát pro ukládání rastrové grafiky, používá bezztrátovou kompresi

**GIS** (Geographic Information System) – geografický informační systém

**grid** – pravidelný rastr; typ digitálního modelu terénu tvořený pravidelnou sítí bodů, nadmožské výšky jsou vztaženy ke středům buněk

**GUI** (Graphical User Interface) – grafické uživatelské rozhraní

**gzip** – metoda komprese dat, používá se ke komprimaci VRML souborů

**hardware** – fyzicky existující technické vybavení počítače

**HCI** (Human-Computer Interface) – rozhraní „počítač-člověk“

**HTML** (HyperText Markup Language) – jazyk pro vytváření webových stránek

**HTTP** (HyperText Transfer Protocol) – internetový protokol určený pro výměnu hypertextových dokumentů ve formátu HTML a jiných informací

**HUD** (Head-Up Displays) – objekty ve VRML scéně „svázané“ s avatarem a zobrazující se stále v okně prohlížeče, často interaktivní tlačítka

**ICA** (International Cartographic Association) – Mezinárodní kartografická asociace

**IMG** (IMAGINE Image) – formát rastrových dat programu IMAGINE ERDAS

**Internet** – celosvětová informační a komunikační síť počítačů

**Intranet** – organizace privátní uzavřené sítě v organizaci, která využívá stejných principů jako Internet, zejména jako World Wide Web

**introspekce** – proces zjišťování atributů, metod a zpráv, které daná komponenta obsahuje; zkoumání sebe sama

**ISO** (International Organization for Standardization) – Mezinárodní organizace pro standardizaci, zabývá se tvorbou mezinárodních norem

**Java** – objektově orientovaný programovací jazyk

**Java3D** – objektově orientovaný programovací jazyk pro psaní 3D aplikací a apletů

**JavaScript** – interpretovaný programovací jazyk používaný obvykle ve webových stránkách, standardní název jazyka je **ECMAScript**

**JPEG** (Joint Photographic Experts Group) – metoda ztrátové komprese používané pro ukládání počítačových obrázků ve fotorealistické kvalitě; formát pro ukládání rastrové grafiky

**lattice** – pravidelný rastr; typ digitálního modelu terénu tvořený pravidelnou sítí bodů, nadmořské výšky jsou vztaheny k rohům buněk

**LiveConnect** – programátorské rozhraní a rozsáhlá sada technologií a nástrojů od firmy Netscape

**offline** – bez připojení k síti Internet

**online** – na Internetu

**OpenGL** – rozhraní určené především pro práci s trojrozměrnou grafikou a umožňující hardwarové zrychlení grafické karty

**OpenInventor** – OpenInventor, aplikační knihovna podporující vytváření interaktivních uživatelských rozhraní pro práci s 3D objekty; stala se základem jazyka VRML

**PGML** (Precision Graphics Markup Language) – jazyk, formát pro popis vektorové grafiky

**PHP** (Hypertext Preprocessor) – programovací jazyk určený především pro programování dynamických internetových stránek, jeho skripty jsou prováděny na straně serveru

**plugin** – přídavný počítačový program, který ve spolupráci s jiným programem slouží k určité (obvykle velmi specifické) funkci

**PNG** (Portable Network Graphics) – formát pro ukládání rastrové grafiky

**QuicktimeVR** – jazyk, formát pro popis virtuální reality

**renderování** – tvorba reálného obrazu na základě počítačového modelu, nejčastěji 3D

**SAI** (Script Authoring Interface) – skriptové aplikační rozhraní jazyka VRML

**SciVis** (Scientific Visualization) – vědecká vizualizace

**shareware** – zdarma šířitelný počítačový program, který není zbaven autorských práv a je obvykle časově nebo funkčně limitován

**SHP** (ESRI Shapefile) – vektorový formát dat programu ArcGIS

**S-JTSK** (systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální) – souřadnicový systém používaný na území ČR

**skript** – jednoduchý program; seznam příkazů, který může být spuštěn jako jeden celek

**software** – programové vybavení počítače

**SVR** (Superscape Virtual Reality) – jazyk, formát pro popis virtuální reality

**S-42** (systém 1942) – souřadnicový systém používaný na území ČR

**TIFF** (Tagged Image File Format) – formát pro ukládání rastrové grafiky

**TIN** (Triangulated Irregular Network) – typ digitálního modelu terénu tvořený nepravidelnou sítí bodů

**URL** (Uniform Resource Locator) – řetězec znaků sloužící k přesné specifikaci umístění zdrojů informací na Internetu

**UTF-8** (UCS Transformation Format) – způsob kódování řetězců znaků

**VBScript** – skriptovací jazyk určený pro vkládání kódu do webových stránek a založený na jazyce Visual Basic

**VML** (Vector Markup Language) – jazyk, formát pro popis vektorové grafiky

**VR** (Virtual Reality) – virtuální realita

**VRML** (Virtual Reality Modeling Language) – jazyk, formát pro popis virtuální reality

**Web3D Consortium** – organizace, která se zasloužila o vznik, vývoj a standardizaci jazyka VRML; dříve **VRML Consortium** nebo **VAG** (VRML Architecture Group)

**WGS84** – globální geocentrický referenční systém, který používá zařízení GPS; elipsoid

**WWW** (World Wide Web) – označení pro aplikace internetového protokolu HTTP; soustava propojených hypertextových dokumentů

**W3C** (World Wide Web Consortium) – mezinárodní konsorcium, jehož členové společně s veřejností vyvíjí webové standardy

**XML** (Extensible Markup Language) – jazyk určený především pro výměnu dat mezi aplikacemi a pro publikování dokumentů

**X3D** (XML-enabled 3D) – jazyk, formát pro popis virtuální reality

**3DML** (3D Markup Language) – jazyk, formát pro popis vektorové grafiky a animací (zejména v prostředí WWW)

## 11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1: Ukázka části stromové struktury souboru VRML (VrmlPad 2.0 demo) .....	23
Obr. 3.2: Souřadný systém VRML.....	28
Obr. 4.1: Modely terénu ve VRML.....	36
Obr. 4.2: Uzel ElevationGrid .....	37
Obr. 4.3: Vhodné umístění modelů terénu do souřadného systému ve VRML .....	41
Obr. 4.4: 3D znaky tvořené uzlem Extrusion.....	43
Obr. 4.5: Uzel Background – barevné přechody .....	46
Obr. 4.6: Uzel Background – panoramatický obrázek.....	47
Obr. 4.7: Uzel Sound.....	48
Obr. 5.1: Klientská a serverová aplikace .....	56
Obr. 5.2: Schématické znázornění vazeb v EAI a SAI .....	58
Obr. 5.3: Měřítko v podobě 3D mřížky .....	62
Obr. 5.4: Grafické měřítko v podobě krychle a číselné měřítko.....	63
Obr. 5.5: Uzel LOD - různé reprezentace téhož objektu.....	64
Obr. 5.6: Názvy objektů ve virtuální scéně.....	66
Obr. 6.1: Značení Jizerské magistrály v terénu .....	69
Obr. 6.2: Funkční schéma Informačního systému Jizerské magistrály .....	72
Obr. 6.3: Nastavení parametrů při tvorbě modelu terénu (ERDAS IMAGINE 8.7).....	74

## 12. SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Doporučené logické členění souboru VRML .....	22
Tab. 3.2: Třídy parametrů ve VRML .....	25
Tab. 3.3: Datové typy ve VRML .....	26
Tab. 3.4: Příklady použití jazykových konstrukcí ve VRML.....	27
Tab. 3.5: Základní uzly GeoVRML .....	30
Tab. 4.1: Výhody a nevýhody modelů IndexedFaceSet a ElevationGrid.....	39
Tab. 5.1: Přehled interaktivních uzlů VRML.....	55

## **13. SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Typy modelů terénu ve VRML

Příloha č. 2: Syntaxe vybraných VRML uzlů virtuální scény Jizerských hor

Příloha č. 3: Mapa Jizerských hor s vyznačením zájmového území

Příloha č. 4: GUI Informačního systému Jizerské magistrály

Příloha č. 5: Obsah přiloženého CD

## PŘÍLOHA Č. 1: Typy modelů terénu ve VRML

### Zápis objektu s geometrií IndexedFaceSet ve VRML kódu:

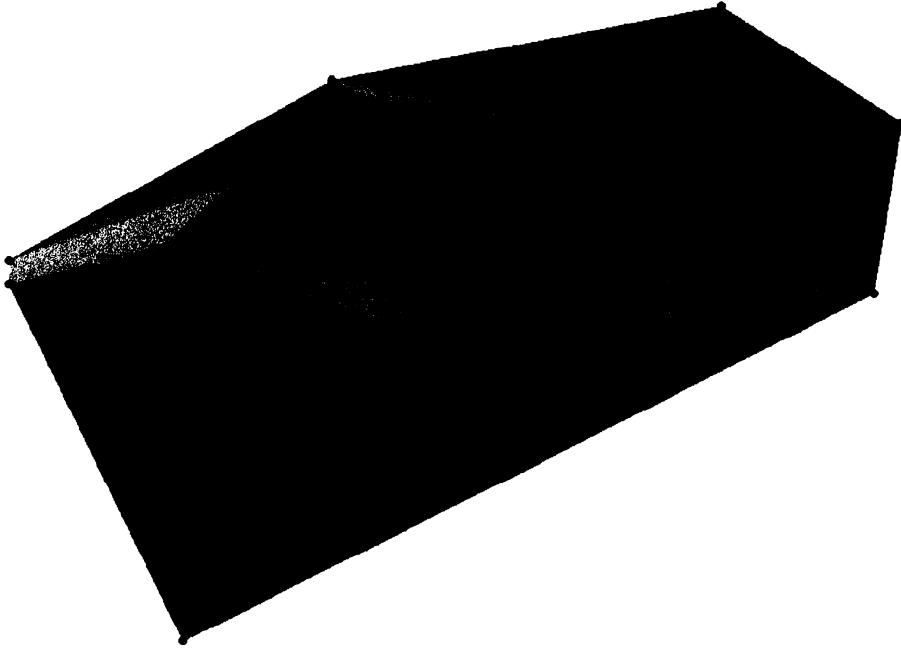
```
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 0.5 0.5 0.5 } }
  geometry IndexedFaceSet {
    coord Coordinate { point [
-40698.125 93841.000 -2475.000 -45620.875 85517.500 -3415.000
-41826.375 108737.500 -35.000 -18251.875 113378.500 3705.000
-9016.375 104336.500 1585.000 -20019.125 99838.500 1175.000
-28424.375 112038.000 1245.000 -37500.125 102264.000 2605.000
-39066.625 116625.500 -1825.000 -26760.125 102947.500 -1585.000
-21686.375 112589.000 3335.000 -31391.125 116718.000 -275.000
-17389.125 119463.500 3725.000 -12045.125 113823.000 2665.000
-5752.375 109816.000 3085.000 -27367.375 93370.500 -2205.000
 780.875 104504.000 6835.000 3501.875 107247.500 7515.000
-2745.375 99542.000 835.000 -8214.375 86818.000 -1945.000
-9387.375 97982.000 -315.000 4000.125 94093.000 2845.000
-17855.625 86791.000 -75.000 3512.625 99785.000 2865.000
-21991.375 90739.000 -1895.000 -22139.375 87968.000 -2935.000 ]
    }
    coordIndex [
0 1 2 -1      3 4 5 -1      6 7 2 -1      6 2 8 -1
0 2 7 -1      9 10 5 -1     11 8 12 -1     3 10 12 -1
10 11 12 -1   13 4 3 -1      14 4 13 -1     3 12 13 -1
9 5 15 -1     16 14 17 -1     18 19 20 -1    17 13 12 -1
21 19 18 -1   4 14 16 -1     19 1 22 -1     17 14 13 -1
21 18 23 -1   24 25 15 -1    1 0 15 -1      6 9 7 -1
15 0 7 -1     3 5 10 -1      9 15 7 -1      15 5 24 -1
5 4 20 -1     1 15 25 -1     24 5 20 -1     1 25 22 -1
25 24 22 -1   11 10 6 -1     10 9 6 -1      6 8 11 -1
16 18 4 -1    20 22 24 -1    23 18 16 -1    18 20 4 -1
21 23 17 -1   23 16 17 -1    9 22 20 -1 ]
    creaseAngle 0 } }
```

### Zápis objektu s geometrií ElevationGrid ve VRML kódu:

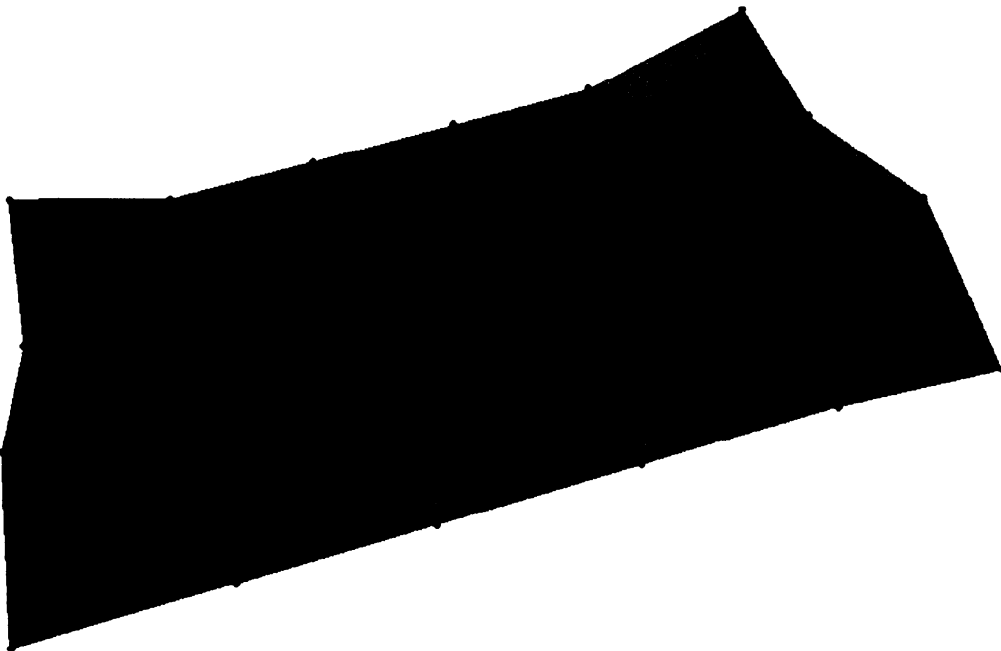
```
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material { diffuseColor 0.5 0.5 0.5 } }
  geometry ElevationGrid {
    xDimension 6
    zDimension 4
    xSpacing 5
    zSpacing 5
    creaseAngle 0
    height [ 3 2 3 4 5 8
            2 4 6 8 9 8
            5 1 2 5 7 10
            5 6 7 8 9 9 ] } }
```

Odpovídající vizualizace modelů:

model IndexedFaceSet



model ElevationGrid





## PŘÍLOHA Č. 2: Syntaxe vybraných VRML uzlů virtuální scény Jizerských hor

### **AdvancedAppearance** {

ExposedField	SFNode	material	NULL
exposedField	MFNode	textures	[]
exposedField	MFString	mappingTypes	[]
exposedField	MFFloat	weights	[] # [0,∞)
exposedField	SFFloat	materialBlending	0 # [0,1]
exposedField	MFNode	textureTransforms	[]
exposedField	MFString	backgroundFactor	[]
exposedField	MFString	foregroundFactor	[]

}

### **Anchor** {

EventIn	MFNode	addChildren	
eventIn	MFNode	removeChildren	
exposedField	MFNode	children	[]
exposedField	SFString	description	""
exposedField	MFString	parameter	[]
exposedField	MFString	url	[]
field	SFVec3f	bboxCenter	0 0 0 # (-∞,∞)
field	SFVec3f	bboxSize	-1 -1 -1 # (0,∞), -1 -1 -1

}

### **Billboard** {

eventIn	MFNode	addChildren	
eventIn	MFNode	removeChildren	
exposedField	SFVec3f	axisOfRotation	0 1 0 # (-∞,∞)
exposedField	MFNode	children	[]
field	SFVec3f	bboxCenter	0 0 0 # (-∞,∞)
field	SFVec3f	bboxSize	-1 -1 -1 # (0,∞), -1 -1 -1

}

### **Collision** {

eventIn	MFNode	addChildren	
eventIn	MFNode	removeChildren	
exposedField	MFNode	children	[]
exposedField	SFBool	collide	TRUE
field	SFVec3f	bboxCenter	0 0 0 # (-∞,∞)
field	SFVec3f	bboxSize	-1 -1 -1 # (0,∞), -1 -1 -1

field	SFNode	proxy	NULL
-------	--------	-------	------

eventOut	SFTime	collideTime	
----------	--------	-------------	--

}

### **DirectionalLight** {

exposedField	SFFloat	ambientIntensity	0 # [0,1]
exposedField	SFColor	color	1 1 1 # [0,1]
exposedField	SFVec3f	direction	0 0 -1 # (-∞,∞)
exposedField	SFFloat	intensity	1 # [0,1]
exposedField	SFBool	on	TRUE

}

```

ElevationGrid {
eventIn      MFFloat    set_height
exposedField SFNode     color          NULL
exposedField SFNode     normal         NULL
exposedField SFNode     texCoord       NULL
field        MFFloat    height          [] # (-∞,∞)
field        SFBool     ccw            TRUE
field        SFBool     colorPerVertex TRUE
field        SFFloat    creaseAngle     0 # [0,∞)
field        SFBool     normalPerVertex TRUE
field        SFBool     solid           TRUE
field        SFInt32    xDimension      0 # [0,∞)
field        SFFloat    xSpacing        1.0 # (0,∞)
field        SFInt32    zDimension      0 # [0,∞)
field        SFFloat    zSpacing        1.0 # (0,∞)
}

ImageTexture {
exposedField MFString   url            []
field        SFBool     repeatS        TRUE
field        SFBool     repeatT        TRUE
}

Inline {
exposedField MFString   url            []
field        SFVec3f    bboxCenter     0 0 0 # (-∞,∞)
field        SFVec3f    bboxSize       -1 -1 -1 #
(0,∞), -1 -1 -1
}

LOD {
exposedField MFNode     level          []
field        SFVec3f    center         0 0 0 # (-∞,∞)
field        MFFloat    range          [] # (0,∞)
}

NavigationInfo {
eventIn      SFBool     set_bind
exposedField MFFloat    avatarSize     [0.25,1.6,0.75]
# [0,∞)
exposedField SFBool     headlight      TRUE
exposedField SFFloat    speed          1.0 # [0,∞)
exposedField MFString   type          ["WALK","ANY"]
exposedField SFFloat    visibilityLimit 0.0 # [0,∞)
eventOut     SFBool     isBound
}

OrientationInterpolator {
eventIn      SFFloat    set_fraction   # (-∞,∞)
exposedField MFFloat    key            [] # (-∞,∞)
exposedField MFRotation keyValue      [] #
[-1,1], (-∞,∞)
eventOut     SFRotation value_changed
}

```

```

PositionInterpolator {
eventIn          SFFloat    set_fraction    # (-∞,∞)
exposedField    MFFloat    key                [] # (-∞,∞)
exposedField    MFVec3f    keyValue          [] # (-∞,∞)
eventOut        SFVec3f    value_changed
}

ProximitySensor {
exposedField    SFVec3f    center                0 0 0 # (-∞,∞)
exposedField    SFVec3f    size                  0 0 0 # [0,∞)
exposedField    SFBool     enabled              TRUE
eventOut        SFBool     isActive
eventOut        SFVec3f    position_changed
eventOut        SFRotation orientation_changed
eventOut        SFTIME     enterTime
eventOut        SFTIME     exitTime
}

Script {
exposedField    MFString   url                  []
field          SFBool     directOutput         FALSE
field          SFBool     mustEvaluate         FALSE
+ libovolný počet parametrů typu:
eventIn        datový typ jméno
field          datový typ jméno              inic. hodnota
eventOut       datový typ jméno
}

Text {
exposedField    MFString   string              []
exposedField    SFNode     fontStyle           NULL
exposedField    MFFloat    length              [] # [0,∞)
exposedField    SFFloat    maxExtent          0.0 # [0,∞)
}

Viewpoint {
eventIn        SFBool     set_bind
exposedField    SFFloat    fieldOfView        0.785398 # (0,π)
exposedField    SFBool     jump              TRUE
exposedField    SFRotation orientation        0 0 1 0 #
[-1,1], (-∞,∞)

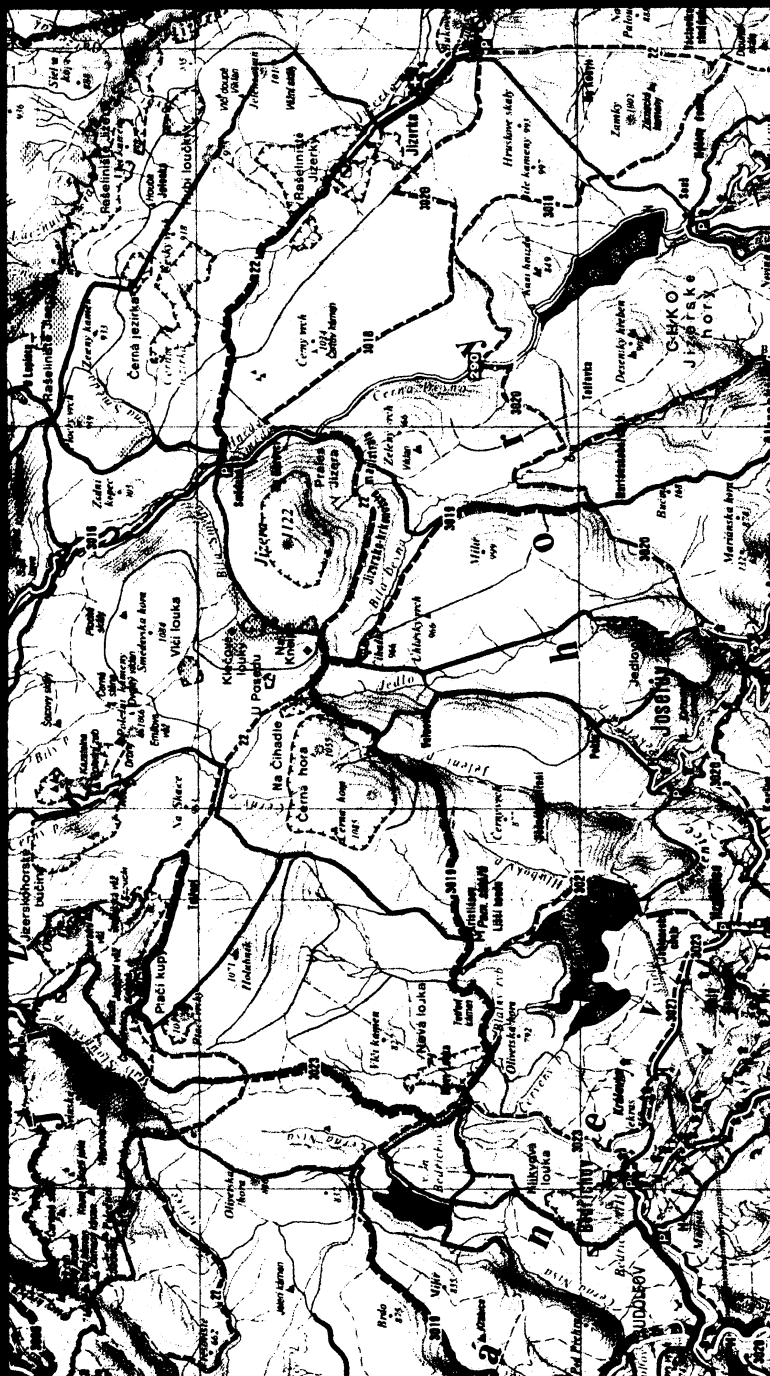
exposedField    SFVec3f    position           0 0 1 0 # (-∞,∞)
field          SFString    description        ""
eventOut       SFTIME     bindTime
eventOut       SFBool     isBound
}

```

### PŘÍLOHA Č. 3: Mapa Jizerských hor s vyznačením zájmového území

cca 1:100 000

Zdroj: ShoCart (2005)



# PŘÍLOHA Č. 4: GUI Informačního systému Jizerské magistrály

## Informační systém Jizerské magistrály

NÁPOVEDŇ UŽIVATELE VĚTRKOSJOMRAC

**Pohled praleť:**  
**Jizerské hory - pohled na sever**

**Osvětlení:**  
 Slunce  
 Měsíc

**Model:**  
 Jizerské hory  
 Jizerské hory - detail

**Vrstvy:**

- Jizerské hory - základní mapa
- Jizerské hory - detail
- Jizerské hory - detail - karta
- Jizerské hory - detail - karta - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail - detail - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail - detail - detail - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail - detail - detail - detail - detail
- Jizerské hory - detail - karta - detail - detail - detail - detail - detail - detail - detail

**Výhledování objektů:**  
**-vyber-**  **emeť**

**JIZERSKÁ MAGISTRAĽA**

Informační systém Jizerské magistrály je určen k poskytování informací o Jizerské magistrále a jejích částech. Systém umožňuje prohlížení mapy, získávání informací o jednotlivých objektech a jejich vlastnostech. Systém je určen k použití na počítači a na mobilních zařízeních.

**Žádání Jizerské magistrály v tisku** - Zásady tisku v bezpečné složce

mapy Jizerské magistrály - ubytování a stravování - předpověď počasí - horská služba Jizerska o.p.s. - Jizerské padesátka

## **PŘÍLOHA Č. 5: Obsah přiloženého CD**

Informační systém Jizerské magistrály – webová aplikace (spuštění souborem index.html)

Cortona VRML Client 4.2 – VRML prohlížeč (ParalellGraphics)

## **ABSTRAKT**

### **Téma:**

Využití VRML pro tvorbu webového Informačního systému Jizerské magistrály

### **Abstrakt:**

V souvislosti s technickým a technologickým pokrokem dochází v oblasti kartografie a geoinformatiky k prohloubení zájmu o interaktivní 3D vizualizaci geografických dat.

Diplomová práce se zabývá možnostmi integrace Virtual Reality Modeling Language (VRML), HyperText Markup Language (HTML) a dalších skriptovacích jazyků za účelem tvorby interaktivní a dynamické 3D aplikace.

Práce nejprve zkoumá a hodnotí metody tvorby virtuální scény z prostorových dat a metody interaktivního ovládání scény, které vychází z kartografické podstaty díla.

Na základě tohoto výzkumu byly zvoleny vhodné metody pro tvorbu webového Informačního systému Jizerské magistrály. V projektu je využit zejména software ERDAS IMAGINE pro tvorbu digitálního modelu terénu a export virtuální scény do formátu VRML a software VrmlPad pro úpravu a zápis VRML kódu. Vizualizace virtuální scény je založena na 3D modelování objektů a mapování textur. Interaktivita aplikace je zajištěna využitím interaktivních a dynamických uzlů VRML a skriptů propojujících VRML scénu s webovou stránkou, na níž je celý systém umístěn.

Tento projekt prakticky ověřil použitelnost některých zmiňovaných postupů a prokázal značné možnosti jazyka VRML v oblasti interaktivní 3D geovizualizace.

Přílohou práce je CD obsahující webovou aplikaci.

### **Klíčová slova:**

digitální model terénu, geoinformatika, HTML, interaktivita, Internet, JavaScript, VBScript, virtuální realita, VRML, webový 3D GIS, WWW, 3D vizualizace

## **ABSTRACT**

### **Theme:**

The use of VRML for creating the web Information system of the Jizera Arterial Road

### **Abstract:**

In connection with technical and technological development the interest in interactive 3D visualization of geographic data is growing up in the field of cartography and geoinformatics.

The diploma thesis deals with the possibilities of integration Virtual Reality Modeling Language (VRML), HyperText Markup Language (HTML) and other script languages in order to create an interactive and dynamic 3D application.

Firstly, the thesis investigates and evaluates the methods of creating virtual scenes from spatial data and the methods of interactive manipulation with the scene which result from the cartographic basis of the application.

Pursuant to this research the suitable methods for creating the web Information System of the Jizera Arterial Road were chosen. Software ERDAS IMAGINE for digital terrain model generation and export the virtual scene to VRML format and software VtmlPad for VRML coding are mainly used in the project. The visualization of the virtual scene is based on 3D object modelling and texture mapping. The application interactivity is provided by using interactive and dynamic VRML nodes and by using scripts which interconnect the VRML scene with the web page, where the complete system is placed.

This project has practically verified the applicability of some presented techniques and demonstrates the great potencial of VRML in the field of interactive 3D geovisualization.

As an attachment, there is a CD containing the web application.

### **Keywords:**

digital terrain model, geoinformatics, HTML, interactivity, Internet, JavaScript, VBScript, virtual reality, VRML, web 3D GIS, WWW, 3D visualization