

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované kartografie a geoinformatiky

**JAZYK X3D A JEHO APLIKACE
V GEOINFORMATICE**

Bakalářská práce

Pavel Ečer

2007

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Bayer Ph.D.

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2006/2007

Zadání bakalářské práce

pro Pavla Ečera

obor Geografie a kartografie

Název tématu: Jazyk X3D a jeho aplikace v geoinformatice

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je zhodnocení využití jazyka X3D v geoinformatických aplikacích s důrazem na vizualizaci geodat. Práce se zaměří na následující oblasti:

- Stručný popis jazyka X3D
- Srovnání jazyků X3D, VRML, GEO VRML
- Možnosti vizualizace geodat za použití X3D
- Analýza dalších možností využití jazyka X3D v geoinformatice
- Analýza možnosti exportu dat z běžně dostupných GIS systémů ve formátech X3D/VRML

Praktický výstup bude představovat model území (rozsah cca. 30 km²) realizovaný v jazyce X3D.

Rozsah grafických prací: 5-10 stran+příloha v elektronické formě

Rozsah průvodní zprávy: 40 stran

Seznam odborné literatury:

ŽÁRA, J. : VRML, laskavý průvodce virtuálními světy, 1998, Computer Press.

ŽÁRA, J.: Jazyky pro popis virtuální reality, 2000, ČVUT Praha.

JANDA K: Prostorové modely terénu ve virtuální realitě na Internetu, 2005, ČVUT Praha.

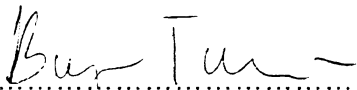
WEB 3D consortium: X3D overview, <http://www.web3d.org/about/overview/>

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

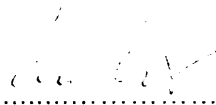
Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 27.10. 2006

Termín odevzdání bakalářské práce: 8.6.2007



.....
Vedoucí bakalářské práce



.....
Vedoucí katedry

V Praze dne 27.10.2006

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením školitele Ing. Tomáše Bayera, PhD., a že jsem všechny použité prameny řádně citoval. Jsem si vědom toho, že případné využití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném svolení této univerzity. Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 27. 8. 2007



podpis

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Tomáši Bayerovi, PhD. za poskytnutí cenných rad a připomínek a za vedení bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat společnosti DPA s.r.o. za poskytnutí dat.

Jazyk X3D a jeho aplikace v geoinformatice

Abstrakt

Cílem této práce je prozkoumat možnosti využití jazyka X3D pro vizualizaci 3D geodat. X3D je otevřený mezinárodní standard pro popis 3D grafiky a její následné prezentace na internetu. Vizualizace dat v prostředí Webu je jednou ze stěžejních otázek současné kartografie a geoinformatiky.

V první části bakalářské práce jsou popsány základní vlastnosti jazyka, struktura X3D dokumentu a komponentová architektura standardu X3D. Dále je zhodnoceno, že X3D je nadřazen jazykům VRML a GeoVRML.

Využití jazyka X3D spočívá především v tvorbě informačních portálů, územním plánování (urbanistickém i rurálním) nebo modelování přírodních katastrof.

V druhé části práce byly vytvořeny dvě virtuální scény vzorového území (přiloženy na CD). Jedna s použitím nástrojů určených k práci s geografickými daty (komponenta Geospatial) a druhá s použitím ostatních nástrojů, které jazyk X3D nabízí. V samotném závěru práce je naznačeno, že propojení obou postupů by bylo ideálním způsobem vizualizace 3D geodat.

Klíčová slova: X3D, 3D vizualizace, geodata, virtuální realita

X3D and its application in geoinformatics

Abstrakt

The objective of this study is to explore capabilities of X3D in visualization of 3D geodata. X3D is an open international standard for describing 3D graphics and its presentation in the Internet. Visualization of data using the Web is one of the pivotal issues in the recent cartography and geoinformatics.

In the first part of this bachelor work, fundamental characteristics of the language, a structure of an X3D document and a componental architecture of an X3D standard are being described. Next, it is reviewed that X3D is in a superior position against VRML and GeoVRML.

Above all application of X3D consists in creating of information portals, in the regional planning (urbanistic as well as rural) or in modelling of nature disasters.

In the second part, two virtual scenes of the sample territory were created. The first one used the tools for handling geographical data (Geospatial component) and the second one is using all the other tools provided in X3D. In the very end, it is suggested that joining both procedures would be the best way to visualize 3D geodata.

Keywords: X3D, 3D visualization, geodata, virtual reality

OBSAH

Přehled použitých zkratk	7
Seznam tabulek	9
Seznam obrázků	10
1 ÚVOD	11
2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	12
2.1 2D vizualizace geodat	12
2.2 3D vizualizace geodat	13
2.3 Virtuální realita	14
3 STRUČNÝ POPIS JAZYKA X3D	15
3.1 Vývoj jazyka X3D	15
3.2 Základní vlastnosti jazyka X3D	16
3.3 Typy kódování	16
3.3.1 XML kódování	17
3.3.2 Klasické VRML kódování	17
3.3.3 Binární kódování	18
3.4 Struktura X3D dokumentu	20
3.5 X3D profily a úrovně služeb	23
3.6 Komponenty jazyka X3D	25
3.6.1 Základní komponenty	27
3.6.2 Komponenta Geospatial	33
4 SROVNÁNÍ JAZYKA X3D S JAZYKY VRML A GEOVRML	38
4.1 VRML nebo X3D?	38
4.2 X3D versus GeoVRML	40
4.3 Shrnutí možností jazyků X3D, VRML a GEOVRML	40
5 VIZUALIZACE DAT ZA POUŽITÍ JAZYKA X3D	41
5.1 Softwarová podpora X3D formátu	41
5.1.1 Export z GIS systémů	41
5.1.2 Tvorba a prohlížení souborů ve formátu X3D	41
5.2 Aplikace jazyka X3D v geoinformatice	43

6	ZHOTOVENÍ 3D MODELU TERÉNU	44
6.1	Vymezení zájmového území	44
6.2	Model vytvořený standardními nástroji	45
6.2.1	Tvorba digitálního modelu terénu	45
6.2.2	Export scény do X3D formátu	45
6.2.3	Editace virtuální scény	46
6.2.4	Začlenění do webových stránek	47
6.3	Model vytvořený s využitím komponenty Geospatial	47
6.3.1	Tvorba digitálního modelu terénu	48
6.3.2	Mapování textury	48
6.3.3	Použití dalších uzlů komponenty Geospatial	49
7	PŘEHLED VÝSLEDKŮ, SROVNÁNÍ MODELŮ A MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ PRÁCE	50
7.1	Přehled výsledků	50
7.2	Porovnání virtuálních světů	51
7.2.1	Model vytvořený standardními nástroji	51
7.2.2	Model vytvořený nástroji komponenty Geospatial	52
7.3	Možnosti zdokonalení modelů	52
8	ZÁVĚR	54
	Seznam použité literatury	55
	Přílohy	58

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

3DML (3D Markup Language)

CAD (Computer-Aided Design) – počítačový software určený k projektování či konstruování

DIS (Distributive Interactive Simulation) – Distribuovaná a interaktivní simulace

DMT (digitální model terénu)

ESRI (Environmental Systems Research Institute)

GeoVRML – extenze jazyka VRML pro geografické aplikace

GIF (Graphics Interchange Format) – rastrový formát pro ukládání grafiky

GIS (Geographic Information system) – geografický informační systém

GML (Geography Markup Language) - geografický datový formát založený na XML

GPS (Global Positioning System) – systém používající satelity pro přesné určení polohy na Zemi

GZIP – aplikační software pro kompresi dat

H-Anim (Humanoid Animation) – část jazyka X3D zabývající se reprezentací lidských postav ve virtuální realitě

HTML (HyperText Markup Language) – jazyk pro popis webových stránek

HUD (Heads-Up Display) – objekty v X3D scéně, které jsou stále zobrazeny v okně prohlížeče – pohybují se shodně s avatarem

IE (Internet Explorer)

ISO (International Standardization Organization) – Mezinárodní organizace pro standardizaci

JPEG (Joint Photographic Experts Group) - rastrový formát pro ukládání grafiky

KML (Keyhole Markup Language) – jazyk používaný pro 3D geodata aplikace Google Earth

LOD (Level of Detail) – uzel jazyka X3D

MAC, MAC OS (Macintosh Operating System)

MF (Multiple Field)

MPEG (Motion Picture Experts Group) – formát pro kódování audiovizuálních informací

MPEG4 – formát pro kódování audiovizuálních informací

NURBS (Non-uniform Rational B-Spline) – metoda geometrického popisu volných ploch pro modelování složitých tvarů pomocí křivek

PDA (Personal Digital Assistant) – kapesní počítač

PDF (Portable Document Format) – souborový formát pro výměnu dokumentů

PNG (Portable Network Graphics) – grafický formát, který je určený pro bezztrátovou kompresi
rastrové grafiky

RGB (Red, Green, Blue) - barevný model používaný pro reprezentaci odstínů barev na obrazovce

SAI (Scene Autohring Interface) - Rozhraní pro ovládání X3D scény skriptovacími jazyky

SHP (Shapefile) – vektorový formát dat

S-JTSK (Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální) – souřadnicový systém používaný na
území České republiky

SF (Single Field)

TIN (Triangulated Irregular Network) – reprezentace povrchu nepravidelné sítě trojúhelníků

URL (Uniform Resource Locator) - řetězec znaků, který slouží k přesné specifikaci umístění zdrojů
informací na Internetu

UTF (Unicode Transformation Format) – způsob kódování řetězců znaků do sekvencí bajtů

UTM (Universal Transverse Mercator) – souřadnicový systém založený na Mercatorově zobrazení

VML (Vector Markup Language) - formát pro vektorovou grafiku vyvíjený společností Microsoft

VR (Virtual Reality) – virtuální realita

VRML (Virtual Reality Modeling Language)

WWW (World Wide Web) - soustava propojených hypertextových dokumentů

WYSIWYG (What You See Is What You Get) - způsob editace dokumentů, verze zobrazená na
obrazovce je vzhledově totožná s výslednou verzí dokumentu

X3D (Extensible 3D Graphics) – formát pro ukládání 3D scén

XML (Extensible Markup Language) – obecný značkovací jazyk pro výměnu dat mezi aplikacemi
a publikování dokumentů

ZIP – formát pro kompresi a archivaci dat

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 3.1: Řetězec procesů binárního kódování
- Obr. 3.2: Porovnání XML a ClassicVRML kódování
- Obr. 3.3: Přehled profilů
- Obr. 3.5: Jednoduchý svět s definicí komponent k profilu Core – zdrojový kód a zobrazení scény
- Obr. 3.6: Souřadnicový systém textury
- Obr. 3.7: Rozměry avatara se standardními hodnotami
- Obr. 3.8: Použití uzlu Billboard
- Obr. 3.9: Použití uzlu LOD
- Obr. 3.10: Mlha v X3D světě
- Obr. 3.11: Terén vymodelovaný uzlem ElevationGrid
- Obr. 3.12: Orientace os X3D světa
- Obr. 3.13: Princip funkce uzlu GeoLOD
- Obr. 4.1: Architektura standardu X3D
- Obr. 6.1: Model území exportovaný z modulu ArcScene

SEZNAM TABULEK

- Tab. 3.1: Pojmenování vstupních hodnot pro proměnné ve VRML97 a X3D
- Tab. 3.2: Přehled profilů, komponent a odpovídající úrovně jejich podpory
- Tab. 5.1: Přehled hlavních X3D browserů
- Tab. 6.1: Souřadnice okrajových bodů zájmové oblasti prvního modelu území

KAPITOLA 1

ÚVOD

Vizualizace geografických dat s využitím počítačové techniky dostává v posledních letech nový rozměr. Rozvoj informačních technologií nutně implikuje jejich využití taktéž na poli 3D grafiky. Od konce 80. let je proto vyvíjen jazyk pro popis virtuální reality (VRML), který se později stal základem jazyka X3D. Za poměrně krátkou dobu se našlo mnoho autorů, kteří se snaží vytvořit z tohoto jazyka mocný nástroj pro tvorbu trojrozměrných interaktivních scén.

Nástup 3D technologií umožňuje zobrazit realitu do prostoru, nikoli pouze do plochy. Abychom získali představu o členitosti reliéfu a jeho tvaru již tedy není třeba zobrazovat vrstevnice nebo použít stínování – stávají se „pouhou“ doplňkovou informací. Jazyk X3D je ovšem schopen pojmout i rozměr čtvrtý, tedy čas, a do jisté míry postihnout či zobrazit změny v určitém období. Pro geoinformatiky a geografy se tak otevírají nové možnosti vizualizace dat.

Tato bakalářská práce se zabývá využitím jazyka X3D v geoinformaticce. Důraz je kladen na stručný popis jazyka a jeho srovnání s předešlou verzí (VRML) a s jazykem GeoVRML. Popsány budou také možnosti vizualizace geodat, které jazyk nabízí.

Cílem bakalářské práce je za pomoci jazyka X3D vytvořit ilustrativní 3D model území, který by měl sloužit k zobrazení hlavních vlastností území a k poskytnutí důležitých informací. Dílčími cíly jsou následující kroky:

- zpracování dat a tvorba 3D modelu terénu
- upravení modelu a zajištění interaktivity v jazyce X3D

Práce je strukturována do dvou částí. První část práce je tvořena popisem jazyka, jeho struktury a vlastností a postihnutím odlišností od jazyků VRML a GEOVRML. Úkolem této části bude také zhodnotit využití X3D v oblasti geoinformatiky a možnosti, které jazyk poskytuje.

V praktické části bude popsána aplikace jazyka X3D na konkrétním modelu území, kde budou vysvětleny použité metody a postupy práce.

V závěru bakalářské práce jsou posouzeny dosažené výsledky, zhodnoceny výhody a nevýhody jazyka a možnosti dalšího rozšíření práce.

Kapitola 2

ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Od vzniku prvních map se lidé zabývají otázkou, jak nejlépe zobrazit část zemského povrchu, aby o ní následně získali co nejvíce informací. Jedná se tedy o problém co možná nejlepší vizualizace dat daného území. Geografové a kartografové pracují s geodaty, tedy daty, které obsahují informaci o své poloze. V takovém případě hovoříme o vizualizaci geodat neboli geovizualizaci. Problematikou geovizualizace se zabývá Jiang et al. (2003). Zmiňují, že geovizualizace v podstatě představuje geografickou nebo kartografickou vizualizaci. Zároveň však upozorňují na to, že spojuje poznatky z moderní kartografie, geoinformačních systémů, vědecké vizualizace (McCormick et al. 1987), vizualizace informací a virtuálního prostředí (Chen 1999).

Geovizualizace umožňuje prozkoumání dat. Díky tomu je možné konstruovat hypotézy, hledat řešení daných problémů a získat konkrétní poznatky (URL 5)

S rozvojem vědy se vyvíjí také metody vizualizace. Od ručního kreslení map se přikročilo k jejich produkci užitím počítačové techniky, od dvourozměrných prezentací se zvolna přechází k trojrozměrným a namísto prohlížení statické papírové mapy můžeme pozorovat monitor počítače a vstoupit do dynamického a interaktivního virtuálního světa.

2.1 2D vizualizace geodat

V běžném životě se lidé setkávají nejčastěji s dvourozměrnými reprezentacemi zemského povrchu – jedná se například o turistické mapy, plány měst, autoatlasy, GPS navigátory nebo mapové servery na internetu. Ale jak poznamenávají De Vries a Zlatanova (2004), svět, ve kterém žijeme, je trojrozměrný. Velké množství lidských aktivit přesto stále využívá k řešení rozličných úkolů 2D geodata ať už v digitální nebo papírové podobě. Nicméně v mnoha případech jsou dva rozměry nepostačující. Autoři dále zmiňují, že dvourozměrná projekce 3D objektů může mít za následek ztrátu některých vlastností či návaznosti na další objekty. Pochopení a analyzování geodat pak může být velmi obtížné.

Çöltekin (2003) uvádí, že většina GPS přijímačů pracuje pouze se dvěma rozměry. Stejně tak mapové servery významných softwarových tvůrců jako ESRI (Internet Map Server), MapInfo (MapXtreme) či Autodesk (MapGuide) poskytují pouze 2D prostorové informace.

Jiang et al. (2003) dále zmiňuje, že 2D reprezentace se hodí více pro profesionální pracovníky, než pro laickou veřejnost, neshledávají je dostatečně názorné. Je tedy zřejmé, že trojrozměrná vizualizace geodat se bude stávat stále běžnější, a to zejména prostřednictvím počítačové techniky.

2.2 3D vizualizace geodat

Jako multidisciplinární vědu označuje 3D geovizualizaci Nielsen (2004). Tato věda využívá geografická data, vyvíjí software pro jejich trojrozměrnou vizualizaci a produkuje odpovídající modely. Během zhruba 15 let vývoje bylo uskutečněno mnoho komerčních i vědeckých projektů, díky kterým vznikla celá škála softwarových produktů a technologií pro vizualizaci. Tyto projekty byly nejčastěji orientovány na navigační schopnosti, urbanistické, krajinářské a architektonické plánování.

Çöltekin (2002) poznamenává, že svět je trojrozměrný (přesněji čtyřrozměrný), a je proto výhodnější jej jako trojrozměrný vizualizovat. Prospěje to orientaci a pohybování se v prostoru. Čtvrtý rozměr může být významný především při interpretaci analýz. Çöltekin nicméně také zohledňuje fakt, že pohled seshora (z ptačí perspektivy) usnadňuje uživateli odhadnout relativní polohu sledovaného objektu.

Zlatanova et al. (2002) analyzovala čtyři nejrozšířenější komerční GIS systémy schopné 3D geovizualizace – tedy *ArcView 3D Analyst* (ESRI), *Imagine VirtualGIS* (ERDAS), *GeoMedia* (Intergraph Inc.) a *Geomatica* (PCI Geomatics). Všechny tyto produkty poskytují výborné možnosti vizualizace a animace pomocí otexturovaných modelů. Nicméně všechny tyto GIS systémy uvažují třetí rozměr pouze jako atribut, nikoli jako třetí (z-ovou) souřadnici. Naopak všechny tři souřadnice existují u CAD systémů (*Computer Aided Design*, např. *Microstation*) nebo u jazyků pro popis virtuální reality. Je tedy teoreticky možné pro jeden bod v rovině xy definovat více než jednu z-ovou souřadnici. Toho lze využít například při modelování jeskyní, budov a dalších 3D objektů.

2.3 Virtuální realita

Vizualizace 3D geodat úzce souvisí s virtuální realitou (Nielsen, 2004). Tuto myšlenku dále rozvíjí Çöltekin (2003) – virtuální realita má podle něj blízký vztah s geoinformačními systémy, vždy se totiž jedná o zobrazení prostorových dat a o jejich manipulaci a interakci.

Virtuální realita je prostředí, kde se lidské vnímání simulované reality co nejvíce blíží „skutečné“ realitě. Nejjednodušší formou virtuální reality je 3D model, který může být prozkoumán na monitoru počítače pomocí klávesnice a myši, a to tak, že se obraz pohybuje v požadovaných směrech nebo je přibližován a oddalován. K co nejrealističtějšímu vjemu napomáhají animace, zvuk nebo zpětná vazba na chování uživatele v co nejkratším časovém úseku skrze interaktivní nástroje (Çöltekin, 2003).

Knížová (2006) uvádí, že nejvhodnějším médiem pro publikování interaktivních 3D modelů území je WWW pro svoji veřejnou dostupnost a potenciál interakce. Nyní se dostáváme k VRML (Virtual Reality Modeling Language), který Huang et al. (2001) považují za spojovací článek mezi geoinformačními systémy, virtuální realitou a prostředím internetu, protože VRML (a potažmo X3D) je mezinárodním standardem pro popis interaktivních 3D objektů a světů publikovaných na Webu.

Kromě VRML a X3D existují další jazyky pro vizualizaci 3D grafiky prostřednictvím internetu. Jedná se například o Java3D, 3DML (3D Markup Language), GML (Geography Markup Language), VML (formát pro vektorovou grafiku vyvíjený společností Microsoft), Flash a další. Nicméně se zdá, že VRML (X3D) je nejpobulárnějším formátem 3D webové grafiky (Çöltekin, 2003).

Kapitola 3

STRUČNÝ POPIS JAZYKA X3D

X3D (*Extensible 3D Graphics*) je volně dostupný jazyk přijatý za mezinárodní standard (ISO/IEC 19775), který je užíván pro budování rozmanitých trojrozměrných modelů. Pomocí X3D je možné zobrazit animované objekty z různých stanovišť pohledu. Také dovoluje uživateli proniknout do 3D scény a následně jí ovlivňovat. Tento nástroj pro vytváření trojrozměrné grafiky vyvíjí *Web3D Consortium* od roku 2001. Jazyk VRML (předchůdce X3D) již totiž nepostačoval svými vlastnostmi, protože byl vyvíjen v době pomalého vytáčeného připojení. Nemohl proto podporovat mnohé složitější operace (Brutzman 2005).

3.1 Vývoj jazyka X3D

První kroky byly učiněny v podstatě již s rozvojem jazyka VRML. Stručně tedy k jeho vývoji – v roce 1995 definuje firma *Silicon Graphics* formát VRML 1.0, současně s ním vznikla skupina *VAG (VRML Architecture Group)*. Již v roce 1996 byl z 8 návrhů vybrán nástupce – VRML 2.0. Z neformální skupiny *VAG* se stalo *VRML Consortium*, které formálně zahájilo spolupráci s mezinárodní standardizační organizací (ISO). Koncem roku 1997 se stal jazyk VRML 2.0 mezinárodní normou (ISO/IEC 14772-1:1997) a byl pojmenován jako VRML 97.

K podpoře dalšího vývoje jazyka pro 3D grafiku bylo založeno *Web3D Consortium*. Vzniklo spojením úsilí několika obchodních společností, akademických institucí, vládních agentur a dalších zainteresovaných osob.

Vývoj standardu dále pokračoval a postupně vznikala třetí generace VRML, kterou se stal jazyk X3D. V roce 2001 se začalo pracovat na první verzi architektury a koncem roku již byla tato verze zveřejněna. O rok později přišla na svět verze druhá s víceúrovňovou strukturou komponent a jazyk byl postoupen k mezinárodní standardizaci. Od roku 2003 se vyvíjí stále další uzly a komponenty jazyka. X3D 3.0 byl formálně schválen mezinárodní standardizační organizací jako standard ISO/IEC 19775 v roce 2004. Vývoj se ale tímto nezastavil a *Web3D Consortium* nadále spolupracuje s ISO a pravidelně rozšiřuje a aktualizuje obsah X3D specifikace. Poslední update verze 3.0 byl proveden v listopadu 2005. Poté již byla v dubnu 2006 zveřejněna verze 3.1 jako

doplněk a oprava drobných nedostatků verze předchozí. Na další verzi X3D se intenzivně pracuje a bude publikována zřejmě na začátku roku 2008.

3.2 Základní vlastnosti jazyka X3D

X3D je otevřený mezinárodní standard určený pro vytváření 3D scén a modelů a jejich publikování na Webu. Velký důraz je kladen na co nejlepší spolupráci s novými webovými technologiemi, a proto bylo ke klasickému VRML kódování připojeno také XML kódování (blíže k typům kódování v kapitole 3.3). Jazyk XML se totiž stává nejčastěji používaným formátem pro výměnu dat mezi aplikacemi a pro publikování dokumentů na internetu.

Nejdůležitější částí každého 3D modelu je graf scény (blíže viz kapitola 3.4). Je to soubor grafických uzlů (uzel je základní element jazyka X3D), které tvoří virtuální prostředí. Graf scény musí být acyklický a vytváří stromovou hierarchii – to znamená, že každý uzel má právě jednoho rodiče (kromě kořenového uzlu na začátku dokumentu), rodič může mít více potomků, ale žádný uzel nesmí být sám sobě rodičem.

Dalšími vlastnosti standardu:

- Modularita - jednotlivé uzly s podobnými vlastnostmi jsou ve standardu X3D sdruženy do komponent (viz kapitola 3.6). Komponenty jsou dále seskupeny do profilů (blíže v kapitole 3.5). Při budování X3D scény je nutné určit profil, jehož komponenty a následně uzly budou použity. To znamená, že „existuje více podob formátu pro různé požadavky“ (Mintorová 2006).
- Jazyk podporuje 2D a 3D grafické prvky, animace, prostorové zvuky a video, interakci s uživatelem.
- Podpora programovacích jazyků pro zajištění komunikace mezi X3D scénou a ostatními programy - *X3D Scene Authoring Interface (SAI)*.
- „X3D standard je začleněn do multimediálního standardu MPEG-4“ (Ranon 2004).

3.3 Typy kódování

X3D standard definuje tři způsoby zápisu 3D scén. Prvním formátem je XML (přípona *.x3d*), druhým je klasické VRML kódování (přípona *.x3dv*) a třetím formátem je komprimované binární kódování s příponou *.x3db*. V každém z těchto případů zůstává funkčnost zobrazovaného obsahu shodná – je tedy nezávislá na zvoleném typu kódování. Kromě využití binárního kódování je možné dosáhnout komprimace dat také pomocí *Gzip* komprese (přidá další příponu *.gz* k originálnímu názvu souboru). Nicméně ukládání X3D scény pomocí binárního kódování je efektivnější.

3.3.1 XML kódování

Zavedení XML kódování je jedním z největších pokroků X3D. Jazyk XML je totiž základem pro většinu datových jazyků používaných na Webu. Pokud má být 3D grafika zahrnuta do webových stránek a dále také schopna interakce se všemi uživateli, je jasné, že XML kódování je nezbytné. XML (Extensible Markup Language) je „univerzální formát dokumentů, který předepisuje, jak zapsat data společně s jejich významem“ (Kočí 2000). „Jazyk umožňuje popsat strukturu dokumentu z hlediska věcného obsahu jednotlivých částí, nezabývá se sám o sobě vzhledem dokumentu nebo jeho částí. Prezentace dokumentu (vzhled) se potom definuje připojeným stylem“ (URL 16). Jazyk je volně dostupný, není vázán na žádný software ani operační systém. Data v XML se dají snadno převést do řady dalších formátů jako je HTML, PDF nebo MS WORD.

Další výhodou je, že XML implicitně užívá znakovou sadu *Unicode* (ISO 10646), je proto možné vytvořit dokument, který obsahuje texty ve více jazycích najednou.

Ukázka X3D kódu

Jak je vidět z ukázky, tak se stále jedná o stromovou strukturu dokumentu, kde jsou jednotlivé elementy uváděny hranatými závorkami a hodnoty atributů určitého elementu jsou v uvozovkách. Element obsahující další potomky se musí skládat z otevíracího a uzavíracího tagu (značky), který začíná lomítkem. Element, který obsahuje jen atributy, může být ukončen ve stejném tagu opět použitím lomítka.

<Shape>	# Otevírací tag elementu Shape
<Sphere radius="5"/>	# Element Sphere s atributem radius
<Appearance>	# Otevírací tag elementu Appearance
<Material diffuseColor="1 1 1"/>	# Element Material s atributem diffuseColor
</Appearance>	# Uzavírací tag elementu Appearance
</Shape>	# Uzavírací tag elementu Shape

Ukázka XML kódování jazyka X3D

Komentář, tedy text který slouží jako poznámka a má být ignorován prohlížečem, se zapisuje takto:

```
<!-- komentář -->
```

3.3.2 Klasické VRML kódování

Kódování obsahu X3D

Klasické VRML kódování (*ClassicVRML*) obsahu X3D souboru je kompatibilní s kódováním jazyka VRML97 – je tedy stále udržována návaznost VRML na X3D (samozřejmě s doplněním všech uzlů). Syntaxe ClassicVRML odpovídá syntaxi VRML97 až na dva detaily:

- odlišným pojmenováním vstupních hodnot pro proměnné (viz tab 3.1)



Tab. 3.1: Pojmenování vstupních hodnot pro proměnné ve VRML97 a X3D

Název ve VRML97	Název v X3D	Zkratka v X3D specifikaci
eventIn	inputOnly	[in]
eventOut	outputOnly	[out]
field	initializeOnly	[]
exposedField	inputOutput	[in,out]

- změnou prvního řádku v hlavičce jak je ukázáno zde:

```
#VRML V2.0 utf8 => #X3D V3.0 utf-8
```

Uzel a pole

Elementy a atributy z XML kódování jsou v klasickém VRML kódování pojmenovány jako `node` (uzel) a `field` (pole). V klasickém formátu jazyka X3D se používají složené popřípadě hranaté závorky (viz ukázka zdrojového kódu). Pole uzlů a uzly potomků jsou ohraničeny složenými závorkami. Pokud pole uzlu obsahuje více než jednu hodnotu, pak musí být hodnoty uváděny v uvozovkách a celé pole v hranaté závorce.

Narozdíl od XML kódování se jednotlivé hodnoty do uvozovek nedávají. Další odlišností je znak mřížky (#) uvozující komentář – veškeré informace za tímto znakem až do konce řádku bude prohlížeč ignorovat.

```
Shape {
  geometry Sphere { radius 5 }
  appearance Appearance {
    materiál Material {
      difusseColor 1 0 0
    }
  }
}
```

Ukázka ClassicVRML kódování

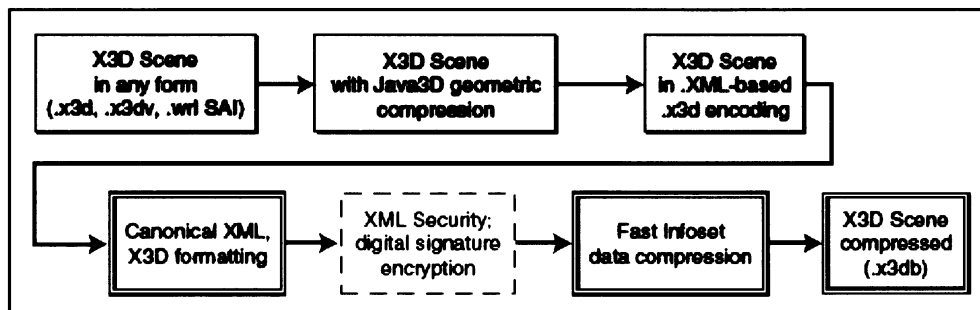
Nevýhodou klasického VRML kódování může být velké množství závorek. Pokud se dopustíme chyby, může trvat velmi dlouho, než bude chyba nalezena a opravena.

3.3.3 Binární kódování

Vývojové cíle

Web3D Consortium si při tvorbě binárního kódování X3D zadalo tyto cíle – menší X3D soubory, rychlejší načítání scény v run-time prostředí a síťový streaming 3D dat. Streaming dat umožňuje, aby uživatel měl rychle k dispozici jednoduché prvky scény a mohl ji prohlížet, zatímco složitější prvky dokumentu se budou postupně načítat. Dvou základních typů komprese bylo použito ke

zmenšení objemu dat. První technikou je komprese informací k minimalizaci duplikátů v datech (podobná kompresi zip/gzip). Druhá technika je založená na kompresi geometrie.



Obr. 3.1: Řetězec procesů binárního kódování (Brutzman a Daly, 2007)

Průběh kódování scény do formátu .x3db

1. Do řetězce vstupuje X3D scéna v jakémkoli formátu. Prvním krokem je geometrická komprese uzlů (lze nadefinovat typ komprese, např. Java 3D geometrická komprese). Při geometrické kompresi jsou polygony, barvy, textury či interpolátory zkombinovány, komprimovány a následně znovu uspořádány.
2. Převedení dat do formátu založeného na XML (.x3d).
3. Normalizace do tzv. kanonické formy X3D - to v praxi znamená aplikaci rozličných pravidel na X3D dokument. Například se jedná o prázdná místa v dokumentu, používání jednoduchých či dvojitých uvozovek anebo odstranění duplicitních prvků, které by mohly mít negativní dopad na další procesy kódování.
4. Volitelné zabezpečení dat proti zneužití - k tomu slouží šifrování obsahu, digitální „důkaz pravosti“ obsahu nebo XML podpis.
5. *Fast InfoSet XML Binary Compression* - tedy samotná binární komprese, která kóduje každé jednotlivé pole X3D scény. Tímto vznikne X3D dokument s příponou .x3db.
6. Jako nadstavbu lze ještě použít *gzip* kompresi pro další zmenšení souboru (.x3db.gz).

Výsledek kódování

Provedením všech těchto optimalizací je možné docílit redukce velikosti souboru o 10 % - 25 %, což je více než *gzip* kompresí. Načtení scény parserem (provádí syntaktickou analýzu dat) může být 5× – 10× rychlejší.

3.4 Struktura X3D dokumentu

Dokument vzniklý pomocí jazyka X3D tvoří obvykle sled příkazů organizovaných do souboru. Tvoří jej dva hlavní prvky – hlavička souboru a graf scény.

○ Hlavička souboru

Hlavička je nositelem prvotního popisu X3D souboru. Poskytuje povinné a volitelné informace o vlastnostech scény. Součástí hlavičky jsou tyto údaje:

- určení verze jazyka X3D
- definice znakové sady a kódování
- definování profilu a komponent (blíže viz kapitoly 3.5 a 3.6)
- výpis metadat – nepovinné údaje, které obsahují doplňkové informace o scéně (např. informace o autorovi, datu vzniku nebo podkladech)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D PUBLIC "-//ISO/IEC//DTD X3D 3.1//EN"
    "http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.1.dtd">
<X3D version="3.1" profile="Immersive"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsd:noNamespaceSchemaLocation=
    "http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.1.xsd">
  <head>
    <component name="DIS" level="1"/>
    <component name="Geospatial" level="1"/>
    <component name="H-Anim" level="1"/>
    <component name="MURBS" level="4"/>
    <meta name="filename"
      content="HeaderProfileComponentMetaExample.x3d"/>
  </head>
  <Scene>
    <!--Scene graph nodes are added here-->
  </Scene>
</X3D>

#X3D V3.1 utf8
PROFILE Immersive
# No HEAD statement is provided in ClassicVRML Encoding
COMPONENT DIS:1
COMPONENT Geospatial:1
COMPONENT H-Anim:1
COMPONENT MURBS:4
META "filename" "HeaderProfileComponentMetaExample.x3d"
# Scene graph nodes are added here
```

Obr. 3.2: Porovnání XML a ClassicVRML kódování (Brutzman a Daly, 2007)

o Graf scény

V této části dokumentu jsou obsaženy všechny uzly pro popis 3D virtuální scény. Graf scény lze logicky rozdělit do několika celků (pořadí není nutné dodržet, ale je vhodné pro přehlednost dokumentu).

Seznam prototypů

Je to výpis všech prvků použitých v naší scéně, které byly vytvořeny v jiném X3D světě (tedy v jiném souboru). K tomu slouží uzel `ExternProto`. Následuje ukázka deklarace prototypu v klasickém a XML kódování.

```
Classic: EXTERNPROTO koule1 [field SFvec3f velikost] ["knihovna.x3d#koule"]  
XML: <ExternProtoDeclare name='koule1' url='knihovna.x3d#koule'>
```

Všeobecné informace o virtuálním světě

Jedná se o uzly definující vlastnosti společné pro celou scénu:

- `WorldInfo` – jméno a základní informace o světě
- `Viewpoint` - seznam zajímavých míst a stanovišť pohledu
- `NavigationInfo` – určuje doporučený způsob procházení světem
- `Background` – definuje pozadí virtuálního světa
- `DirectionalLight` – definuje zdroj rovnoběžných paprsků světla a vytváří tak iluzi osvětlení scény Sluncem.

Popis virtuálních objektů

Nejobsáhlejší část grafu scény, kde jsou popsány všechny virtuální objekty. Definuje se jejich relativní poloha uvnitř světa (vztažena k rodičovskému uzlu), geometrie, velikost a vzhled povrchu. Do této části zapisujeme také dynamické uzly. Jsou to uzly, které reagují na chování uživatele a zajišťují veškeré animace a interaktivitu virtuálního světa. Dynamickými uzly jsou například senzory přítomnosti uživatele, senzory dotyku, interpolátory pohybu, barev, atd. Jsou schopné generovat události a posílat je k dalším uzlům pomocí příkazu `ROUTE` (*event routing*). Seznam nadefinovaných propojení statických a dynamických prvků je zapsán v poslední části dokumentu. Následuje ukázka jednoduchého světa s využitím dynamických uzlů, výsledná scéna je vyobrazena a popsána v příloze.

```

<Scene>
  <Transform translation='3 0 0'>
    <!-- rozsvit ROUTEs: [from isOver to svetlo_cerv.on ]
    [from isActive to svetlo_zel.on ] -->
    <TouchSensor DEF='rozsvit' description='zmena svetla' />
    <Shape>
      <Sphere DEF='koule' radius='5' />
      <Appearance>
        <Material ambientIntensity='1' diffuseColor='1 1 1' />
      </Appearance>
    </Shape>
  </Transform>
  <!-- svetlo_cerv ROUTE: [from rozsvit.isOver to on ] -->
  <PointLight DEF='svetlo_cerv' ambientIntensity='1' color='1 0 0' location='3 0
  0' on='false' radius='50' />
  <!-- svetlo_zel ROUTE: [from rozsvit.isActive to on ] -->
  <PointLight DEF='svetlo_zel' ambientIntensity='1' color='0 1 0' location='3 0
  0' on='false' radius='50' />
  <ROUTE
  fromNode='rozsvit' fromField='isOver' toNode='svetlo_cerv' toField='on' />
  <ROUTE
  fromNode='rozsvit' fromField='isActive' toNode='svetlo_zel' toField='on' />
</Scene>

```

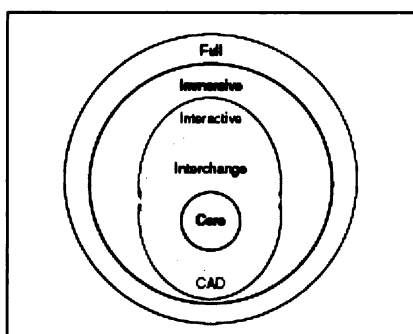
Jednoduchý svět s použitím konstrukce ROUTE v XML kódování

Hierarchie tříd

Výchozí třídou X3D scény je třída `Object`, od které jsou odvozeny třídy `node` (uzel) a `field` (pole). `Field` je základní třídou pro parametry (např. `radius`, `diffuseColor`, `height` a další). Do každého parametru lze uložit hodnoty pouze ve správném datovém typu. Na výběr je 21 datových typů, přičemž každý z nich se může vyskytovat ve dvou variantách. Pokud má datový typ předponu `SF`, pak do něj lze uložit pouze jednu hodnotu. Má-li předponu `MF`, může být uložen jakkoli dlouhý seznam hodnot (seznam datových typů viz příloha).

3.5 X3D profily a úrovně služeb

X3D standard definuje celkem 7 profilů. Každý profil je tvořen souborem komponent, které jsou děleny do různých úrovní podle funkcí, které jsou schopny poskytnout. Profil je tedy přesně definován tím, které komponenty (a na jaké úrovni) podporuje (viz tab. 3.2). Nejjednodušším profilem je *Core profile*, který zahrnuje pouze X3D definiční uzly a uzly pro metadata. Každý další profil je obvykle složitější a poskytuje sofistikovanější funkce (viz obrázek 3.4).



Obr. 3.3: Přehled profilů (Brutzman a Daly, 2007)

Podle toho jaký profil je v X3D dokumentu používán, existují také některá omezení jeho obsahu. Omezení se týkají například toho, kolik hodnot je možné zapsat do parametrů jednotlivých uzlů, jaký formát rastru je možné použít pro texturu, jak velký může tento rastr být nebo jak dlouhý může být zvukový záznam, který je ve světě přehráván. Následuje stručný popis všech 7 profilů.

- **Core Profile** – jedná se o základní profil, který není vhodný pro běžné X3D scény, protože neobsahuje žádné uzly pro geometrii, vzhled nebo animaci. Lze ho využít pouze pro jednoduché scény, ale i tak musíme v hlavičce souboru nadefinovat komponenty obsahující uzly pro tvorbu virtuálních objektů (viz kapitola 3.6).
- **Interchange Profile** – Teprve tento profil umožňuje zobrazení virtuálních objektů. Obsahuje všechny základní uzly pro popis geometrie (všechny primitivní tvary – Sphere, Cylinder, Cone a Box, dále trojúhelníky a polygony – IndexedFaceSet), vzhledu (uzly Material a Texture) a jednoduché animace (interpolátory – např. PositionInterpolator, CoordinateInterpolator).
- **CADInterchange Profile** – Speciální profil, který obsahuje většinu uzlů profilu Interchange a soubor uzlů podporujících import objektů vytvořených v CAD softwarech. Je tedy možné vytvořit různé objekty virtuálního světa (např. budovy, značky, lavičky) v jiném softwaru a do X3D dokumentu je následně vložit.

- **Interactive Profile** – Profil obsahuje jen o málo více uzlů než Interchange Profile, přidává k němu téměř všechny nástroje nutné k interakci uživatele a scény. Těmito nástroji jsou všechny typy senzorů (ProximitySensor, VisibilitySensor, TouchSensor a další), které hlídají pohyb a činnost uživatele.
- **MPEG-4Interactive Profile** – Jedná se o zjednodušenou verzi interaktivního profilu navrženého pro mobilní telefony nebo PDA.
- **Immersive Profile** – Tento profil se svými funkcemi nejvíce blíží standardu VRML97. Profil je standardu funkčně nadřazen, ale neobsahuje komponenty, které byly definovány v dodatku ke standardu VRML (podpora křivek NURBS a geoprostorových dat). Oproti interaktivnímu profilu má Immersive navíc například uzly pro popis 2D geometrie nebo pro definování pozadí virtuálního světa.
- **Full Profile** – Je úplný soubor X3D uzlů. Podporuje všechny komponenty na nejvyšších úrovních (včetně komponent Geospatial, NURBS, H-Anim a dalších – viz tab. 3.2).

Tab. 3.2: Přehled profilů, komponent a odpovídající úrovně jejich podpory (URL14)

Komponenty	Profily a podporované úrovně komponent					
	Interchange	CADInterchange	Inter-active	MPEG-4 Interactive	Immersive	Full
Core	1	1	1	1	2	2
Time	1		1	1	1	2
Networking	1	1	2	2	3	3
Grouping	1	1	2	2	2	3
Rendering	3	4	3	1	3	5
Shape	1	2	1	1	2	4
Geometry3D	2		3	2	4	4
Geometry2D					1	2
Text					1	1
Sound					1	1
Lighting	1	1	2	2	2	3
Texturing	2	2	2	1	3	3
Interpolation	2		2	2	2	5
Pointing device sensor			1	1	1	1
Key device sensor			1		2	2
Environmental sensor			1	1	2	3
Navigation	1	2	1	1	2	3
Environmental effects	1		1	1	2	4
Geospatial						2
Humanoid animation						1
NURBS						4
DIS						2
Scripting					1	1
Event utilities			1		1	1

Programmable shaders		1				1
CAD geometry		2				2
Texturing3D						2
Cube map						3
environmental texturing						1
Layering						2
Layout						2
Rigid body physics						3
Picking sensor						1
Followers						3
Particle systems						3

3.6 Komponenty jazyka X3D

Komponentová architektura

X3D standard je velmi široký (k 4.4. 2007 obsahoval 278 uzlů), proto se přešlo od monolitické specifikace VRML97 ke komponentové architektuře. Jak již bylo řečeno výše, komponenty jsou složeny z uzlů, které mají podobné vlastnosti nebo funkci, a mohou být rozděleny do několika úrovní, které jsou očíslovány. Komponentová architektura umožňuje vytváření profilů, které mohou být prohlížečem různě podporovány – není nutná podpora celého standardu.

Případy využití definice komponent

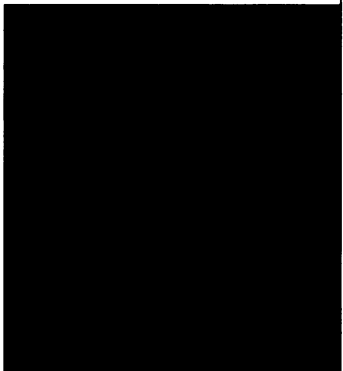
Vhodným definováním profilu a komponent v hlavičce X3D dokumentu (viz také kapitola 3.4) můžeme prohlížeči v některých případech usnadnit načítání světa. Jedná se o tyto situace:

1. Zvolený profil nepodporuje jeden či několik uzlů zahrnutých do 3D scény a browser nepodporuje vyšší profil, který by tyto uzly obsahoval. Pokud nadefinujeme komponenty, které tyto uzly obsahují a browser je na požadované úrovni podporuje, je problém vyřešen a scéna bude přehrána správně (týká se především `Full profile`, který často není prohlížeči podporován).
2. Při sestavování množství malých X3D scén, které obsahují například jednotlivé objekty zařazené do knihoven. Tyto malé scény jsou určené k nahrání do složitějších světů. Autor pak definuje pouze základní `Core profile` a k němu požadované komponenty (viz obrázek 3.5).

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D PUBLIC "ISO//Web3D//DTD X3D
3.1//EN""http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.1.dtd">
<X3D profile='Core' version='3.1' xmlns:xsd='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance' xsd:noNamespaceSchemaLocation='
http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.1.xsd '>
  <head>
    <component level='1' name='Rendering'>/>
    <component level='1' name='Texturing'>/>
    <component level='1' name='Shape'>/>
    <component level='1' name='Grouping'>/>
    <component level='1' name='Geometry3D'>/>
    <meta name='name' content='Strom'>/>
    <meta name='description' content='Jednoduchy svet s definici komponent
doplnenim profilu Core.'>/>
    <meta name='creator' content='Pavel Eder'>/>
  </head>
  <!--
Index for DEF nodes: kmen, koruna, strom
-->
  <Scene>
    <!-- Scena - strom -->
    <Group DEF='strom'>
      <Shape>
        <Cylinder
          DEF='kmen' bottom='false' height='10' radius='0.5' solid='false' top='false
          '>/>
        <Appearance>
          <Material diffuseColor='.47 .16 .11'>/>
        </Appearance>
      </Shape>
      <Transform translation='0 4.5 0'>
        <Shape DEF='koruna'>
          <Sphere radius='3'>/>
          <Appearance>
            <Material diffuseColor='0 1 0'>/>
          </Appearance>
        </Shape>
      </Transform>
    </Group>
  </Scene>
</X3D>
<!--
Index for DEF nodes: kmen, koruna, strom
-->
  <!-- Tag color codes: <Node DEF='idName' attribute='value'> -->

```



Obr. 3.5: Jednoduchý svět s definicí komponent k profilu Core – zdrojový kód a zobrazení scény

Komponenty

Součástí X3D specifikace je 34 komponent. V následujících 2 podkapitolách budou popsány nejdůležitější součásti jazyka X3D a speciálně komponenta Geospatial (seznam všech komponent viz tab. 3.2).

3.6.1 Základní komponenty

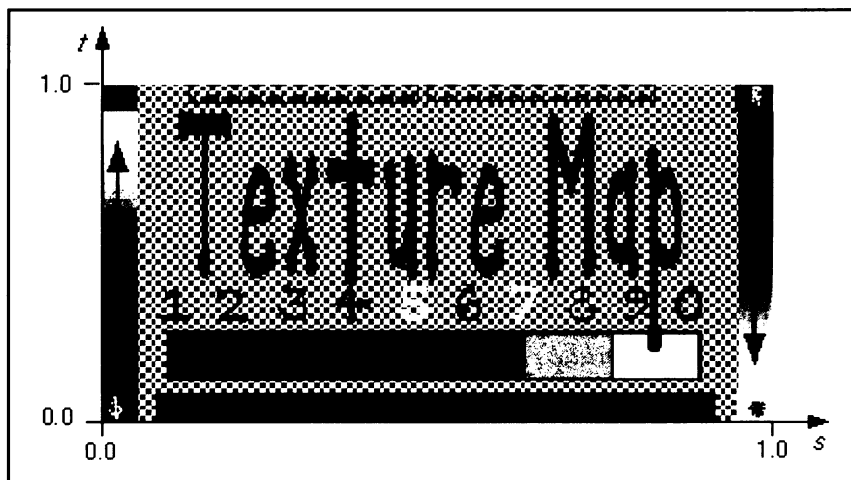
Základní funkční jednotkou X3D runtime systému je komponenta `Core` (jádro). Obsahuje několik abstraktních uzlů, které se přímo nepodílejí na tvorbě objektů scény, pouze jsou pomocí nich definovány veškeré funkce a vlastnosti celého X3D standardu. Podpora této komponenty alespoň na základní úrovni je nezbytnou podmínkou užití dalších komponent.

V následujícím textu budou popsány vybrané komponenty, které jsou dle mého názoru nejdůležitější při tvorbě virtuálního světa. Pozornost je kladena především na uzly, které slouží k zobrazení a popisu zemského povrchu – tedy na uzly, které mohou být nejvíce využity v kartografii.

- **SHAPE COMPONENT** – Komponenta nezbytná pro vykreslení jakéhokoli viditelného útvaru. Vše co má být zobrazeno browserem (výjimku tvoří uzly pozadí – viz komponenta `Environmental Effects`), musí mít jako rodiče uzel `Shape` (tvar). Ten však může pojmout pouze jeden uzel pro popis geometrie. Potomkem uzlu `Shape` může být dále uzel `Appearance`, který definuje vzhled a další optické vlastnosti tělesa (barvu, odrazivost světla, průhlednost, texturu).
- **GEOMETRY 3D COMPONENT** – Všechny 3D objekty jsou definovány touto komponentou. Obsahuje uzly pro tvorbu kvádrů (`Box`), kuželu (`Cone`), válce (`Cylinder`), koule (`Sphere`), výškové mapy (`ElevationGrid`), množiny ploch (`IndexedFaceSet`) a opláštění (`Extrusion`). Uzly `ElevationGrid` a `IndexedFaceSet` jsou vhodné pro tvorbu 3D modelů území (viz také kapitola 6). Obsahují soubor souřadnic bodů (x, z) a jejich výšku (y -ovou souřadnici).
- **GEOMETRY 2D COMPONENT** – Komponenta `Geometry2D` definuje útvary zobrazené v rovině os X a Y (Z -ová souřadnice je tedy rovna nule). Lze vytvořit následující objekty: různé polylinie, oblouky, kružnice, čtyřúhelníky nebo množiny trojúhelníků či bodů.
- **TEXTURING COMPONENT** – Textury jsou definovány maticemi, které obsahují pole hodnot barev. Barva každého bodu textury může být složena z odstínů šedi nebo z RGB modelu barev, případně může být ještě definována sytost (`opacity`). Textury jsou nanášeny na virtuální objekt pomocí uzlů `ImageTexture`, `PixelTexture` a `MovieTexture` - je tedy možné použít jako texturu i krátký video záznam, který bude na "otexturovaném" objektu přehráván. Podporovanými formáty souborů pro mapování textur jsou PNG, JPEG, GIF a MPEG.

Souřadnicový systém textury

Mapované textury jsou definovány dvourozměrným souřadnicovým systémem (s, t), viz obrázek 3.6. Jeho počátek je v levém dolním pixelu textury - tedy $p = [0,0]$. Jedná se o kartézský systém souřadnic – osa X směřuje doprava, osa Y nahoru.



Obr. 3.6: Souřadnicový systém textury (URL 13)

Nanášení textury na jednoduché objekty

Na základní 3D tělesa (válec, koule, kvádr, kužel) je mapování textury jednoznačně určeno v X3D specifikaci. Je také možné nanést jednu texturu na objekt opakovaně vedle sebe nebo ji posunout či potočit. K tomu slouží uzel `TextureTransform`.

Mapování textury na objekty se složitější geometrií

Mapování je složitější zejména u uzlu `IndexedFaceSet` nebo `Extrusion`. Používá se pak soubor „řídících“ dvourozměrných souřadnic uložených v uzlu `TextureCoordinate` nebo `TextureCoordinateGenerator`.

Multitexturing

Jazyk X3D oproti VRML umožňuje nanesení více textur na jeden objekt. Textury nemusí být stejného typu – může se jednat o sestavu uzlů `ImageTexture`, `PixelTexture` a `MovieTexture`. Všechny tyto uzly však musí být sdruženy v rodičovském uzlu `MultiTexture`. V jeho parametru `mode` definujeme, jak budou textury zkombinovány.

- **GROUPING COMPONENT** – Uzly patřící do komponenty `Grouping` nazýváme skupinovými uzly. Sdružují vždy několik potomků a definují jejich společné vlastnosti. Nejjednodušším uzlem je `Group`, který potomky pouze sdružuje, ale neurčuje již žádné společné chování.

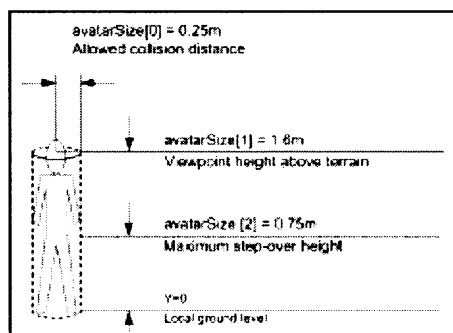
Velmi podobný je i uzel `StaticGroup`, který pouze zajišťuje to, že všichni jeho potomci nebude možné nijak změnit při prohlížení světa – nebudou se podílet na tvorbě ani realizaci událostí. Použití uzlu usnadní zobrazování scény prohlížečem, protože bude vědět, že potomci `StaticGroup` nebudou nijak manipulovány.

Uzel `Transform` již kromě sdružení uzlů poskytuje další funkci. Definuje posunutí, otočení a měřítko pro všechny své potomky vzhledem k rodičovskému uzlu.

Dalším skupinovým uzlem je `Switch` (přepínač). Jeho úkolem je zobrazit žádného nebo právě jednoho potomka ze seznamu zapsaného v parametru `choice`.

Ostatní skupinové uzly jsou popsány v komponentě `Networking` (uzly `Anchor` a `Inline`) a `Navigation` (uzly `Billboard`, `Collision` a `LOD`).

- **NAVIGATION COMPONENT** – Ve virtuálním světě je třeba definovat také chování uživatele (návštěvníka tohoto světa – avatara) – co mu bude dovoleno a co ne. Definujeme, jak se ve světě bude pohybovat, jak jej může prohlížet. K tomu slouží uzly komponenty `Navigation`. Prvním uzlem je `NavigationInfo`, pomocí kterého definujeme vlastnosti avatara. Jedná se například o výšku očí (`avatarSize[1]`) a nohou (`avatarSize[2]`), polovinu šířky těla (`avatarSize[0]`), dále určujeme způsob, jakým se uživatel ve světě pohybuje (chůze, létání nebo je pohyb zakázán – pouze prohlížení) a jak rychle (udává se v metrech za sekundu).

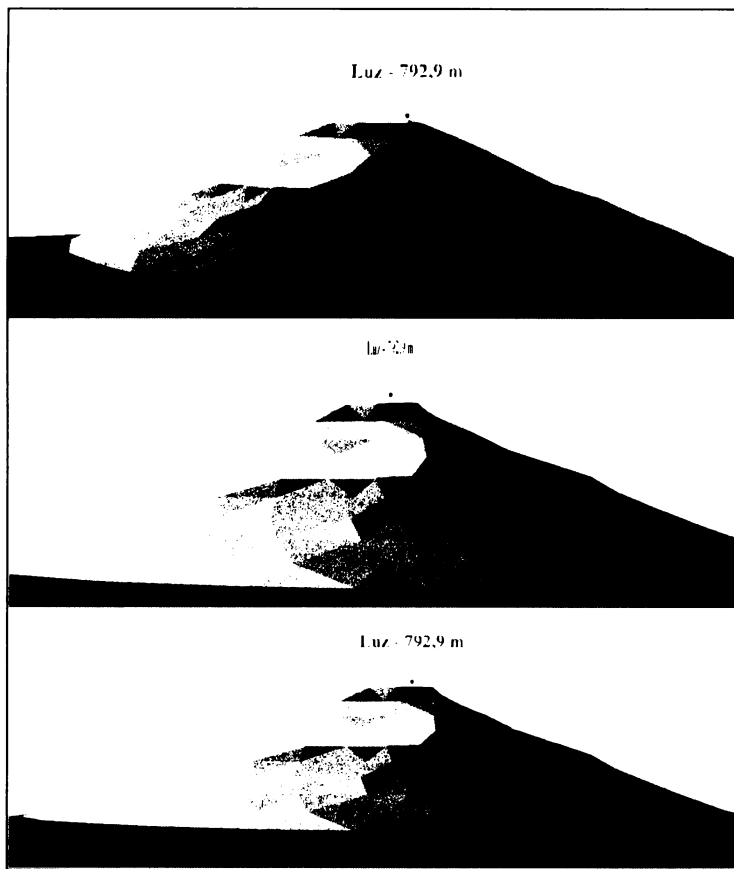


Obr. 3.7: Rozměry avatara se standardními hodnotami (Brutzman a Daly, 2007)

Rozměry avatara (obrázek 3.7) nejsou zbytečným luxusem, jak by se mohlo na první pohled zdát. Použijeme jich při jeho pohybu – avatar se nesmí přiblížit k předmětu blíže, než je hodnota `avatarSize[0]`, nedokáže projít dveřmi užšími než dvojnásobek této hodnoty. Také nemůže překročit překážku vyšší než je `avatarSize[2]`.

Všechna tato omezení platí pouze v případě, že jmenovanými předměty nebude avatar smět projít. To je možné zajistit tím, že objekty zařadíme do rodičovského uzlu `Collision`, který vyhodnocuje pohyb avatara vzhledem ke svým potomkům.

Dále je možné nadefinovat určitá výchozí stanoviště a směr pohledu z nich v uzlu `Viewpoint` nebo aby se objekty vykreslovaly stále čelem k avatarovi. Toho lze velmi dobře využít v kartografii – díky uzlu `Billboard` bude zajištěno, že popisky, které obsahuje, budou stále čitelné (viz obrázek 3.8).



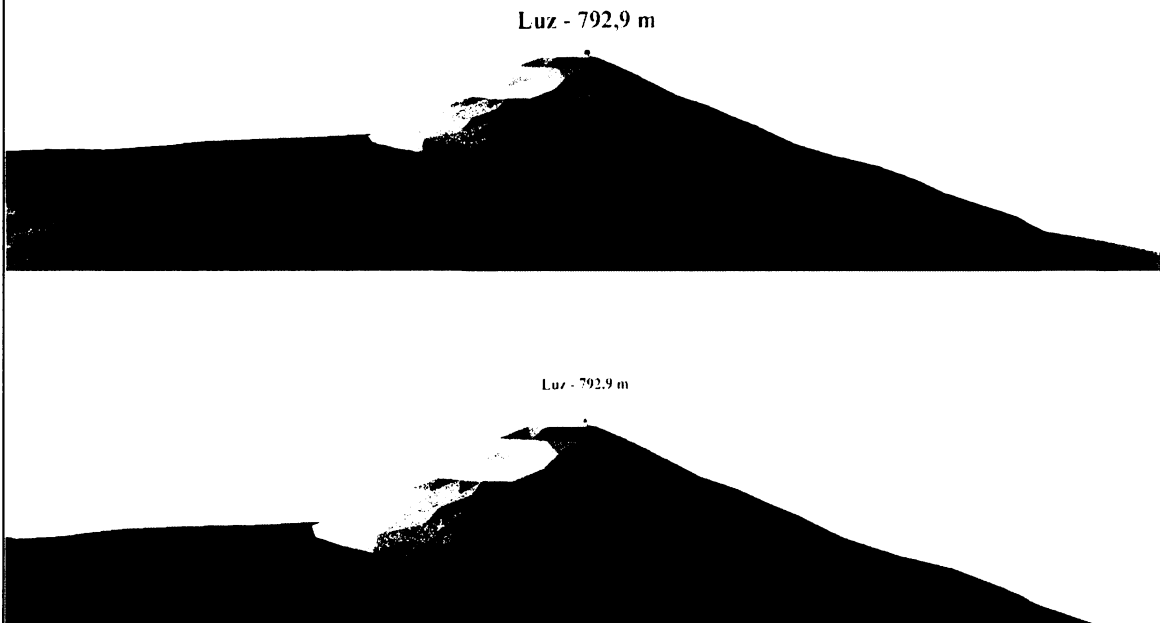
Obr. 3.8: Použití uzlu Billboard – Na prvním obrázku vidíme scénu X3D světa zepředu, popisek je tedy čitelný. Na druhém však scénu potočíme a jak je vidět, popisek již nevidíme přímo, ale z ostrého úhlu – je špatně čitelný. Použitím uzlu Billboard docílíme toho, že popisek budou stále čitelný nezávisle na pohybu avatara (ukázka zdrojového kódu viz obr. 3.9).

Dalším užitečným prvkem komponenty Navigation je uzel LOD (*Level Of Detail* – stupeň detailu), který umožňuje se vzrůstající vzdáleností pozorovatele nahradit objekt jednodušším tvarem. I tento uzel je prakticky využitelný v kartografii, neboť se jedná o jednoduchou metodu generalizace. Lze toho efektivně využít opět při popisování objektů. Pokud jsme daleko od popsaného objektu, potřebujeme, aby byl popisek dostatečně velký. Když se však přiblížíme stane se popisek nadměrným, je tedy vhodné ho zmenšit, aby byl stále čitelný a mohl by i překážet ve výhledu (viz obrázek 3.9).


```

<Transform translation='0 21 0'>
  <Billboard axisOfRotation='0 0 0'>
    <LOD range='2000.0'>
      <Shape>
        <Text string='Luz - 792,9 m'>
          <FontStyle justify="MIDDLE" size='15' style='BOLD' />
        </Text>
        <Appearance>
          <Material ambientIntensity='0.4' diffuseColor='0.7 0.35
            0' shininess='1' transparency='0.2' />
        </Appearance>
      </Shape>
      <Shape>
        <Text string='Luz - 792,9 m'>
          <FontStyle justify="MIDDLE" size='30' style='BOLD' />
        </Text>
        <Appearance>
          <Material ambientIntensity='0.4' diffuseColor='0.7 0.35
            0' shininess='1' transparency='0.2' />
        </Appearance>
      </Shape>
    </LOD>
  </Billboard>
</Transform>

```



Obr. 3.9: Použití uzlu LOD – jakmile překročíme mez vzdálenosti od popisku zapsanou v uzlu LOD (v tomto případě 2000 metrů), dojde k jeho zmenšení z velikosti písma definovanou v druhém uzlu Shape na velikost písma definovanou v prvním uzlu Shape. V ukázce zdrojového kódu pod obrázkem je naznačena také syntaxe uzlu Billboard z obrázku 3.8.

- **ENVIRONMENTAL EFFECTS** – Komponenta `Environmental Effects` (efekty prostředí) dovoluje určit barvu povrchu Země a oblohy (uzel `Background`), která je za 3D scénou – vytváří tak realistický pohled na celý model. Vložením textury do pozadí je možné vytvořit panoramata (`TextureBackground`), za nimiž bude přecházet barva horizontu v barvu oblohy. Taktéž je možné pomocí uzlu `Fog` vytvořit v X3D světě mlhu s různou hustotou – dojde tím ke snížení viditelnosti, tak jako v běžném životě (viz obrázek 3.10).



Obr. 3.10: Mlha v X3D světě – vytvořena uzlem `Fog`, maximální dohlednost je stanovena na 3000 metrů

- **NETWORKING COMPONENT** – Pro přístup k datům uložených v souborech nebo streamech `www` je nutná komponenta `Networking`. Tvoří ji uzly `Anchor`, `Inline` a `LoadSensor`. První uzel slouží k nahrání obsahu z URL po jeho aktivaci uživatelem. Potomci uzlu `Anchor` jsou citliví na stisk tlačítka myši, čímž dojde k aktivaci odkazu uloženého v parametru URL. Výsledkem může být teleportace na jiné místo v rámci X3D světa, přesun do jiného světa nebo otevření webové stránky. Uzel `Inline` slouží k vložení scény z webu do aktuální scény na dané místo. Poslední uzel, tedy `LoadSensor` sleduje úspěšné nahrávání dat z URL a může vyslat údaj s časem, kdy k nahrání došlo.
- **TIME COMPONENT** – Tato komponenta má na starosti veškeré operace závislé na čase, pokud je daný browser podporuje. Základní čas (tedy 0.0) je ekvivalentní k 00:00:00 GMT 1.1.1970. Jednotkou jsou sekundy, pokud je údaj záporný, jedná se o čas před rokem 1970. V komponentě je definován uzel `TimeSensor`, který je zodpovědný za spojení X3D světa s časovou základnou prohlížeče – jeho prostřednictvím browser generuje události.

3.6.2 Komponenta Geospatial

Geoprostorová komponenta je určena pro geografická data, a je proto z hlediska geoinformatiky a kartografie stěžejní součástí jazyka X3D. Popisuje, jak sdružit geokódovaná data s prvky X3D scény. Dále specifikuje uzly určené pro geografické a geoprostorové aplikace. Tyto jsou podporovány jak schopností vložit souřadnicový systém do určitých X3D uzlů, tak vysoce přesným modelováním, a schopností vypořádat se s obrovskými databázemi terénních dat.

Komponenta je odvozena ze standardu GeoVRML, který vznikl již od roku 1998 pod záštitou *Geospatial Working Group*. Dále je vyvíjena pracovní skupinou *X3D Earth*, která si klade za cíl zjednodušit a rozšířit užití georeferencovaných dat společně s jazykem X3D.

Všechny uzly, které náleží do této komponenty, mají proměnnou Geosystem, obsahující informaci o souřadnicovém systému. Geosystem je proměnná typu MFString (*Multiple Field String*), to znamená textový řetězec s možností zapsat více atributů. Souřadnice lze tedy určit s větší přesností. Podporované systémy podle X3D standardu jsou *Geodetic* (GD), *Geocentric* (GC) a *Universal Transverse Mercator* (UTM).

Geodetic (geographic) system

Jedná se o systém zeměpisných souřadnic. Je definován zeměpisnou (resp. geodetickou) šířkou $\varphi = (-90^\circ; 90^\circ)$ a délkou $\lambda = (-180^\circ; 180^\circ)$ nebo $\lambda = (0^\circ; 360^\circ)$, přičemž 0° znamená vždy hlavní poledník. Nadmořská výška se odečítá nad stanoveným elipsoidem v metrech. V proměnné Geosystem se zapisuje zkratkou GD, je možno určit ještě uvažovaný elipsoid resp. geoid (např. 'WE' pro elipsoid WGS84).

Geocentrický systém souřadnic

Geocentrické souřadnice jsou pevně svázány s elipsoidem WGS84, žádné další elipsoidy ani atributy nejsou podporovány. Jsou určeny hodnotami X, Y, Z, což jsou vzdálenosti v metrech od geocentra.

UTM

Systém UTM vyžaduje mimo jiné určení zóny, ve které se pohybujeme (pro ČR je to Z33 a Z34). Samotné souřadnice („*northing*“, „*easting*“) se odečítají v metrech od vztažného bodu každé zóny, což je průsečík základního poledníku a rovníku. Y-ová souřadnice se odečítá nad určeným elipsoidem taktéž v metrech. Standardně je nastaven elipsoid WGS84, ale X3D nabízí 22 dalších elipsoidů a jeden geoid.

Uzly komponenty Geospatial se velmi podobají uzlům z ostatních komponent jazyka X3D. Kromě předpony „Geo“ se samozřejmě odlišují svými specifickými vlastnostmi. Přehled deseti uzlů s jejich vlastnostmi podle standardu ISO/IEC 19975 je podán zde:

- **Geocoordinate** – Uzel velmi podobný uzlu `Coordinate`, slouží k uložení seznamu souřadnic, v případě `Geocoordinate` tedy k uložení souřadnic referencovaných.

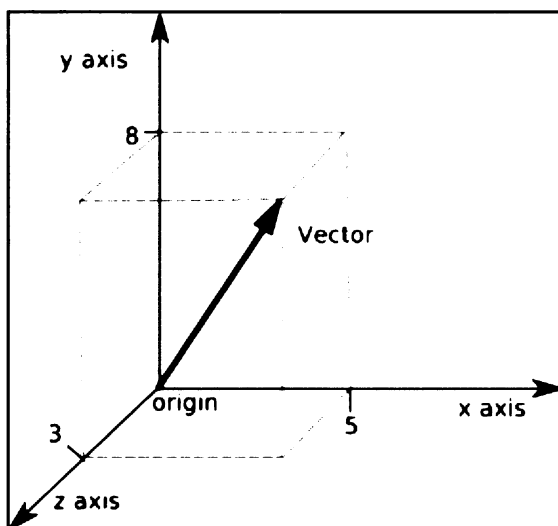
Geocoordinate se používá při práci s objekty s geometrií založenou na vrcholech (*vertex-based geometry* - jako jsou IndexedLineSet, IndexedFaceSet nebo IndexedPointSet), pokud chceme, aby tyto běžné X3D uzly obsahovaly georeferencované souřadnice.

- **GeoElevationGrid** – Uzel je velmi efektivním nástrojem budování výškových polí. Specifikuje pravidelnou síť (mřížku) bodů – ve směru osy x a osy z definujeme, kolik bodů bude součástí modelu (xDimension a zDimension) a jaké budou rozestupy mezi nimi (xSpacing a zSpacing). Pracujeme-li v geodetickém systému jsou to vzdálenosti ve stupních zeměpisné délky nebo šířky. V systému UTM představují vzdálenosti v metrech (*northing* a *easting*). Výšky nad určeným elipsoidem se pak stanovují vždy v metrech. Uzel obsahuje také proměnnou yScale, kterou je možno definovat převýšení modelu terénu oproti skutečnosti. Standardně je nastaven na hodnotu 1, výšky tudíž odpovídají skutečnosti.



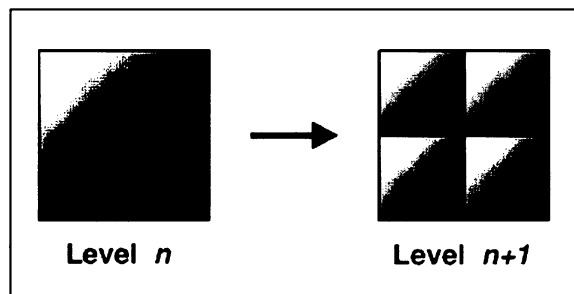
Obr. 3.11: Terén vymodelovaný uzlem ElevationGrid – třikrát převýšený oproti skutečnosti

- Geolocation** – Pokud by při tvorbě referencovaných modelů bylo možné použít pouze uzly komponenty `Geospatial`, byly by možnosti velmi omezené – kromě vymodelovaného terénu by v X3D světě nebylo prakticky nic dalšího. Uzel `Geolocation` proto umožňuje umístit jakýkoli standardní X3D objekt do těchto modelů. Jedná se o sdružující uzel podobný uzlu `Transform`, ale `Geolocation` udává vždy polohu absolutní nikoli relativní polohu (vzhledem k poloze rodičovského uzlu) jako uzel `Transform`. Všechny uzly potomků budou vycházet ze zadaných prostorových souřadnic. Jakmile takto zreferencujeme X3D model, změní se i orientace os. Z orientace X3D světa, tedy osa Y nahoru, osa X doprava a osa Z ven z obrazovky (viz obr. 3.12), se změní na tuto: osa Y má směr jako normála k elipsoidu, osa X směřuje k východu a osa Z od severu k jihu.



Obr. 3.12: Orientace os X3D světa (URL 5)

- GeoLOD** - Uzel poskytuje podobnou možnost jako `LOD`, je ovšem specializovaný na terén. Je to sdružující uzel, který specifikuje dva stupně zobrazení terénu. Pokud je uživatel dostatečně vzdálený od terénu, pak je zobrazen pouze hrubý (generalizovaný) obraz území. Jakmile pozorovatel překročí mez definovanou v parametru `range`, je jednoduchá geometrie nahrazena obsahem čtyř souborů definovaných v proměnných `ChildUrl` (viz obrázek č. 3.2). Komponenta `Geospatial` má za cíl zobrazení přesných a také rozsáhlých geografických dat - `GeoLOD` velmi přispívá ke snížení objemu vykreslovaných dat a tím i ke zrychlení načítání scény a práce v ní.



Obr. 3.13: Princip funkce uzlu GeoLOD (URL 13)

- **GeoMetadata** – Podobá se uzlu WorldInfo, podává souhrnné informace (název, autor, souřadnicový systém, elipsoid, rozsah světa, rozlišení, apod.) a seznam uzlů, ke kterým se tyto informace vztahují.
- **GeoOrigin** – Tento uzel se efektivně vypořádává s problémem vysoce přesných dat na lokální úrovni. X3D využívá při práci 32bitová reálná čísla (*single precision*), která však nepostačují na zobrazení celé planety Země a zároveň jemných detailů na lokální úrovni. Uzlem GeoOrigin se zavádí lokální souřadnicová síť, podle které je pak celý model referencován – jde tedy o převod geografických souřadnic na lokální kartézské souřadnice. Je to z důvodu vyšší přesnosti vykreslení dat na místní úrovni. Dojde k přetransformování souřadnic na jednodušší a „menší čísla“, aby bylo možné přiřadit do této hodnoty více desetinných míst a tím docílit požadované přesnosti.
- **GeoPositionInterpolator** – Tento interpolátor pracuje na stejném principu jako PositionInterpolator, tedy ve spolupráci s časovačem mění polohu pozorovatele na základě zadaných geografických souřadnic a času.
- **GeoProximitySensor** – Uzel generuje události, jakmile pozorovatel vstoupí, opustí nebo se pohybuje v určitém prostoru (definovaném pomyslným kvádrem). Proměnná geoCoord_changed generuje událost, která vrací údaj o poloze pozorovatele v souřadnicovém systému
- **GeoTouchSensor** – Tento senzor zaznamenává umístění polohovacího zařízení. Senzor se aktivuje v případě, že uživatel ukáže na geometrii objektu, který je potomkem uzlu GeoTouchSensor. Následně senzor vysílá událost, která navrácí informaci o poloze objektu uchovanou v parametrech uzlu. S využitím skriptovacího jazyka je možné tuto hodnotu zobrazit například pomocí uzlu text.

- **GeoViewPoint** – Podobně jako `Viewpoint` definuje stanoviště a směr pohledu na X3D scénu, jen je to v rámci geografického souřadnicového systému. Pro každý takovýto uzel (stanoviště) můžeme nastavit typ prohlížení světa pomocí proměnné `NavType` (přebírá tak funkci uzlu `NavigationInfo` z klasického X3D, který však může být v souboru jen jeden). `GeoViewPoint` také řeší problém vznikající při pohybu ve vysokých nadmořských výškách – pokud by se uživatel pohyboval stejnou rychlostí jako na zemském povrchu, byla by tato rychlost velmi malá pro plynulý pohyb a pozorování. Rychlost pohybu proto lineárně roste s výškou avatara nad elipsoidem.

Kapitola 4

SROVNÁNÍ JAZYKA X3D S JAZYKY VRML A GEOVRML

Jazyk X3D, jak už bylo řečeno výše, je nástupcem jazyka VRML. Přesto (nebo právě proto) se od sebe výrazně odlišují. Tyto rozdíly, stejně jako vztah mezi X3D a GeoVRML, budou popsány blíže v této kapitole.

4.1 VRML nebo X3D?

O jazyku X3D by se dalo tvrdit, že jelikož je novější, bude i vyspělejší. Přesto se v internetových diskusích často objevují otázky, proč X3D vzniklo, zda-li je opravdu lepší a má-li cenu začít využívat tento jazyk na úkor VRML. Konsorcium Web3D podává 10 hlavních důvodů, proč „přestup“ mezi těmito standardy učinit.

- **Zpětná kompatibilita** – Jedním ze způsobů kódování jazyka X3D je klasické VRML kódování (.x3dv), které je schopno přehrát jakýkoli VRML 2.0 svět, který neobsahuje skripty. Žádná z technologií nebyla ve vývoji ztracena, naopak dochází ke stálému vývoji. Ten však vyústí v problémy kompatibility mezi jazyky a je třeba ji neustále zajišťovat v co možná nejvyšší míře.
- **XML kódování pro hladkou integraci s dalšími aplikacemi** – XML se rychle stává jazykem pro snadné ovládání a propojení databází. Kódování tak zajišťuje snadnější správu, řízení, kontrolu a výměnu dat.
- **Podpora browserů** – Jeden z hlavních problémů VRML je tímto u X3D vyřešen. VRML postrádalo dostatečnou specifikaci chování jazyka při prohlížení světa, proto při zobrazení různými *browsersy* mohla scéna vypadat a reagovat na chování uživatele odlišně. U X3D je kladen velký důraz na to, aby specifikace jazyka byla podrobná a přesná.
- **X3D je rozdělen do komponent** – To umožňuje přizpůsobit profily, aby co nejvíce vyhovovaly tvůrcům 3D světů (zejména v komerční sféře).

- **Vytváření X3D scén pro jakýkoli prohlížeč je konzistentní a jednodušší** – Rozhraní pro ovládání X3D scény (*SAI – Scene Authoring Interface*) je podporováno interními i externími skriptovacími jazyky. X3D SAI specifikuje jednotný soubor obsahující přehled služeb, který pak může být využit jakýmkoli skriptovacím či programovacím jazykem. Rozhraní tudíž, nezávisle na použitém programovacím jazyku, pracuje konzistentně.
- **X3D je bohatší** – Velké množství prvků požadovaných po VRML bylo v X3D poskytnuto a integrováno do architektury standardu. Je možné si tedy X3D představit jako VRML 3. Novými prvky či funkcemi jsou například multitexturování (položení více textur na 3D model), 4-složkové barvy (možno definovat *alpha-opacity* = sytost), 2D uzly nebo lepší práce s pozadím (průhlednost, vrstvy).
- **X3D je pravidelně rozšiřováno a doplňováno** – Neustále jsou vyvíjeny nové nástroje pro lepší funkcionalitu a opravují se různé anomálie ve specifikaci. Podle Web3D konsorcia je o mnoho jednodušší jazyk updatovat a přidávat nejrůznější prvky.
- **X3D aplikace mohou být považovány za spolehlivé** – Konsorcium Web3D vyvíjí konformační program, který poskytuje tzv. *service marks*, jakési servisní značky, které slouží k přizpůsobení X3D softwaru.
- **X3D aplikace se zpřístupněnými zdrojovými kódy je tímto dostupná pro vývojáře**
- **Binární formát nabízí šifrování a kompresi** – Komprimované binární kódování je stále v rozvoji. Dovoluje zašifrovat obsah scény a snížit objem přenášených dat (mnohem efektivněji než gzip u jazyka VRML). Analýza syntaxe a nahrávání je běžně o 300-500 % rychlejší.

X3D tedy oproti VRML zavádí další typy kódování, čímž se snaží o lepší integraci dat v prostředí internetu, rychlejší nahrávání scény a menší objem dat s lepším grafickým výsledkem. Nesporným rozdílem je také struktura a obsah X3D standardu, který obsahuje velké množství nových prvků, přičemž všechny jsou organizovány do komponent. Kromě těchto odlišností funkčních existují také spíše syntaktické (gramatické) rozdíly mezi oběma standardy. Některé již byly v práci zmíněny – jedná se například o změnu názvu pro vstupní proměnné (viz tab. 3.1) a o odlišnosti ve struktuře souboru. V hlavičce souboru jazyka VRML se definoval pouze verze standardu a typ kódování, kdežto v X3D hlavičce definujeme také profil, komponenty nebo metadata (viz kapitola 3.4). Poslední odlišností je použití příkazu `Externproto`. V jazyce VRML byl běžně užíván ke specifikaci extenzí VRML standardu, toto je v X3D zajištěno definováním komponent v hlavičce souboru a `Externproto` tak slouží pouze k nahrávání objektů z jiných světů (syntaxe viz kapitola 3.4).

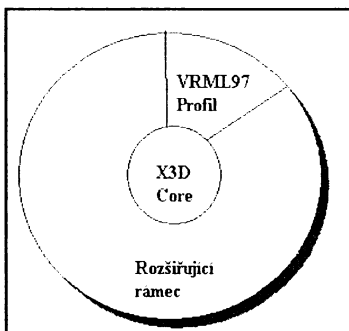
4.2 X3D versus GeoVRML

Vztah mezi GeoVRML a X3D je velmi jednoduchý. Prakticky celý jazyk GeoVRML je obsahem komponenty Geospatial standardu X3D. Oba jazyky se liší v pouhých dvou uzlech, jeden je součástí pouze GeoVRML (InlineLoadControl), druhý patří X3D (GeoProximitySensor – viz komponenta Geospatial). Uzel InlineLoadControl zajišťuje nahrání VRML scény z webu a podle jeho parametrů může být svět zobrazen hned, nebo až po aktivaci uživatelem.

GeoVRML je velmi efektivní nástroj pro správu přesných a rozsáhlých geoprostorových dat, ale pokud chceme zobrazit kromě modelu terénu ještě jiné virtuální objekty nebo využít rozličné dynamické uzly, s uzly GeoVRML nevystačíme.

4.3 Shrnutí možností jazyků X3D, VRML a GEOVRML

Porovnáme-li možnosti všech tří zmiňovaných jazyků, pak nejlepším nástrojem pro tvorbu 3D světů je jednoznačně X3D. A to i vzhledem k tomu, že VRML je dnes jen malou podmnožinou X3D (viz obrázek č. 4.1.) a neposkytuje žádné funkce, kterých by novější standard nebyl schopen. Čtrnáct ze 34 komponent jazyka X3D není podporováno profilem Immersive, který již sám o sobě je drobnou nadstavbou jazyka VRML.



Obr. 4.1: Architektura standardu X3D (Tolar, 2001)

Jazyk VRML je podle některých autorů dnes již mrtvý. Mnohým uživatelům však plně postačuje při tvorbě 3D scén, je pro ně výhodnější pro menší množství nástrojů. Jazyk VRML již není sám o sobě zdokonalován, nicméně si musíme uvědomit, že právě z tohoto standardu vznikl jazyk X3D. Můžeme tedy říci, že vývoj jazyka VRML pokračuje v jeho nové podobě – napovídá tomu i číslování verzí standardu X3D, které začalo u verze 3.0. Zdokonalování GeoVRML sice stále pokračuje, ale děje se tomu tak pod záštitou Web3D konsorcia a jeho pracovní skupiny X3D Earth. Standard X3D tedy zastřešuje oba zmíněné jazyky pro popis virtuálních scén.

Kapitola 5

VIZUALIZACE DAT ZA POUŽITÍ JAZYKA X3D

Z popisu jazyka X3D je zřejmé, že díky jeho velkému množství nástrojů ve spojení s komponentou *Geospatial* nabízí zajímavé možnosti ve vizualizaci geodat. V následující kapitole budou zmíněny GIS systémy podporující export 3D scén, software pro editaci X3D světů a software pro jejich prohlížení.

5.1 Softwarová podpora X3D formátu

5.1.1 Export z GIS systémů

Přestože je jazyk X3D na scéně 3D vizualizace již několik let, žádný z GIS systémů pracujících s trojrozměrnými modely terénu zatím neumí exportovat scénu do X3D formátu. Mezi tyto „2,5D GISy“ patří podle Zlatanové (2002) *ArcView 3D Analyst* společnosti ESRI, *Imagine VirtualGIS* (ERDAS), *GeoMedia* (Intergraph Inc.), *Geomatica* (PCI Geomatics). Z nich však pouze první dva jmenované podporují alespoň export do VRML97. Díky tomu, že jazyk X3D je VRML kompatibilní, je možné obsah souboru .wrl velmi snadno konvertovat do .x3d pomocí nástroje *VRML to X3D translator* dostupného na stránkách konsorcia Web3D.

5.1.2 Tvorba a prohlížení souborů ve formátu X3D

Pro tvůrce X3D scén je bezpochyby nejvýhodnější pracovat v některém z mnoha editorů pro tento účel vyvinutých. Namísto zdlouhavého psaní celého kódu tak uživateli „stačí“ vkládat do hierarchie scény požadované uzly, definovat jejich vlastnosti a vztahy mezi nimi. Mezi tyto editory patří komerční produkty jako např. Octaga Producer, SwirlX3D, NSS X-modeler, BS GeoFormer, ale také volně dostupné produkty jako je Flux Studio, Blender a především X3D-Edit vyvíjený *Web3D* konsorciem.

K prohlížení X3D světů je nutné mít nainstalovaný potřebný software, tedy *browser* (samostatný program nebo plugin do internetového prohlížeče). Ovšem ne všechny prohlížeče podporují X3D plně. Jelikož je X3D rozčleněn do komponentové hierarchie, tak není stoprocentní

podpora standardu nutná. Vyšší profily proto bývají většinou podporovány jen v komerčních verzích prohlížečů. Přehled hlavních browserů pracujících s jazykem X3D je uveden v tabulce 5.1.

Tabulka č. 5.1.: Přehled hlavních X3D browserů

Software	Operační systém	Internetový prohlížeč pro plugin	Nejvyšší podporovaný profil	Komponenta Geospatial
FLUX PLAYER 2.0	Windows	IE, Mozilla	Immersive	NE
SWIRLX3D	Windows	IE, Mozilla	?	NE
FREEWRL	Linux, MAC	Netscape	Interactive	částečně
OCTAGA PLAYER	Windows, Linux	IE, Mozilla, Opera	Full	NE
BS CONTACT	Windows	IE, Mozilla, Opera, Netscape	?	ANO (BS CONTACT GEO)
OPEN WRL	Windows, MAC, Linux	IE, Mozilla, Opera, Netscape	Full	NE
XJ3D	Windows, MAC, Linux	IE	Full	ANO

Z tabulky vyplývá, že některé prohlížeče X3D světa podporují Full profile. Bohužel to jsou většinou jejich komerční verze a ani tak nepodporují všechny uzly X3D standardu. Z nekomerčních browserů podporuje úplný profil XJ3D, který zobrazuje také většinu komponent a uzlů standardu včetně geoprostorových dat. Nicméně na vývoji prohlížečů se stále pracuje, definují se další uzly, které bude možné zobrazit, a tak browserů s plnou podporou standardu snad bude přibývat.

5.2 Aplikace jazyka X3D v geoinformaticce

Geografie, jako věda zabývající se planetou Zemí a procesy na ní probíhající, by vskutku mohla využít širokých možností jazyka X3D. Uzly `ElevationGrid` (případně `GeoElevationGrid`) nebo `IndexedFaceSet` jsou schopny velmi přesného znázornění Zemského povrchu, zvláště když některé 2,5D GIS jsou schopny exportovat scénu alespoň do VRML. S pomocí X3D editoru můžeme namapovat na model texturu, případně vytvořit další kartografické značky a popisky, aby vznikl plnohodnotný výstup. Geograf pak může se 3D světem různě manipulovat, otáčet jej, prohlížet ze všech stran, a získat tak komplexnější představu o území.

Jazyk X3D poskytuje výborné prostředky k prezentaci dat prostřednictvím internetu, pro geoinformatiky se tak může stát využívaným formátem výstupu trojrozměrných geodat. Největší možnost aplikaci jazyka spatřuji při tvorbě informačních portálů měst, regionů, států či jiných zajímavých lokalit. Účely pro jejich tvorbu mohou být různé – od prezentace turistických destinací přes výukové programy pro žáky základních a středních škol až k informačním systémům správ CHKO a NP. Uplatnění nachází také v územním plánování. X3D umožňuje vytváření virtuálních prohlídek měst či památek, prognózování chování počasí či jiných přírodních dějů, zpětné modelování přírodních katastrof nebo modelování dopravních situací na přetížených dopravních osách a v centrech měst.

Další možnosti využití jazyka X3D spočívají jeho aplikaci při tvorbě mapových portálů. V dnešní době na internetu převažují mapy dvourozměrné, trojrozměrné se objevují jen sporadicky. Jedná se například o 3D Interaktivní mapu ČR (URL 1) nebo známou aplikaci Google Earth. Dalším příkladem je projekt virtuální staré Prahy vyvíjený na ČVUT, model ZČU v Plzni nebo modely měst (např. Teplice, Telč, Přerov). S postupem času se pořadí pravděpodobně vymění a dvourozměrné mapy budou k dispozici spíše pro méně výkonné počítače s pomalým připojením k internetu.

Připojením vysoce kvalitních družicových či leteckých snímků a z nich získaných informací o terénu s jazykem X3D by mohlo přinést věrné a přesné vymodelování zemského povrchu prezentované na internetu, v mobilních telefonech, PDA nebo GPS.

Kapitola 6

ZHOTOVENÍ 3D MODELU TERÉNU

Praktickou část bakalářské práce zahrnuje tvorba 3D modelu terénu s využitím jazyka X3D. Po prozkoumání možností jazyka jsem se rozhodl pro tvorbu modelů dvou – prvního s využitím standardních uzlů X3D a druhého s využitím geoprostorové komponenty. Zájmovou oblast pro oba modely terénu tvoří území Lužických hor, oblast se nachází v německém pohraničí v severní části okresu Česká Lípa. Na SZ zasahuje drobně také do okresu Děčín.

Vstupní data pro tvorbu X3D scény v měřítku 1:50 000 poskytla firma DPA s.r.o. Data byla uložena ve formátu ESRI shapefile. Data byla původně v souřadnicovém systému S-JTSK, výškový systém je baltický - po vyrovnání (ve zkratce BpV). Vzhledem k tomu, že geoprostorová komponenta nepodporuje souřadnicový systém S-JTSK, převedl jsem data v programu ArcGis 9.1 do systému UTM (konkrétně zóna Z33 se základním poledníkem 15 ° východní délky).

6.1 Vymezení zájmového území

Zájmové území použité v prvním a druhém modelu se drobně liší. Pro první model bylo využito území o rozloze 30 km². Pro druhý model bylo nutné území trochu oříznout, aby v systému UTM mělo pravouhlý tvar. To bylo nutné z důvodu využití uzlu GeoElevationGrid. Velikost území se tím zmenšila na 21,5 km².

Tab. 6.1: Souřadnice okrajových bodů zájmové oblasti prvního modelu území

První model	UTM (m)		Zeměpisné souřadnice	
	X	Y	φ	λ
JZ	5 628 461,247	469 933,389	50° 48' 25,57"	14° 34' 23,81"
JV	5 629 285,105	476 280,480	50° 48' 53,31"	14° 39' 47,90"
SV	5 633 930,410	475 675,892	50° 51' 23,60"	14° 39' 15,90"
SZ	5 633 106,591	469 331,585	50° 50' 55,84"	14° 33' 51,67"

Druhý model	UTM (m)		Zeměpisné souřadnice	
	X	Y	S šířka	V délka
JZ	5 629 300	470 000	50° 48' 52,74"	14° 34' 26,97"
JV	5 629 300	475 500	50° 48' 53,67"	14° 39' 08,02"
SV	5 633 200	475 500	50° 50' 59,93"	14° 39' 07,08"
SZ	5 633 200	470 000	50° 50' 58,99"	14° 34' 25,82"

6.2 Model vytvořený standardními nástroji X3D

První model byl vytvořen pomocí „běžných“ nástrojů X3D, tedy bez využití komponenty Geospatial. Z toho důvodu je také scéna zasazena do souřadnicového systému jazyka X3D. Střed modelu odpovídá nulovým hodnotám X-ové a Z-ové souřadnice. Osa X směřuje doprava, osa Y nahoru a osa Z ven z obrazovky.

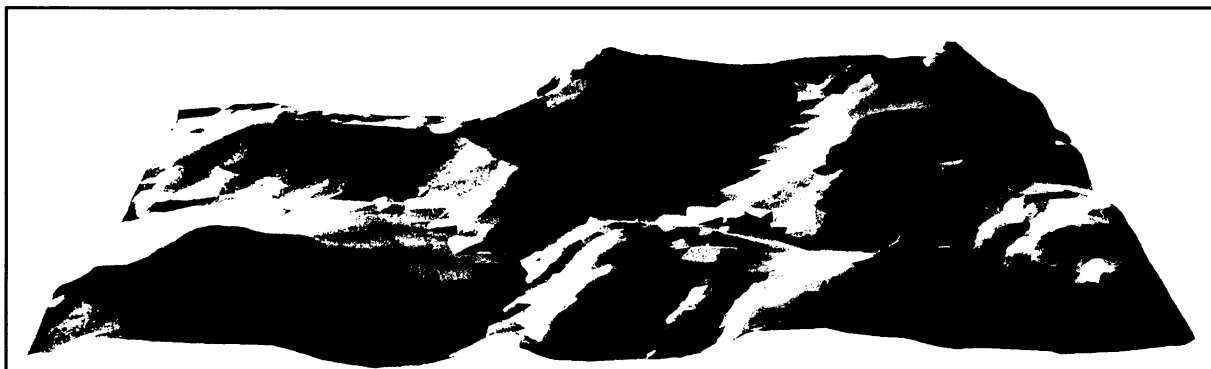
6.2.1 Tvorba digitálního modelu terénu

Digitální model terénu (DMT) byl vytvořen v programu ArcGis v modulu ArcMap z vrstevnice se základním intervalem 10 m a výškových bodů uložených ve formátu SHP. Vrstevnice v sobě neobsahovaly údaj o nadmořské výšce, bylo proto nutné tyto údaje doplnit do atributové tabulky vrstvy.

Vlastní model terénu byl vytvořen pomocí nástroje *Create TIN from features* ze sady nástrojů *3D Analyst Tools*. *TIN (Triangle Irregular Network)* je síť bodů, které jsou spojeny hranami tak, že tvoří nepravidelné trojúhelníky – vznikne tedy trojúhelníkový model reliéfu (URL 2). Celkově se model skládá z 9 927 bodů, které jsou spojeny do 19 646 trojúhelníků. Minimální nadmořská výška modelu je 420 metrů, maximální výška dosahuje 792,9 m. V modulu ArcScene byl model dvakrát převýšen a byla na něj nanесena barevná hypsometrie s intervalem 50-ti metrů.

6.2.2 Export scény do X3D formátu

Formát X3D bohužel stále nemá dostatečnou podporu GIS softwarů, a proto není možné 3D model exportovat z ArcGis přímo do X3D (URL 11). Naštěstí modul ArcScene nabízí možnost exportování 3D dat do formátu VRML. Vzhledem k provázanosti obou standardů není konverze mezi formáty složitá. Lze například použít konvertoru, který nabízí *Web3D konsortium* na svých stránkách (URL 13). Další možností je importovat obsah VRML souboru přímo do editoru jazyka X3D. Pro svůj model terénu jsem využil metody druhé a importoval VRML soubor pomocí programu *X3D-Edit*. Exportovaná scéna viz obr. 6.1.



Obr. 6.1: Model území exportovaný z modulu ArcScene

6.2.3 Editace virtuální scény

Virtuální scéna modelu území byla do finální podoby editována v programu *X3D-Edit*. Software vyvíjí konsorciem *Web3D* a je volně ke stažení na jeho webových stránkách (URL 13).

Výškopis

Ve virtuální scéně Lužických hor je pro znázornění výškopisu kromě digitálního modelu terénu použito barevné hypsometrie a výškových bodů. DMT je v X3D souboru zapsán uzlem IndexedFaceSet. Výškovými body jsou označeny vrcholy hor. V X3D světě jsou znázorněny pomocí koule (uzel Sphere). Všechny uzly výškových bodů jsou potomky uzlu LOD, proto se body postupně zmenšují, když se avatar přibližuje.

Turistické trasy

Turistické trasy byly exportovány a převedeny do X3D formátu stejně jako model terénu. Všechny jsou uloženy v samostatném souboru a tvoří je uzlu IndexedLineSet. Do virtuální scény byly nahrány pomocí uzlu Inline.

Ostatní polohopisné prvky

Další prvky modelu jsou hlavní komunikace, důležité vodní toky, vodní nádrže či zastavěná plocha. Do virtuální scény byl buď naimportovány nebo byly vytvořeny manuálně v programu *X3D-Edit*.

Popis

Všechny objekty ve virtuální scéně jsou popsány pomocí uzlu Text. Do jeho parametru String je možné zapsat jakkoli dlouhý textový řetězec. Atributy textu (výška, duktus, zarovnání atd.) můžeme nadefinovat v uzlu FontStyle, který je potomkem uzlu Text (viz ukázka zdrojového kódu).


```

<Transform translation='0 0 0'>
  <Billboard axisOfRotation='0 0 0'>
    <Anchor description='Klikni pro informace o Luzi'
      url='file://c:/bakule/stranky/luz.htm'>
      <LOD range='2000.0, 4000, 6000.0, 8000, 10000'>
        <Shape>
          <Text string='Luz - 792,9 m'>
            <FontStyle justify='MIDDLE' size='11' style='BOLD' />
          </Text>
          <Appearance>
            <Material ambientIntensity='0.4' diffuseColor='0.7 0.35
              0' shininess='1' transparency='0.2' />
          </Appearance>
        </Shape>
      ...
    </Anchor>
  </Billboard>
</Transform>

```

Ukázka začlenění uzlu Text do scény

Všechny popisy jsou ve stromové hierarchii umístěny tak, že je ovlivňuje několik rodičovských uzlů. LOD zajišťuje generalizaci popisků. Díky uzlu Anchor jsou texty interaktivní – po jejich aktivování kliknutím jsme odkázáni na webovou stránku s informacemi. Ke stálému zobrazení popisů čelem k pozorovateli slouží uzel Billboard.

6.2.4 Začlenění do webových stránek

Virtuální scéna je zařazena do internetové stránky pro snazší přístup k informacím o popisované oblasti. Stránka je členěna na dva hlavní celky. V levé části je zobrazeno okno X3D pluginu (*Flux Player*) s virtuální scénou a nástroji pro pohyb ve scéně. Zde je ukázka html kódu pro vložení scény:

```
<embed src="scen.x3d" height="500" width="750">
```

V pravé části stránky se nacházejí informace o modelu terénu, o Lužických horách a odkazy na stránky s dalšími zajímavostmi. K editaci html stránek bylo využito *WYSIWIG* editoru *Nvu*.

6.3 Model vytvořený s využitím komponenty Geospatial

Při tvorbě druhé virtuální scény bylo snahou využít především uzly geoprostorové komponenty. Model je zasazený do souřadnicového systému UTM (zóna 33, severní polokoule, elipsoid WGS1984). Orientace os je odlišná oproti prvnímu modelu:

- osa X směřuje na sever
- osa Y je normálou k elipsoidu v daném bodě
- osa Z směřuje na východ

6.3.1 Tvorba digitálního modelu terénu

Mřížka výškového pole

Digitální model terénu byl vytvořen manuálně v programu *X3D-edit* pomocí uzlu *GeoElevationGrid*. Mřížka výškového pole je určena 40 body ve směru osy X a 56 body ve směru osy Z. Rozestupy mezi body jsou 100 metrů. Rozměr mřížky je tedy 3900 × 5500 metrů. Počáteční bod mřížky má souřadnice 5 629 300 m (*northing*) a 470 000 m (*easting*).

Další parametry uzlu GeoElevationGrid

V parametru *height* jsou zapsány nadmořské výšky bodů v odpovídajícím pořadí. Výšky byly odhadnuty v programu *ArcMap* podle vrstevnic. V parametru *yScale* jsem definoval trojnásobné převýšení modelu oproti skutečnosti. Dalším specifikem uzlu je možnost definovat vyhlazování hran. V parametru *creaseAngle* totiž určujeme velikost úhlu (v radiánech) mezi normálami sousedních polygonů. Pokud bude úhel mezi normálami nižší než definovaná hodnota, hrana bude vyhlazena.

6.3.2 Mapování textury

Na vzniklý 3D model území jsem nanesl texturu s vrstevnicemi, turistickými značkami a dalšími vybranými polohopisnými prvky. Textura je uložena v samostatném souboru ve formátu PNG. Textura byla namapována pomocí uzlů *ImageTexture* a *TextureTransform*. Zde je ukázka zdrojového kódu:

```
<Shape>
  <Appearance>
    <TextureTransform rotation='-0.57079' scale='1 -1' />
    <ImageTexture DEF='geo_luz' url='textura.png' />
    <Material diffuseColor='0.1 1 0.3' />
  </Appearance>
  <GeoElevationGrid
    ccw='true' colorPerVertex='true' creaseAngle='0' geoGridOrigin='5629300 470000
    0' geoSystem='"UTM" "Z33" "N"
    "WE"' normalPerVertex='true' solid='false' xDimension='40' xSpacing='100' yScale
    ='3' zDimension='56' zSpacing='100' height='...' />
</Shape>
```

6.3.3 Použití dalších uzlů komponenty Geospatial

Kromě uzlu `GeoElevationGrid` jsem při tvorbě tohoto modelu využil další tři uzly z geoprostorové komponenty:

- `GeoViewpoint` – definice stanovišť pohledu
- `GeoLocation` – pomocí tohoto uzlu jsem do virtuální scény zasadil několik dalších objektů definovaných standardními uzly jazyka X3D. Jedná se například o popis vrcholů nebo objekty reprezentující rozcestníky.
- `GeoPositionInterpolator` – tohoto uzlu jsem využil při simulaci přeletu nad modelem území

Kapitola 7

PŘEHLED VÝSLEDKŮ, SROVNÁNÍ MODELŮ A MOŽNOSTI ROZŠÍŘENÍ PRÁCE

7.1 Přehled výsledků

Výsledky bakalářské práce lze rozdělit do dvou skupin – na výsledky teoretické a praktické části práce.

Výsledkem teoretické části je popis formátu X3D. Důraz je kladen zejména na oblasti využití jazyka a na jeho schopnosti prezentovat 3D geografická data. Dále práce seznamuje se základními vlastnostmi standardu X3D a jeho odlišnostmi od jazyků VRML a GeoVRML.

Výsledkem praktické části jsou dva ilustrativní modely terénu (viz příložené CD). Při jejich tvorbě byly uplatněny odlišné postupy. První model je začleněn do prostředí webových stránek a plní funkci jednoduchého informačního systému. V rámci 3D modelu byl vytvořen:

- DMT s barevnou hypsometrií
- 3D mapové vrstvy ve formátu X3D – turistické trasy, silnice, železnice, vodní toky, vodní nádrže
- objekty virtuální scény – výškové body, popisy
- animace rozhledu z vrcholu Luže

Druhý model ukazuje možnost vizualizace dat s využitím některého z podporovaných souřadnicových systémů. Jeho úkolem je především demonstrovat funkci některých uzlů komponenty *Geospatial*. V rámci tohoto 3D modelu vznikl:

- 3D model území – k jeho tvorbě bylo odečteno celkem 2240 nadmořských výšek
- textura obsahující vrstevnice a základní polohopisné prvky
- animace přeletu nad modelovaným územím
- popisy vrcholů hor

Modely Lužických hor ve formátu X3D jsou přiloženy k bakalářské práci na CD. Přiložené CD obsahuje také zdrojové kódy obou X3D modelů a html kódů informačního systému.

7.2 Porovnání virtuálních světů

Oba modely zobrazují podobné území v Lužických horách, nicméně metody použité k jejich tvorbě se výrazně odlišují. V této podkapitole se pokusím zdůraznit klady a zápory obou virtuálních scén, které jsem v průběhu práce zaznamenal. Zároveň uvádím některé uzly či postupy, které mě překvapily svou (ne)funkčností.

7.2.1 Model vytvořený standardními nástroji

Výhody

- Model je exportován přímo z DMT. Je tak zajištěna jeho vysoká přesnost (ovšem v závislosti na kvalitě vstupních dat).
- Barevná hypsometrie s intervalem 50-ti metrů – poskytuje lepší přehled o nadmořských výškách jednotlivých míst.
- V modelu je jednodušší vytváření přeletů nad územím

Nevýhody

- DMT byl před exportem z *ArcScene* třikrát převýšen. Při editaci objektů je proto nutné jejich nadmořské výšky v X3D světě přepočítat.
- Na model není nanášena textura - DMT je zapsán v uzlu `IndexedFaceSet`, na který je nanášení textury velmi obtížné.
- Zadávání souřadnic objektů – virtuální scéna má svůj vlastní souřadnicový systém. Chceme-li umístit například popis k vrcholu hory, musíme nejprve zjistit souřadnice vrcholu v X3D světě.

Celková funkčnost scény

Virtuální scéna je zasazena do webové stránky, což přispívá ke snadnějšímu zisku informací. K prohlížení scény je třeba mít nainstalovaný některý z X3D browserů (viz tab. 5.1). Ve své práci jsem využil prohlížeče Flux Player, který podle mého názoru nejlépe vykresloval scénu včetně popisů. Jeho prostřednictvím lze se scénou velmi snadno manipulovat.

X3D browsery bohužel nepodporují všechny uzly standardu. Nefunkční je například uzel `LineProperties`, který slouží ke změně vlastností liniových prvků. Proto všechny turistické trasy, vodní toky a komunikace mají šířku pouze jednoho bodu. Dalším případem je zařazení uzlu `IndexedLineSet` do rodičovského uzlu `Anchor`. Ukážeme-li nebo klikneme-li myší na křivku, nedojde k žádné reakci scény – možná je to právě z důvodu malé šířky linie.

7.2.2 Model vytvořený nástroji komponenty Geospatial

Výhody

- Model je zasazený do souřadnicového systému UTM. Definování dalších objektů je snazší – souřadnice v UTM se dají snadno zjistit například v programu ArcMap.
- Textura – obsahuje vrstevnice pro další výškopisné údaje a významné polohopisné prvky.
- Možnost definice převýšení modelu pomocí parametru `yScale` přímo v uzlu `GeoElevationGrid`.
- Možnost vyhlazení hran modelu.

Nevýhody

- Menší přesnost modelu vzhledem k relativně malému počtu bodů v mřížce a odhadování nadmořských výšek z vrstevnic.
- Obtížnější práce s animacemi a orientací pohledů.

Celková funkčnost scény

Virtuální scénu je nutno spustit v XJ3D browseru. Software bohužel zatím neobsahuje plugin pro internetový prohlížeč. XJ3D byl nicméně jako jediný z volně dostupných browserů schopen zobrazit uzly komponenty `Geospatial`. Manipulace se scénou je obtížnější, a to i díky odlišné orientaci os. Model je celkově poněkud tmavší. Bohužel se mi nepodařilo začlenit do scény uzel `DirectionalLight`, který by ji v tomto směru zpřehlednil.

Zklamáním pro mě byl fakt, že i přes zadávání převýšení terénu přímo v uzlu `GeoElevationGrid`, bylo nutné počítat s tímto převýšením u dalších objektů scény. Očekával jsem, že výšky zůstanou v X3D světě zachovány a model bude převýšen pouze vizuálně.

7.3 Možnosti zdokonalení modelů

Virtuální světy ilustrují možnosti vizualizace dat prostřednictvím jazyka X3D. Každý z modelů ukazuje některé nástroje pro tvorbu interaktivního 3D modelu terénu. Jako ideální řešení při pokračování práce bych viděl ve spojení těchto dvou modelů do jednoho. To znamená zapsání přesnějšího 3D modelu terénu do uzlu `GeoElevationGrid` a jeho zasazení do některého z nabízených souřadnicových systémů.

Celá scéna by byla začleněna do webového informačního systému. 3D model by dále obsahoval výškopisné a polohopisné prvky a popisy, které by bylo možno podle potřeby zapínat a vypínat. Součástí dokumentu by také bylo větší množství interaktivních nástrojů, vytvořených pomocí

skriptovacího jazyka. Následuje přehled možností využití dalších uzlů a tvorby nových interaktivních nástrojů:

- Využití uzlu `GeoLOD` – tzn. vykreslení terénu území s větším množstvím detailů, pokud se pozorovatel přiblíží k povrchu.
- Využití uzlu `GeoTouchSensor` – s pomocí skriptovacího jazyka zobrazit polohu objektu, na který uživatel ukáže myší. Případně pomocí `ProximitySensor` zaznamenávat aktuální polohu avatara.
- Zajištění interaktivity kopců, údolí z DMT (případně dalších prvků scény) – například „prokliknutí“ kopce při jeho přejíždění kurzorem myši.
- Vytvoření animací přeletu nad turistickými trasami
- Vypočet měřítka podle aktuální výšky pozorovatele nad terénem
- Údaje o poloze uživatele či označeného objektu, údaje o měřítku nebo o směru pohledu zobrazit pomocí okénka, které by uživatel stále viděl na monitoru – tzv. Heads-up Display (HUD).
- Vytvoření nástroje pro měření vzdáleností

Kapitola 8

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá využitím jazyka X3D v geoinformatice, s hlavním důrazem na vizualizaci geodat.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit ilustrativní 3D model území pomocí jazyka X3D. Model by měl poskytnout hlavní informace o území. Také by měl poukázat na možnosti vizualizace dat, které jazyk X3D nabízí. Cílem práce bylo dále podat přehled o standardu X3D a jeho odlišnosti od jazyků VRML a GeoVRML.

V teoretické části práce byl popsán jazyk X3D. Speciální pozornost byla věnována typům kódování dat, komponentové architektuře a zejména geoprostorové komponentě. Dále byla teoretická část zaměřena na možnosti exportu dat do formátu X3D z dostupných GIS systémů a na příklady aplikace jazyka v geoinformatice.

V praktické části byly na základě získaných teoretických znalostí vytvořeny dvě virtuální scény naznačující možnosti jazyka X3D. První virtuální scéna je zasazena do internetové stránky a plní funkci jednoduchého informačního systému. Druhá scéna je vytvořena s využitím geoprostorové komponenty jazyka X3D a jejím úkolem je ukázat její možnosti při vizualizaci 3D geodat.

Myslím, že cíl bakalářské práce byl splněn. Seznámil jsem se s nástroji, které jazyk X3D nabízí a následně je aplikoval při modelování území. Velká pozornost byla věnována zejména těm částem standardu X3D, které lze použít pro geografické aplikace.

Při zpracování bakalářské práce se objevilo několik problémů, které se mi nepodařilo vyřešit. Jedná se o zahrnutí turistických tras do rodičovské uzlu `Anchor`, aby byla zajištěna jejich interaktivita. Dále se mi nepodařilo správně definovat směry pohledů v uzlu `GeoViewpoint`.

Možnosti rozšíření práce spatřuji v tvorbě uceleného informačního systému s hlubším využitím nových nástrojů jazyka X3D, které jsem již nestihl blíže prozkoumat. Informační systém by obsahoval vlastní interaktivní nástroje propojené s geoprostorovou komponentou.

Bakalářská práce upozornila na velký potenciál jazyka X3D pro prezentaci 3D geografických dat. Zejména použití komponenty `Geospatial` nabízí geoinformatikům obrovské možnosti ve vizualizaci dat v prostředí internetu.

SEZNAM LITERATURE

1. Seznam literatury

BAUCKMANN, D. (1999): GIS a VRML. 6. ročník konference „GIS...Ostrava“, Ostrava; 25.-27.1.1999. [cit. 20. 4. 2007]
<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_1999/sbornik/Bauckmann/Bauckmann.htm>

BLACK, M. A., CARTWRIGHT, W. E. (2005): Web cartography & web-enabled geographic information systems (GIS): New possibilities, new challenges. International Cartographic Conference, La Coruña; 9-16. 7. 2005. [cit. 10. 7. 2007]
<<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA11/Session%205/MICHAEL%20BLACK.pdf>>

CAREY, R., BELL, G. (1997): The Annotated VRML 2.0 Reference Manual. Addison-Wesley Professional. [cit. 15. 5. 2007]
<<http://accad.osu.edu/~pgerstma/class/vnv/resources/info/AnnotatedVrmlRef/ch1.htm>>

CÖLTEKIN, A. (2002): An Analysis of VRML-based 3D Interfaces for Online GIS: Current Limitations and Solutions. Surveying Science in Finland 20, č. 1-2, s.80-91. [cit. 15. 7. 2007]
<http://foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA_SSF2002.pdf>

CÖLTEKIN, A. (2003): Virtual Reality As An Interface To GIS - Focus On WWW. The 21st International Cartographic Conference – Cartographic Renaissance, Durban; 10.-16.8. 2003. [cit. 15. 7. 2007]
<http://www.foto.hut.fi/~arzu/publications/ColtekinA_ICC2003.pdf>

HAVRLANT, J. (2002): Automatizovaná tvorba prostorových modelu map. [Diplomová práce.] Katedra mapování a kartografie FSv CVUT, Praha. [cit. 8. 7. 2007]
<<http://gama.fsv.cvut.cz/~soukup/dip/havrlant/>>

HUANG, B., JIANG, B., LIN, H. (2001): An Integration of GIS, Virtual Reality and the Internet for Visualization, Analysis and Exploration of Spatial Data. International Journal of Geographical Information Science. 15(5), s. 439-456. [cit. 25. 4. 2007]
<<http://www.hig.se/~bjg/ijgis.pdf>>

JIANG, B., HUANG, B., VAŠEK, V. (2003): Geovisualisation for Planning Support Systems., in: Geertman S. and Stillwell J. (eds. 2003), Planning Support Systems in Practice. Springer, s. 177 – 191. [cit. 25. 7. 2007]
<<http://www.hig.se/~bjg/ijgis.pdf>>

KNÍŽOVÁ, L. (2006): Využití VRML pro tvorbu webového Informačního systému Jizerské magistrály. [Diplomová práce.] Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie P_F UK, Praha.

VRIES, M.E. de, ZLATANOVA S. (2004): Interoperability on the web: the case of 3D geodata., in: P. Isaias, P. Kommers and M. McPherson (eds.), Proceedings of the IADIS International Conference e-Society 2004. Avila; 16.-19. 7. 2004. [cit. 2. 8. 2007]
<http://www.gdmc.nl/zlatanova/thesis/html/refer/ps/Mv_sz_esociety.pdf>

ZLATANOVA, S. et al. (2002): 3D GIS: Current status and perspectives. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa; 8. – 11. 7. 2002 [cit. 12. 8. 2007]
<<http://doi.ewi.tudelft.nl/live/binaries/2faaf567-465a-48c7-b204-4944195b6b6c/doc/Sisi%203D%20GIS%20Ottawa.pdf>>

ŽÁRA, J. (1999): VRML 97: Laskavý průvodce virtuálními světy. Computer Press, Brno, 238 s.

2. Seznam pramenů

URL 1: 3D Interaktivní mapa České republiky

<<http://www.cenia.cz/3dmodel>>

URL 2: ARCDATA PRAHA s.r.o.

<<http://www.arcdata.cz/download/doc/2006/ArcGIS-3D-Analyst.pdf>>

URL 3: Bitmanagement Software [online]. [cit. 4. 6. 2007]

<<http://www.bitmanagement.com/developer/index.html>>

URL 4: CGG – Computer Graphics Group [online]. [cit. 12. 5. 2007]

<<http://www.cgg.cvut.cz/>>

URL 5: CORDIS – Community Research and Development Information Service [online].

[cit. 20. 7. 2007]

<http://cordis.europa.eu/data/PROJ_IHP_HISC/ACTIONeqDndSESSIONeq29251200595ndDOCe q4ndTBLeqEN_PROJ.htm>

URL 6: Euclidean Space [online]. [cit. 17. 8. 2007]

<<http://www.euclideanspace.com/maths/algebra/vectors/vecGeometry/index.htm>>

URL 7: FreeWRL [online]. [cit. 9.5.2007]

<<http://freewrl.sourceforge.net/>>

URL 8: GeoVRML [online]. [cit. 9.8.2007]

<www.geovrml.com>

URL 9: Media Machines [online]. [cit. 9.5.2007]

<<http://www.mediamachines.com/>>

URL 10: Octaga player [online]. [cit. 9.5.2007]

<<http://www.octaga.com/>>

URL 11: Sympozium GIS Ostrava 2007

<http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Abstrakty/Abstrakty/p14.html>

URL 12: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí na Internetu [online]. [cit. 27. 5. 2007]

<<http://www.vugtk.cz/termkom/termsl.html>>

URL 13: Web3D Consortium [online]. [cit. 20. 6. 2007]

<<http://www.web3d.org>>

URL 14: Web3D Consortium – X3D specifikace [online]. [cit. 14. 6. 2007]

<<http://www.web3d.org/x3d/specifications/>>

URL 15: Web3D Consortium – VRML 97 specifikace [online]. [cit. 14. 6. 2007]

<<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/ISO-IEC-14772-VRML97/part1/concepts.html>>

URL 16: Wikipedie [online]. [cit. 11. 7. 2007]

<<http://cs.wikipedia.org/wiki/XML>>

URL 17: XJ3D browser [online]. [cit. 9.5.2007]

<<http://www.xj3d.org/>>

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Jednoduchý svět s použitím konstrukce `ROUTE`

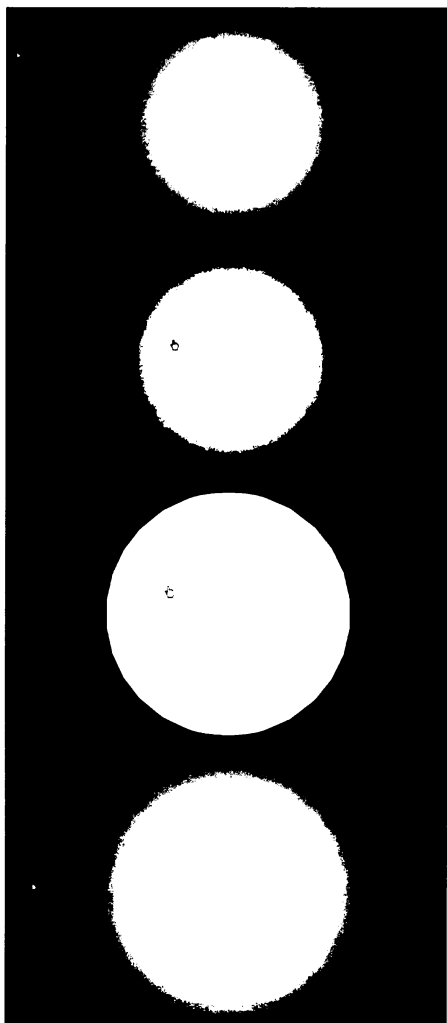
Příloha č. 2: Seznam datových typů jazyka `X3D`

Příloha č. 3: Ukázka modelu vytvořeného standardními uzly

Příloha č. 4: Ukázka modelu vytvořeného pomocí komponenty `Geospatial`

Příloha č. 5: Obsah přiloženého CD

Příloha č. 1: Jednoduchý svět s použitím konstrukce ROUTE



Popis: Najetím kurzoru myši nad bílou kouli je rozsvíceno červené světlo uzlu `PointLight`, umístěné uvnitř koule. Jakmile klikneme na kouli, pak se přidá světlo zelené. Složením červené a zelené vznikne barva žlutá. Pokud držíme tlačítko myši a opustíme prostor koule, svítí samotné zelené světlo.

Příloha č. 2: Seznam datových typů jazyka X3D

Datový typ (SF)	Datový typ (MF)	význam
SFBool	MFBool	obsahuje hodnotu TRUE nebo FALSE
SFColor	MFColor	specifikuje trojici barev RGB
SFColorRGBA	MFColorRGBA	kromě RGB definuje ještě sytost barev
SFDouble	MFDouble	zapisuje čísla s pohyblivou desetinnou čárkou s dvojitou přesností
SFFloat	MFFloat	zapisuje čísla s pohyblivou desetinnou čárkou s jednoduchou přesností
SFImage	MFImage	obsahuje 2D rastr
SFInt32	MFInt32	32-bitové celé číslo
SFMatrix3d	MFMatrix3d	matice 3×3 s dvojitou přesností čísel
SFMatrix3f	MFMatrix3f	matice 3×3 s jednoduchou přesností čísel
SFMatrix4d	MFMatrix4d	matice 4×4 s dvojitou přesností čísel
SFMatrix4f	MFMatrix4f	matice 4×4 s jednoduchou přesností čísel
SFNode	MFNode	obsahuje X3D uzel
SFRotation	MFRotation	definuje rotaci objektu nebo pohledu
SFString	MFString	textový řetězec
SFTime	MFTime	zaznamenává časový údaj
SFVec2d	MFVec2d	2D vektor s dvojitou přesností
SFVec2f	MFVec2f	2D vektor s jednoduchou přesností
SFVec3d	MFVec3d	3D vektor s dvojitou přesností
SFVec3f	MFVec3f	3D vektor s jednoduchou přesností
SFVec4d	MFVec4d	3D homogenní vektor s dvojitou přesností
SFVec4f	MFVec4f	3D homogenní vektor s jednoduchou přesností

Příloha č. 3: Ukázka modelu vytvořeného standardními uzly



Příloha č. 4: Ukázka modelu vytvořeného pomocí komponenty Geospatial



Příloha č. 5: Obsah přiloženého CD

- X3D modely Lužických hor
- Webové stránky s modelem území
- Zdrojové kódy obou X3D modelů
- Zdrojový kód úvodní webové stránky