

## ADAPTIVNÍ 3D VIZUALIZACE MĚST

Lukáš, HERMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Kotlářská 2, 611 37, Brno, Česká republika  
*herman.lu@mail.muni.cz*

### Abstrakt

Příspěvek se věnuje 3D vizualizaci měst a jejich částí. Vizualizace modelů měst je progresivní částí 3D geovizualizace. 3D geovizualizace může být uzpůsobena tak zvanými kontexty podle aktuální situace, úkolu, technických parametrů nebo schopností uživatele. Proměnné, které mohou modifikovat zobrazovanou scénu, jsou rozděleny do čtyř skupin. Tyto kategorie jsou: obsah (data), vzhled (symbologie), osvětlení scény a vlastnosti kamery a zobrazení. Specifika jednotlivých proměnných jsou rovněž popsány. Srovnáno bylo použití proměnných prvků v různých 3D grafických a GIS formátech a programech. Hlavním aspektem adaptivní 3D vizualizace je bezesporu její využití a aplikace. Modelová vizualizace zahrnující různé typy adaptace byla vytvořena pomocí technologie X3DOM. V závěru je zmíněno pravděpodobné zaměření budoucího vývoje.

### Abstract

This paper is dedicated to 3D visualization of cities and their parts. Visualization of urban models is progressive part of 3D geovisualization. 3D geovisualizations can be modified by so called context to specific situation, task, technical equipment or user's abilities. Variable parameters, which can change rendered scene, are split into four categories. These categories are: content (data), appearance (symbology), illumination and properties of camera and projection. Particularities of component characteristics are also delineated. Implementation of variable elements in 3D graphical and GIS formats and programs has been compared. Main aspect of adaptive 3D visualization is indisputably its usage and applications. Sample visualization including different types of adaption has been made using X3DOM technology. Finally has been mentioned probable course of future development.

**Klíčová slova:** 3D modelování měst, 3D symboly, 3D vizualizace, adaptivní vizualizace, kontextuální vizualizace, osvětlení, promítání, X3DOM.

**Keywords:** 3D city modelling, 3D symbols, 3D visualization, adaptive visualization, contextual visualization, illumination, projection, X3DOM.

### 1. ÚVOD

Používání 3D aplikací jako jsou počítačové hry nebo Google Earth v současné době vede ke zvýšenému zájmu i povědomí o 3D technologiích. Tyto technologie poskytují nové možnosti při vizualizaci krajiny i prostorových dat obecně. Poznatky o zákonitostech 3D vizualizace pocházejí především z oblasti počítačové grafiky, jsou tedy technické rázu. Jak uvádí Wood et al. (2005) 3D vizualizace prostorových dat vychází spíše z technologických základů než ze základů teoretických a proto stále nevíme dostatečné množství informací o efektivitě 3D vizualizace při zobrazování prostorových dat.

Důležitou částí 3D vizualizace prostorových dat je 3D vizualizace měst. 3D modely měst jsou digitální reprezentace urbánních oblastí. Význam 3D vizualizace při zobrazování měst je dán proměnlivostí řady jevů ve všech třech prostorových dimenzích. Takovýmto jevem může být například geometrie zástavby nebo hluková zátěž. Absolutní (nadmořská) výška, relativní výška (nad povrchem terénu) nebo převýšení je v moderních městech stejně důležitým lokalizačním prvkem jako poloha vyjádřená 2D souřadnicemi (zeměpisnou šířkou a délkou nebo kartézskými souřadnicemi X a Y).

## 2. 3D GEOVIZUALIZACE

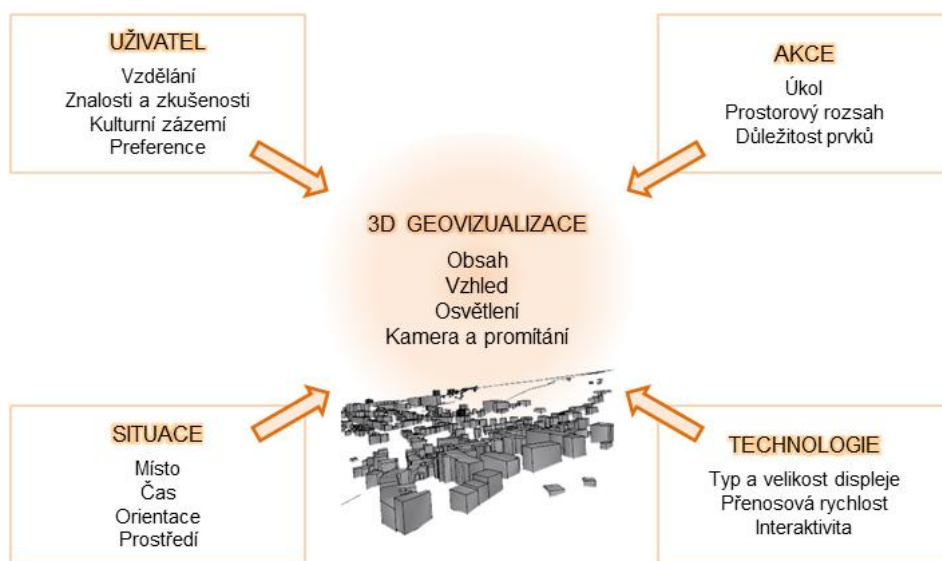
3D vizualizace prostorových dat se zkráceně označuje termínem 3D geovizualizace, což je termín shrnující široké spektrum 3D znázornění reálného světa, jeho částí i dalších dat s prostorovou referencí (Bleisch, 2012). Voženílek (2005) uvádí, že 3D geovizualizace může efektivně prezentovat velké množství komplexních informací širokému spektru uživatelů, a to i těm kteří mají málo znalostí a zkušeností z oblasti kartografie a GIS. 3D geovizualizace je obvykle dynamická. Aktuální zobrazení tak může být ovlivňováno uživatelem pomocí vstupních zařízení, jako je například počítačová myš nebo klávesnice (Bleisch, 2012). Výsledek 3D geovizualization označují někteří autoři, například Bandrova et al. (2012), jako 3D mapu.

## 3. ADAPTIVNÍ 3D GEOVIZUALIZACE

Termín adaptivní geovizualizace shrnuje přístupy umožňující vytvářet ze stejných prostorových dat specificky zaměřené varianty kartografických reprezentací. Adaptace geovizualizace vyžaduje přizpůsobení vizualizačních postupů konkrétní situaci, uživateli a účelu (Konečný, 2011). Adaptivní geovizualizace je modifikována tak zvanými *kontexty*. Kontext je definován jako skupina parametrů charakterizující účel využití prostorových dat, vnější podmínky a schopnosti uživatele (Dey et al., 1999). Účel a tedy i kontext je základním faktorem, který ovlivňuje množství a způsob prezentace informací uživateli (Reichenbacher, 2003). Bandrova et al. (2012) uvádí, že 3D vizualizace může být snadno modifikována podle kontextu a poskytuje pak srozumitelnější informaci uživateli. Všechny modifikace jsou přitom přímou součástí vnitřní logiky 3D mapy. Adaptace 3D map může urychlit rozhodovací proces a usnadnit uživateli orientaci v zobrazovaném prostředí.

### 3.1 Kontext a proměnné prvky 3D geovizualizace

Uživatel může ovlivnit výslednou podobu 3D geovizualizace nepřímo prostřednictvím kontextu. Kontexty jsou zpravidla složeny z charakteristik popisujících *uživatele* 3D map, což jsou například vzdělání, kulturní zázemí, zkušenosti, znalosti, preference nebo role v rámci rozhodovacího procesu. *Činnost* shrnuje informace o řešené úloze, prostorovém rozsahu zájmového území nebo důležitosti jednotlivých objektů. *Situace* charakterizuje místo, čas, orientaci a další vnější podmínky při použití dané 3D vizualizace. *Technologické charakteristiky* zobrazovacího prostředku (např. rozlišení obrazovky) ovlivňují například velikost symbolů či počet barev. Parametry připojení k síti určují množství zobrazitelných dat v jeden okamžik, a tedy podrobnost 3D dat.



**Obr. 1.** Možné změny 3D geovizualizace podle změny kontextů (upraveno podle Staněk et al., 2007 a Bandrova et al., 2012)

V rámci tohoto příspěvku jsou proměnné (adaptující se) prvky rozděleny do čtyř skupin. Adaptován může být obsah mapy, vzhled prvků ve scéně, osvětlení scény i režim kamery a promítání. Změna obsahu je obvykle

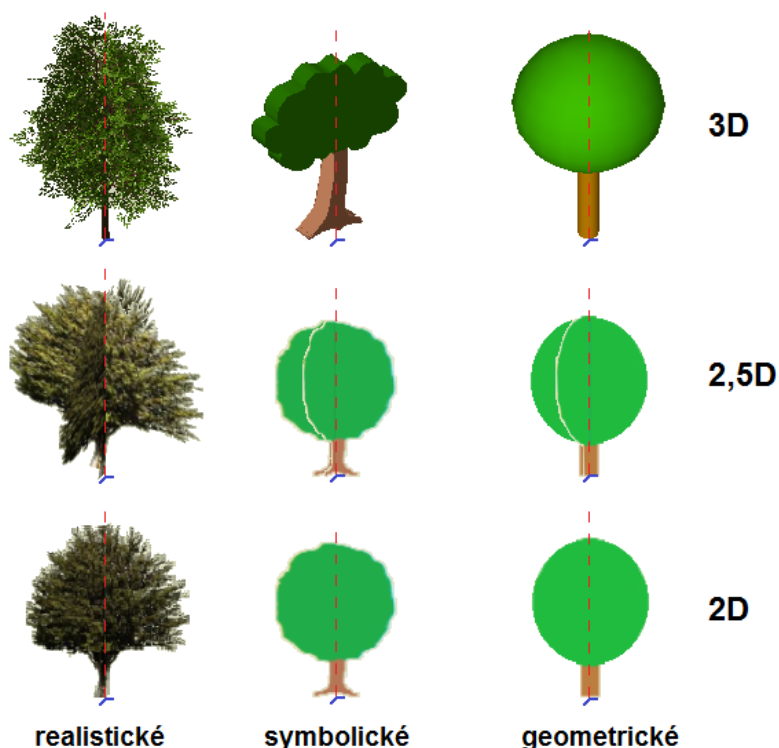
závislá na sémantických informacích (významu konkrétních objektů) a může tak být individuální pro různé objekty. Podobně se chová i vzhled 3D objektů. Naproti tomu osvětlení a vlastnosti virtuální kamery jsou ve většině případů stejné pro celou zobrazovanou. Osvětlení se vyznačuje ještě tím, že ovlivňuje vzhled jednotlivých prvků v závislosti na jejich poloze, např. vůči zdroji světla.

### 3.2 Obsah

Obsah 3D map se příliš neodlišuje od obsahu podobně zaměřených 2D map. V obou případech záleží především na tom jaké objekty a jevy jsou znázorňovány a za jakým účelem. 3D mapy obsahují data v různých úrovních detailu (*Level of Detail - LoD*). LoD je číselný údaj, jenž může být považován za obdobu měřítko. U zobrazovaných 3D dat roste se zvyšujícím se LoD podrobnost geometrie, data v nízké úrovni detailu jsou pak více generalizována. Úroveň detailu lze rozdělit na kontinuální a diskrétní (*non-continuous*). Diskrétní úroveň detailu jsou složeny z různých podrobných reprezentací, které mají striktně definované rozdíly mezi reprezentacemi. Kontinuální úroveň detailu zahrnují skupinu algoritmů (např. *progressive meshes*) používané při načítání TIN (*Triangular Irregular Network*) povrchů. Rastrová data (např. modely terénu) jsou do 3D scén načítána rozdělená na dlaždice. Rastrová data mohou být rovněž generalizována převzorkováním na nižší rozlišení (Voženílek, 2005; Žára, et al., 2005).

### 3.3 Vzhled

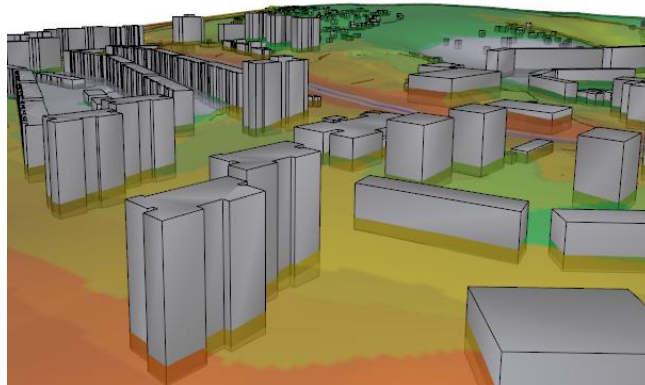
Objekty ve 3D scénách lze zobrazovat různými způsoby. Mohou být použity různé režimy renderování, mezi ně se řadí vykreslování těles pomocí spojitých polygonů nebo jen hran a vrcholů (bodů). Hrany mohou být zobrazeny buď jen vnější (obvodové) nebo všechny. Tento způsob vizualizace se označuje jako drátěný (*wire frame*) model a je použit na obrázku 7. Zobrazení vrcholů vytváří tzv. bodové mračno.



**Obr. 2.** Kombinace úrovně abstrakce a prostorové dimenze bodových symbolů na příkladu symbolu listnatého stromu (červená linie představuje osu Z)

Ve 3D modelech jsou základní geometrie (body, linie a plochy) nahrazovány 3D symboly. Nejčastěji jsou však 3D symboly chápány jako znázornění bodově lokalizovaných objektů. 3D symboly vystihují reálné objekty nebo jevy lépe než 2D symboly, proto umožňují 3D symboly lepší orientaci ve 3D prostředí (Bandrova et al., 2012). Charakteristickou vlastností 3D symbolů je úroveň abstrakce (*Level of Abstraction - LoA*). Symboly mohou tak být realistické, symbolické nebo geometrické (Semmo et al., 2012). Jednotlivé typy 3D symbolů (na příkladu listnatého stromu) jsou demonstrovány na obr. 2.

3D symboly nemusí být jen statické, ale mohou být dynamické (animované), čímž lze rovněž zvýšit reálnost 3D scény. Liniové a areálové objekty jsou ve 3D prostředích často nahrazeny množinou bodových symbolů nebo mají charakter těles s objemem. U těchto těles je pak vzhled definován pomocí barvy nebo rastrových textur. Při čtení všech 3D symbolů, však dostatečně efektivně nelze použít grafickou proměnnou velikost, tak jako v 2D mapách. Perspektivní zkresení totiž stěžuje rozlišení různých velikostí symbolů, když kromě jevu vyjádřeného velikostí hraje také poloha daného objektu (Shepherd, 2008).

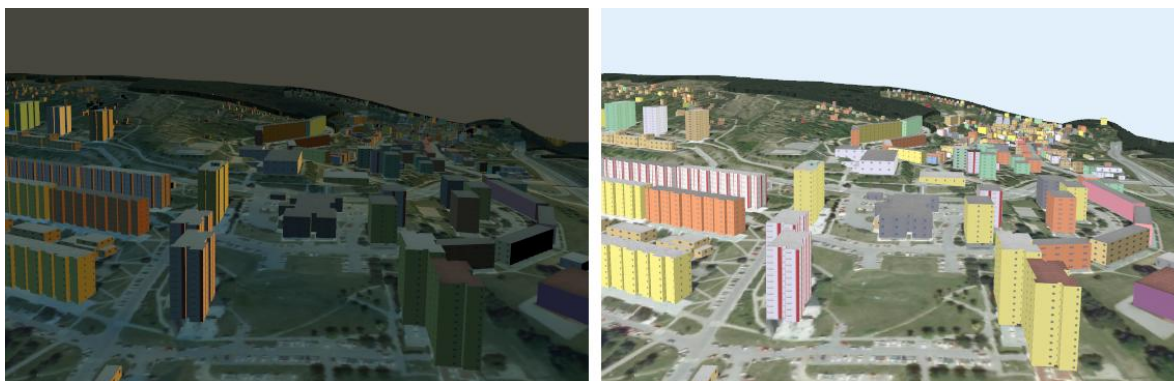


**Obr. 3.** Průhledná vrstva hlukové zátěže jako součást 3D vizualizace města (upraveno podle Herman, 2011)

Vzhled povrchů 3D objektů může být definován pomocí zadání materiálu (*specular color, diffuse color, ambient color, ambient intensity, shininess*) nebo texturami (Voženílek, 2005). Textury jsou rastrové snímky umísťované na povrchy a tělesa. Některé z výše uvedených vlastností z definice materiálu lze uplatnit i na texturované povrchy. Jednotlivé prvky z komplexní geometrie těles (vrcholy, hrany) lze zvýraznit. Příklad Takto zvýrazněny jsou například obvodové hrany budov na obr. 3. Další způsoby zvýraznění hran a vrcholů popisuje Döllner et al. (2005). Grafickou proměnnou, kterou lze použít ve 3D scénách je rovněž průhlednost (*opacita*). Použití průhlednosti eliminuje případné zakrytí objektů nebo jejich částí při vizualizaci 3D scén (Shepherd, 2008). Příklad vizualizace využívající průhlednost je na obrázku č. 3, průhledná je zde vrstva hlukové zátěže.

### 3.4 Osvětlení

Reálnost 3D scén závisí také na osvětlení a metodách stínování. *Bodový světelný zdroj* (omni light) osvětluje scénu z jednoho bodu do všech směrů. Příkladem je simulace osvětlení žárovkou. Z *reflektoru* (spot light) vychází paprsky ve tvaru kužele. *Rovnoběžný světelný zdroj* je charakteristický vzájemně rovnoběžnými vektory paprsků. Tímto způsobem se simuluje osvětlení sluncem. *Plošný světelný zdroj* září různými směry (paprsky jsou různoběžné) a vznikají tak měkké kontury stínů. Důležitou charakteristikou světelných zdrojů je také barva vytvářeného osvětlení (Mach et al., 2005). Na obr. 4 lze vidět rozdíl v zobrazení stejného 3D modelu města při rozdílném nastavení osvětlení. Vlevo je simulováno veřejné osvětlení, vpravo pak denní světlo.



**Obr. 4.** Různé režimy osvětlení aplikované na 3D model Nového Lískovce, Brno (upraveno podle Herman, 2011)

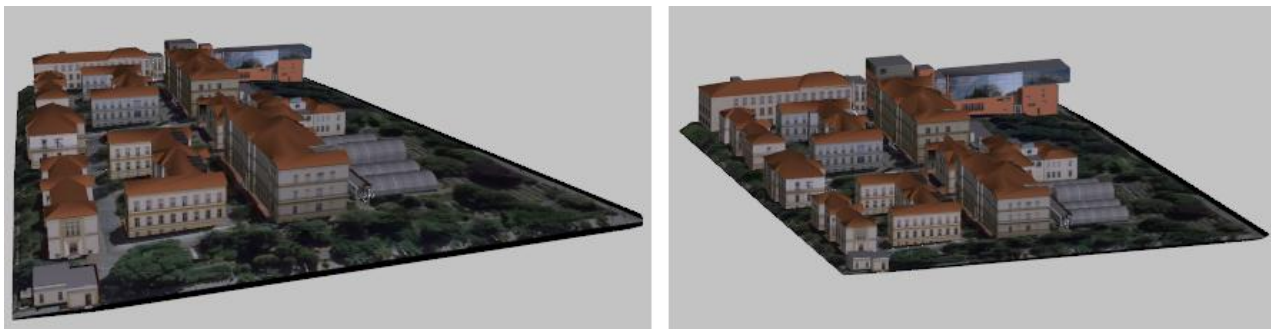
Döllner et al. (2005) zmiňuje tři základní typy stínů: stíny s ostrými okraji, měkké stíny a šrafované stíny. Zároveň jsou pro vykreslování stínů používány různé výpočetně náročné *interpolační algoritmy*. Nejčastěji používané je konstantní stínování (Lambertovo), stínování založené na interpolaci barvy (Gouraudovo) a stínování (Phongovo) založené na interpolaci normálových vektorů. Kromě stínování existují i další grafické efekty, které mohou zvýšit vjem reálnosti 3D prostředí. Mezi tyto efekty patří kupříkladu mlha (*fog*). Funguje na principu změny zobrazení (nejčastěji jde o zabarvování objektů do zadaného barevného odstínu) jednotlivých objektů na základě vzdálenosti od virtuální kamery (Mach et al., 2005; Žára et al., 2005).

### 3.5 Kamera a promítání

3D modely jsou pozorovány prostřednictvím virtuálních kamer, které vyjadřují polohu pozorovatele ve virtuálním prostředí. Existují dva základní typy definice virtuální kamery: vázaná (*target*) kamera a volná kamera. *Vázaná kamera* je definována dvěma prvky – pozicí samotné kamery a polohou sledovaného objektu (bodu zájmu). Kamera může být zacílena také na pohybující se objekt, který pak sleduje. *Volná kamera* je řízena interaktivně a může se pohybovat v rámci všech šesti stupňů volnosti. Šest stupňů volnosti představuje posuny a rotace v směru všech tří os prostoru. Jiným důležitým parametrem kamery je *ohnisková vzdálenost*. Ohnisková vzdálenost je určena vzdáleností ohniska od virtuální kamery a je závislá zejména na velikosti (úhlopříčce) displeje nebo okna vizualizace (Žára et al., 2005).

Na virtuální kamery lze aplikovat několik možných režimů pohybu. Tyto režimy blíže definují způsob pohybu kamery scénou nebo pohyb scény vůči kameře. Základní způsoby pohybu jsou: létání (*fly*), chůze (*walk*) a zkoumání (*examine*). Režim létání je charakteristický volným pohybem do všech směrů bez vlivu gravitace. Režim chůze odpovídá volnému pohybu po podkladové ploše. Zkoumání si, spíše než pohyb scénou, lze představit jako otáčení, přibližování nebo oddalování celé scény, jako by byla držena v ruce. Pro řízení pohybu kamery jsou používány různé vstupní zařízení (počítačová myš, klávesy na klávesnici nebo tlačítka v softwarovém prostředí). Jednotlivé módy pohybu jsou pak svázány s různými konkrétními klávesami (Mach et al., 2005).

Pro zobrazení 3D prostoru na 2D displej jakou používány různé, matematicky definované, promítání (projekce). U 3D scén je obvyklejší použití *perspektivní projekce*. Objekty pak podléhají perspektivnímu zkreslení, ty vzdálenější od pozorovatele (virtuální kamery) jsou menší než objekty blízké. Perspektivní zkreslení se projevuje i při vnímání reálného světa, takže takto zobrazené 3D scény se jeví reálně (Mach et al., 2005). Na druhé straně *ortogonální (rovnoběžná) projekce*, někdy označované také jako *izometrické promítání*, může být vhodnější, pokud potřebujeme srovnávat rozměry, například výšky objektů. Scéna je vykreslena bez perspektivního zkreslení (Shepherd, 2008). Obrázek 4 demonstruje rozdíly při použití různých promítání na příkladu 3D modelu areálu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně.



**Obr. 5.** Perspektivní (vlevo) a ortogonální projekce (upraveno podle Russnák, 2012)

Specifický režim 3D vizualizace je stereoskopie. Stereoskopie zahrnuje řadu různých technologií, všechny jsou však založeny na prezentaci dvou vzájemně posunutých obrazů – každý pro jedno oko pozorovatele. Tyto obrazy jsou pak v jeho mozku propojeny a vzniká vjem 3D. Pravděpodobně nejnámější metodou z této skupiny je *anaglyf*, kde je vjem prostoru vyvolán rozkladem na barevné složky, obvykle modrozelenou a červenou (Žára et al., 2005). Protože řada 3D vizualizací trpí překryvem 3D objektů, může být při jejich zobrazování použita deformace obrazu, kupříkladu metoda označovaná jako „rybí oko“ (*fish-eye view*). Zvětšuje (deformuje) prvky blízké bodu zájmu, např. uprostřed displeje. Nevýhodou těchto metod je,

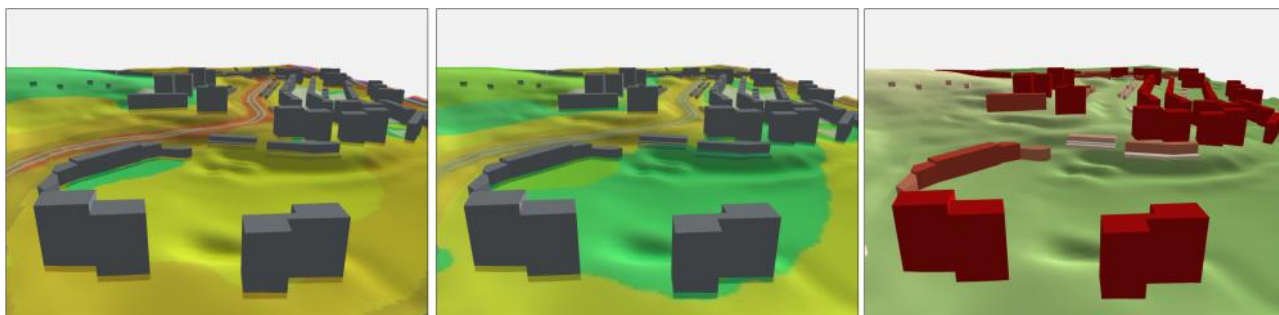
porušení vzájemných prostorových prvků ve scéně a stěžují uživateli vzájemné srovnání například hodnot vizualizovaného jevu (Shepherd, 2008).

#### 4. MOŽNÉ VYUŽITÍ

Technologické charakteristiky zobrazovacích prostředků (např. rozlišení obrazovky nebo barevná hloubka) neovlivňují jen složitost 3D symbolu a množství zobrazovaných dat, ale i ohniskovou vzdálenost. Rychlost přenosu dat, výpočetní schopností a akcelerace 3D grafiky může ovlivnit nejen úroveň detailu a generalizaci zobrazovaných 3D dat, ale i výběr algoritmu pro výpočty osvětlení a zastínění. Režim pohybu kamery, projekce i použitá symbologie je určována situací, účelem a schopnosti uživatele.

Dobrým příkladem využití adaptivní 3D vizualizace měst nebo jejich částí je kombinovaná vnitřní (*indoor*) a venkovní navigace. Variantou této aplikace je vizualizace únikových tras z budov a zastavěných areálů. Navigace v interiérech může využít průhledné zobrazení stěn, podlah a střech, aby byla úniková trasa dobře identifikovatelná. Na druhé straně, pokud se uživatel bude pohybovat, v zastavěném areálu ve venkovním prostředí, může mu orientaci usnadnit použití realistických textur a fotorealistických symbolů (např. vegetace).

Realistická vizualizace je nezbytnou součástí při využití 3D modelů při tréninku a simulaci. Tyto aplikace vyžadují dynamické symboly (např. plameny) a maximálně reálné osvětlení a stínování. Změny těchto, ale i dalších prvků, jsou využity při modelování specifických atmosférických situací (mlha, déšť) nebo denní doby (noc, soumrak, úsvit) ve 3D scénách. Stínování může být dobře využito i při územním plánování měst, především při analýzách zastínění a výpočtech viditelnosti. Zastínění způsobené plánovanými budovami může být ve 3D modelu města simulováno v různých ročních obdobích a denních dobách. Rovněž světelné znečištění urbánních oblastí může být modelováno pomocí virtuálních světelných zdrojů a 3D modelů měst.



**Obr. 6.** Vizualizace hlukové zátěže (vlevo ve dne, uprostřed v noci) a výšky budov (vpravo)

3D modely měst je však možné použít i pro vizualizaci primárně nevizuálních jevů, jako je například hluková zátěž nebo znečištění ovzduší. Tyto aplikace bývají zpravidla založeny na kombinaci 3D modelu budov a terénu s bodově lokalizovanými symboly nebo vyjádřením jevu spojeným polem. Například hluková zátěž bývá modelována v referenční výšce nad povrchem a je tak vhodné výsledkem interpolace umístit do modelu této hladině (viz obr. 3 a obr 6). Další možností je využít pro znázornění určitého jevu plochu objektů ve 3D modelu, jako jsou budovy na obr. 6 vpravo, když barva zvýrazňuje jejich výšku.

#### 5. EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ

Dosud neexistuje žádný univerzální standard pro tvorbu 3D map. Snahy o standardizaci se zaměřují spíše na datové formáty, a nikoliv na vizualizaci a prezentaci dat. Některé proměnné charakteristiky jsou součástí programů pro 3D modelování a vizualizaci, jako je například Aristoteles Viewer, Blender a ESRI ArcScene. Tyto programy umožňují nastavení projekce a změny pozice kamery, nebo také osvětlení a módu renderování, např. Instant Player, Adobe Acrobat Reader (Aristoteles Viewer, 2009; InstantReality, 2012; 3D PDF Technology, 2012).

Menší množství proměnných parametrů je implementováno přímo do formátů pro prostorová data. Příkladem takového formátu je standard CityGML. CityGML obsahuje pět diskrétních úrovní detailu, více variant textur

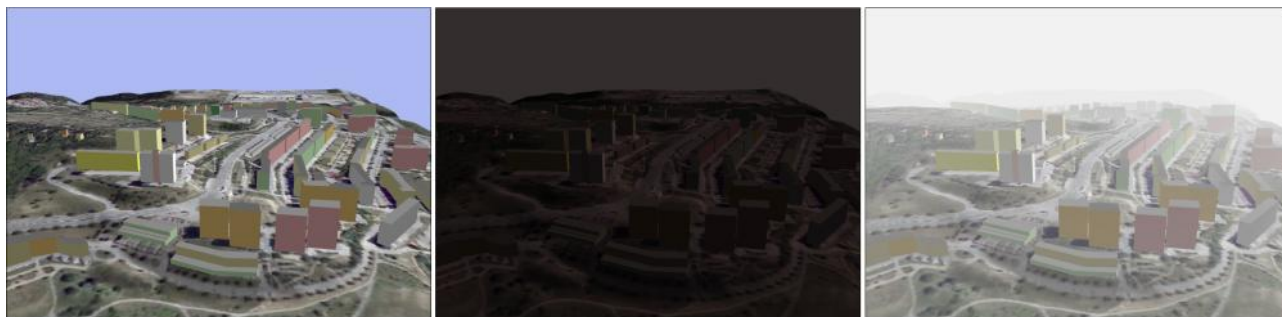
(*multi-texturing*) uložených ve 3D modelu, nebo vkládání 3D symbolů v jiných formátech (Kolbe, 2008). Širší možnosti určovat podobu výsledné vizualizace mají 3D grafické formáty, jako například VRML (*Virtual Reality Modelling Language*) a X3D (*eXtensible 3D*). Tyto formáty umožňují definovat vzhled objektů, vlastnosti kamery, promítání, osvětlení a částečně také stínování. Specifikace těchto formátů rovněž obsahují implementaci úrovní detailu (X3D, 2012).

Proměnné prvky nejsou implementovány jen ve 3D formátech, ale i ve 3D webových službách. W3DS (*Web 3D Service*) vrací 3D data v X3D nebo v jiných 3D grafických formátech. W3DS zahrnuje i koncept LoD (OGC 09-104r1, 2010). WPVS (*Web Perspective View Service*) je 3D ekvivalent WMS (*Web Map Service*) vrací tak rastrové pohledy na 3D scény. Uživatel může v požadavku *GetView* specifikovat typ projekce (OGC 09-166r2, 2010). Využití plného potenciálu WPVS v oblasti kontextuální a kartografické vizualizaci vyžaduje rozšíření o SLD (*Styled Layer Descriptor*). Obdobně kontextuální rozšíření pro WMS službu popisuje Kozel et al. (2010).

Zvláštní případ představují internetové technologie pro 3D vizualizaci vycházející z programovacího jazyka JavaScriptu a knihovny WebGL (*Web Graphics Library*). Tyto řešení integrují všechny čtyři skupiny adaptivních prvků (generalizace geometrie, modifikaci vzhledu, změny vlastností kamery i osvětlení 3D modelů). Na WebGL je například založena aplikace ESRI CityEngine (ESRI Desktop Help 10, 2012). Za nejlepším příkladem webové technologie vhodné pro adaptivní 3D vizualizaci lze však považovat X3DOM. X3DOM je založeno na přímé integraci X3D datové struktury přímo do HTML (*HyperText Markup Language*) kódu. K X3D datové struktuře lze přistupovat pomocí DOM (*Document Object Model*), spojením těchto dvou zkratk dalo technologií název. X3DOM využívá při adaptivní vizualizaci kromě vlastního API (*Application Programming Interface*) v jazyce *JavaScript* také adaptibility formátu X3D. Velkými výhodami X3DOM je otevřenost zdrojového kódu a fungování ve většině obvyklých webových prohlížečů. Má tak značný potenciál oslovit jak větší množství potenciálních tvůrců aplikací, tak i uživatelů (Behr et al., 2011).

## 6. VLASTNÍ IMPLEMENTACE

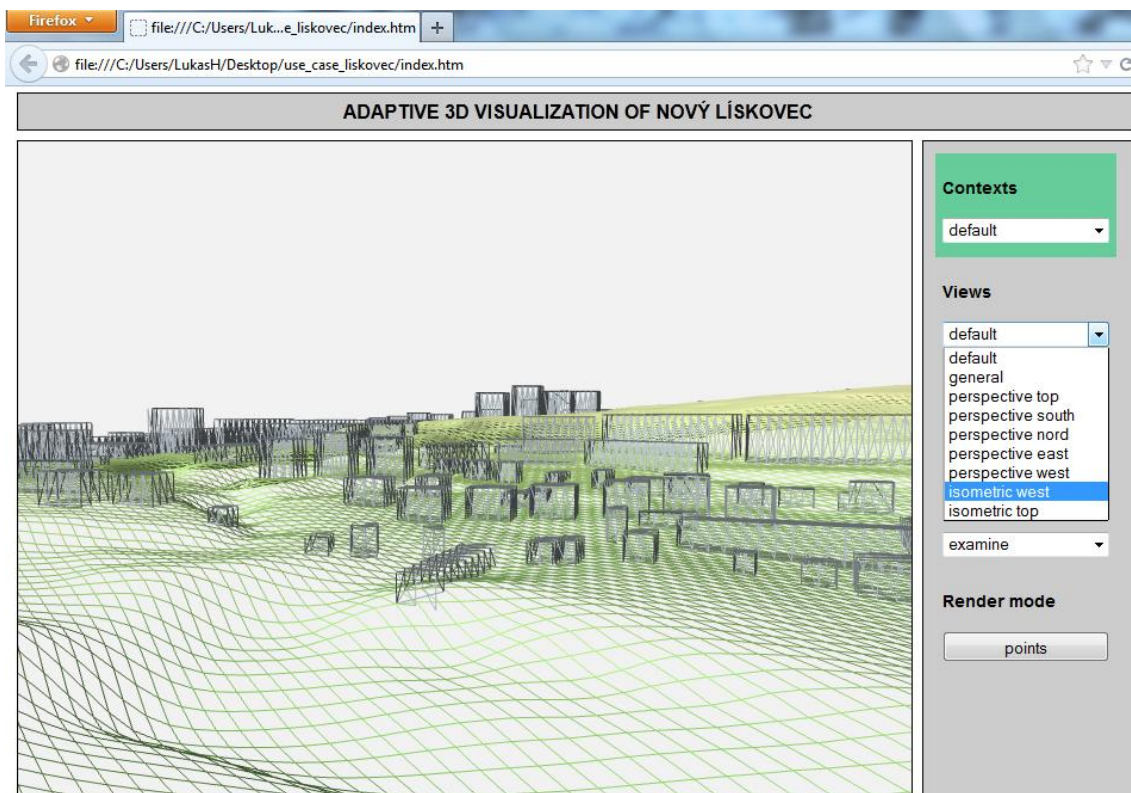
Implementace výše popsaných adaptivních vlastností byla testována na modelu brněnské městské části Nový Lískovec. Pro toto území bylo navrženo a realizováno celkem sedm kontextů: základní (defaultní) zobrazení, vizualizace hlukové zátěže ve dne a v noci, znázornění výšek budov, vizualizace vzhledu zástavby (ve dne, v noci a za snížené viditelnosti). Pro všechny kontexty byla použita identická vstupní data (rastrový model terénu a 3D model budov). Dále bylo využito dvou rastrových vrstev hlukové zátěže a ortofotomapy. Ukázka uživatelského rozhraní je na obr. 8, varianty scén ovlivněných popsány kontexty jsou znázorněny na obr. 6 a 7.



**Obr. 7.** Simulace různých atmosférických podmínek (zleva) – jasno ve dne, v noci a mlha

Na základě informací uvedených v předchozí kapitole bylo pro vytvoření ukázkové adaptivní 3D vizualizace využito X3DOM. V prostředí programu ESRI ArcScene byl vytvořen 3D model, jenž byl dále exportován do formátu VRML. Z něj byla provedena konverze do formátu X3D pomocí volně dostupného programu View3dScene. X3D data pak byla do struktury HTML stránky začleněna pomocí elementu *Inline*. Pomocí jazyka *JavaScript* je možné modifikovat jejich vzhled. Kromě změny kontextu lze dále měnit režim pohybu po snímku (létání, chůze, zkoumání) a přesouvat se na předem definované pozice virtuální kamery. Součástí definice kamery je také nastavení promítání (izometrického nebo perspektivního). Tyto vlastnosti nejsou v tomto řešení pevnou součástí kontextů, je možné s nimi manipulovat nezávisle na zvoleném kontextu.

Vlastnosti kamery by mohly být přímou součástí kontextů například v případě 3D vizualizací pro mobilní zařízení, když by se aktuální poloha, zjištěná pomocí integrovaného GPS přijímače, promítala do vizualizace virtuálního prostředí.



Obr. 8. Rozhraní pro adaptivní vizualizaci 3D modelu Nového Lískovce

## 7. ZÁVĚR

3D modely měst mohou být využity pro různé účely, nejen při vizualizaci. Adaptivní vizualizace a jiné metody jako sémantické modelování a rozšiřitelnost sémantické struktury umožňují multifunkční využití 3D modelů měst (Kolbe, 2008). Využití 3D modelů měst ve více aplikačních oblastech může urychlit návratnost nemalých investice vkládaných do pořizování 3D dat. Pozemní, letecké laserové skenování (LiDAR) nebo stereo fotogrammetrie jsou nákladné a adaptivní 3D vizualizace umožňuje využívat jedinou pořizovaná data v různých aplikacích, např. územním plánování (analýzy viditelnosti nebo hlukové mapování), krizovém managementu (vizualizace únikových tras, simulace a trénink bezpečnostních složek), dokumentaci architektonických památek či virtuální turistice.

Tento příspěvek se pokusil shrnout a klasifikovat proměnné parametry 3D vizualizací měst. Zároveň bylo prokázáno, že za použití vhodných technologií lze všechny tyto parametry implementovat v jednom rozhraní. Možnosti dalšího výzkumu spočívají především v oblastech uživatelských nároků a kognice 3D vizualizací. Dosud byly totiž publikovány pouze ojedinelé práce věnované uživatelským nárokům na 3D vizualizaci a 3D mapy. Výjimku přitom tvoří například práce Bandrova et al. (1998). Zaměřují se však zejména na požadavky uživatelů na charakter a podrobnost 3D dat.

Zatímco možnosti a limity vstupních dat jsou relativně dobře známy, značný prostor pro další výzkum je v oblasti percepce adaptivních 3D vizualizací, například vnímání 3D prostoru za odlišných režimů osvětlení, při aplikaci různých 3D symbolů nebo rozdílů při použití různých promítání. Jeden z prvních pokusů o zkoumání percepce 3D modelů zástavby, pomocí sledování pohybu zornic (*eye-tracking*), představuje Dědková (2012). Tato práce však nepřináší žádné zásadní závěry aplikovatelné na adaptivní 3D vizualizace, spíše představuje návod jak postupovat při tomto druhu testování. Další výzkum může být také založen na testování celkové srozumitelnosti a efektivity 3D vizualizací ve srovnání s 2D mapami. Výsledky budou jistě ovlivněny schopnostmi uživatelů (jde především o jejich zkušenosti s pohybem ve virtuálním 3D prostředí) a



pokud by dané téma mělo být prezentováno dostatečně srozumitelně, bylo by možné propojit zobrazení polohy v 2D a 3D mapě dohromady.

## LITERATURA

- 3D PDF Technology (2012) URL: <[http://www.adobe.com/manufacturing/solutions/3d\\_solutions/](http://www.adobe.com/manufacturing/solutions/3d_solutions/)> [cit. 2-10-2012].
- Aristoteles Viewer (2009) URL: <<http://www.ikg.uni-bonn.de/aristoteles/index.php/Aristoteles>> [cit. 1-10-2012].
- Bandrova, T., Zlatanova, S., Konečný, M. (2012) Three-Dimensional Maps for Disaster Management. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, I-4, pp. 245-250.
- Behr, J., Jung, Y., Drevensek, T., Aderhold, A. (2011) Dynamic and Interactive Aspects of X3DOM. Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on 3D Web Technology, červen 2011, Paříž, s. 81-87.
- Bleisch, S. (2012) 3D Geovisualization – Definition and Structures for the Assessment of Usefulness. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, I-2, s. 129-134.
- Blender (2012) URL <<http://www.blender.org>> [cit. 5-10-2012].
- Dědková, P. (2012) 3D vizualizace zaniklé obce a její hodnocení z hlediska uživatelské kognice (bakalářská práce). Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.
- Dey, A. K., Abowd, G. D., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., Steggle, P. (1999): Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, srpen 1999, Karlsruhe, s. 304-307, ISBN: 3-540-66550-1.
- Döllner, J., Buchholz, H. (2005): Non-Photorealism in 3D Geovirtual Environments. Proceedings of AutoCarto, březen 2005, Las Vegas, s. 1-14.
- ESRI Desktop Help 10 (2012) URL: <<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html>> [cit. 8-10-2012].
- Herman, L. (2011): Moderní kartografické metody modelování měst (diplomová práce). Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Brno.
- InstantReality (2012) URL: <<http://www.instantreality.org>> [cit. 5-10-2012].
- Kolbe, T. H. (2008) Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In Lee, J., Zlatanova, S. Lecture Notes in Geoinformation & Cartography, Springer Verlag, Berlín, s. 15-31, ISBN: 978-3-540-87394-5.
- Konečný, M. (2011) Cartography: Challenges and Potentials in Virtual Geographic Environments Era. Annals of GIS, Taylor & Francis, Honkong, Vol. 17, No. 3. s. 135-146, ISSN 1947-5691.
- Kozel, J., Štampach, R., Zbořil, J. (2010) Adaptive map visualization: from context selection to web service configuration. 3<sup>rd</sup> ISDE Digital Earth Summit, June 2010, Nessebar, Bulharsko, s. 10, ISBN 978-954-724-039-1.
- Mach, R., Petschek, P. (2005) Visualization of Digital Terrain and Landscape data: A Manual. Springer, Berlín, 390 s., ISBN: 978-3-540-30490-6.
- OGC 09-166r2 (2010) Web View Service Discussion Paper. Open Geospatial Consortium Inc.
- OGC 09-104r1 (2010) Draft for Candidate OpenGIS® Web 3D Service Interface Standard. Open Geospatial Consortium Inc.
- Reichenbacher T. (2003) Adaptive methods for mobile cartography. 21<sup>st</sup> International Cartographic Conference, August 2003, Durban, s. 10-16.

- Russnák, J. (2012) 3D model Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. (diplomová práce)  
Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita, Brno.
- Semmo, A., Trapp, M., Kyprianidis, J. E., Döllner, J. (2012) Interactive Visualization of Generalized Virtual 3D City Models using Level-of-Abstraction Transitions. *Computer Graphics Forum*, Vol. 31, s. 885-894.
- Shepherd, I. D. H. (2008) Travails in the Third Dimension: A Critical Evaluation of Three-dimensional Geographical Visualization. In McDermby, M., Turner, M. *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*. Wiley, Chichester, s. 199-222, ISBN: 978-0-470-51511-2.
- Staněk, K., Konečný, M., Friedmannová, L. (2007) An Adaptive Cartographic Visualization for Support of the Crisis Management. XXIII International Cartographic Conference, srpen 2007, Moskva, s. 1-9. ISSN: 2071-9388.
- Voženílek, V. (2005) *Cartography for GIS: Geovisualization and Map Communication*. 1st ed., Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 142 s., ISBN: 8024410478.
- Wood, J., Kirschenbauer, S., Döllner, J., Lopes, A., Bodum, L. (2005) Using 3D Visualization. In Dykes, J., MacEachren, A. M., Kraak, M. J. *Exploring Geovisualization*, Elsevier Ltd., Kidlington, s. 295-312, ISBN 0-08-044531-4.
- X3D (2012) URL: <<http://www.web3d.org/x3d/specifications/>> [cit. 3-10-2012].
- Zlatanova, S., Bandrova, T. (1998) User requirements for the third dimensionality. E-mail seminar of Cartography 1998: Maps of the future, Vol. 1, Sofie, Bulharsko, pp. 61-72.
- Žára, J., Beneš, B., Sochor, J., Felkel, P. (2005) *Moderní počítačová grafika*, 2. vyd. Computer Press, Brno. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.