

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (bakalářské studium)

Studijní obor: Geografie - kartografie



Tereza PETERKOVÁ

3D VIZUALIZACE BUDOV KAMPUSU ALBERTOV

3D VIZUALIZATION CAMPUS BUILDINGS ALBERTOV

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Lounech dne 26. května 2012

.....

Tereza Peterková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za ochotu věnovat mi svůj čas a zodpovědět všechny otázky. Svým přístupem nesporně dopomohl k úspěšnému dokončení práce. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se na mé práci podíleli konzultací či pomocí při zjišťování informací v terénu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mne během celého studia podporovali.

3D vizualizace budov kampusu Albertov

Abstrakt

Tato práce se zabývá teoretickými a praktickými aspekty tvorby trojrozměrného modelu krajiny a zástavby za pomoci geoinformačních technologií, konkrétně programového vybavení ESRI ArcGIS a Google SketchUp.

První část práce přináší obecný přehled o problematice 3D modelování a o možnostech reprezentace trojrozměrných informací. Její součástí je také přehled vybraných projektů zaměřujících se na vizualizaci zastavěných komplexů. Stěžejní je však praktická část práce, která se zabývá tvorbou 3D modelu univerzitního kampusu Albertov v Praze. Nejdříve jsou rozebrána zdrojová data a použitý software, následuje popis tvorby digitálního modelu terénu a vlastních modelů budov. Závěr práce se zaměřuje na možnosti finální vizualizace a tvorbu výstupů.

Klíčová slova: 3D model, kampus Albertov, Google SketchUp, ArcScene

3D visualization campus buildings Albertov

Abstract

This work deals with theoretical and practical aspects of 3D countryside model creation and housing development with the help of geoinformation technologies, concretely programme equipment ESRI ArcGIS and Google SketchUp.

The first part of the work brings a general overview concerning the problematics of 3D simulating and the possibilities of 3D information representation. It also includes a survey of already elaborated projects focused on visualisation of built up premises. However the crucial part is the practical part of the work, which deals with the creation of 3D model of the University Campus Albertov in Prague. The source data and used software are analysed first of all, followed by the description of digital terrain model creation and the models of buildings themselves. The final part focuses on the possibilities of final visualisation and output creation.

Keywords: 3D model, campus Albertov, Google SketchUp, ArcScene

Obsah

Obsah	6
Přehled použitých zkratk	8
Seznam obrázků	10
1. Úvod	11
2. Úvod do problematiky a řešeršní část	12
2.1. 3D model a jeho využití	12
2.2. Model tělesa.....	14
2.2.1. Hraniční reprezentace.....	14
2.2.2. Konstruktivní geometrie těles	14
2.3. Digitální model terénu	15
2.3.1. Druhy digitálních modelů.....	16
2.4. Ortofoto.....	17
2.5. Dosavadní aplikace 3D modelování	18
3. Vymezení území	20
3.1. Albertov	20
3.2. Přírodovědecká fakulta UK.....	21
3.3. Minikampus Albertov	22
3.3.1. Biocentrum.....	22
3.3.2. Globcentrum.....	22
4. Vstupní data	24
4.1. Podkladová data	24

4.1.1.	Digitální model zástavby a zeleně	25
4.1.2.	Ortofoto České republiky.....	25
4.2.	Použitý software.....	25
4.2.1.	Esri ArcGIS.....	26
4.2.2.	Google SketchUp.....	26
5.	Metodika zpracování.....	28
5.1.	Příprava vstupních dat.....	28
5.1.1.	Tvorba DMT.....	28
5.1.2.	Tvorba vektorových podkladů.....	29
5.1.3.	Export dat do souboru CAD.....	29
5.2.	Tvorba 3D objektů v SW Google SketchUp.....	30
5.2.1.	Export modelů.....	33
5.3.	Vizualizace v ArcScene.....	34
5.3.1.	Animace a tvorba výstupů.....	36
6.	Výsledky a diskuze	38
7.	Závěr.....	40
	Seznam zdrojů informací.....	41
	Seznam příloh	46

Přehled použitých zkratk

2D	2-Dimensional = dvourozměrný
2,5D	Dvourozměrný model s přidaným třetím rozměrem
3D	3-Dimensional = trojrozměrný
B-Rep	B oundary R epresentation
CAD	C omputer A ided D esign
CSG	C onstructive S olid G eometry
ČVÚT	České vysoké učení technické
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM	D igital e levation m odel = digitální model reliéfu
DLM	D igital l andscape m odel = digitální model území
DPZ	D álkový p řůzkum Z emě
DMK	D igitální m odel k rajiny
DMR	D igitální m odel r eliéfu
DMT	D igitální m odel t erénu
DSM	D igital s urface m odel = digitální model povrchu
DTM	D igital t errain m odel = digitální model terénu
ESRI	E nviromental S ysteme R esearch I nstitute
GIS	G eographic I nformation S ystém = geografický informační systém
GPS	G lobal P ositioning S ystém
S-JTSK	Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

SW	S oftware
TIN	T riangulated I rregular N etwork
ÚRM	Ú tvar rozvoje m ěsta
VGHMÚř	V ojenský g eografický a h ydrometeorologický úř ad

Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i>	<i>Metoda hraniční reprezentace.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2</i>	<i>Metoda konstruktivní geometrie těles.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3</i>	<i>Ortogonální a středové promítání.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 4</i>	<i>Virtuální prohlídka Taj Mahalu.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 5</i>	<i>Univerzitní kampus Albertov.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 6</i>	<i>Export souboru DWG do SW Google SketchUp.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 7</i>	<i>Přehled komponent použitých v modelu budovy Viničká 7.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 8</i>	<i>Porovnání vizualizace fasády pomocí komponent a textury.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 9</i>	<i>Nesprávně vykreslený model ve formátu SketchUp 6.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 10</i>	<i>Přesné umístění modelu budovy.....</i>	<i>36</i>

1. Úvod

Hlavním tématem bakalářské práce je tvorba 3D modelu krajiny a zástavby na příkladu univerzitního kampusu Albertov v Praze. Součástí práce je i přehled literatury a popis problematiky 3D vizualizace a dalších oborů souvisejících s daným tématem. Popsány jsou též data a software, které byly při praktické části využívány.

3D vizualizace patří k relativně mladým a rychle se rozvíjejícím oborům (geo)informatiky. Na trhu je možné objevit množství softwarů umožňujících tvorbu třírozměrných objektů či alespoň práci s nimi. Vytvořené modely se pak využívají v mnoha oborech. Právě perspektiva a aplikovatelnost oboru 3D vizualizace mě vedly k výběru tohoto tématu práce.

Model vytvořený v rámci této práce by měl ve své finální podobě sloužit především pro účely PŘF UK v Praze. Klade si za cíl pomoci veřejnosti v orientaci v univerzitním areálu Albertov, neboť informace o polohách jednotlivých budov jsou zde prezentovány ve třech rozměrech, což odpovídá lidskému vnímání. Při tvorbě byla snaha dosáhnout kompromisu mezi detailní přesností zobrazovaných budov a rozsahem zpracovávané oblasti.

Dílním cílem při vytváření výsledného modelu univerzitního kampusu Albertov je tvorba jednotlivých budov. Ta proběhla ve volně stažitelném SW Google SketchUp 6, který vyniká především svým intuitivním ovládáním, čímž je pro tuto práci vhodným. Mimo současné zástavby byly vizualizovány i budovy plánované výstavby kampusu – Biocentra a Centra studia globálních změn. To umožní mimo jiné porovnat současný a budoucí vzhled celého areálu.

Výsledný model a animace budou provedeny za pomoci SW ArcGIS v aplikaci ArcScene, která umožňuje vytvářet obrazové výstupy, zejména průletové animace. Výstupy ale budou prezentovány i ve formě JPG, což umožní provést lepší porovnání modelu s realitou reprezentovanou současnými fotografiemi zobrazovaného území.

2. Úvod do problematiky a rešeršní část

2.1. 3D model a jeho využití

Hlavním pojmem této práce je 3D, což je zkratka anglického slova three-dimensional, tedy troj-rozměrné. Objekty vymodelované a vykreslené v 3D prostoru mají mimo šířky a délky i výšku, a tedy i objem. Tím se liší od objektů ve 2D prostoru (two-dimensional, dvou-rozměrný), které údaje o výšce neobsahují. V oblasti geoinformačních systémů se objevuje určitý mezistupeň, a to 2,5D. Jedná se o model, kde ke každé dvojici souřadnic x, y je ve formě atributu přiřazena maximálně jedna výšková souřadnice z . Z toho vyplývá, že tímto způsobem nemohou být modelovány objekty jako jsou skalní převisy nebo v městském prostředí například balkony (Gröger, Plümer, 2005).

Pravda a Kusendová (2004) z hlediska geometrie rozlišují následující typy geoprvků:

- 0-dimenzionální – bezrozměrné body bez délky, směru či plochy (např. výšková kóta)
- 1-dimenzionální – linie, které mají délku a směr, ale žádnou plochu (např. cesta)
- 2-dimenzionální – polygony (areály), které mají plochu (např. parcela)
- 3-dimenzionální – tělesa s objemem, resp. mnohostěny ohraničené rovinami, ale bez obsahu (budova jako konstrukční těleso)
- 4-dimenzionální – animace, která zaznamenává změny předchozích dimenzí (čas se zde chápe jako čtvrtá dimenze)

Geoprvky se stále nejčastěji modelují v rovině (tj. 2D), kde jejich polohu, popř. tvar vyjadřují právě souřadnice x, y . V poslední době je však, i díky rozvoji možností sběru prostorových dat (např. GPS, laserové skenování, DPZ) a techniky jejich zpracování (hardware, software), stále častější prezentace geografických dat ve třírozměrné podobě,

kde je možné mimo rovinných rozměrů sledovat i charakteristiky terénu, což je podstatně bližší reálnému světu a způsobu lidského vnímání (Koussa, Koehl, 2009). Tento trend dokládá tab.1, kde je zachycen vývoj podílu jednotlivých typů na celkovém objemu geografických informací.

Tab. 1 Trendy předpokládaného vývoje typů informací (zdroj: Schejbal; Homola; Staněk, 2004)

Ukazatel		Podíl (%)					
		1995	2000	2005	2010	2015	2020
Média	papírová	85	70	50	30	20	15
	digitální	15	30	50	70	80	85
Typy informací	text	80	70	60	50	40	30
	2D obrázky/foto	17	20	25	25	25	30
	3D modely	1	5	10	15	20	25
	video/film	1	3	3	5	10	10
	audio	1	2	2	5	5	5

Mnoho měst si zpracovává vlastní 3D městský model, jehož důležitým prvkem jsou digitální modely zástavby. Ty lze rozdělit do tří kategorií, podle složitosti modelů a způsobu modelování. Jedná se o model blokový (bez modelace střech), model urbanistický (s modelací střech) a podrobný model budov (znázornění i objektů na střechách, zaměření zeleně atd.) (www.geodis.cz). Kromě hmotných objektů, jako jsou budovy či vegetace, 3D model města zahrnuje i prostor, v němž se nacházejí. Tyto modely mohou být dále využívány k mnoha účelům, jako jsou propagace města a s tím spojený turistický ruch, architektonické studie, nebo k lepšímu pochopení některých procesů uvnitř města (např. fungování infrastruktury či migrace).

3D modely se hojně využívají i ve fyzické geografii, kde umožňují simulování vypočtených situací v krajině, či k animování určitých přírodních, potenciálně nebezpečných jevů, jako jsou laviny či povodňové vlny. Takto nabyté informace pak mohou sloužit při zavádění nových preventivních opatření (Kolejka, Petr, 2005).

Cromley (1992) však zmiňuje i některé nevýhody, které s sebou 3D modely přinášejí. Upozorňuje především na fakt, že určitá místa v modelu jsou vždy zastíněna objekty vpředu.

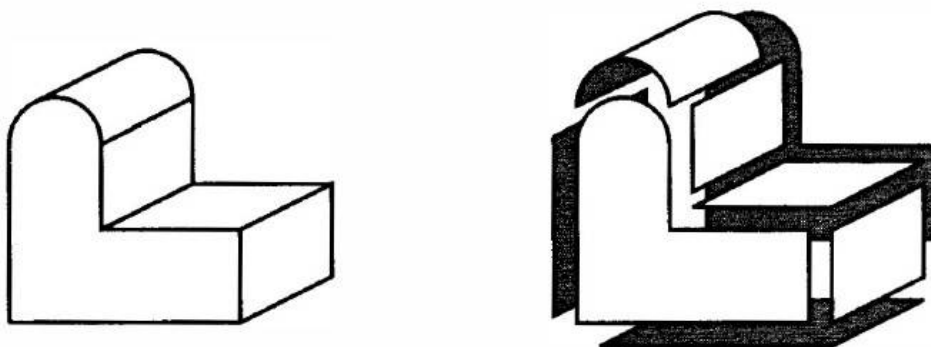
2.2. Model tělesa

Velká část počítačových objektů v trojrozměrném prostoru má charakter tělesa. Dle Žáry (2004) je těleso definováno jako „sjednocení dvou disjunktních množin – množiny vnitřních bodů a množiny hraničních bodů.“ Vnitřní bod sousedí jen s dalšími vnitřními nebo hraničními body, hraniční bod sousedí alespoň s jedním dalším hraničním, vnitřním a vnějším bodem. Těleso je tedy spojitý útvar tvořený jedním celkem s možnými otvory. Tato definice tedy ze skupiny těles vylučuje objekty, které nemají žádné vnitřní body ve smyslu těles, jako jsou například úsečky či obecné plochy.

Koussa (2009) rozlišuje dvě hlavní metody reprezentace 3D těles – reprezentaci hraniční (Boundary Representation, B-Rep) a konstruktivní geometrii těles (Constructive Solid Geometry, CSG).

2.2.1. Hraniční reprezentace

Tato metoda vytváří objekty popisem jejich hranic, tedy množiny hraničních bodů. O vnitřních bodech se informace neuchovávají, popřípadě je lze odvodit právě z popisu hranice. Jedná se o přirozenou reprezentaci, neboť v reálném životě většina lidí také kreslí tělesa pomocí jejich obrysu, což je podmnožina hranice. Objekty vytvořené pomocí B-Rep, jsou detailnější a poskytují více informací o svém povrchu než v případě CSG. Na druhou stranu má vyšší nároky na prostor pro uložení dat (Žára, 2004).

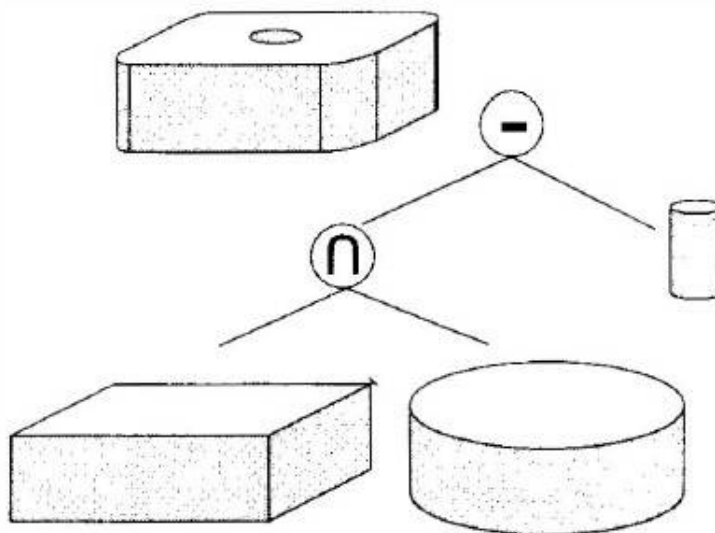


Obr. 1 Metoda hraniční reprezentace (zdroj: Žára 2004)

2.2.2. Konstruktivní geometrie těles

Metoda konstruktivní geometrie těles je založena na reprezentaci tělesa stromovou strukturou neboli CSG stromem. Z jednoduchých geometrických objektů (CSG primitiv), jako jsou kvádr, koule, válec, kužel či jehlan, je pomocí booleanovských operací (sjednocení, průnik, rozdíl) vytvořen konečný objekt. Zjednodušeně lze považovat

sjednocení za obdobu sváření či lepení, rozdíl za vrtání a průnik za oříznutí (Žára, 2004). Koussa (2009) zmiňuje několik výhod této reprezentace. Jde například o intuitivnější manipulaci s tělesy, jednodušší tvorbu objektu, dává informace o celém výsledném objektu, nikoliv pouze o jeho částech, hranice objektu jsou přesnější při jakémkoliv přiblížení. Nevýhodou je, že hrany a plochy nejsou přesně definovány (Koucká, 2011).



Obr. 2 Metoda konstruktivní geometrie těles (zdroj: Žára 2004)

2.3. Digitální model terénu

Šíma (2003) vykládá pojem model jako „abstrakci některých aspektů reality, které jsou významné pro zamýšlenou aplikaci“.

Digitální model terénu (DMT) je potom dle Pavelky (2011) matematicko-číselná simulace průběhu terénu, doplněná o pravidla používání. Jeho základem jsou význačné prostorově určené body v terénu, které by měly co nejlépe vystihovat průběh terénu. DMT lze také definovat jako digitální reprezentaci zemského povrchu v paměti počítače, složenou z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů (www.vugtk.cz/slovník). Rapant (2005) ve své definici zmiňuje i to, že topografické povrchy jsou nejčastěji reprezentovány způsobem, kdy každé dvojici x a y odpovídá jediná souřadnice z , a že se tedy jedná o 2,5 D model. Digitální modely terénu jsou využívány především pro studium úkazů, které souvisí s reliéfem terénu a s topografií (Bravený, 2008).

První programy, umožňující tvorbu DMT, byly vytvořeny na konci 50. let 20. století. Z této doby pochází také první definice DMT: „DMT je jednoduše statickou reprezentací kontinuálního povrchu zemského prostřednictvím velkého počtu vybraných bodů o známých souřadnicích X , Y a Z v libovolném souřadnicovém systému“ (Rapant, 2005).

Tuček (1998) rozlišuje 2 typy modelů terénu:

Rastrový model – oblast je rozdělena na pravidelné, stejně velké plošky, tzv. buňky. Většinou se jedná o čtverce, popř. šestiúhelníky. Každé buňce je přiřazena výška terénu. Tato hodnota platí pro celou plochu buňky. Výhody jsou podobné jako u jiných rastrových datových reprezentací, především tedy jednoduchost struktury a následného zpracování. Nevýhodou je nepřesnost při použití hrubého rastru a nadbytečné údaje na plochách, kde nedochází ke změnám průběhu terénu.

TIN model – terénní plocha se rozdělí na nepravidelnou, trojúhelníkovou síť, pro jejíž vrcholy jsou zaznamenány informace o poloze v souřadnicovém systému a výšce. Spojnice vrcholů trojúhelníků by měla co nejlépe sledovat výrazné změny v průběhu terénní plochy jako celku (hrany, zlomy). Výhodou oproti rastrovému modelu je menší objem uložených dat a možnost změny velikosti trojúhelníků – v rovinném území může být trojúhelníková síť řidší a naopak. Nevýhodou je složitost struktury a postupu jejího vzniku. I odvození jakékoli informace je výpočetně náročné.

2.3.1. Druhy digitálních modelů

Digitální modely lze dělit na několik druhů dle obsahu dat a možností dalšího využití (Jelének, 2010).

DTM – digital terrain model (digitální model terénu). Jedná se o holý povrch bez vegetace a lidských výtvarů. „Je to komplexní povrch zahrnující výšku se zpřesňujícími a jednoznačnými liniiovými a polygonovými geoprvky, jako jsou říční toky a koryta, násypy komunikací, vodní plochy a hrany na terénu.“ (Bravený, 2008) Typickým příkladem DTM je vektorová vrstva vrstevnic používaná v topografických mapách.

DSM – digital surface model (digitální model povrchu). Zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy objektů jako jsou střechy či koruny stromů. Často je konstruován pomocí automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrammetrii).

DEM – digital elevation model (digitální výškový model), v české literatuře se objevuje také jako DMR (digitální model reliéfu). „Popisuje 2,5 D rastrový model, který obsahuje výškové body ve vztahu k referenčnímu povrchu, často bez omezení toho, co objekty vztahu k referenčnímu povrchu reprezentují. Tento termín tak charakterizuje spíše modelovací techniku, než data, která DEM popisuje.“

DLM – digital landscape model (digitální model území). Jde o komplex dat a programových prostředků pro sběr, zpracování, aktualizaci a distribuci digitální informací o území. V České republice se jedná např. o ZABAGED. Z kartografického

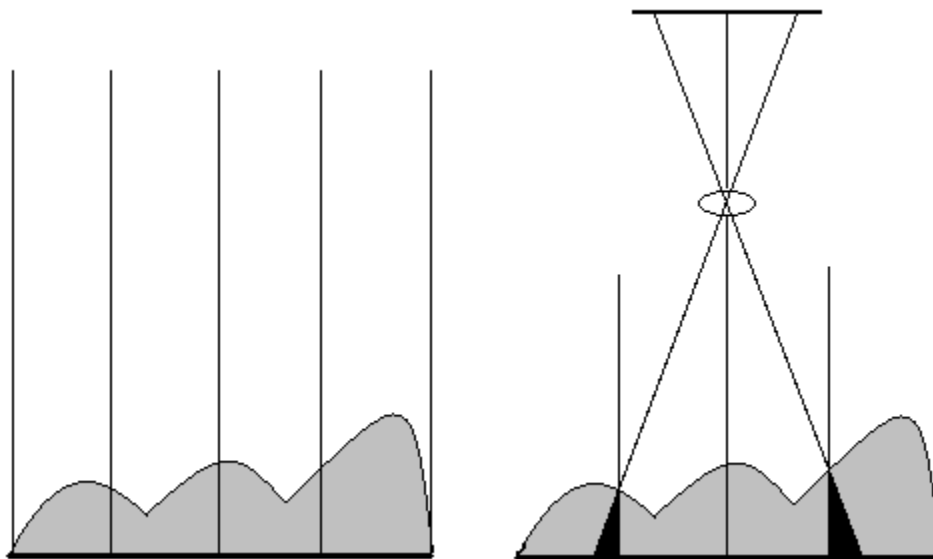
pohledu se jedná o soubor topografických dat o území (reliéf, zástavba, vegetace...), z pohledu 3D modelování pak o komplexní model obsahující 2,5 D model reliéfu krajiny a integrované 3D objekty.

DMK – digitální model krajiny je komplexní minimálně trojrozměrné schéma krajiny. Jedná se o spojení dat nadpovrchových (klíma, vegetace, vodstvo, využití, antropogenní prvky), povrchových (informace o reliéfu – DMT) a podpovrchových (informace o zemině, geologii, podpovrchové vodě).

2.4. Ortofoto

Ortofotosnímek je vytvořen z měřického snímku takzvanou ortogonalizací. Jedná se o převedení středového promítání na ortogonální (www.vugtk.cz/slovník). Rozdíl mezi promítáním středovým a ortogonálním zobrazuje obr. 3.

S obrazovou informací získanou z měřického snímku nelze pracovat jako s mapou či ji vkládat jako vrstvu do GIS, neboť středové promítání způsobuje radiální posuny na snímku, a to přímo úměrně nerovnosti terénu, měřítku snímku a radiální vzdálenosti bodu na snímku. Navíc již malá převýšení způsobují nezanedbatelnou chybu (Pavelka, 2011).



Obr. 3 Ortofonální (vlevo) a středové promítání (zdroj: Pavelka 2011, vlastní tvorba)

Ortofoto se tvoří na základě známého převýšení jednotlivých pixelů nad srovnávací rovinou. Díky tomu je možné vypočítat nové polohy pixelů, což se provádí jedním ze dvou způsobů. První, klasická metoda vychází z orientované letecké stereodvojice, kde se vyhodnocuje překrytové území. Druhou, dnes preferovanou metodou je tvorba pomocí

nepřímé geometrické transformace. Ortofoto je vytvořeno z jednoho (či více) snímku se známou vnitřní a vnější orientací a přesného digitálního modelu terénu. Problémem u druhého způsobu může být nedostupnost dostatečně přesného a aktuálního DMT. I to se ale v současné době mění, neboť především díky leteckému skenování je možné DMT získat poměrně snadno, a to i pro malá území (Pavelka, 2011).

2.5. Dosavadní aplikace 3D modelování

Problematikou 3D modelování se zabývá mnoho institucí i jednotlivců. Prakticky každé významné město se může chlubit vlastním 3D modelem. Například Berlín se stal prvním německým městem, které si takový model nechalo zpracovat, a dnes si tak lze virtuálně prohlížet nejen současný Berlín, ale například i Berlínskou zeď (www.businesslocationcenter.de). Mimo světová centra se velká část projektů zabývajících se 3D modelováním zaměřuje na turistické oblasti. Příkladem může být virtuální prohlídka města Jerusalemu, Taj Mahalu, Machu Picchu a dalších. Největší a nejzajímavější projekty jsou sdružovány na webových rozcestnících. Jedním z takových je Virtual Terrain Project (www.vterrain.org). Zde je možné nalézt odkazy na množství modelů vytvořených různými technikami. Dále se na tomto serveru nachází mnoho informací o tvorbě, správě i přenosech 3D modelů.



Obr. 4 Virtuální prohlídka Taj Mahalu (zdroj: www.vizerra.com)

Nejnámějším produktem v oboru 3D modelování je však Google Earth od společnosti Google Inc. Tato aplikace zobrazuje celý zemský povrch tvořený 3D modelem terénu, na který jsou umístěny letecké a satelitní snímky. Jeho nesporná výhoda tkví v tom, že vizualizace jednotlivých budov mohou přidávat sami uživatelé. Vytvořené objekty sice musí splňovat řadu podmínek, aby mohly být uveřejněny, přesto se ale databáze modelů rychle rozrůstá. Konkurentem pro Google Earth je například Bing Maps Platform (dříve Virtual Earth) od firmy Microsoft (www.microsoft.com). Obrovský potenciál v této oblasti má v současné době aplikace Nokia Maps 3D. Jedná se o fotorealistické modely

světových metropolí vytvářených automaticky z šikmých snímků pomocí technologie z dílny švédské společnosti C3 Technologies. Současná zkušební verze obsahuje 3D modely 20 měst, mezi nimiž je i Praha. Modely se vyznačují detailním zpracováním, a to například i zeleně. Pět měst si je možné prohlédnout i ve formě panoramatického pohledu (www.gisportal.cz).

Na akademické půdě jsou často řešeným tématem modely univerzitních kampusů. Práce se odlišují jak velikostí detailu modelů, tak především postupem zpracování. Většina těchto prací klade větší důraz na okolí kampusu. Budovy jsou často vizualizovány jen pomocí textury a detailně jsou naopak modelovány ostatní prvky, jako jsou lavičky, koše, automaty či dokonce požární hydranty. Typickým příkladem takového přístupu je model ČVUT Fakulty elektrotechnické (Kratochvíl, 2006) vytvořený pomocí CAD aplikací. Dalším podrobným modelem je vizualizace kampusu Masarykovy Univerzity v Brně Bohunicích. Malý (2009) zde pomocí SW Google SketchUp detailně vymodeloval budovy univerzity včetně jejich okolí. Také Russnák (2012) se ve své diplomové práci zaměřil na Masarykovu Univerzitu, konkrétně na areál PŘF v Kotlářské ulici. I v tomto případě je vizualizace fasád provedena jen za pomoci textury a pozornost je upřena na prostor mezi jednotlivými budovami. Zdařilé porovnání rozdílných přístupů ke tvorbě modelu zástavby provedl Popelka (2008), který vytvořil dva modely budovy Přírodovědecké fakulty univerzity Palackého v Olomouci. První model byl realizován pouze za pomoci textur, u druhého modelu byla fasáda vizualizovaná v SW Google SketchUp.

Velký potenciál má 3D modelování i v oblasti historické geografie, kde je ideálním prostředkem pro rekonstrukci zaniklé krajiny a sídel. Toto téma zpracovala na příkladu města Dobříš Koucká (2011). Jelének (2010) se zabýval zaniklými obcemi v českém pohraničí a ve vojenských újezdech. Dalšími nenávratně ztracenými místy jsou oblasti, které byly zaplaveny při stavbě přehrad a vodních nádrží. I v těchto případech nabízí 3D modely možnost, jak uchovat informace o zničené krajině a sídlech. Příkladem je projekt řešený ve spolupráci s Oblastním muzeem v Chomutově a Centrem pro virtuální realitu a modelování krajiny katedry geografie Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, jehož cílem je vytvoření 3D modelu města Přisečnice, které muselo v 60. letech ustoupit stavbě stejnojmenné vodní nádrže (Oršulák, 2011). Podobné téma zpracovává v bakalářské práci i Oktábec (2009), který se zaměřuje na rekonstrukci krajiny středního Povltaví, zasaženou výstavbou Orlické nádrže.

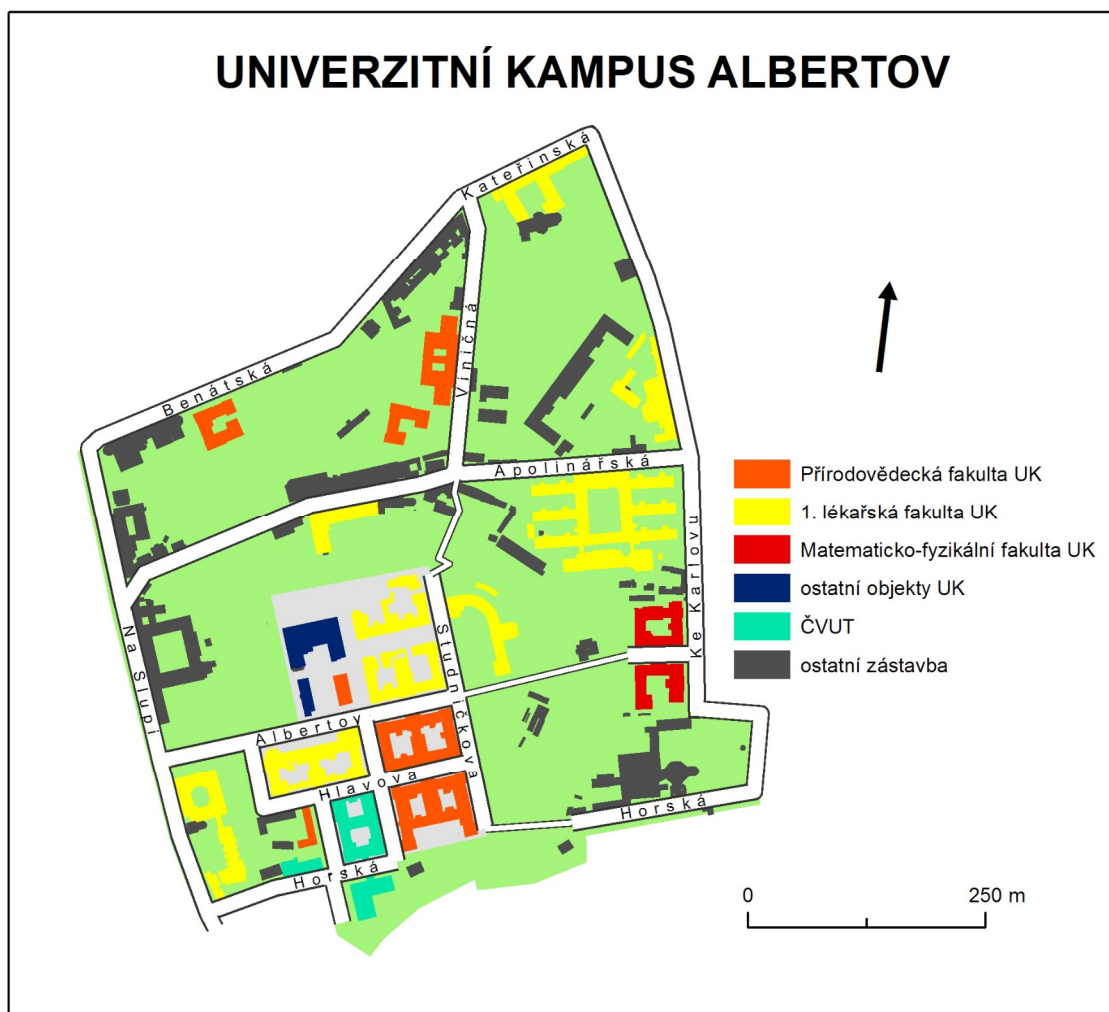
3. Vymezení území

Tato práce se zaměřuje na území vysokoškolského kampusu Albertov, a to konkrétně na budovy, ve kterých sídlí Přírodovědecká fakulta (PřF). V následující kapitole bude přesněji definováno zpracovávané území a budou zde poskytnuty i základní údaje o PřF.

3.1. Albertov

Albertov je přibližně 550 m dlouhá ulice v Praze 2 založená roku 1905 (Čarek, 1958) spojující ulice Na Slupi a Ke Karlovu. Téměř třetinu její délky tvoří schodiště. Pojmenovaná byla po univerzitním profesoru a spisovateli MUDr Eduardovi Albertovi (1841 – 1900).

Pojem Albertov se však všeobecně používá i pro označení univerzitního areálu, částečně sídlícího v této ulici. V tomto smyslu již ale území Albertova nemá přesně dané hranice. Pro účely bakalářské práce byl tedy kampus vymezen tak, aby obsahoval všechny vysokoškolské budovy nacházející se v blízkosti ulice Albertov, a současně aby respektoval přírodní či uměle vytvořené hranice. V jižní části tak řešené území dosahuje k hranici mezi katastrálním územím Nové Město a Vinohrady a současně kopíruje hradby. Západní část hranice kampusu je částečně shodná s hranicí katastrálního území Vyšehrad, dále pokračuje ulicemi Na Slupi. Severní část hranice je vedena ulicemi Benátská a Kateřinská, kde na ni navazuje východní větev reprezentovaná ulicí Ke Karlovu.



Obr. 5 Univerzitní kampus Albertov (zdroj: vlastní tvorba)

3.2. Přírodovědecká fakulta UK

Učení Karlovo mělo od svého založení v roce 1348 pouze čtyři fakulty: teologickou, lékařskou, právníckou a filozofickou, kde se vyučovaly prakticky všechny ostatní obory. V průběhu 19. století však přírodní vědy prožily mohutný rozvoj, což jasně ukazovalo potřebu nové, samostatné fakulty orientované na přírodní vědy a matematiku. Na začátku 20. století se navíc začal stavět nový univerzitní areál na Albertově a Karlově, kam byly přírodovědné ústavy přesouvány. Oficiální návrh na rozdělení fakulty podal profesorský sbor v roce 1908, avšak především kvůli první světové válce k rozdělení došlo až v roce 1920. Z filozofické fakulty vznikly fakulty dvě: fakulta filozofická, zaštiťující především humanitní obory, a přírodovědecká, kam byly přesunuty obory exaktnější a matematika. Přírodovědecká fakulta se tak stala první novodobou fakultou Univerzity Karlovy. Vědecká práce přímo navazovala na předchozí výsledky jednotlivých oborů, a tak se hlavním přínosem samostatné fakulty stalo především rozšíření prostoru pro další rozvoj

přírodních věd. Do prvního semestru bylo přihlášeno 849 posluchačů, prvním děkanem se stal profesor matematiky Karel Petr. V roce 1952 došlo k rozdělení fakulty na fakulty tři: matematicko-fyzikální, geologicko-geografickou a biologickou. Toto rozdělení se však neosvědčilo, a proto v roce 1959 došlo k další reorganizaci, při níž byla vytvořena přírodovědecká fakulta v dnešní podobě (Hermann, Fajkus 2010).

Dnes se fakulta skládá ze čtyř sekcí (biologické, chemické, geologické a geografické) a několika celofakultních pracovišť. Její sídlo se nachází v budově Albertov 6, ale patří jí i budovy v okolních ulicích.

3.3. Minikampus Albertov

Prostory ze začátku 20. století již pro potřeby PřF nevyhovují po kapacitní ani technické stránce. Tento problém by měla vyřešit stavba minikampusu Albertov, tj. dvou nových budov v areálu – Biocentra a Globcentra. Nový areál by měl sloužit jako základna pro magisterské a především doktorské studium studentů ze tří, na projektu kooperujících, fakult Univerzity Karlovy. Mimo přírodovědecké fakulty se jedná o fakultu Matematicko-fyzikální a První lékařskou. (www.cuni.cz).

3.3.1. Biocentrum

„Biocentrum bude koncipováno jako „centrum excelence“ v oblasti přírodních a lékařských věd „core facility“ (základna přístrojově náročných technologií UK).“ Plánuje se čtyřpodlažní budova s fotovoltaickými panely na střeše. Přibližně 70 % objektu budou zabírat laboratoře a jejich zázemí. Dále je v objektu navržena posluchárna s kapacitou až 300 míst, dvě malé posluchárny a další zázemí. Budova biocentra bude postavena v ulici Albertov namísto dnešní menzy a nevyužívané budovy bývalých studentských kolejí (www.cuni.cz).

3.3.2. Globcentrum

Budova Globcentra neboli Centra studia globálních změn by měla svým vzhledem odkazovat ke svému výzkumnému účelu. Řešení střechy „evokuje zemské tektonické kry a globální změny planety“ (www.stavbaweb.cz). Po fasádě by se měly pnout rostliny. Ty by navíc měly být z každé strany budovy jiné, takže budova bude během roku měnit svůj vzhled. Umístění budovy bude v lokalitě ohraničené ulicemi Horská, Hlavova a z východní strany objektem ČVUT. Měla by pojmout přes tisíc akademiků a 850 studentů. Součástí čtyřpodlažní budovy s pátým ustupujícím podlažím budou i tři patra podzemního

parkingu a menza určená pro přibližně 1 200 osob (www.cuni.cz). Dále jsou plánovány přednášková místnost s kapacitou až 450 míst a další seminární místnosti a zázemí.

4. Vstupní data

V následující kapitole jsou podrobněji popsána data, která byla využita ke tvorbě modelu a také softwary, ve kterých celá práce probíhala.

4.1. Podkladová data

Ke zpracování této bakalářské práce bylo využito několik datových podkladů. Tvorba digitálního modelu terénu byla provedena na základě vrstevnic poskytnutých ÚRM. K tvorbě a umístění budov do modelu bylo využito digitálního modelu zástavby a zeleně, respektive katastru nemovitostí. Ortofoto bylo použito k tvorbě výsledné 3D vizualizace. Jelikož zpracovávané budovy jsou ve většině případů přístupné, podklady pro vizualizaci fasády byly získávány přímým pozorováním. Část prvků, především okna a horizontální vzdálenosti mezi nimi, ale i některé ozdobné prvky či schody, byly přeměřeny pomocí pásma. Taktéž vertikální vzdálenosti přístupné ze země byly změřeny, nepřístupné pak byly odhadnuty na základě fotografií a pozorování.

Podklady pro tvorbu modelů Globcentra a Biocentra byly získány z tzv. zátěžové studie, která vznikla v rámci přípravy výstavby minikampusu Albertov v roce 2008 (přístupné na www.cuni.cz). Zde jsou uveřejněny půdorysy obou budov, výškové členění a částečně také vizualizace jejich vzhledu. Studie však byla koncipována jako maximalistická a jejím cílem bylo pouze zhodnocení největšího možného zastavění v daném území. Je tedy velice pravděpodobné, že skutečné budovy se nakonec budou lišit objemově i vzhledově. Konečná podoba bude známa po zpracování stavebního programu a proběhnutí architektonické soutěže, což by mělo být dle tajemnice PŘF Mgr. Lenky Dvořákové do konce roku 2012.

4.1.1. Digitální model zástavby a zeleně

Modelace jednotlivých budov byla založena především na datech Digitálního modelu zástavby a zeleně, který byl poskytnut Útvarem rozvoje hlavního města Prahy. Tento model je zpracován na základě fotogrammetrie a zobrazuje terén, budovy, mosty a zeleň na území celé Prahy. Jeho pořizování začalo v roce 2001 v centrální části města a během následujících sedmi let byl postupně rozšiřován až do okrajových oblastí. Každoročně je aktualizován model zástavby, naopak zeleň se neaktualizuje. V současné době je ve zkušební fázi i texturovaný 3D model.

Zobrazované plochy modelů budov, které byly jako jediné z nabízených dat v bakalářské práci využity, jsou tříděny do osmi skupin. Jedná se o svislé obvodové plochy, vodorovné, šikmé a dílčí kruhové střešní plochy a dále různé objekty, jako jsou vikýře, věže, komíny či výtahy. Každý jednotlivý prvek je identifikován kódem prvku budovy (číslo dané skupiny) a identifikačním číslem budovy, které je součástí. Každá budova obsahuje úplný počet stran, což má za následek duplicitu společných svislých stěn. Modelování bylo prováděno v systému Microstation a výsledná data byla převedena do 3D shapefile se dvěma, výše zmíněnými atributy (www.geoportalpraha.cz).

4.1.2. Ortofoto České republiky

„Ortofoto České republiky představuje periodicky aktualizovanou sadu barevných ortofot v rozměrech a kladu mapových listů Státní mapy 1 : 5 000.“ (www.geoportal.cuzk.cz)
Tvorba ortofot je dlouhodobě zajišťována Zeměměřickým úřadem společně s Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř). Česká republika je rozdělena do tří pásem, v jejichž rámci ortofota zobrazují stav ke stejnému roku. V letech 2003 až 2011 bylo každý rok snímkováno jedno pásmo, z čehož vyplývá, že časové rozmezí stavu ortofot v jednom pásmu jsou tři roky. V současné době jsou k dispozici ortofota se stavem k roku 2011 (pásmo "Západ"), k roku 2010 (pásmo "Střed") a k roku 2009 (pásmo "Východ"). Tato ortofota již mají jednotnou velikost pixelu 25 cm. Od roku 2010 je snímkování prováděno digitální kamerou, což s sebou přináší zlepšení kvality. V roce 2012 se přechází na novou, dvouletou periodicitu, kdy bude každý rok snímkována přibližně polovina území ČR.

4.2. Použitý software

V rámci práce byly využity především dva softwary. Modelace budov byla prováděna v SW Google SketchUp, vizualizace konečného modelu proběhla v SW Esri ArcGIS.

4.2.1. Esri ArcGIS

„Systém ArcGIS firmy Esri tvoří řada škálovatelných produktů určených pro kompletní nasazení GIS na jakékoli úrovni.“ (www.arcdata.cz)

Díky svým nástrojům pro editaci, analýzu a modelování je ArcGIS považován za nejkompaktnější GIS software. Základem jsou integrované a navzájem spolupracující softwarové aplikace ArcMap, ArcCatalog a ArcToolbox. Tyto tři aplikace jsou k dispozici ve třech variantách (ArcView, ArcEditor a ArcInfo) a dohromady tvoří kategorii produktu ArcGIS Desktop. Dále existuje velké množství volitelných nadstaveb umožňujících např. práci s rastrovými daty či 3D analýzu (www.arcdata.cz). Z těchto nadstaveb lze uvést např. Data Interoperability, Geostatistical Analyst, Network Analyst, Spatial Analyst či 3D Analyst. Právě ArcGIS 3D Analyst a jeho specializovaná aplikace ArcScene byly využity k tvorbě finálního modelu kampusu Albertov. Tato nadstavba umožňuje zobrazit a analyzovat data reprezentující povrch. Lze například zobrazovat pohled z více pozorovacích míst, určit viditelnost z daného stanoviště či tvořit realistické perspektivní pohledy přichycením vektorových nebo rastrových dat na povrch (Arcdata Praha, 2001).

3D Analyst patří mezi software pro vizualizaci 3D modelu krajiny. Jeho slabinou je tvorba 3D modelů budov. Ty se tvoří pouze „vytažením“ polygonů, a jsou tedy reprezentovány obyčejnými kvádry (Applaton, 2002). Z tohoto důvodu byl pro tvorbu modelů budov použit software Google SketchUp.

4.2.2. Google SketchUp

Google SketchUp představuje volně stažitelný software pro tvorbu, úpravu a sdílení 3D modelů. Je využíván architekty, designéry, konstruktéry ale i vývojáři počítačových her či filmaři a mnohými dalšími uživateli. Díky svému intuitivnímu ovládnutí je dnes jedním z nejrozšířenějších programů na tvorbu 3D modelů (sketchup.google.com).

První verzi programu zveřejnila firma @Last Software v roce 2000. Velice rychle se program stal oblíbeným. Důležitým se stal rok 2003, kdy firma získala patent na Push/Pull technologii. V roce 2005 byl vydán plugin, díky kterému bylo možné zobrazit modely vytvořené ve SketchUp v aplikaci Google Earth. To se zřejmě stalo důvodem, proč se o rok později Google rozhodl firmu @Last Software a jejich jediný produkt SketchUp odkoupit (Popelka, 2008).

V roce 2011 si stáhlo program SketchUp více než 30 milionů uživatelů po celém světě. V dubnu 2012 bylo relativně nečekaně oznámeno, že se Google dohodl s firmou Trimble

Navigation o odprodeji tohoto programu. Obě firmy ale slibují, že pro konečného uživatele by nemělo dojít k žádné změně (Bacus, 2012).

5. Metodika zpracování

V následující kapitole jsou rozebrány jednotlivé kroky vedoucí k tvorbě finálního modelu.

5.1. Příprava vstupních dat

Prvním krokem bylo vytvoření personální databáze ESRI Personal Geodatabase, kam byly v průběhu práce ukládány všechny výsledky. Tato databáze byla vytvořena v prostředí ArcCatalog (*New – Personal Geodatabase*). Celá práce probíhala v souřadnicovém systému S-JTSK.

5.1.1. Tvorba DMT

K tvorbě TIN, který reprezentuje povrch, bylo využito dat poskytnutých ÚRM. Ačkoliv není modelové území plošně příliš rozsáhlé, lze ho označit za členité. Například budova děkanátu (Albertov 6) je oproti nejvýše položenému objektu PŘF, kampusu Albertov (Viničná 7), až o 30 m níže. Navíc, při rozsáhlosti modelovaných budov, je často nezanedbatelný rozdíl i v rámci jednoho objektu. Jako doklad lze uvést Chemický ústav (Hlavova 8). Zde byla měřena vzdálenost horní linie oken v přízemí od povrchu terénu a tím zjištěno, že výškový rozdíl mezi západním a východním okrajem budovy se pohybuje okolo 3 m. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem bylo třeba vytvořit dostatečně přesný model terénu, čehož bylo dosaženo použitím vrstevnic se základním intervalem 1 m.

Samotná tvorba TIN proběhla v aplikaci ArcMap pomocí nástroje *Create TIN (3D Analyst Tools – TIN Manager)*. Vstupní vrstvu (*Input Feature Class*) tvoří vrstevnice ve formě polylinií, které byly nejdříve oříznuty polygonem představující zkoumané území (*Analysis Tools – Extract – Clip*).

5.1.2. Tvorba vektorových podkladů

Vektorizace musela proběhnout u všech objektů, které byly později vizualizovány ve výsledném modelu. Jednalo se tedy o vrstvy silnic, chodníků, stromů a především budov. Chodníky i silnice byly reprezentovány polygonovou vrstvou. Důvodem byla nestejná šířka jednotlivých prvků. Tento fakt nebylo možné v modelu opomenout a v případě liniové vrstvy by jeho realizace byla obtížnější. Pro zobrazení stromů byla použita vrstva bodová, stejně jako pro přibližné určení středu budov, jejichž modely byly v rámci práce vytvářeny. Pro budovy byly vytvořeny vrstvy celkem tři – jedna pro zástavbu, kterou čeká demolice, druhá pro plánovanou zástavbu a třetí pro zbylé budovy. Tento postup byl zvolen vzhledem k pozdější vizualizaci zvláště současného a budoucího kampusu. Pro každou budovu byl v odpovídající vrstvě vytvořen jeden bod, jehož atribut určoval, o jakou konkrétní budovu se jedná.

Kromě prvků, jež jsou zobrazeny na finálním modelu, byly vektorizovány také půdorysy budov, které později napomohly k přesnějšímu určení velikosti modelů a jejich správnému umístění. Vektorizace byla provedena nad ortofotem zpracovávaného území, respektive nad mapou katastru nemovitostí.

Proces vektorizace proběhl v aplikaci ArcMap pomocí nástrojové lišty *Editor*. Základním nástrojem pro vektorizaci je nástroj *Straight Segment*, který umožňuje umisťovat body, tzv. vertexy, které definují polygon či zlomové body linie. Před začátkem práce je vhodné aktivovat tzv. *Snapping*, který umožňuje přichycení k již vytvořeným vertexům. Lze nastavit jak toleranci přichytávání, tak druh bodů, ke kterým se mají nově vytvářené prvky přichytávat (např. koncový či zlomový bod). Dalším užitečným nástrojem je nástroj *Edit Vertices*, který umožňuje konečnou úpravu již vytvořených prvků.

5.1.3. Export dat do souboru CAD

Původní myšlenkou bylo vytvářet modely jednotlivých budov na základě dat získaných z Digitálního modelu zástavby a zeleně. Porovnáním s katastrem nemovitostí bylo zjištěno, že průměrná maximální odchylka v poloze se pohybuje okolo 70 cm. Vzhledem k tomu, že účelem vytvářeného modelu je především vizualizace budov fakulty, nikoliv jejich přesné zaměření, byla odchylka vyhodnocena jako přijatelná. Jelikož výše zmíněná data jsou ve formátu SHP, bylo je nejdříve nutné převést do formátu DWG, který je možné importovat do prostředí Google SketchUp (*Conversion Tools – To CAD – Export to CAD*).

Jako problém se ale ukázaly nepřesnosti takto získaných dat, například nestejná výška základů v rámci jedné budovy, a především nekolmost jednotlivých stěn, což ztěžovalo následnou práci na fasádě budovy. Z tohoto důvodu byly nakonec půdorysy budov

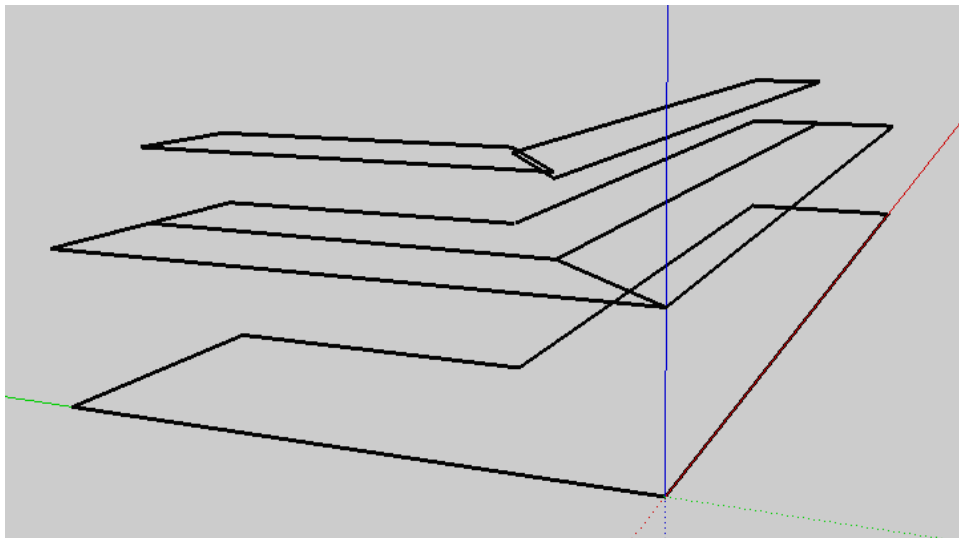
převzaty z katastru nemovitostí a z výše zmíněných dat byla dodána pouze výška. Bohužel i v tomto případě se vyskytl problém, neboť některé výšky z těchto dat nebylo možné zjistit. V těchto několika případech pak byly výšky odhadnuty pozorováním v terénu a porovnáním s objekty, jejichž výšky byly známé.

5.2. Tvorba 3D objektů v SW Google SketchUp

V současné době je k dispozici již Google SketchUp 8, přesto ale bylo k modelaci budov využito starší verze Google SketchUp 6. ArcGIS je totiž schopen zobrazovat pouze soubory formátu SketchUp 6, takže by bylo stejně nutné výsledky ukládat v této verzi. Hlavním důvodem byl však fakt, že volně stažitelná verze SketchUp 8, na rozdíl od verzí předchozích, nepodporuje import souboru ve formátu DWG, což je formát základních dat, která byla k tvorbě použita.

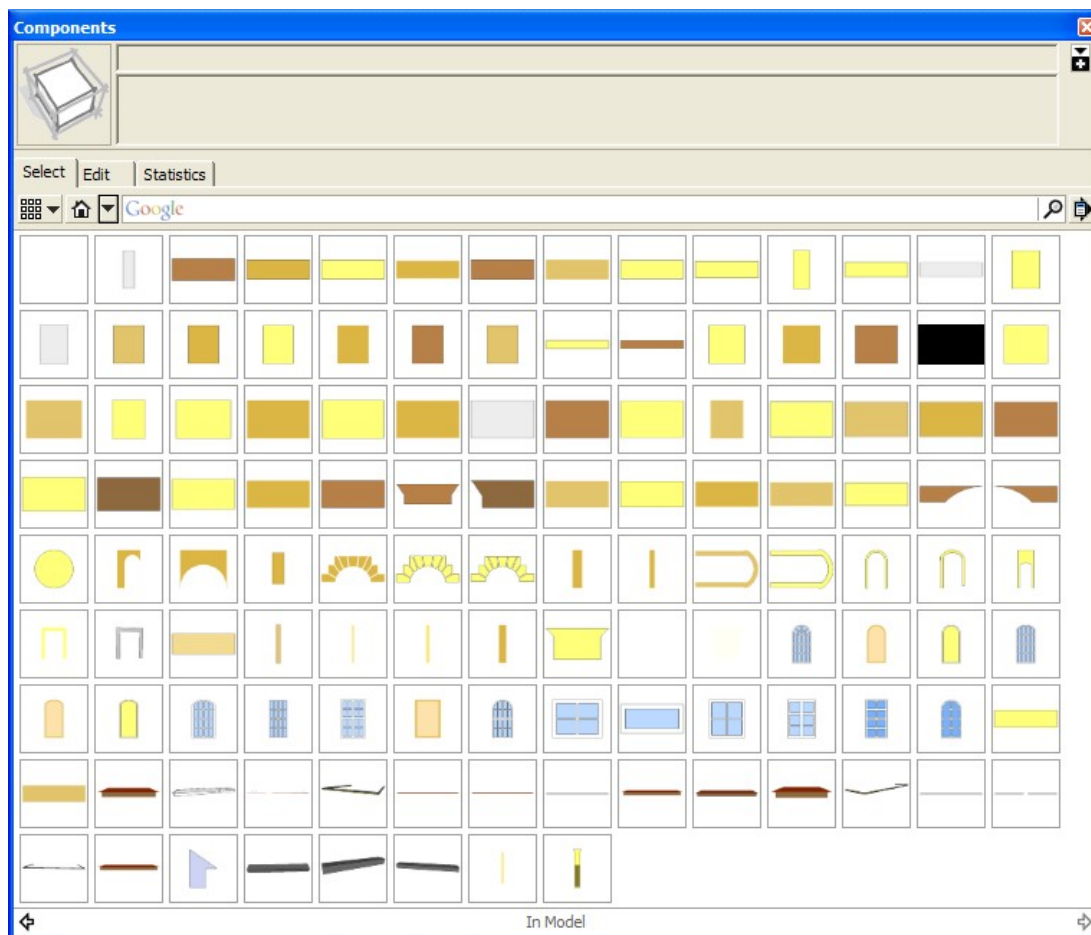
Program SketchUp může ze začátku budit dojem, že obsahuje jen malé množství nástrojů pro tvorbu 3D modelů. Pravdou ale je, že i toto nepříliš rozsáhlé spektrum nástrojů obsahuje prakticky vše, co je potřeba. Základní prostředí programu je tvořeno počátkem souřadnicového systému a navzájem kolmými, barevně odlišenými osami x, y a z. V průběhu práce je možné dle potřeby počátek souřadnicového systému posouvat či měnit orientaci os. Program navíc umožňuje během kresby jednotlivých objektů přichytávat se os či vést linie s osami rovnoběžně.

Prvním krokem byla tvorba hrubého modelu budovy, tj. obvodových stěn a střechy. Nejdříve byla importována (*File – Import...*) data ve formátu DWG. Výsledkem tohoto importu není celkový model budovy, ale pouze zobrazení některých jejích hran, jak je vidět na obr. 6. Bylo však možné provést měření a tím zjistit délky hran, respektive výšky stěn. Dále byl do prostředí SketchUp překreslen půdorys budovy (přístupné z: nahlizenidokn.cuzk.cz) změřený v aplikaci ArcMap (nástroj *Mesasure*). Jednotlivé části tohoto půdorysu byly pomocí nástroje *Push/Pull* vyzvednuty do správné výšky. Především u větších a složitějších budov je vhodné modelovat její jednotlivé části v různých vrstvách (*Windows – Layers – Add Layer*). Posléze je totiž možné nechat zobrazit jen vrstvu, na které se právě pracuje, což vede k větší přehlednosti a tedy i snadnější tvorbě.



Obr. 6 Export souboru DWG do SW Google SketchUp (zdroj: vlastní tvorba)

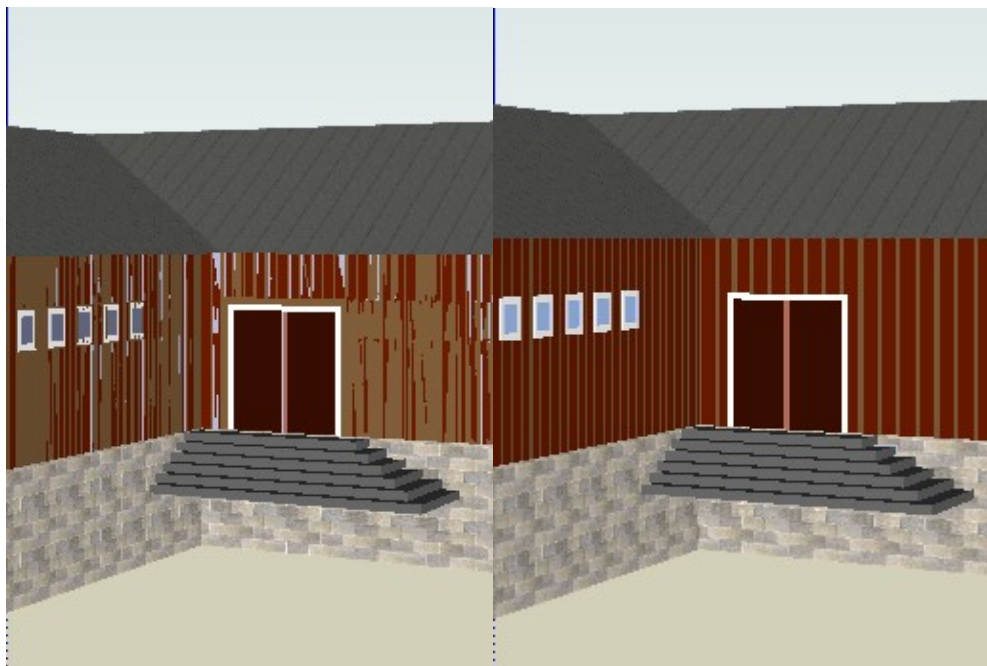
Dále byla vizualizovaná fasáda. Pro tuto činnost sloužily jako podklad především fotografie a pozorování v terénu. Několikanásobný výskyt identických prvků (např. oken) na jedné budově přinesl nutnost tvorby kopií. Přímé kopírování je slabým článkem SW SketchUp, neboť je poměrně složité a často s sebou přináší nepřesnosti. Tento nedostatek ale odstraňuje možnost tvorby tzv. komponent. V praxi to znamená, že pro všechny opakující se geometrie stačilo vytvořit jeden kus, který se pak jen vkládal na další místa. Případná změna jednoho exempláře se projeví i na ostatních. Při tvorbě komponenty navíc lze určit, zda se má přichytávat na nějakou plochu, popřípadě tuto plochu blíže specifikovat (vodorovná, svislá, šikmá).



Obr. 7 Přehled komponent použitých v modelu budovy Viničká 7 (zdroj: vlastní tvorba)

Při vizualizaci fasády bylo nutné počítat s tím, že v prostředí ArcScene na modelech nejsou viditelné hrany. Jednotlivé prvky tedy byly odlišeny od sebe navzájem jen dostatečně rozdílnými barvami, což v mnoha případech nekoresponduje s realitou.

Naprostá většina prvků fasády byla tvořena jako komponenty v prostředí SketchUp. Jednalo se především o různé veliké a barevné kvádry, vkládané na holý povrch budovy. Tento postup se ale ukázal nevhodným, pokud byly tyto prvky relativně malé a blízko sebe, konkrétně například při tvorbě dřevěného obložení. V takovém případě docházelo k nepřesnému vykreslování. Tento problém byl řešen vytvořením zvláštní texturované barvy (*Paint Bucket – Edit – Texture*). Jako textura byl vložen dvoubarevný obrázek, jehož jedna část značila dřevěný obklad a druhá podklad. Nevýhodami tohoto řešení je menší přesnost a větší objem dat. Například model budovy Horská 3 vizualizovaný pomocí komponent je velký pouze 289 kB oproti 1942 kB v případě stejné budovy s texturou. Srovnání vizuálních výsledků obou technik dokumentuje obr. 8.



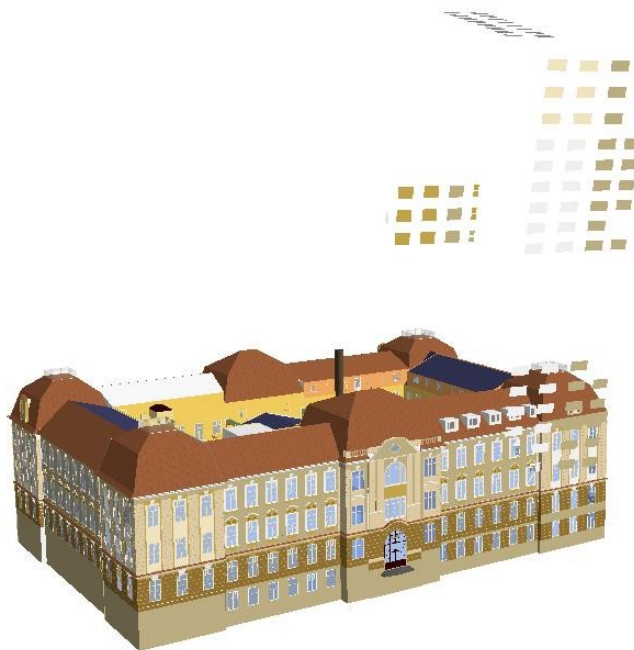
Obr. 8 Porovnání vizualizace fasády pomocí komponent (vlevo) a textury (zdroj: vlastní tvorba)

Bylo by vhodné zmínit alespoň některé nástroje, které byly při tvorbě modelů nejčastěji používány. Pro samotnou kresbu je možné využívat nástroje *Line*, kreslící linii, *Rectangle*, s jehož pomocí lze kreslit pravoúhlé čtyřúhelníky a *Circle* a *Arc* kreslící kruh, respektive oblouk. Všechny operace prováděné těmito, ale i některými dalšími nástroji, lze velmi přesně definovat. Stačí během kresby napsat požadovanou velikost, respektive úhel tvořeného prvku. Velice přínosným je již zmíněný nástroj *Push/Pull*, díky kterému je možné jakoukoliv rovinou plochu „vytáhnout“ a tím dosáhnout 3D objektu. Stejným způsobem lze plochu i „zatlačit“. Jeho poněkud sofistikovanější variantou je nástroj *Follow Me*, který dokáže danou plošku táhnout po předem zvolené cestě, tzv. páteři. Tento postup se nazývá šablonování (*sweeping*). Rozlišujeme šablonování translační, kdy je páteří úsečka, a rotační, pokud trajektorie, po které je obrys tažen, je kružnice či její část. Stejně těleso, jako v případě rotačního šablonování, je možné získat též rotací kolem osy (Žára, 2004). Nástroj *Follow Me* byl používán především při tvorbě říms nebo zábradlí. Důležitým nástrojem při práci byl i nástroj *Tape Measure Tool*, který umožňuje přesné měření a tvorbu pomocných linií.

5.2.1. Export modelů

Jak již bylo zmíněno, pro možnost vizualizace v aplikaci ArcScene je třeba ukládat modely ve verzi SketchUp 6 (*.skp). Druhou možností, kterou ale nabízí pouze verze SketchUp 8, je vyexportování modelu ve formě souboru COLLADA File (*.dae), který je také možné

importovat do ArcGIS. Nevýhodou je opět velikost souboru. Pro porovnání je možné uvést model budovy děkanátu, který ve formátu SKP zabírá velikost 3,66 MB ve formátu DAE je to již 10,2 MB. Na druhou stranu některé prvky v modelech, které byly importované jako soubory programu SketchUp, nebyly správně vykresleny. Problém byl především při použití průhledných materiálů. Proto byly nakonec modely, kde byly tyto materiály používány, do konečného modelu vloženy jako soubory formátu DAE a ostatní ve formátu SKP.



Obr. 9 Nesprávně vykreslený model ve formátu SketchUp 6 (zdroj: vlastní tvorba)

5.3. Vizualizace v ArcScene

Výsledná vizualizace modelu, stejně jako průletové animace a další obrazové výstupy, byla provedena v aplikaci ArcScene.

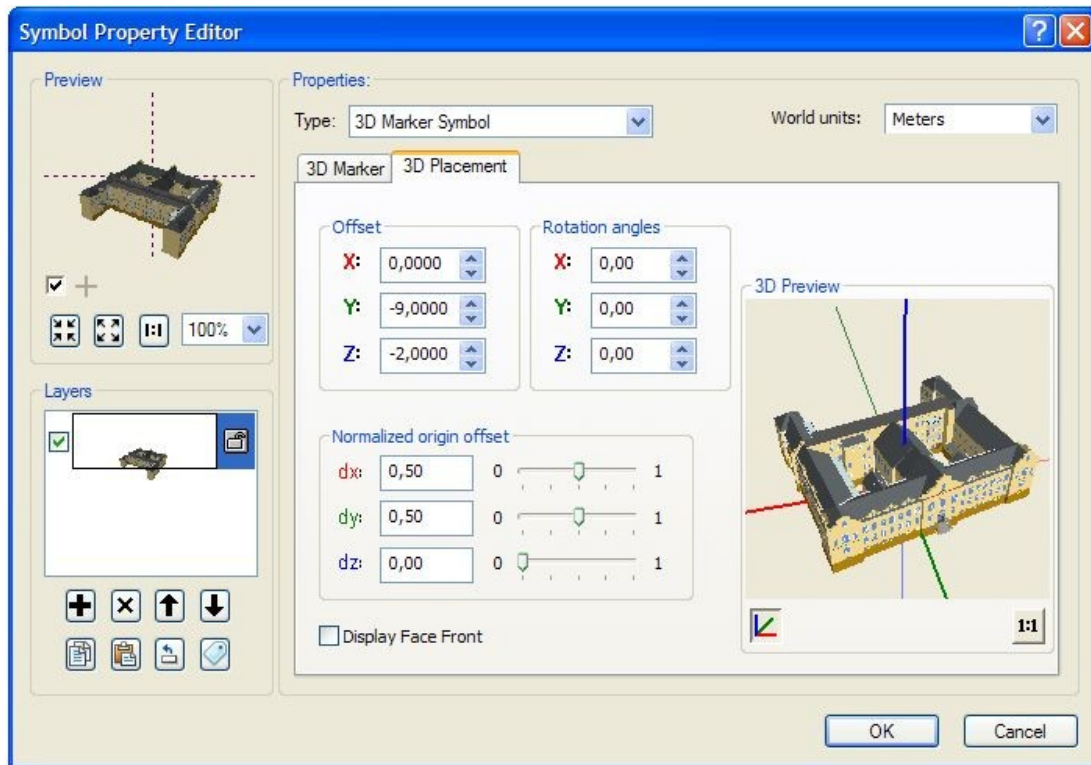
Pro vytvoření modelu kampusu bylo nutné zkombinovat TIN model terénu s připravenými vrstvami, respektive s modely jednotlivých budov. Nejdříve došlo k nahrání souboru TIN a všech potřebných dat (vrstva budov, stromů, silnic) do aplikace ArcScene (*Add Data*).

Vzhledem k dostatečnému vertikálnímu členění zpracovávaného území nebyl TIN představující povrch nijak převyšován. Dále k němu byly přichyceny ostatní vrstvy (*Layer Properties – Base Heights – Floating on a custom surface*). Tímto krokem se nastavily pro všechny prvky stejné výškové poměry, jako byly u TIN. Na některých místech v modelu ale došlo ke kolizi mezi TIN a ostatními vrstvami. Tento nedostatek lze odstranit mírným

zvýšením polohy vrstev vzhledem k TIN (*Layer Properties – Base Heights – Factor to convert layer elevation values to scene units*).

Dalším krokem byla samotná vizualizace 3D objektů. Pro stromy i pro modelovanou zástavbu byla vytvořena bodová vrstva, kde každý bod představoval strom, respektive přibližný střed budovy. Vizualizace objektů potom spočívala v přiřazení modelu k danému prvku. Jelikož cílem práce nebyla bližší studie krajiny, poloha jednotlivých stromů byla spíše odhadnuta, než přesněji zjišťována. Aby se v celém zobrazovaném území nenacházel pouze jeden druh stromů, byla vrstva propojena (*Joins and Relates – Join...*) s tabulkou vytvořenou pomocí MS Excel, kde byla ke každému bodu vygenerována náhodná čísla (0 až 3), přičemž každé číslo značilo jiný symbol a tím i druh stromu. Pro zobrazení stromů byly použity pouze znaky nabízené přímo v aplikaci ArcScene (*Symbol Selector – Style References*). Konkrétně se jednalo o sadu *3D Trees*, která obsahuje velké množství modelů různých stromů ve formě dvou navzájem kolmých rovin s texturou. Jedinou úpravou jednotlivých objektů tedy bylo jen nastavení správné velikosti (*size*). Programem nabízené znaky byly využity i pro vizualizaci vektorových vrstev silnic, chodníků a hradeb (sada *3D Basic*).

V případě budov bylo nutné nejdříve zobrazit každý bod v rámci jedné vrstvy unikátním symbolem (*Layer Properties – Symbology – Categories – Unique values*). Poté byl každý symbol editován a byl mu přiřazen model budovy, kterou znázorňoval (*Symbol Selector – Edit Symbol – 3D Marker Symbol*). Vzhledem k tomu, že body značící střed budovy byly umístovány jen přibližně, bylo po importu modelů nutné kromě nastavení správné velikosti (*Size*), otočení (*Angle*) i posunout objekty po ose x i y (*3D Placement*). Zároveň byly budovy posouvány i podle osy z, čímž došlo k nezbytnému zapuštění budovy do terénu.



Obr. 10 Přesné umístění modelu budovy (zdroj: vlastní tvorba)

5.3.1. Animace a tvorba výstupů

Finální model je prezentován formou pohledových scén a animací. Náhledy byly tvořeny exportem z aplikace ArcScene (*File – Export Scene – 2D*). Tato funkce umožňuje uživateli zvolit formát výstupu, stejně jako jeho kvalitu.

Druhou vizuálně efektivní formou výstupu jsou průletové animace, které byly rovněž vytvořeny v ArcScene, tentokrát prostřednictvím nástrojového panelu *Animation*. Nejjednodušším způsobem animace je využití funkce *Fly*, která umožňuje vytvářet libovolné průlety nad územím i v rámci jednotlivých ulic. Zaznamenání animace lze dosáhnout kombinací průletu s funkcí *Record* (*Animation – Animation Controls*). Panel *Animation Controls* obsahuje i další základní ovládací prvky jako je *Play*, *Pause* a *Stop*. Pro přesnější definování cesty letu je možné vytvořit linii (*3D Graphics – New Line*) a podle této pak průlet provést (*Animation – Create Flyby from Path*).

Nahrané video lze dále upravovat. K tomuto účelu slouží *Animation Manager* a jeho tři záložky *Keyframes*, *Tracks* a *Time View*. Keyframe jsou klíčové snímky, které odpovídají pohledům v animaci. U jednotlivých snímků je možné například měnit umístění kamery a tím měnit i samotnou animaci. Klíčový snímek lze vytvořit i pomocí funkce *Create Keyframe* a tento posléze zařadit do animace.

Posledním krokem je export animace, kde je možné zvolit průběh komprese. Z důvodu kvality výsledné animace je však vhodnější ukládat bez komprese a komprimovat až následně za pomoci specializovaného SW. Konečná úprava videí (například spojení či komprese) byla provedena v programu Pinnacle Studio 15.

6. Výsledky a diskuze

Hlavním cílem této práce byla tvorba trojrozměrného modelu a zhodnocení specializovaných softwarů k tomuto účelu použitých. Zpracovávaným územím byl vysokoškolský kampus Albertov v Praze na Novém Městě. Jedná se o oblast z velké části projektovanou na začátku 20. století, kde převažují mohutné solitérní budovy, často s vnitřními dvory. Detailně (včetně fasády a dalších prvků) bylo zpracováno 13 budov. Konkrétně se jedná o 4 budovy Přírodovědecké fakulty, 7 menších objektů určených k demolici a 2 budovy, jejichž stavba je plánovaná v rámci připravovaného minikampusu Albertov.

Základní složkou výsledného modelu je reprezentace povrchu definována pomocí TIN, který byl vytvořen na základě vrstevnic poskytnutých Útvarem rozvoje hlavního města Prahy. Plošně se nejedná o příliš rozsáhlé území (přibližně 600 x 750 m), avšak ve vertikálním směru vykazuje značné rozdíly. Přesto byla použita relativně podrobná výšková data, konkrétně vrstevnice se základním intervalem 1 m. Taková přesnost byla sice na některých místech nadbytečná, potřebnou se však ukázala v okolí vizualizovaných budov, kde bylo nutné správné „zapuštění“ jednotlivých staveb. Současně ale byla potřeba, na některých místech přiléhajících k modelovaným stavbám, průběh vrstevnic zpřesnit, aby byl povrch v rovině, a tedy odpovídal realitě.

Pokryv povrchu byl zobrazen pomocí ortofota a několika vrstev vektorizovaných v aplikaci ArcMap. V aplikaci ArcScene byly tyto vrstvy „přichyceny“ na TIN a byly jim přiřazeny znaky a textura. Stejným postupem byly umístěny i modelované budovy, respektive jejich přibližné středy. Protože se nepodařilo vždy přesně určit střed, musela být jednotlivým importovaným modelům upravena nejenom velikost, ale i umístění ve směru os x, y a z.

Dílčím, avšak časově nejnáročnějším úkolem byla vizualizace budov Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy, které jsou součástí vysokoškolského kampusu. Další skupinou realizovaných budov byly budovy stojící v místech plánované stavby minikampusu Albertov, respektive tento minikampus. Cílem bylo vytvořit modely v dostatečném detailu. Současné stavby byly tvořeny na základě dat z digitálního modelu zástavby a zeleně, mapy katastru nemovitostí a přímého pozorování a měření. Zdrojem dat pro vizualizaci budoucí zástavby pak byla zátěžová studie zpracovávající tento stavební záměr.

Tvorba budov proběhla v SW Google SketchUp, který se i přes menší počet nástrojů ukázal vhodným pro takovouto práci. Jediným drobným problémem byla spolupráce s programem ArcGIS. V aplikaci ArcScene je totiž možné zobrazit pouze soubory uložené ve verzi Google SketchUp 6. V současné době je již k dispozici aktuálnější verze Google SketchUp 8, a je tedy možné vytvářet modely v této verzi, avšak uložit je jako soubor verze starší. Druhou možností je export modelů ve formátu COLLADA File. Tento postup je však možný pouze ve verzi SketchUp 8. Soubory formátu COLLADA vykazovaly několikanásobně větší velikost oproti stejným modelům uloženým ve formátu SketchUp version 6. Na druhou stranu byly v aplikaci ArcScene lépe vykreslovány, především jednalo-li se o složitější modely. Proto bylo nakonec přistoupeno ke kombinaci obou formátů, kdy byly modely primárně vizualizovány ve formátu SketchUp 6 a až následně, pokud tento formát nebyl správně vykreslen, byl daný model nejdříve převeden do programu Google SketchUp 8 a poté exportován jako formát COLLADA.

Pro zobrazení budov v rámci celkového modelu v aplikaci ArcScene došlo k nastavení správné velikosti a umístění budov. Součástí umístění bylo i „zapuštění“ budovy do terénu. Jelikož zobrazované budovy často stojí ve svahu a terén je různě vysoký v rámci jedné budovy, je správné zapuštění nutností, neboť až díky němu přízemí domů vypadají tak jako v reálu. V případě schodů je ale třeba, aby byl terén v místě styku s modelem rovný a v přesné výšce schodu. Vzhledem k průběhu tvorby modelů budov takovéto přesnosti nebylo vždy dosaženo. Tento problém byl vyřešen modifikací vrstevnic v oblasti styku a následně vygenerováním nového zpřesněného TIN. K drobným úpravám výškových dat bylo přistoupeno i v několika dalších případech, například na místech, kde povrch TIN kolidoval s vektorovými vrstvami i po zvýšení jejich polohy.

Výstupem práce jsou náhledy na modelované území z různých pozorovacích stanovišť a jejich porovnání s fotografiemi pořízenými z přibližně stejného místa v reálu. Bohužel charakter zástavby a zeleně ve zpracovávaném území možnosti pořízení kvalitních pohledových fotografií velmi omezil. Druhým typem výstupu jsou průletové animace.

7. Závěr

Tato práce se zabývala problematikou zpracování 3D modelu zastavěného území. Před samotnou tvorbou modelu byly na základě odborné literatury rozebrány teoretická podstata trojrozměrného modelování a další problematika s tématem související. Součástí práce je také přehled vybraných projektů zabývajících se 3D modely.

Řešeným územím byl univerzitní kampus Albertov, tedy veřejně přístupný prostor. Cílem práce bylo vytvořit model použitelný pro potřeby institucí, které zde sídlí, primárně pro Přírodovědeckou fakultu. Vzhledem k jeho účelu byla snaha vytvořit model dostatečně detailní. Součástí projektu bylo i vytvoření modelu budoucí podoby kampusu, jak by měl vypadat po roce 2016.

Pro tvorbu modelu bylo využito především dvou softwarů. Jednotlivé budovy byly vizualizovány v programu Google SketchUp. V průběhu práce bylo využíváno dvou verzí tohoto programu, neboť každá měla určité výhody. K vytvoření konečného modelu bylo použito softwaru ESRI ArcGIS, konkrétně aplikace ArcMap. 3D vizualizace a finální výstupy byly vytvořeny za pomoci aplikace ArcScene.

V rámci bakalářské práce byly detailně vizualizovány budovy Přírodovědecké fakulty a zástavba, která stojí na místě plánovaného minikampusu. Jistě by ale bylo zajímavé podrobně zpracovat i další objekty, nacházející se ve zpracovávaném území a jeho okolí.

Dalším tématem pro následný výzkum by mohla být tvorba v jiných softwarech, neboť dnešní trh nabízí množství programů, které umožňují 3D modelování. Největší výhodou SW Google SketchUp je velice jednoduché ovládání. Tato vlastnost je pozitivem pro uživatele, kteří s modelováním začínají. Komerční programy ale na oplátku nabízejí širší možnosti v tvorbě modelů a po prvotním zvládnutí funkcí může být tvorba budov rychlejší a kvalitnější.

Seznam zdrojů informací

APPLETON, K. ... [et al.]. *Rural landscape visualization from GIS databases: a comparison of approaches, options and problems*. In: *Computers, Environment and Urban Systéme*. 2002, Vol. 26, Issue 2-3, p. 141-162. ISSN 0198-9715

ARCDATA PRAHA. [2001] Seznamte se s ArcGIS [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2002/char_ArcGIS.pdf>

ARCDATA PRAHA. [2012] *ArcGIS* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis>>

BACUS, J. [2012] *A new home for SketchUp* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://sketchupdate.blogspot.com/2012/04/new-home-for-sketchup.html>>

BRAVENÝ, L. 2008. *Digitální modely terénu a modelování prostorových dat*. In: ŠTYCH, P. [et al] *Vybrané funkce geoinformačních systémů*. Praha : Česká kosmická kancelář, 2008. Kapitola 6, s. 80-129.

BUSINESS LOCATION CENTER. [2011] *3D city model* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.businesslocationcenter.de/en/3d-model-of-berlin?closed=1>>

CROMLEY, R. G. 1992. *Digital Cartography*. New Jersey : Prentice-Hall, 1992. 317 s. ISBN 0-13-710930-X

ČAREK, J. 1958. *Ulicemi města Prahy od 14. století do dneška*. Praha: Orbis, 1958, 535 s.

ČÚZK. [2010] *Geoportál ČÚZK* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://geoportal.cuzk.cz>>

GEODIS. [2011] *3D vizualizace* [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.geodis.cz/sluzby/3d-vizualizace>>

GOOGLE. [2011] *Google SketchUp* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <sketchup.google.com/index.html>

GRÖGER, G.; PLÜMER, L. 2005. *How to Get 3-D for the Price of 2-D – Topology and Consistency of 3-D Urban GIS*. *GeoInformatica*. 2005. roč. 9, č. 2, s. 139-158.

HERMAN, T.; FAJKUS, B. 2010. *Z historie přírodovědecké fakulty a výuky přírodních věd*. In: *Forum 1/2010*. Praha: Univerzita Karlova, 2010, s. 18 – 21. ISSN 1211-1724

JELÉNEK, J. 2010. *3D rekonstrukce krajiny na příkladu zaniklých obcí v českém pohraničí a vojenských újezdech* [rukopis]. Praha : UK. Přírodovědecká fakulta. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, 2010. 46 s., 34 s. příloh, 2 DVD. Vedoucí bakalářské práce RnDr. Přemysl Štych, Ph.D.

KOLEJKA, J.; PETR R. 2005. *Kompendium geoinformatiky 2005*. 2005, Praha : KLAUDIAN PRAHA, 2005. 60 s. ISSN 1214-2204

KOUCKÁ, L. 2011. *3D rekonstrukce zaniklých částí města Dobříš* [rukopis]. Praha : UK. Přírodovědecká fakulta. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, 2011. 49 s., 28 s. příloh, 2 DVD. Vedoucí bakalářské práce RnDr. Přemysl Štych, Ph.D.

KOUSSA, Ch.; KOEHL, M. 2009. *A simplified geometric and topological modelling of 3D buildings enriched by semantic data: combination of surface-based and solid-base representations*. In: HORÁK, J. ... [et al] (Eds.) *Advances in Geoinformation Technologies 2009*. 1st ed. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. Kapitola 3, s. 25-41.

ISBN 978-80-248-2145-0

KRATOCHVÍL, P. 2006. *3D model FEL ČVUT Dejvice* [rukopis]. Praha : ČVUT, Fakulta elektrotechnická, 2006. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Jiří Žára, CSc.

MALÝ, M. 2009. *3D vizualizace vybraného zastavěného areálu: Univerzitní kampus MU v Brně-Bohunicích* [rukopis]. Brno : MU. Přírodovědecká fakulta. Geografický ústav, 2009. 60 s., 5 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Mgr. Kateřina Fárová.

MICROSOFT. [2011] *Bing Maps Platform Overview* [online]. [cit 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.microsoft.com/maps/product/overview.aspx>>

OKTÁBEC, M. 2009. *3D rekonstrukce zaniklé krajiny středního Povltaví* [rukopis]. Praha : UK. Přírodovědecká fakulta. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, 49 s., 10 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Přemysl Štych, PhD.

ORŠULÁK, T. ... [et al.] 2011. *Virtuální 3D vizualizace zaniklého města Přísečnice*. In: *Historická geografie 37/1*. Praha : Historický ústav, 2011, s. 153 – 166. ISSN 0323-0988

PAVELKA, K. 2011. *Fotogrammetrie 2*. Praha : Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011. 163 s. ISBN 978-80-01-04719-4

POPELKA, S. 2008. *Google a ArcGIS nové možnosti v 3D vizualizaci* [rukopis]. Olomouc : UP. Přírodovědecká fakulta. Katedra geoinformatiky, 2008. 60 s., 10 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Kamil Vykopal.

POPELKA, S. [2011] *Fotorealistická 3D města v Ovi mapách od Nokie* [online]. [cit 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.gisportal.cz/2011/04/fotorealistica-3d-mesta-v-ovi-mapach-od-nokie>>

PRAVDA, J.; KUSEDOVÁ, D. 2004. *Počítačová tvorba tematických máp*. Bratislava : Univerzita Komenského Bratislava, 2004. 264 s. ISBN 80-223-2011-0

RAPANT, P. 2005. *Geoinformační technologie*. Ostrava : Institut geoinformatiky, VŠB – TU Ostrava, 2005. 96 s.

RUSSNÁK, J. 2012. *3D model areálu Přírodovědecké fakulty Masarykovy Univerzity* [rukopis]. Brno : MU. Přírodovědecká fakulta. Geografický ústav, 85 s., 5 s. příloh. Vedoucí diplomové práce RNDr. Tomáš Řezník, Ph.D.

SCHEJBAL, C.; HOMOLA, V.; STANĚK, F. 2004. *Geoinformatika*. PONT, 2004. 229 s. ISBN 80-967611-8-8

STAVBAWEB [2011] *Kampus Albertov* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.stavbaweb.cz/Z-domova/Kampus-Albertov.html>>

ŠÍMA, J. 2003. *Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy*. 1st ed. Zdiby : Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), 2003. 87 s. ISBN 80-85881-20-9

TUČEK, J. 1998. *Geografické informační systémy: Principy a praxe*. 1st ed. Praha : Computer Press, 1998. 424 s. ISBN 80-7226-091-X

Univerzita Karlova v Praze. [2009] *Minikampus Albertov* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://cuni.cz/UK-3192.html>>

ÚRM. [2010] *3D model – Digitální model zástavby a zeleně* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/6/3d-model-digitalni-model-zastavby-a-zelene>>

VISVALINGAM, M. 1994. *Visualisation in GIS, cartography and ViSC*. In: HEARNshaw, H. M.; UNWIN, D. J. (Eds.) *Visualization in geographical information systems 2004*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2004. Kapitola 3, s. 18-25. ISBN 0-471-94435-1

VTP. [2012] *Virtual Terrain Project* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z WWW: <vtterrain.org>

VÚGTK. [2012] *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2012-03-04]. Dostupné z: <<http://www.vugtk.cz/slovník>>

WORBOYS, M.; DUCKHAM, M. 2004. *GIS : a computing perspective*. 2nd ed. CRC Press, 2004. 426 s. ISBN 0-415-28375-2

ŽÁRA, J. ... [et al.] (Eds.) 2004. *Moderní počítačová grafika*. Brno : Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0

Seznam příloh

- Příloha 1: Porovnání vytvořených modelů s fotografiemi*
- Příloha 2: Porovnání modelu budovy při zobrazení v SW Google SketchUp a v aplikaci ArcScene*
- Příloha 3: Porovnání současné a plánované podoby kampusu: pohled ze severovýchodu*
- Příloha 4: Porovnání současné a plánované podoby kampusu: pohled z jihozápadu*
- Příloha 5: Detail budovy Viničná 5*
- Příloha 6: Vizualizace současné zástavby v místě plánovaného Biocentra*
- Příloha 7: Detail vnitřního dvora Chemického ústavu (Hlavova 8)*
- Příloha 8: Vizualizace budov Globcentra a Biocentra*
- Příloha 9: DVD s elektronickou verzí práce a vizuálními výstupy*

Příloha 1: Porovnání vytvořených modelů s fotografiemi

Budova menzy



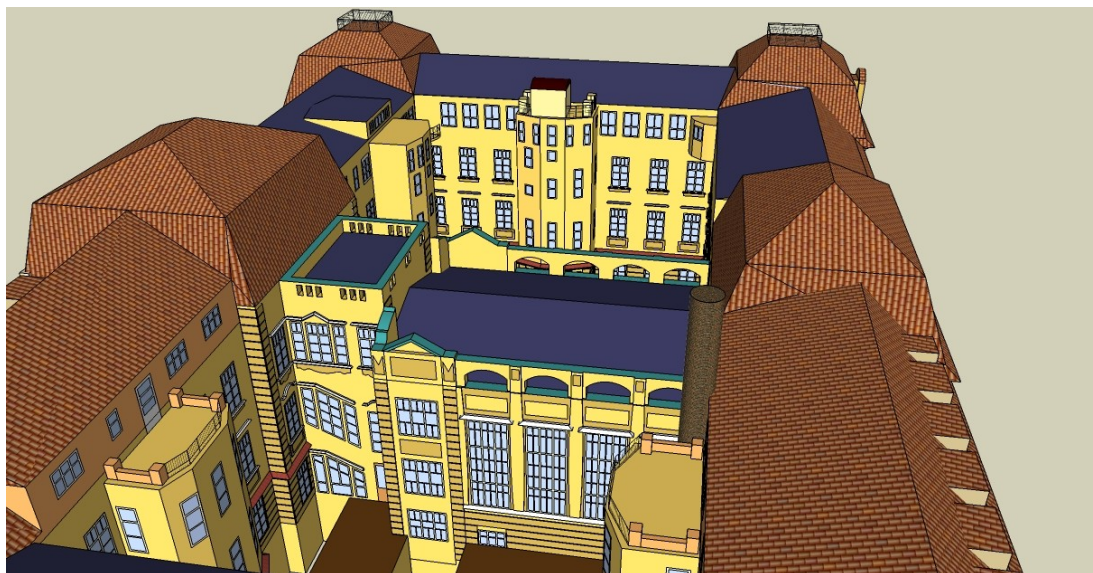
Ulice Studničkova: pohled z jihu



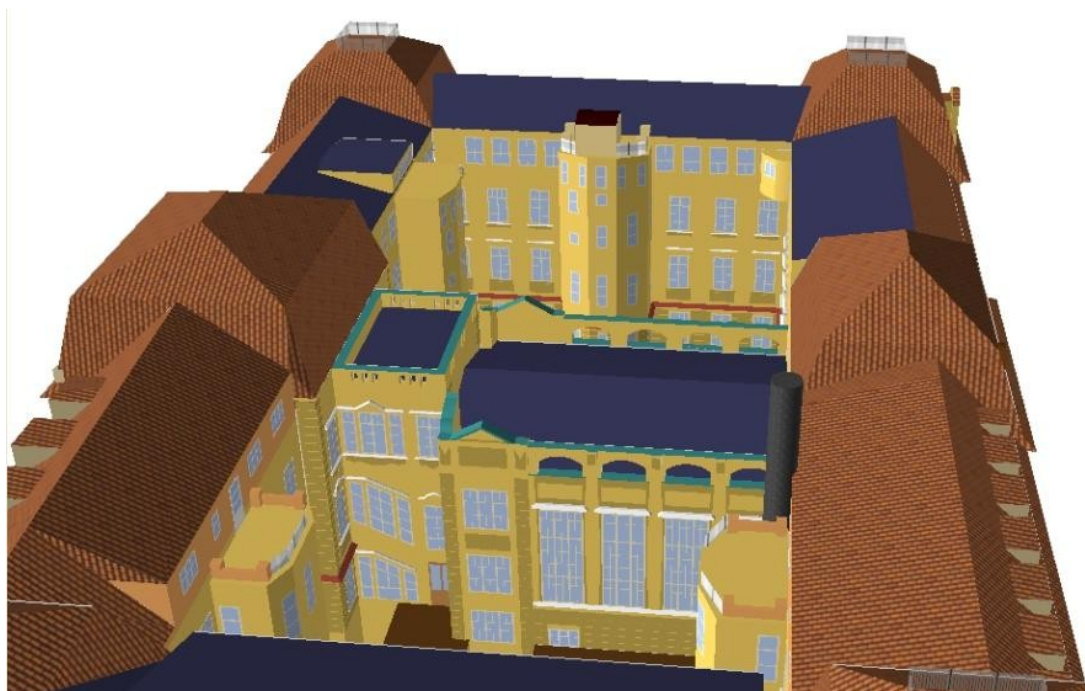
Budova Albertov 6: pohled z východu



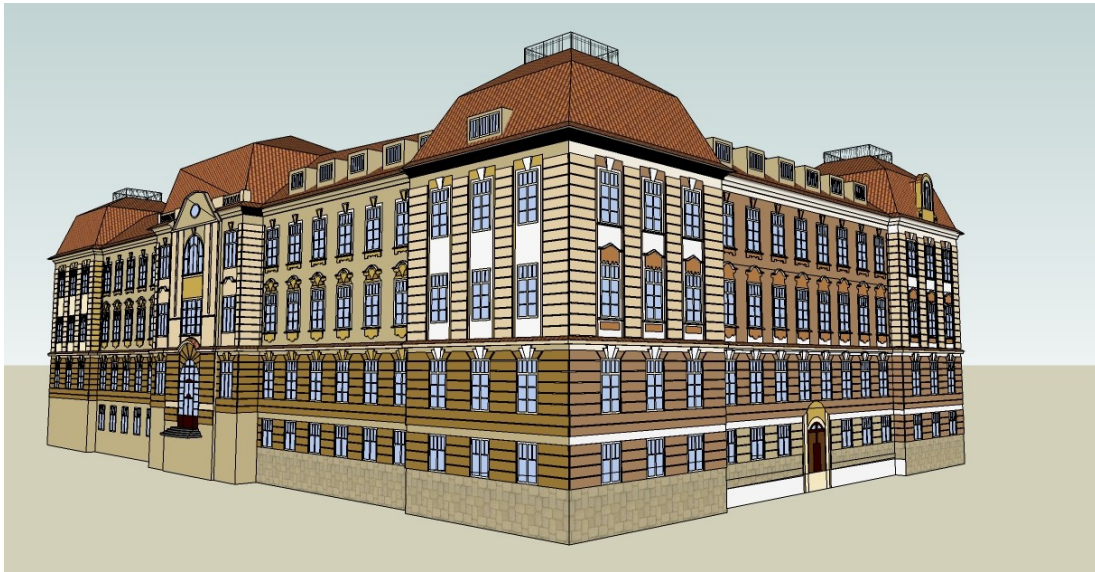
Příloha 2: Porovnání modelu budovy při zobrazení v SW Google SketchUp a v aplikaci ArcScene



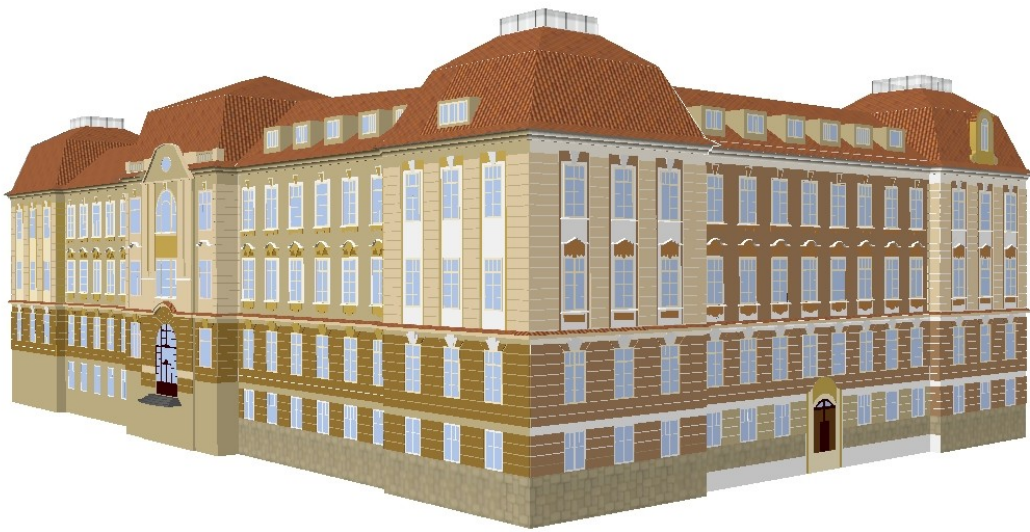
Model v Google SketchUp



Model v ArcScene



Model v Google SketchUp



Model v ArcScene

Příloha 3: Porovnání současné a plánované podoby kampusu: pohled ze severovýchodu

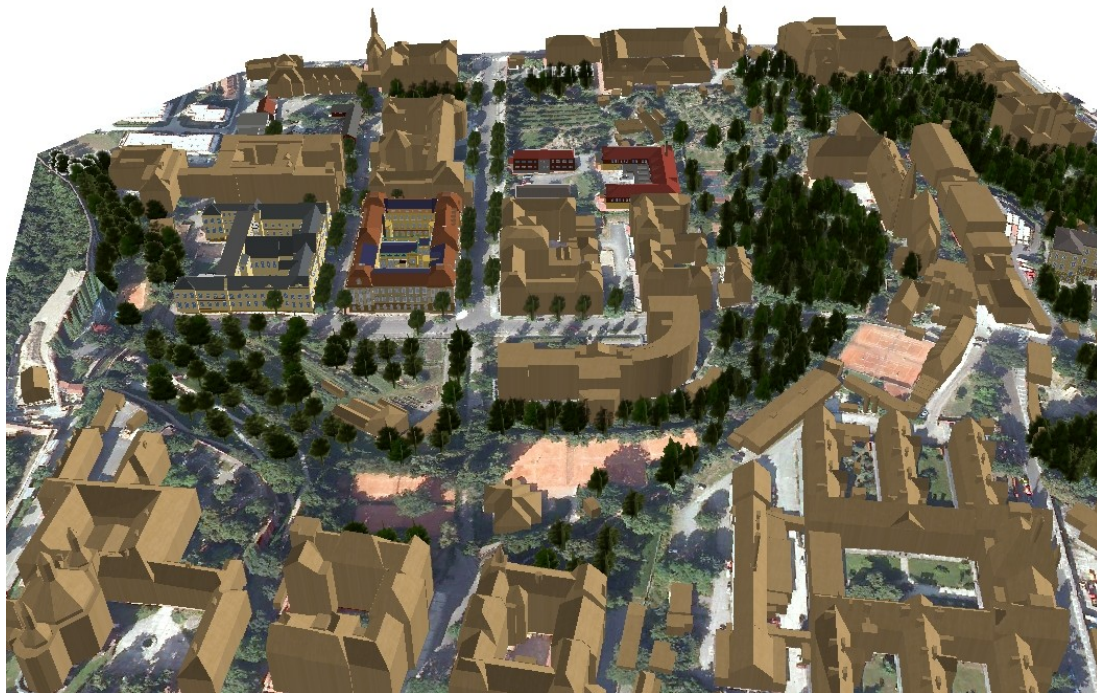


Současný kampus

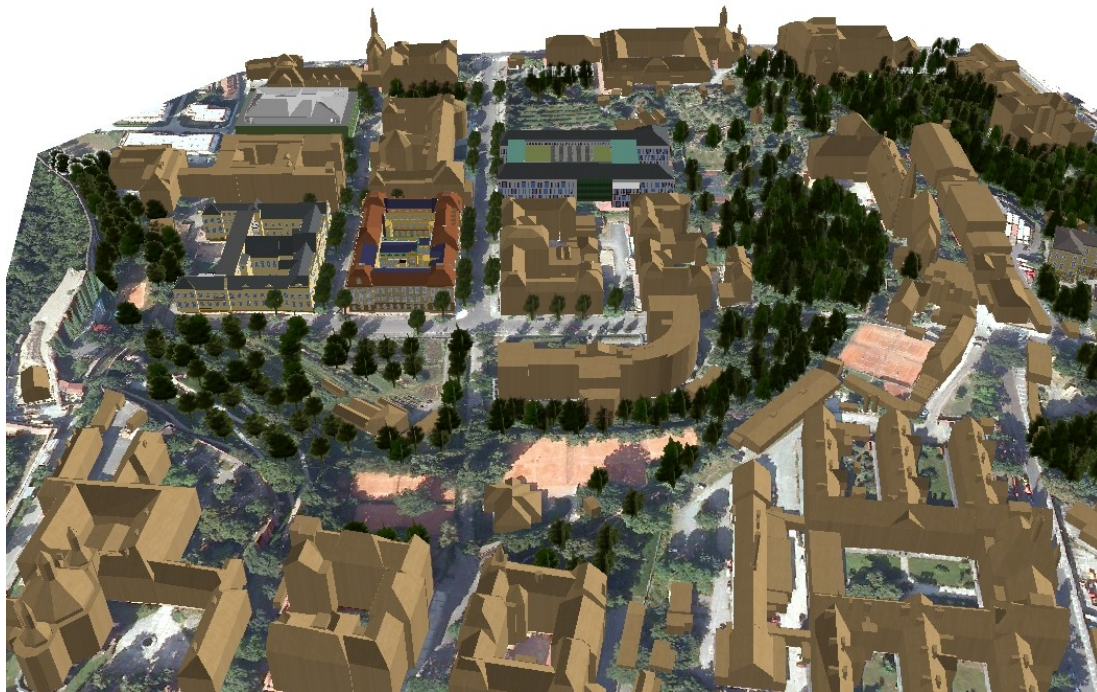


Plánovaný kampus

Příloha 4: Porovnání současné a plánované podoby kampusu: pohled z jihozápadu

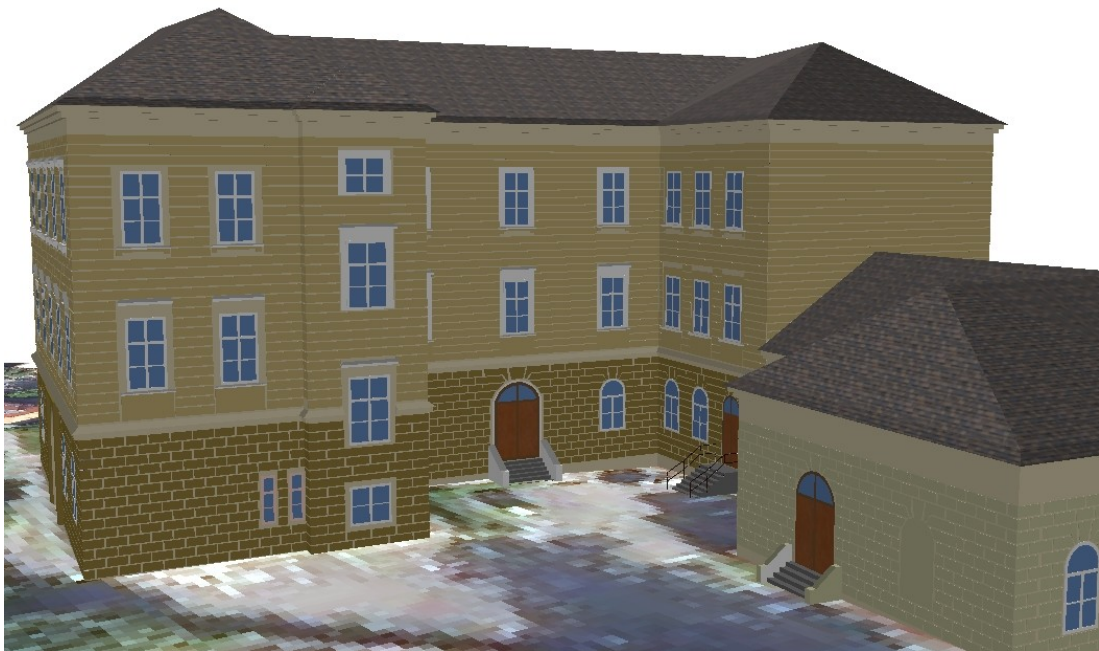


Současný kampus



Plánovaný kampus

Příloha 5: Detail budovy Viničná 5



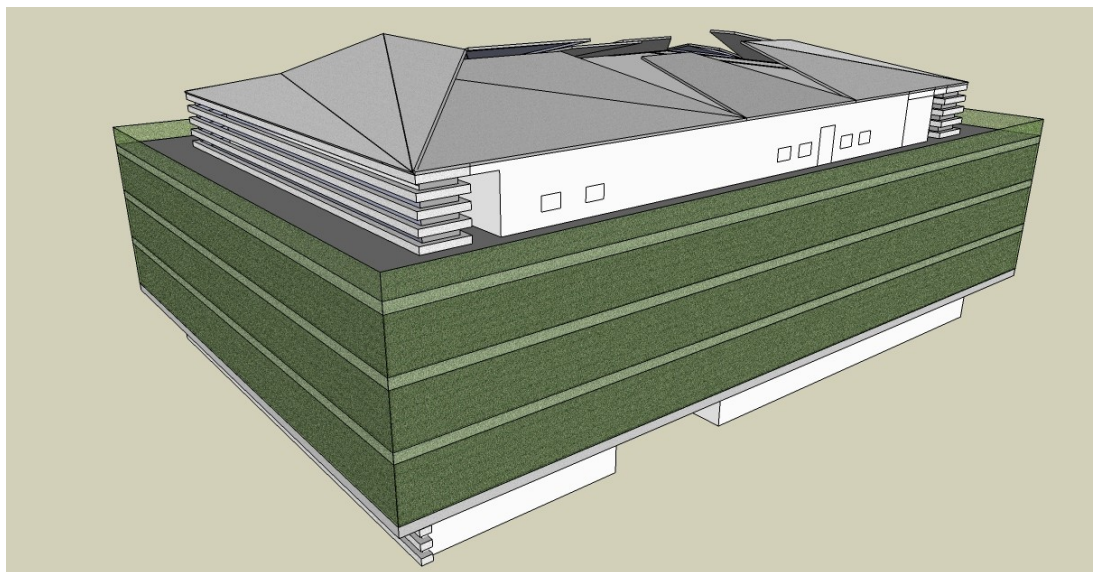
Příloha 6: Vizualizace současné zástavby v místě plánovaného Biocentra



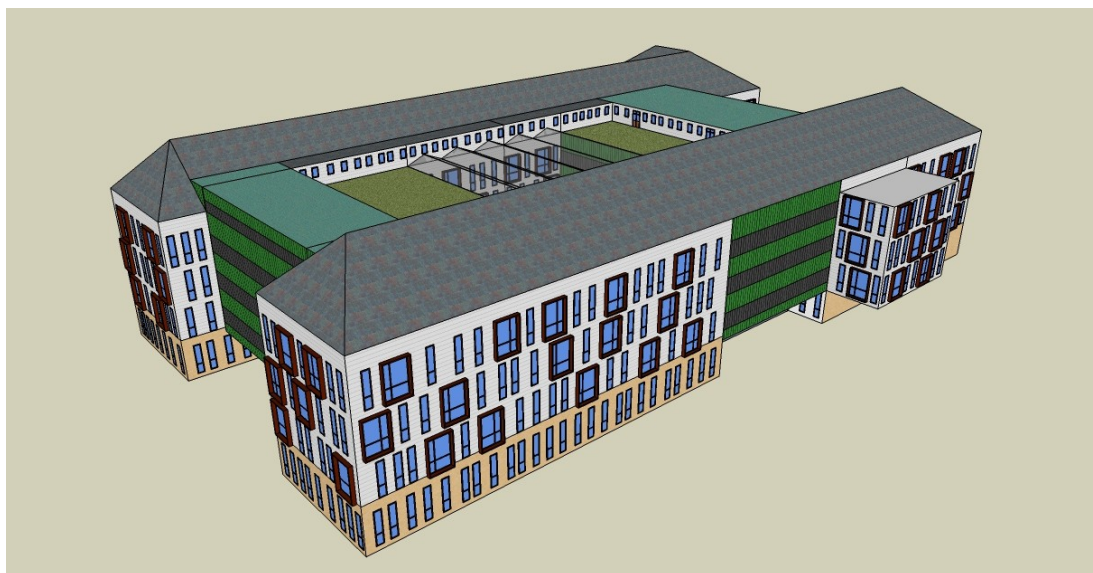
Příloha 7: Detail vnitřního dvora Chemického ústavu (Hlavova 8)



Příloha 8: Vizualizace budov Globcentra a Biocentra



Globcentrum



Biocentrum