

Příprava a konstrukce 3D scény pro digitální dvojče Tater a následné zmapování způsobů tvorby 3D scény v prostředí ArcGIS online

Tomáš Andrš

Zadání:

Následující semestrální práce se týká 2 předmětů. Část přípravy a konstrukce 3D scény spadá do předmětu Aplikace GIS (KGM/AGI). Část věnující se způsobu publikace a tvorby 3D scény v ArcGIS Online spadá do předmětu GeoWeb (KGM/GW).

Zadání z předmětu KGM/AGI:

- Prozkoumání vztahu 3D objekt a Multipatch
- Výběr digitálního modelu terénu (DMT)
 - Evropský digitální model terénu (EU-DEM)
 - DMT dostupný v softwaru ArcGIS Pro
- Výběr volně dostupného topografického podkladu a vrstvy silnic
- Zaměřit se na využití procedurálního modelování
 - Lesy
 - Zástavba (LOD1/LOD2)
 - Vodní plochy
- Základní orientace v mapě - přidání popisků

Zadání z předmětu KGM/GW:

- Publikace 3D scény na web prostřednictvím aplikace CityEngine Web Viewer
 - Způsob tvorby scény pomocí ArcScene, nebo až v prohlížeči
- Publikace 3D scény na web prostřednictvím aplikace Scene Viewer
 - Rozdíl mezi lokální a globální scénou
 - Způsob tvorby scény pomocí ArcGIS Pro, nebo až v prohlížeči
 - Možnosti zapojení procedurálního modelování

Názvy kapitol spadajících do předmětu KGM/AGI jsou označeny **červeně**.

Názvy kapitol spadajících do předmětu KGM/GW jsou označeny **modře**.

Názvy kapitol spadajících do obou předmětů jsou označeny **černě**.

1 Úvod

Nynější podoba softwaru ArcGIS Pro prošla dlouhým vývojem. Počátek softwaru sahá až do roku 1987, kdy byl spuštěn software ARC/INFO workstation, který fungoval pouze v příkazové řádce. Dalším krokem ve vývoji byl software ArcView, který již obsahoval grafické uživatelské rozhraní. V roce 1999 pak došlo ke sloučení těchto dvou větví do jedné a to vydáním ArcMap 8.0. Dále následovaly verze 8.1 a 8.3, u kterých došlo k přejmenování softwaru na ArcGIS Desktop, jelikož software obsahoval více komponent a ArcMap byl pouze jednou z nich. Dalším krokem ve vývoji pak byly verze 9.x a 10.x, které přinesly řadu novinek. ArcGIS Desktop se tedy skládal z řady softwarů pro práci s 2D i 3D prostorovými daty. Patřily sem softwary ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox, ArcScene a ArcGlobe. Právě poslední dvě zmiňované se věnují práci s 3D daty. V roce 2015 byla vydána první verze softwaru ArcGIS Pro, která integrovala veškeré dílčí softwary pod jednu střechu. Nyní je software již ve verzi 3.0. Také ArcGIS Pro umožňuje práci s 3D daty a to prostřednictvím tzv. lokální a globální scény.

Tato práce se věnuje porovnání tvorby 3D scény a také její nahrání do webového prostředí v softwarech ArcGIS Desktop (ArcScene, ArcGlobe) a ArcGIS Pro. Kromě toho se práce zaměřuje na problém s nahráváním velkoobsahových dat do webového prostředí. Všechny výstupy jsou na web nahrávány prostřednictvím nástroje ArcGIS Online, který slouží pro publikaci, prohlížení a sdílení dat, interaktivních map a aplikací prostřednictvím internetu.

2 Zájmové území

Zájmovou oblastí, pro kterou jsou v práci 3D scény budovány je Prešovský kraj nacházející se ve Slovenské republice. Oblast byla vybrána z důvodu zaměření diplomové práce, kterou autor zpracovává. Kapitoly č. 3 - 5 jsou však zaměřeny na budování scén pro menší oblast (obec Gerlachov) a to hlavně z důvodu problému práce s obsáhlými 3D daty (viz kapitola č. 6).



3 Tvorba 3D scény v softwaru ArcGIS Desktop a následné nahrání na web prostřednictvím CityEngine Web Viewer

Balík aplikací ArcGIS Desktop obsahuje 2 softwary pro práci s trojrozměrnými prostorovými daty: ArcScene a ArcGlobe.

ArcScene je vhodné využívat zejména pro menší ("lokální") oblasti. Pro zobrazení je využíváno rovinné projekce, neuvažuje se tedy zakřivení země. Software je vhodný například pro zpracování LIDAR-ových dat, pro vyhodnocování fotogrammetrických snímků při řešení stereoskopie, nebo pro tvorbu 3D scén zobrazujících městské oblasti. Software obsahuje celou řadu analýz jako jsou například analýza viditelnosti, vytváření 3D vzdálenostních analýz, atd. [1]

ArcGlobe je oproti tomu zaměřen spíše na zobrazování jevů na zeměkouli a pro zobrazení využívá sférickou projekci. Oproti ArcScene zde dochází k rasterizování veškerých prvků. Díky tomu je pak možné využívat tzv. "cachování dat", při kterém dochází ke změně úrovně detailu vykreslování objektů pro různá měřítka [1].

Pro prezentaci dat na webu je pak možné využít webové aplikace CityEngine Web Viewer [2]. Aplikace umožňuje interaktivní prezentaci 3D scény. Kromě navigace ve 3D scéně, je také možné volit jaké vrstvy se mají, či nemají zobrazovat. Déle je možné prohledávat jednotlivé prvky pomocí metadat a atributů.

3.1 Tvorba 3D scény v softwaru ArcScene

Z důvodu rozsáhlé velikosti Prešovského kraje byla zájmová oblast zmenšena pouze na jednu obec. Proces tvorby 3D scény předcházelo získávání dat, ze kterých byla scéna budována.

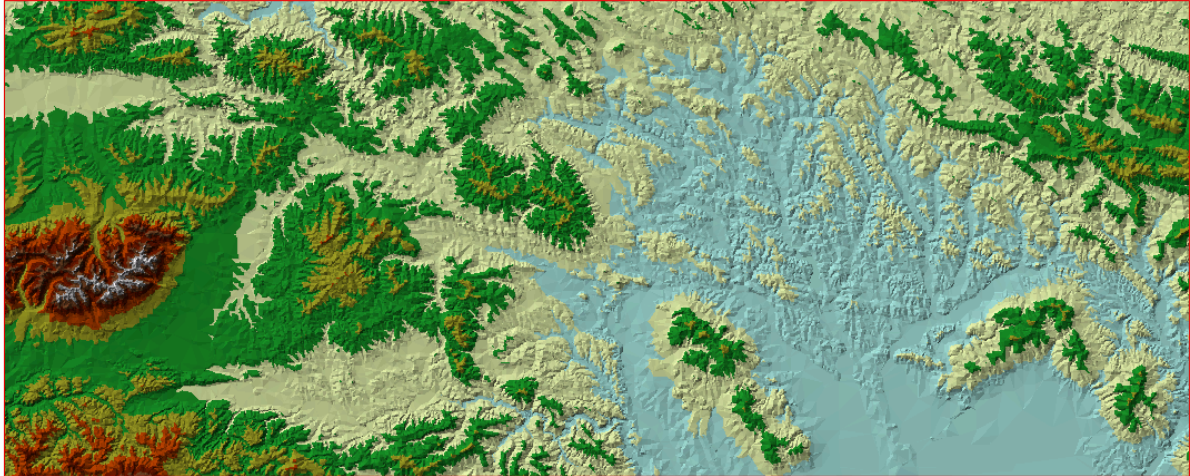
Administrativní jednotka obce byla získána z volně dostupné geodatabáze ZBGIS, která je dostupná na stránkách Slovenského geoportálu [3].

Vrstva využití půdy, budov a vodních toků pochází z Open Street Mapy (OSM). Pro stažení dat byla využita služba geofabrik.de [4]. Služba umožňuje stažení pouze pro celý stát. Stažená data bylo tedy před použitím třeba oříznout na stejnou zájmovou oblast (Byl využit nástroj **Clip**).

Jelikož software ArcScene neobsahuje žádný základní 3D terén, jako je tomu například v softwaru ArcGIS Pro, pro vybudování 3D scény bylo potřeba získat digitální model reliéfu (DMR). DMR pro zájmovou oblast byl získán ze stránky land.copernicus.eu [5]. Území, pro které se data stahují je vymezeno dlaždicemi. Pro zájmovou oblast Prešovského kraje byla vybrána dlaždice o velikosti 5.8 GB. Formát, ve kterém je DMR poskytován je rastr s rozlišením 25 m.

3.1.1 Vytvoření TIN

Prvním krokem při tvorbě 3D scény bylo vytvoření nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN). Byl k tomu použit nástroj **Raster to TIN**, do kterého vstupoval stažený DMR v rastrové podobě. Výsledný TIN je zobrazen na obrázku č. 1. Před nahráním TIN do ArcScene bylo nejprve potřeba TIN oříznout podle zájmové oblasti obce. Takto vytvořený TIN je následně využit jako základní povrch pro 3D scénu.

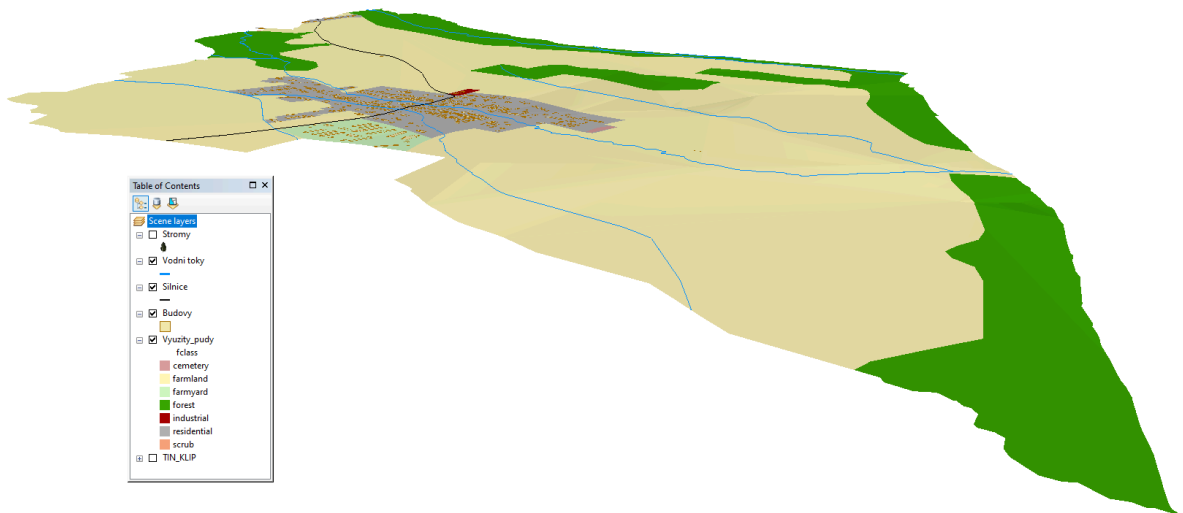


Obrázek 1: Výsledný TIN povrch

3.1.2 Ostatní vrstvy

Dalším krokem bylo nahrání ostatních vrstev do ArcScene a jejich nastavení symboliky. Aby se nahrané vrstvy zobrazovaly na TIN povrch, je potřeba ve vlastnostech vrstev nastavit **Base Heights** na možnost **Floating on a custom surface**.

Aby u těchto vrstev došlo ke správné interpretaci výšek, je nutné použít nástroj **Interpolate Polygon to Multipatch**. V případě, že by se nástroj nevyužil, je výška přiřazena pouze tvořícím bodům polygonu. Tyto body jsou pak propojeny, čímž dojde k vytvoření trojúhelníků, které špatně reprezentují členitost terénu (nejsou rovnostranné). Výsledek je zobrazen na následujícím obrázku č. 2.

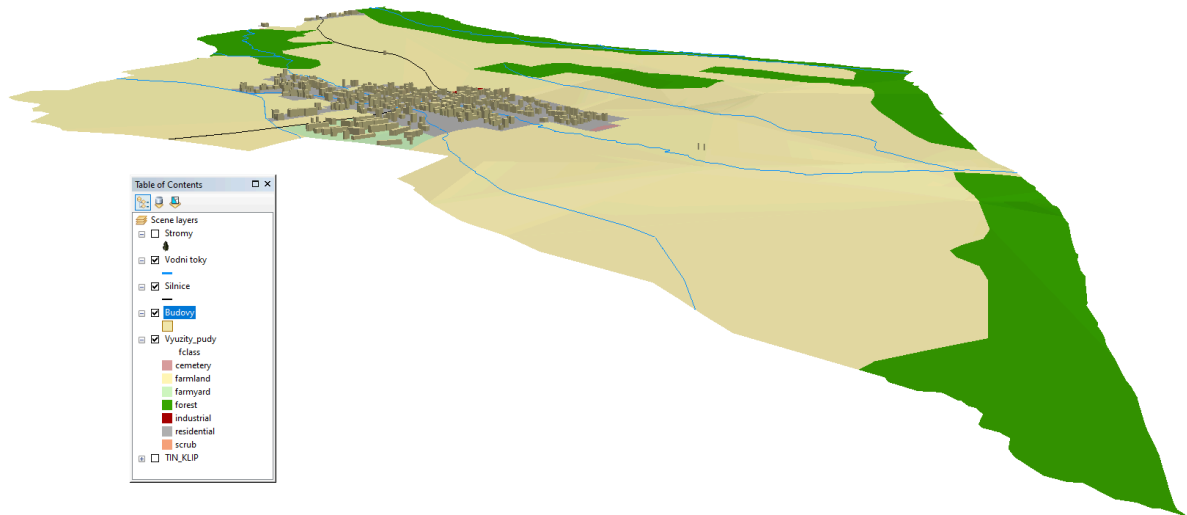


Obrázek 2: Nahrání ostatních vrstev

3.1.3 Vytvoření 3D budov

Aby bylo možné vytvořit 3D vrstvu budov, je potřeba informace o jejich výškách. Ty však není možné z OSM získat. Pro jednoduchost je tedy uvažována náhodná výška budov. Ta byla vytvořena prostřednictvím nástroje **Calculate field**, kde byla hodnota atributu Height

přidělena pomocí funkce `randint` z python knihovny `random`. U vrstvy budov pak bylo ve vlastnostech nastaveno **Extrusion** na hodnotu atributu `Height`. Tímto postupem však dojde k vytvoření pouze 2,5D reprezentace budov, jelikož informace o výšce je nastavena pomocí symboliky. Aby došlo k vytvoření 3D reprezentace budov, je potřeba převedení na multipatch objekt. Slouží k tomu nástroj **Layer 3D to Feature Class**. Výsledek je zobrazen na následujícím obrázku č. 3.



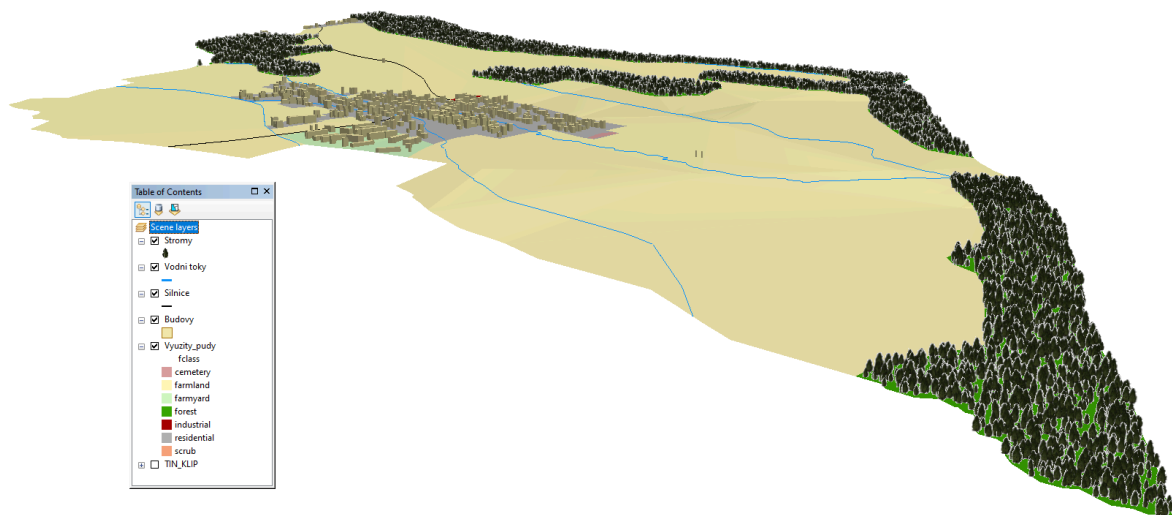
Obrázek 3: Vytvoření budov

3.1.4 Vytvoření prostorových symbolů stromů

Aby 3D scéna vypadala realističtěji, byla přidána vrstva stromů, která by měla budit dojem skutečné podoby lesních ploch. Pokud by se mělo jednat o skutečnou reprezentaci stromů, byla by potřeba znalost polohy a výšky každého stromu v lese. Pro jednoduchost byl tedy opět uvažován náhodný faktor.

Nejprve byl využit nástroj **Feature Class to Feature class**, který posloužil pro vytvoření vrstvy, obsahující pouze lesy (jako pravidlo bylo vybráno `“fclass” = “forest”`). Následně byl do atributové tabulky přidán atribut o rozloze těchto ploch **Area**. K jeho výpočtu posloužil nástroj **Add geometry attribute**. Dalším krokem bylo využití nástroje **Create random points**, který jako vstup uvažuje vrstvu polygonů, do kterých jsou náhodně umístěny body. Počet bodů (stromů) byl nastaven na velikost rozlohy vstupních polygonů (atribut **Area**).

Nakonec byla přidána náhodná výška stromů stejným způsobem jako v předchozí kapitole a byla nastavena symbolika v závislosti na atributu s uloženou výškou stromu (náhodně vygenerovanou v rozmezí 8 - 16 y m). Poznámka: obdobně by bylo možno pracovat i s druhovou skladbou lesa, generovat např. 10% zastoupení listnatých stromů v porostu. Výsledné zobrazení stromů a zároveň také celková 3D scéna je zobrazena na následujícím obrázku č. 4.



Obrázek 4: Výsledná 3D scéna obce Gerlachov v software ArcScene

3.2 Zobrazení výsledné scény prostřednictvím CityEngine Web Viewer

Nahrávání 3D scény na web je v softwaru ArcScene poměrně jednoduché, jelikož stačí využít nástroj nesoucí název **Export to 3D Web scene**, který převede soubor ve formátu .sxd (formát využívaný pro uložení 3D scény v softwaru ArcScene) na formát .3ws. Soubor s formátem .3ws je pak možné nahrát do webové aplikace CityEngine Web Viewer [2], která byla stručně popsána výše.

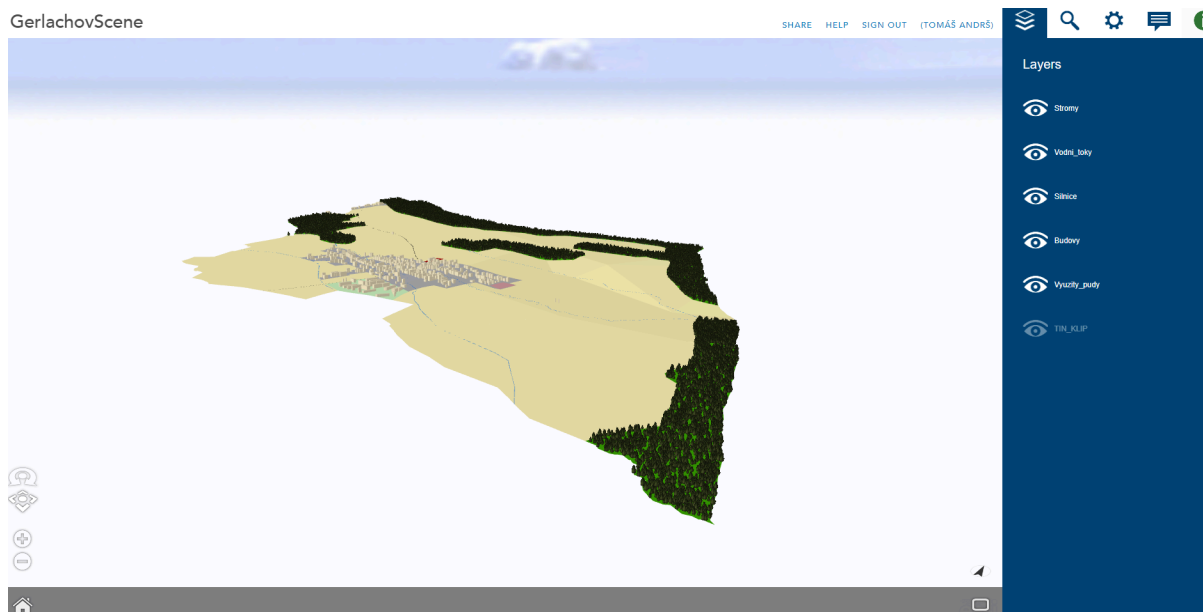
Před využitím nástroje je však potřeba nastavit tzv. **Area of interest (AOI)**, která definuje, jak velký prostor se má do souboru uložit. Bez jeho specifikace není možné soubor vytvořit. Kromě AOI je také možné nastavit kvalitu textur a jejich vykreslování, což následně ovlivňuje rychlost načítání webové scény a také velikost výsledného souboru. Dále je možné nastavit, které vrstvy se mají defaultně zobrazit při načtení scény. Formát .3ws podporuje následující 3 typy vrstev:

- Vrstvy prvků (body, linie, polygony a multipatche)
- Rastrové vrstvy
- TIN vrstvy

Symbolika pro 3D vrstvy je v souboru formátu .3ws omezená. Pro body je možné využít jednoduchých či složitých 3D značek (v práci bylo využito pro vrstvu stromů, kde byla aplikována 3D značka stromu). Linie je možné zobrazit jednoduchou 3D značkou nebo vynesení do výšky. Polygony je možné vizualizovat pouze výplní (vrstva Využití ploch). Polygony je také možné vynést do určité výšky (vrstva Budov) [6].

Při publikaci narazil autor na problém s liniovými vrstvami. Aby se vrstvy nahrály do souboru .3ws je u nich potřeba nastavit 3D symboliku (v opačném případě jsou vrstvy ze scény odstraněny). Nastavení 3D symboliky pro linie je možné pomocí následujícího postupu: **Properties** -> **Symbology** -> **Symbol** -> **Edit Symbol**. Zde je nutné nastavit **Type** na možnost **3D Simple Line Symbol** a **Style** na možnost **Strip**.

Takto vytvořený soubor je pak možné jednoduše nahrát na ArcGIS Online. Výsledná webová scéna vytvořená v softwaru ArcScene je dostupná na následujícím odkazu [7] a zobrazena na následujícím obrázku 5:



Obrázek 5: Výsledná scéna zobrazená ve webové aplikaci CityEngine Web Viewer

4 Tvorba 3D scény v softwaru ArcGIS Pro a následné nahrání do prostředí ArcGIS Online

Jak je již zmíněno výše software ArcGIS Pro integruje všechny komponenty balíku aplikací z ArcGIS Desktop do jedné aplikace. Podobně jako v ArcGIS Desktop je i zde možnost využití dvou scén: Lokální scéna a Globální scéna. Největším rozdílem mezi těmito scénami je pak zejména souřadnicový systém a následné zobrazení dat.

Globální scéna slouží pro zobrazení prostorových dat na povrch zeměkoule (resp. koule, která je založena na celosvětovém souřadnicovém systému WGS84). Využívá se tedy zejména pro zobrazení jevů, které se vztahují k celé zeměkouli, tedy jevy jako jsou např.: počet obyvatel, cesty přepravních lodí, atd. Kromě toho je také možné využít globální scénu pro zobrazení jevů vztahujícím se k větším územním celkům (stát, kraj). Globální scéna však umožňuje i zobrazení dat na úrovni města, nebo jednotlivých budov [8].

Oproti tomu lokální scéna umožňuje využít libovolný zobrazovací souřadnicový systém (projected). Vrstvy jsou pak zobrazeny na rovinném povrchu a není uvažováno zakřivení země. Lokální scéna se využívá zejména pro zobrazení jevů na menších územních celcích (na úrovni města). Je vhodná zejména pro územní plánování [8].

Pro prezentaci výsledků na webu je možné využít ArcGIS Online a konkrétně pak služby nazývající se Scene Viewer. Ta oproti CityEngine Web Vieweru obsahuje více funkcí. Umožňuje např. přidávání či stahování nových vrstev, přidávání podkladových map, atd. Díky tomu je možné vytvořit 3D objekty až v samotné webové scéně. Kapitola popisuje tvorbu 3D scény oběma způsoby.

4.1 Tvorba 3D scény v softwaru ArcGIS Pro

Oproti ArcGIS Desktop je zde tvorba 3D scény jednodušší. Po přípravě dat ve 2D prostředí je pak 3D scénu možné vytvořit "jedním" kliknutím. Využívá se k tomu nástroj **Convert** nacházející se v panelu **View**. Tímto způsobem je možné vytvořit jak Globální tak

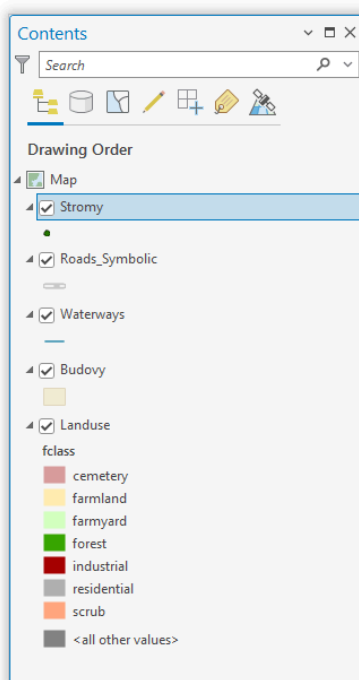
Lokální scénu. Stejně jako v předchozí kapitole i zde bylo zájmové území zjednodušeno na obec Gerlachov. V práci byla však řešena i oblast celého Prešovského kraje (viz kapitola č. 6).

Jelikož příprava dat proběhla již v předchozím softwaru a výslednými vrstvami jsou shapefile soubory, vrstvy oříznuté na zájmové území je možné použít i zde.

Oproti ArcGIS Desktop zde ani není potřeba tvorba DMR ve formě TIN, jelikož software ArcGIS Pro disponuje vlastním DMR pro celou zeměkouli. Na území Slovenské republiky, by mělo být rozlišení DMR 10 m [9]. Na druhou stranu, vlivem načítání DMR pro celé území dochází k pomalejšímu chodu softwaru. Kromě předem definovaného DMR je do softwaru samozřejmě možné přidat i vlastní DMR.

4.1.1 Příprava dat v 2D mapě

Jak je již zmíněno výše, 3D scénu je možné vytvořit pouhou konverzí z 2D mapy. Nejprve tedy došlo k nahrání všech potřebných vrstev do softwaru ArcGIS Pro a byla nastavena symbolika. Výsledek je zobrazen na následujícím obrázku č. 6. Postupy, které v předchozí kapitole vedly k vytvoření vrstvy stromů, je možné aplikovat i zde. Dokonce se využívají stejnojmenné nástroje. Také v případě přidání atributu Height k vrstvě budov je možné využít stejných funkcí.

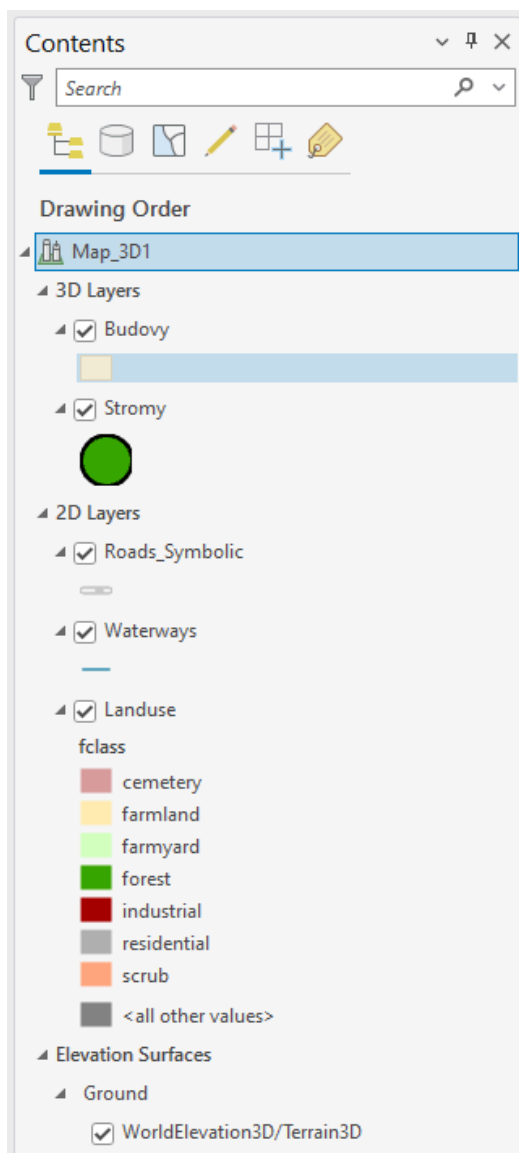


Obrázek 6: Nahrání vrstev do 2D mapy

4.1.2 Konverze do 3D Lokální scény

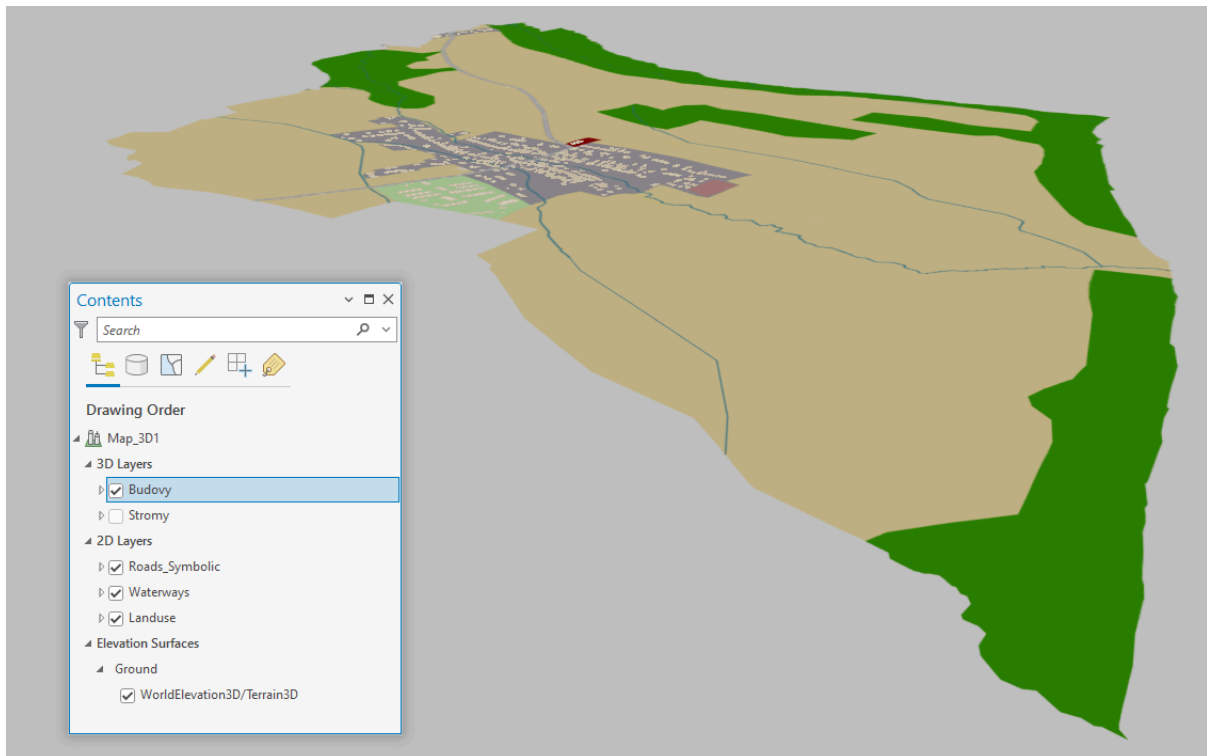
Pro vytvoření 3D scény stačí spustit nástroj **Convert to Local Scene** nacházející se v panelu **View**. Po jeho doběhnutí je v softwaru ArcGIS Pro vytvořena nová scéna, která obsahuje 2D a 3D vrstvy.

V dalším kroku je nutné rozdělit vrstvy podle potřeby na 2D a 3D. Pro řešené území byly jako 3D nastaveny vrstvy stromy a budovy, ostatní vrstvy byly ponechány jako 2D (viz obrázek č. 7).



Obrázek 7: Rozdělení 2D a 3D vrstev

U vrstev, které jsou označeny jako 2D dojde k obtisknutí přímo na povrch. U 3D vrstev je potřeba definovat v jaké výšce se mají zobrazovat. Informace o tom, v jaké nadmořské výšce se budovy nacházejí, není v OSM uvedena. Proto je ve vlastnostech vrstvy potřeba nastavit **elevation** na možnost **on the Ground** (stejný postup byl aplikován i pro vrstvu stromů). Výsledek je zobrazen na následujícím obrázku č. 8, je také možné pozorovat podobnost s obrázkem č. 2. Je zde možné pozorovat, že zde není nutný převod polygonů na multipatch objekty, jako tomu bylo v softwaru ArcScene (viz. kapitola 3.1.2), jelikož je vnitřní výškové uspořádání u polygonů automaticky převzato z podkladového terénu.

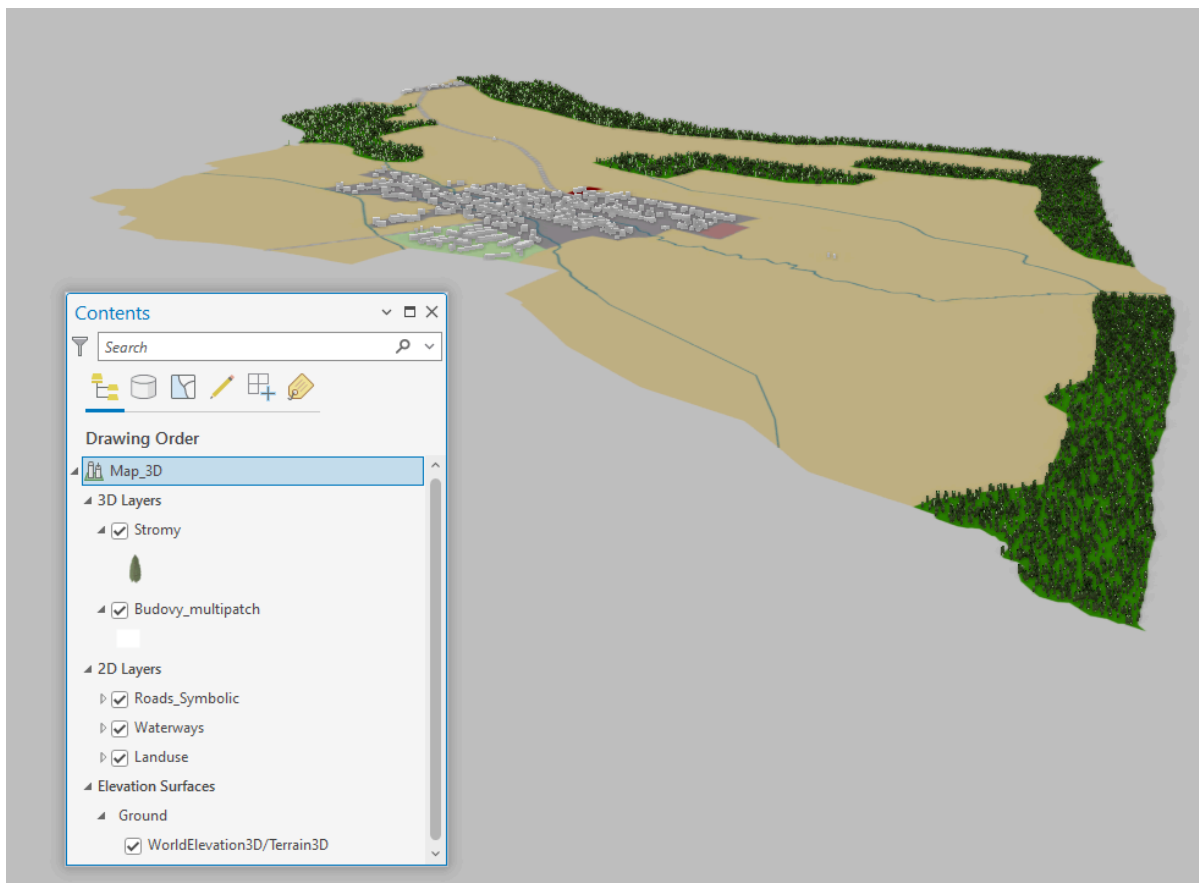


Obrázek 8: Umístění budov na povrch

4.1.3 Tvorba 2,5D budov a prostorových symbolů stromů

Pro vytvoření stromů stačí nastavit vrstvě 3D symboliku. Software ArcGIS Pro obsahuje celou řadu 3D znaků vegetace. Tyto znaky však nejsou zpřístupněné defaultně a je potřeba je přidat za využití nástroje **Add system style**.

Pro vytvoření 2,5D budov je podobně jako v ArcGIS Desktop možné využít tzv. **Extraction tool**, nacházejícího se v panelu **Feature layer**. Zde byla zvolena možnost **Max height** a jako atribut pro výšku byl nastaven atribut Height. Tímto dojde k tzv. extrudování polygonů. Výsledná vizualizace budov a stromů jako 2,5D objektů je zobrazena na následujícím obrázku č. 9.



Obrázek 9: Výsledná 3D scéna vybudovaná v softwaru ArcGIS Pro

4.2 Publikace výsledné scény prostřednictvím Scene Viewer v ArcGIS Online

Jak bylo již zmíněno výše Scene Viewer umožňuje 2 způsoby jak 3D scénu na webu tvořit. První možností je příprava veškerých prvků v desktopové aplikaci, které se následně ve výsledném stavu nahrají na ArcGIS Online. Druhou možností je vytvoření pouze 2D půdorysů, tvorba 3D objektů pak probíhá přímo na webu ve Scene Vieweru.

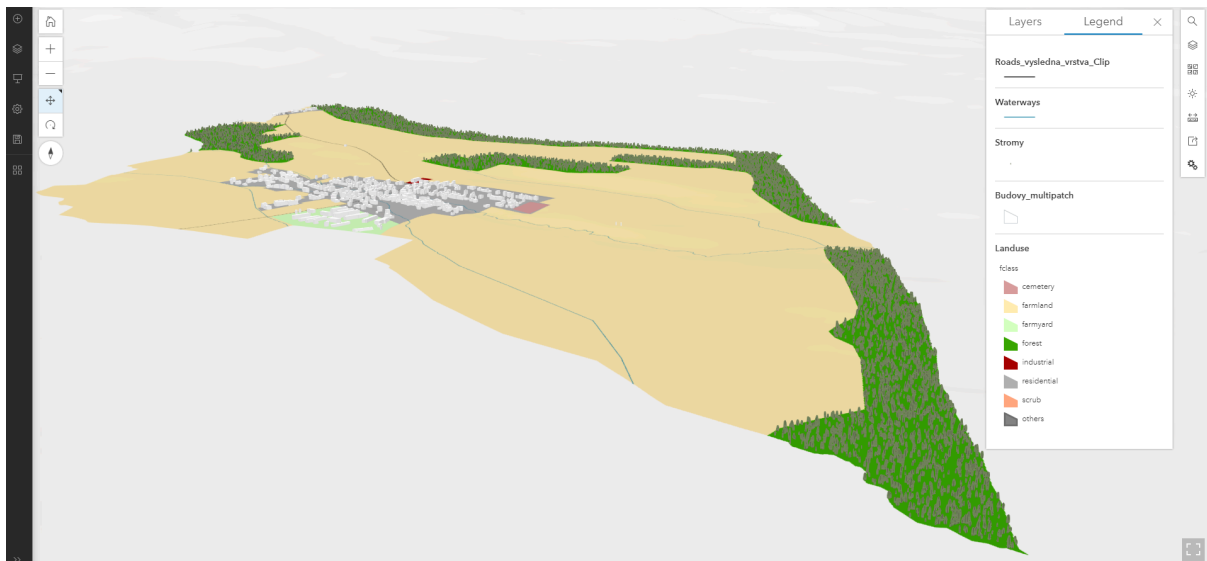
4.2.1 Tvorba 3D objektů v desktopové aplikaci ArcGIS Pro

Publikace 3D scény na web je v softwaru ArcGIS Pro opět poměrně jednoduché. Slouží k tomu nástroj s názvem **Web Scene** z panelu **Share**. Po spuštění nástroje se nejprve všechny vrstvy v projektu analyzují a v případě, že vyskytnou problémy je potřeba jejich odstranění.

Publikace 2,5D objektů ve formě extrudovaných polygonů (vrstva budov) není možná. Takovéto objekty je nejprve potřeba převést na tzv. Multipatch objekty. Slouží k tomu nástroj **3D Layer to Feature Class**. Po úspěšném dokončení nástroje je pak nutné znovu nastavit **elevation** ve vlastnostech vrstvy na možnost **On the ground** (jako v kapitole 4.1.2). Následně je možné scénu publikovat na ArcGIS Online.

Výsledná scéna je dostupná na odkazu [\[10\]](#) a zobrazena na následujícím obrázku č. 10. Je zde možné pozorovat, že při publikaci na web dochází k problému se symbolikou liniových vrstev. V případě využití symbolů obsahujících více vrstev, (silnice na obrázku č. 6)

dojde při publikaci ke zjednodušení a je nahrána pouze jedna ze symbolických vrstev. Ke stejnému problému dochází v každé publikaci. Z tohoto důvodu jsou silnice ve všech scénách zobrazené pouze jednoduchou symbolikou.



Obrázek 10: Výsledná scéna vytvořená v aplikaci ArcGIS Pro

4.2.2 Tvorba 2,5D objektů ve Scene Vieweru

Pro tvorbu 2,5D objektů prostřednictvím Scene Vieweru stačí vytvořit 2D vrstvy polygonů (budovy) a bodů (stromy). Stav je tedy totožný jako v kapitole 4.1.2, s tím rozdílem, že jsou všechny vrstvy nastaveny jako 2D (obtisknutí na povrch). Takto vytvořená scéna se následně publikuje na ArcGIS Online (pomocí stejného postupu jako v předchozí kapitole).

Tvorba stromů probíhá pouze pomocí nastavení 3D symboliky. Ve Scene Vieweru stačí kliknout na vrstvu stromů a nastavit symboliku na požadovanou 3D vizualizaci. Také je možné nastavit aby se velikost stromů měnila podle atributu.

2,5D budovy se vytvoří extrudováním půdorysů budov. Ve Scene Vieweru se nejprve zvolí vrstva budov, u které se následně zvolí možnost **3D Extrusion**. Dále je také možné nastavit výšku budovy, opět je možné využít již existujícího atributu (atribut Height). Je také možné nastavit barvu.

Výsledná scéna je dostupná na odkazu [11] a zobrazena na následujícím obrázku č. 11.



Obrázek 11: Výsledná scéna vytvořená prostřednictvím Scene Vieweru

4.2.3 Porovnání obou metod

Jak je možné pozorovat na obrázcích 10 a 11, způsob tvorby nemá na výslednou vizualizaci vliv a scény se na webu jeví jako totožné. V obou případech dochází k tzv. “cachování”, tj. u všech vrstev je možné pozorovat změnu vizualizace při změně přiblížení. Nejlépe je to pak viditelné na vrstvě stromů, kde se stromy začnou vizualizovat až v případě velkého přiblížení. Jediným rozdílem je tedy způsob tvorby 3D (resp. 2,5D) objektů. Jednodušším postupem se jeví konstrukce scény ve Scene Vieweru, jelikož není potřeba převodu 2,5D objektů na multipatch objekty. Ne vždy tomu tak musí být, například při použití procedurálního modelování není možné tento způsob využít (viz kapitola č. 5).

Oproti City Engine Web Vieweru má webová aplikace Scene Viewer více funkcí. Umožňuje např. změnu jakékoliv symboliky, přidávání podkladových map, stahování jednotlivých vrstev do desktopové aplikace, již zmíněné extrudování polygonů. Provedené změny je pak také možné uložit na ArcGIS Online. Dále je možné provádět různé analýzy, jako např. měření vzdáleností, provádění řezů, či výškových profilů.

V rámci Scene Vieweru je také zpřístupněná funkce, díky níž je možné scénu převést do samostatné aplikace. Funkce disponuje následujícími možnostmi:

- Instant apps - tvorba jednoduché webové aplikace bez jakékoliv nutnosti programování. Je zde na výběr z několika předpřipravených témat, jako jsou například časové změny, slidery, atd.
- Experience builder - umožňuje vytvářet složitější aplikace, webové stránky, dashboardy, atd.
- Story maps - slouží k tvorbě tzv. příběhových map
- 360 VR experience - převedení 3D scény do virtuální reality

Při publikaci kterékoliv aplikace však dochází k čerpání organizačních kreditů.

5 Využití procedurálního modelování při konstrukci LOD2 objektů a problematika jejich nahrávání na web

Dosud bylo modelování budov v semestrální práci řešeno pouze na základní úrovni detailu (Level of detail = LOD1). Což znamená, že budovy byly zobrazeny pouze jako extrudované polygony. LOD je koncept OGC standardu CityGML 2.0, jenž slouží pro rozlišení víceúrovňových reprezentací sémantických modelů měst [12].

V rámci předmětu KGM/AGI, bylo však pro potřeby semestrální práce řešeno procedurální modelování jako nástroj pro vytvoření střech všech budov. V případě úspěšné aplikace procedurálního modelování by bylo možné zvýšit LOD1 na LOD2. Úroveň LOD2 se od LOD1 liší vizualizací střech (viz obrázek č. 12)



Obrázek 12: Různé úrovně detailu

Následující kapitola stručně popisuje aplikaci jednoho procedurálního pravidla a zejména se věnuje problematice publikace LOD2 objektů na web za využití Scene Vieweru [12].

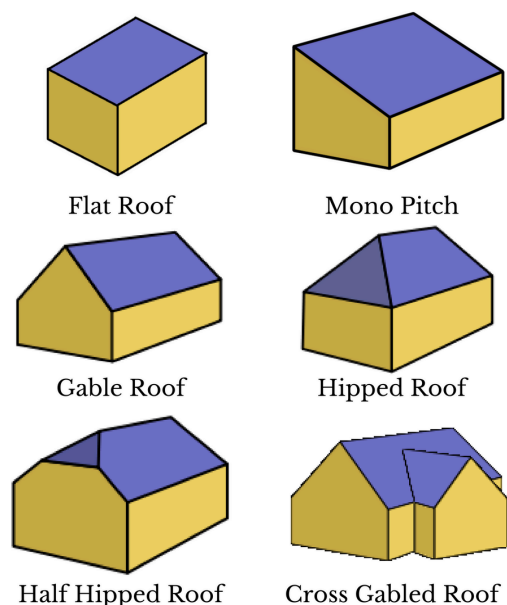
5.1 Tvorba LOD2 budov

Pro vytvoření střech budov je možné v softwaru ArcGIS Pro využít procedurálního pravidla vytvořeného v aplikaci CityEngine. Jedná se o soubor ve formátu .rpk. Pomocí tohoto pravidla je pak možné automaticky vytvořit střechy ke všem budovám v dané vrstvě. Kromě pevně nastavených hodnot je možné hodnoty ovládat i pomocí atributů vrstvy.

Soubor ve formátu .rpk byl převzat z návodu, který se věnuje využití procedurálního modelování při tvorbě budov. Přestože autor neměl přístup k softwaru CityEngine, bylo možné soubor s příponou .rpk využít v softwaru ArcGIS Pro [13].

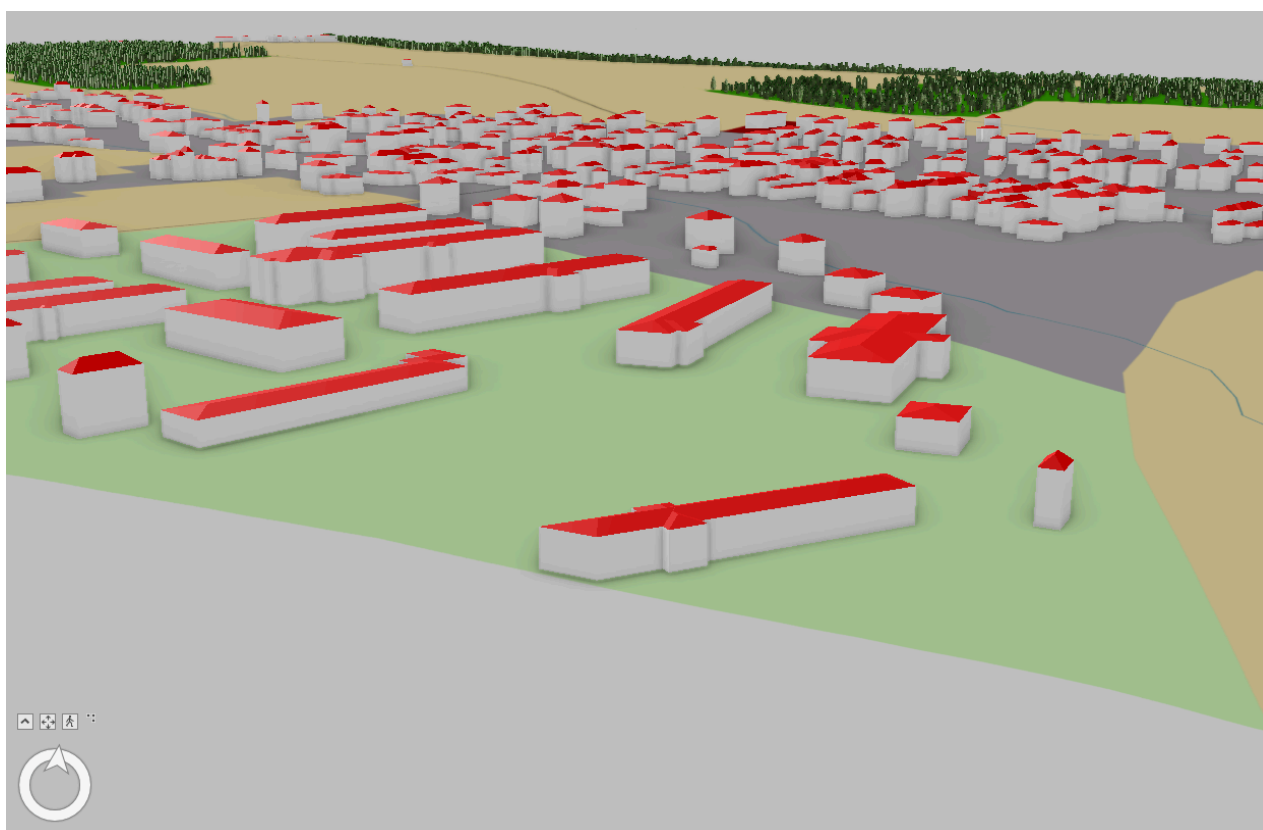
Aplikace pravidla pak v softwaru probíhá v panelu symbolika, kde se místo **Color fill** nastaví možnost **Procedural fill** a vybere se soubor s příponou .rpk. Následně stačí nastavit požadované hodnoty. Jak je již zmíněno výše, kromě pevných hodnot je možné nastavit hodnoty podle atributů (např. výška budovy podle atributu Height). Kromě výšky je potřeba ještě nastavit výšku střechy. Ta byla navázána na výšku budovy a byl využit následující příkaz: $[Height] - [Height]/6$.

Pomocí pravidla je dále možné nastavit různé druhy střech (viz obrázek č. 13). V případě informace o druhu střechy by ho také bylo možné měnit podle atributu. V rámci semestrální práce však byla všem budovám nastavena valbová střecha (**Hip**).



Obrázek 13: Různé druhy střech

Výsledná scéna po aplikaci procedurálního pravidla je zobrazena na následujícím obrázku č. 14.

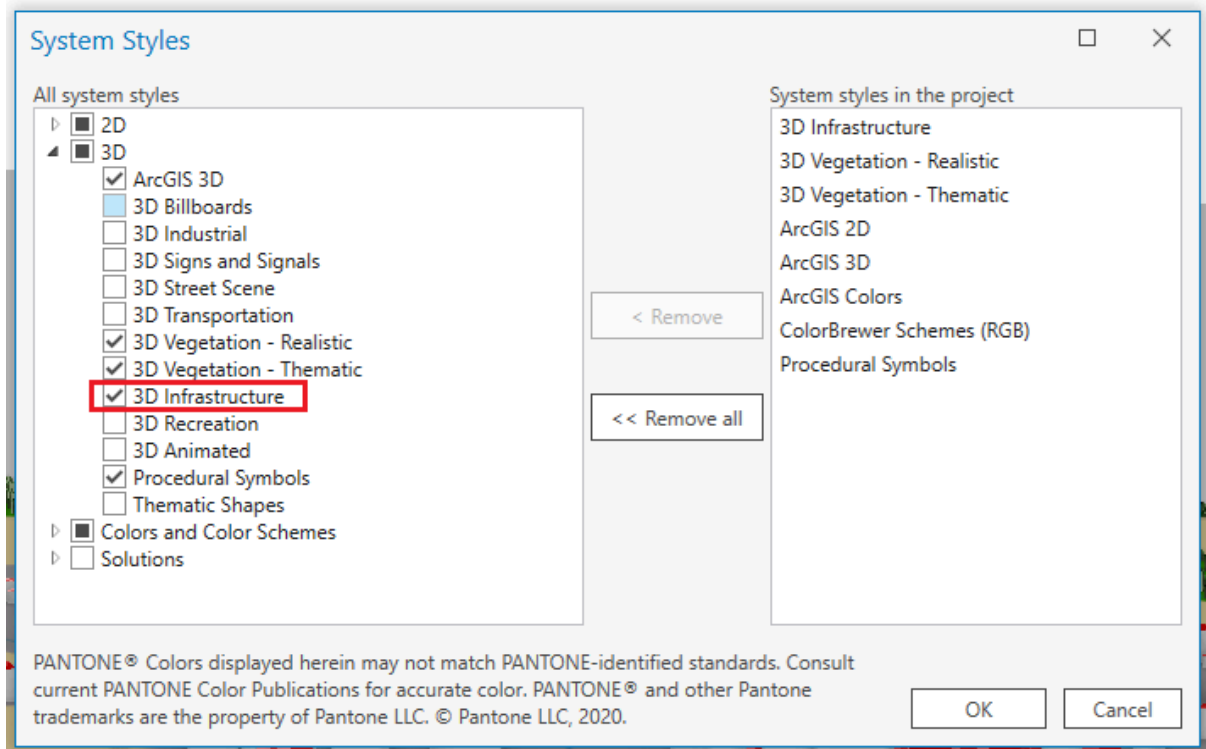


Obrázek 14: Tvorba LOD2 budov

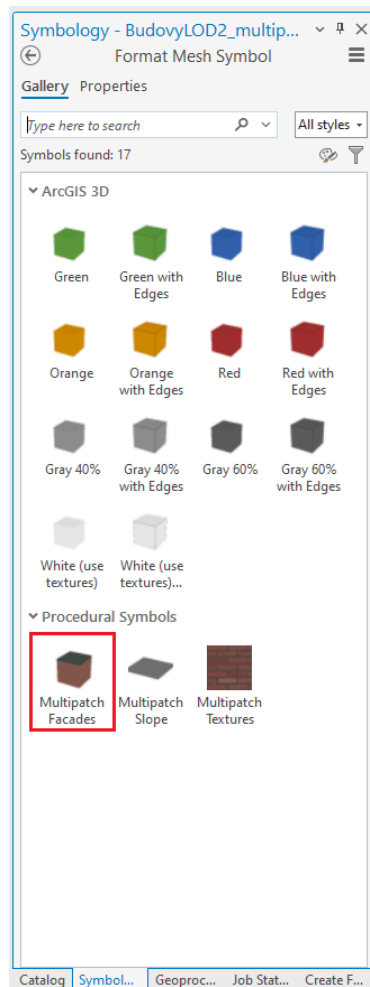
5.2 Nahrání do Scene Vieweru

V případě publikace objektů, u kterých bylo nastaveno procedurální pravidlo nastane několik problémů. Jelikož je pro publikaci potřeba využít nástroj **3D Layer to Feature Class** (viz kapitola 4.2.1), dojde ke ztrátě již nastavené symboliky u vrstvy budov. Vytvořený

multipartch je tedy jednobarevný a symboliku je nutné nastavit znovu. Symbolika u multipartch objektů však nefunguje stejně jako pro ostatní 3D vrstvy. Nejprve je potřeba pomocí nástroje **Add system style** přidat styl **3D Infrastructure** (viz. obrázek 15). Následně je v panelu symbolika možné nastavit symboliku na **Multipartch facades** (viz. obrázek 16). Nyní je ovšem nutné veškeré parametry nastavit znovu. Důležité je také, aby se parametry shodovaly s parametry z kapitoly 5.1, jinak dojde k nesprávnému vykreslení. Přestože je symbolika u multipartch vrstev nastavena, publikací do Scene Vieweru dojde k jejímu odstranění a vrstva budov je tak obarvena pouze jednou barvou (viz obrázek č. 17).



Obrázek 15: Přidání nového stylu symboliky



Obrázek 16: Druh symboliky Multipatch facades.

Druhým problémem je pravděpodobně nesprávná funkcionální nástroje **3D Layer to Feature Class**. Pokud se do nástroje nahraje vrstva obsahující procedurální pravidlo a nástroj “úspěšně doběhne”, nově vytvořená multipatch vrstva se v mapě nezobrazí. Je u ní třeba opět nastavit **elevation** na možnost **On the ground**. Tímto postupem dojde k zobrazení nově vytvořené multipatch vrstvy, typ výšky **On the ground** však není podporovaný pro publikaci multipatch vrstev na Web.

Tento problém je možné obejít opětovným spuštěním nástroje **3D Layer to Feature Class**, do kterého se jako vstupní vrstva přidá multipatch vrstva (vytvořena v předchozím kroku). Po úspěšném proběhnutí pak stačí nastavit symboliku a scénu (nebo jen některé vrstvy) je možné nahrát do Scene Vieweru. Nástroj pravděpodobně nefunguje správně, jelikož se chová rozdílně v závislosti na vstupní vrstvě, což ale není uvedeno v dokumentaci nástroje [14].

Alternativně by bylo také možné využít nástroje **Calculate Geometry Attributes**, do kterého by vstupovala vrstva budov (pouze jako 2D polygonů). V nástroji by se nastavil výpočet **Minimum z-coordinate** (minimální výšková souřadnice). Takto by došlo k výpočtu výšky polygonu, který by bylo možné extrudovat (příp. využít procedurálního pravidla). Pro využití tohoto postupu je však potřeba využití vlastního DMR, jelikož s využitím softwarem integrovaného DMR jsou všechny vypočítané výškové souřadnice rovné 0.

Výsledná 3D scéna s budovami úrovně LOD2 je dostupná na následujícím odkazu [15] a zobrazena na následujícím obrázku č. 17.



Obrázek 17: Zobrazení LOD2 budov na webu

6 Nahrávání velkých dat do Scene Vieweru

V rámci semestrální práce bylo zatím řešeno pouze území obce Gerlachov, jejíž rozloha činí okolo 5 km². Bylo tedy využito pouze lokální scény. V případě potřeby zobrazení většího území je vhodnější využít globální scény. Následující kapitola se věnuje aplikaci předchozích postupů na větší území a to konkrétně pro celý Prešovský kraj.

6.1 Postup tvorby

Postup tvorby 3D scény v globální scéně softwaru ArcGIS Pro je totožný s postupem v lokální scéně. Je možné využít identických nástrojů, procedurálního modelování, atd.

Největším rozdílem je však rychlost načítání jednotlivých vrstev a to zejména po vytvoření 3D objektů (budovy a stromy). V případě využití postupu podle kapitoly 4.1.3 je po extrudování polygonů vhodné ve vlastnostech vrstvy nastavit vykreslování v závislosti na měřítku. Pomocí tohoto postupu dojde k vykreslení pouze těch objektů, které jsou v rozmezí dané vzdálenosti a naopak objekty, které jsou mimo rozmezí, se nevykreslují vůbec. Dojde tak k výraznému zlepšení chodu softwaru.

Vytvoření vizualizace stromů ve stejném počtu jako pro obec Gerlachov není pro takto velké území možné. V případě snahy o vykreslení, dojde k úplnému zastavení softwaru, který je následně potřeba restartovat. Alternativním řešením by mohla být např. redukce počtu vykreslovaných stromů. Učinilo by se tak pouze změněním vstupního parametru v nástroji **Create random points** (viz. kapitola 3.1.4). Tímto postupem však dojde ke ztrátě "realistické" vizualizace lesů.

6.2 Publikace do Scene Vieweru

V případě publikace takto velké 3D scény do Scene Vieweru je největší limitací doba publikace na web. Hlavním důvodem je nutnost převodu 3D objektů na multiplech objekty pomocí nástroje **3D layer to Feature class**. Velké množství budov zapříčiňuje dlouhý chod

nástroje. Pro území celého Prešovského kraje byl čas převodu okolo 60 minut. Samotné nahrání vrstev do Scene Viewru pak trvalo dalších 60 minut.

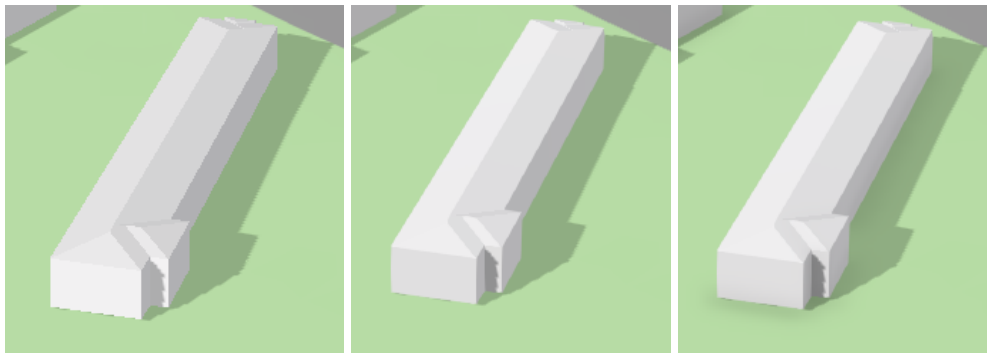
Alternativním a také rychlejším postupem je tvorba celé 3D scény až ve Scene Viewru. (postup podle kapitoly 4.2.2). Tento postup je výrazně rychlejší, jelikož není nutné převádět 3D objekty na multipatch objekty, není však možné publikovat LOD2 budovy.

Podobně jako v desktopové aplikaci dochází i zde k poměrně pomalému načítání jednotlivých vrstev, což je zapříčiněno zejména množstvím dat. Pro zrychlení chodu by bylo vhodné udělat analogický postup jako v desktopové aplikaci a nastavit měřítko, při kterém se mají jednotlivé prvky zobrazit, či nikoliv. Scene Viewer však místo pevně zvolené hodnoty využívá tzv. "cachování", při kterém dochází k automatickému vykreslení prvků v závislosti na míře přiblížení. Uživatel tak nemá možnost nastavit si hodnoty sám.

Scene Viewer také umožňuje nastavení kvality vykreslování 3D prvků. K dispozici je výběr z následujících 3 možností:

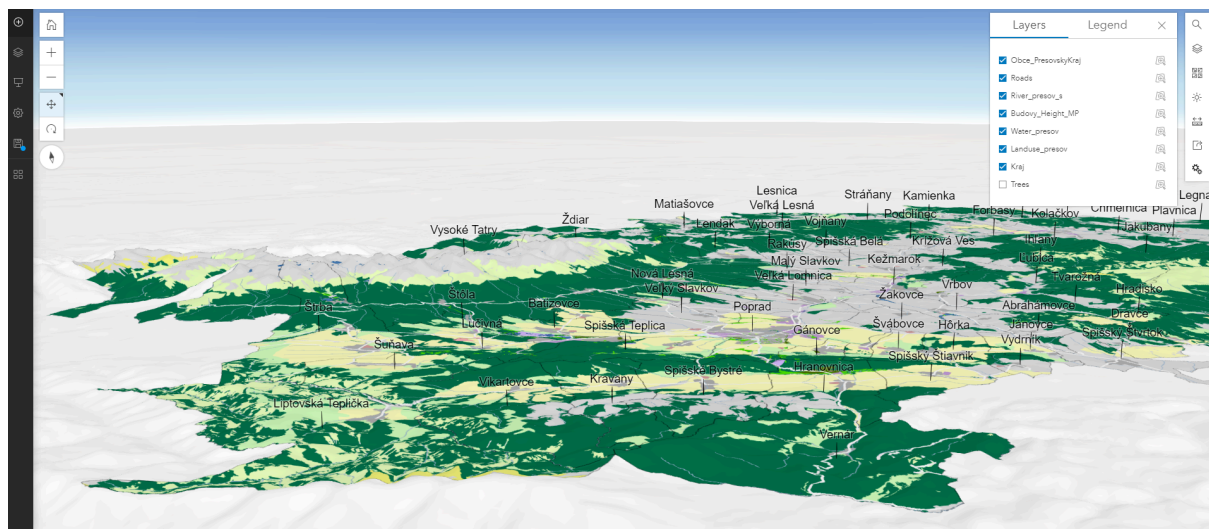
- Rychlost
- Kompromis
- Kvalita

Možnosti se liší zejména kvalitou stínů a samostatných objektů. Při výběru "Rychlost" je na budovách možné pozorovat jemné rozpixelování (viz obrázek 18).



Obrázek 18: Rozdíl mezi kvalitou vykreslování 3D prvků (zleva: Rychlost, Kompromis, Kvalita).

Výsledná scéna je dostupná na odkazu [16] a zobrazena na následujícím obrázku č. 19.



Obrázek 19: 3D scéna celého Prešovského kraje

6.2.1 Stromy

Stejně jako v desktopové aplikaci, ani zde není možné zobrazit stejný počet stromů jako v případě scény obsahující pouze obec Gerlachov. V případě pokusu o vykreslení velkého počtu stromů se u vrstvy obsahující stromy objeví žlutý vykřičník a stromy se nevykreslí. Občas také dojde k úplnému zaseknutí Scene Vieweru. Načítání vrstvy obsahující stromy nemá vliv na postupu tvorby 3D scény (tvorba v desktopové aplikaci vs tvorba ve Scene Vieweru).

6.3 Popisky

Po publikaci byly prostřednictvím Scene Vieweru ve scéně nastaveny popisky. Při nastavování popisků je možné měnit jejich velikost, barvu a také výšku nad povrchem. Popisky byly pro scénu nastaveny pouze pro polygonovou vrstvu obcí Prešovského kraje a jejich podobu je možné pozorovat na obrázku č. 19.

Autor zkoušel nastavit popisky i pro bodovou vrstvu (stromy), jejich nastavení je však totožné s nastavením pro polygonové vrstvy. Popisky pro liniové vrstvy, však není možné pro ve Scene Vieweru nastavit vůbec.

7 Závěr

Semestrální práce se věnuje problematice tvorby 3D scény a její publikace na web. Scény jsou tvořeny ve 2 desktopových aplikacích a to konkrétně v ArcScene a ArcGIS Pro. 3D scéna byla vytvořena z volně dostupných dat a kromě polygonových vrstev obsahuje také 3D objekty.

Samotná tvorba 3D scény probíhá v obou softwarech téměř identicky, je dokonce možné využít stejnojmenných nástrojů. Mezi základní rozdíly by bylo možné zařadit funkci softwaru ArcGIS Pro, která převádí 2D scénu do 3D. Tato funkce zjednodušuje proces tvorby. Dalším rozdílem je pak možnost využití základního digitálního modelu reliéfu, kterým disponuje software ArcGIS Pro (v softwaru ArcScene je potřeba DMR vlastní).

Publikace 3D scény je pak v obou softwarech rozdílná. Při použití softwaru ArcScene probíhá publikace pomocí tzv. CityEngine Web Viewer, při použití ArcGIS Pro pomocí Scene Vieweru. Ve Scene Vieweru je obsah funkcí bohatší než v CityEngine Web Vieweru. Základní porovnání obou metod je uvedeno v kapitolách 7.1 a 7.2

V rámci semestrální práce byla dále stručně shrnuta problematika tvorby a publikace 3D scény pro větší území, konkrétně pro celý Prešovský kraj. Největším nedostatkem je pomalé vykreslování 3D vrstvy budov, a také, že vizualizace stromů není pro velké území vůbec možná. Oba problémy se objevují jak v desktopové aplikaci tak na webu.

7.1 Shrnutí CityEngine Web Vieweru

Mezi hlavní výhody CityEngine Web Vieweru patří zejména rychlost nahrávání výsledné scény na web a zároveň pak možnost sdílení webové scény, jelikož je možné sdílet scénu prostřednictvím URL odkazu i s uživateli, kteří nemají přístup k ArcGIS Online. V případě otevření URL odkazu dojde vždy nejprve ke stažení celé scény, což může v

případě rozsáhlé velikosti trvat delší dobu. CityEngine Web Viewer dále umožňuje vypínání a zapínání jednotlivých vrstev, zjišťování informací z atributů jednotlivých vrstev. Další funkcionalitou je pak možnost nastavení osvětlení.

Mezi nevýhody pak patří zejména nemožnost přidávání, či úprava nových vrstev, či podkladových map, nebo úplná absence analýz (např. viditelnost, vzdálenost, atd.). Veškerá nastavení pro jednotlivé vrstvy (kvalita vykreslování, symbolika) je nutné provést již v desktopové aplikaci, jakákoliv úprava není po publikaci možná.

7.2 Shrnutí Scene Vieweru

Scene Viewer řeší většinu nedostatků CityEngine Web Vieweru. Mezi hlavní výhody patří zejména možnost přidávání, či ubírání vrstev ze scény. Kromě samostatných vrstev je zde také možné přidávat podkladové mapy. U všech vrstev je možné měnit symboliku, i když jen v omezené míře. Je zde i možnost tvorby 3D (resp. 2,5D) objektů až přímo ve scéně. Dále je možné přidávat popisky k jednotlivým vrstvám. Velkou výhodou je také možnost provádění analýz, kam patří například analýza viditelnosti, měření vzdáleností, vytváření řezů, atd. Další výhodou je možnost přímého vytváření aplikací ze scény, kde je možné využít již předem připravených šablon. Oproti City Engine Vieweru je zde možné zpětně nahrávat již publikované vrstvy z ArcGIS Online do desktopové aplikace ArcGIS Pro. Pokud je pro vrstvy nastaven přístup jako veřejný, vrstvy si může do ArcGIS Pro nahrát kdokoliv a využít je k dalším libovolným účelům.

Do nevýhod by pak bylo možné zařadit nutnost tvorby multipatch objektů v případě využití procedurálního modelování. Zejména pak pro velká data, jelikož publikace na web trvá delší dobu. Další nevýhodou je nemožnost využití některých symbolik pro jednotlivé vrstvy. Při publikaci na web dojde k jejich redukci, nebo úplnému odstranění. Dále není v rámci scény možné ručně nastavit vykreslování prvků v závislosti na míře přiblížení, jelikož se to děje automaticky a uživatel nad tím nemá kontrolu. Alternativně je ale možné využít nastavení celkové kvality 3D prvků. Další nevýhodou je pak zejména sdílení scény. K tomu, aby bylo možné scénu sdílet, je potřeba účet Esri s přístupem na ArcGIS Online. V případě potřeby sdílení scény i s ostatními uživateli, je nutné vytvořit webovou aplikaci.

8 Diskuze

V rámci dalšího postupu by bylo vhodné vyřešit problém týkající se zachování textur při publikaci budov jako multipatch objekty do Scene Vieweru. Zejména pak u budov na úrovni LOD2, kde by došlo k výraznému rozlišení zdí od střechy budovy.

Okrajově byly v rámci práce řešeny také popisky vrstev nahraných ve scéně. Jejich výslednou podobu je možné pozorovat pouze ve scéně obsahující celý Prešovský kraj [16]. Popisky jsou zapnuty pro vrstvu obcí. Jejich tvorba probíhala až na webu prostřednictvím Scene Vieweru. Možnosti nastavení popisků však není ve Scene Vieweru mnoho a pro bohatší nastavení by bylo vhodné využít desktopovou aplikaci.

Autor si v rámci práce také vyzkoušel tvorbu webové aplikace pomocí "Experience Builderu" zmíněného v kapitole č. 4.2.3. Výsledná aplikace se věnuje zobrazení rozdílu mezi LOD1 a LOD2 budovami a je dostupná na následujícím odkazu [17] a zobrazena na následující obrázku č. 20. Tvorba aplikace probíhala nejprve volbou předpřipravené šablony a následně bylo postupováno podle krátkého tutoriálu uvedeného v Experience builderu. Veškeré prvky je možné ovládat pomocí grafického uživatelského rozhraní (GUI) a

není tedy třeba psaní kódu. GUI umožňuje přidávání widgetů a různých funkcionalit jako jsou například záložky, tabulky, grafy, dotazníky atd. Z hlediska širšího vývoje aplikace by bylo vhodné nahlédnutí do zdrojového kódu případně jeho modifikace, možnost úpravy kódu online však autor v průvodci tvorbou webové aplikace nenašel. Alternativně by bylo možné stáhnout šablonu a celou aplikaci vytvářet pomocí kódu.



Obrázek 20: Webová aplikace

9 Zdroje

1. ArcScene vs ArcGlobe – Esri’s 3D GIS Software Differences. *GISGeography* [online]. © 2022 GIS Geography, 2022, 30.5. 2022 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/arcscene-arcglobe-3d-gis-software/>
2. About CityEngine Web Viewer. *ArcGIS Online* [online]. Esri [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/reference/about-cityengine-web-viewer.htm>
3. ZBGIS a ŠMD: Na stiahnutie. *Geoportál.sk* [online]. Bratislava: Copyright © 2022 Geodetický a kartografický ústav Bratislava, 2022, 2.8. 2022 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://www.geoportal.sk/sk/zbgis/na-stiahnutie/>
4. Download OpenStreetMap data for this region: Eurpoe. *Geofabrik downloads* [online]. Geofabrik, 2022 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://download.geofabrik.de/europe.html>
5. Copernicus: EU-DEM v1.1 [online]. Copernicus Programme, 2022 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1/view>
6. *Exporting ArcScene™ Documents to 3D Web Scenes* [online]. Copyright © 2013 Esri, 2013 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: https://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_J10223_Exporting_ArcScene_Docs_to_3D_Web_Scene.pdf
7. <https://uwb.maps.arcgis.com/apps/CEWebViewer/viewer.html?3dWebScene=5aac02e6fce54243ac148879dfc8c337>
8. Create: Choose global or local. *ArcGIS Online* [online]. Esri [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/create-maps/choose-global-local-scene.htm>
9. Elevation Coverage Map. *Arcgis.com* [online]. Esri, 4. 10. 2022 [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=3af669838f594b378f90c10f98e46a7f>
10. <https://uwb.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=0fba707fe20c4e0496d4d7875ec106cf>
11. <https://uwb.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=119502ee584643aaa96698c7f0833f57>
12. BILJECKI, Filip, Hugo LEDOUX a Jantien STOTER. *An improved LOD specification for 3D building models* [online]. 2016, 25-37 [cit. 2022-12-03]. ISSN 0198-9715. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>.
13. Extract roof forms for municipal development: Create realistic 3D roof forms from lidar data. *Learn ArcGIS* [online]. Copyright © 2022 Esri [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://learn.arcgis.com/en/projects/extract-roof-forms-for-municipal-development/>
14. Layer 3D To Feature Class (3D Analyst). *ArcGIS Pro* [online]. Esri [cit. 2022-12-03]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/layer-3d-to-feature-class.htm>
15. <https://uwb.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=0e7f93b6cd364391aeb10bd633c6f0fb>
16. <https://uwb.maps.arcgis.com/home/webscene/viewer.html?webscene=ebdbb9c2d58b408b80c0d2cd88e2cda8>
17. <https://experience.arcgis.com/experience/b1b9c32aa60b4e3c9c194678a4a970c8/>

18. <https://euclgis.reg.rw/portal/portalhelp/en/portal/latest/use/best-practices-scene-performance.htm>
19. Aplikace Prešovského kraje:
<https://uwb.maps.arcgis.com/apps/instant/3dviewer/index.html?appid=8077e78b3c1f4338b3156046d4b892ed>