

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Geografie a kartografie



David Maceška

**ANALÝZA SOFTWARE PRO TVORBU 3D MODELŮ INTERIÉRŮ**

**ANALYSIS OF SOFTWARE FOR CREATING 3D MODELS OF INTERIORS**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Čábelka

Praha, 2018

# UNIVERZITA KARLOVA

## Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **David Maceška**

Datum a místo narození: **3. 11. 1993, Praha**

Studijní obor: **Geografie a kartografie**

Garant studijního programu/oboru vám schválil přidělení této bakalářské práce:

Téma práce: **Analýza software pro tvorbu 3D modelů interiérů**

#### **Předběžná náplň práce**

Cílem práce je provést analýzu softwarů pro tvorbu 3D modelů interiérů se zaměřením na produkty společnosti Autodesk. Student se seznámí se současnými trendy a metodami v dané problematice. Na základě zvolených kritérií provede porovnání produktů komerční společnosti Autodesk s vybraným open-source softwarem. Poukáže na výhody a nevýhody těchto softwarů.

V nich vytvoří 3D model interiéru jednoho patra budovy Přírodovědecké fakulty, Albertov 6 tak, aby odpovídal skutečnému vzhledu. Na závěr bude provedeno kritické zhodnocení použitých softwarů a vytvořeného modelu.

Rozsah průvodní zprávy: 40–70 stran.

Rozsah grafických prací: v rámci textu a video jako příloha.

#### **Seznam odborné literatury:**

- 1) Online kurzy pro práci se software [Pluralshight.com, lynda.com]
- 2) CARDOSO, J. (2017): 3D Photorealistic Rendering: Interiors & Exteriors with V-RAY and 3ds Max. CRC Press, Boca Raton.
- 3) IRACI, B. (2013): Blender Cycles: Lightning and Rendering Cookbook. Packt Publishing, Birmingham.
- 4) Autodesk [<https://www.autodesk.cz>]

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Čábelka**

Datum zadání bakalářské práce: 11. 1. 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: červenec 2018

V Praze dne 26. 4. 2018

.....  
Vedoucí katedry

.....  
Vedoucí práce

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 30. července 2018

.....  
David Maceška

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Miroslavovi Čábelkovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho nápadité rady a čas, který mi věnoval. Dále bych rád poděkoval všem mým kamarádům, kteří prokázali obrovskou trpělivost v dobách, kdy jsem na této práci nejintenzivněji pracoval. Především pak Danovi Štraubovi a Adéle Koblížkové. Zároveň také mým rodičům, kterým vděčím za jejich celoživotní podporu, zejména v dobách mého působení na vysoké škole.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou softwarů pro tvorbu 3D grafických modelů. Hlavním cílem je porovnat komerční software od společnosti Autodesk „3ds Max“ s open-source softwarem „Blender“. V úvodu je předkládána studie o využití 3D objektů a analýza jejich významu. V hlavní obsahové části jsou představeny a porovnány oba výše zmíněné softwary. Porovnána je technika a způsob tvorby obsahu. Diskutována je rovněž náročnost 3D tvorby na výpočetní techniku. Na základě sestavených kritérií je subjektivně doporučen nejvhodnější software pro tvorbu 3D modelu interiéru. V závěru jsou také zmíněny ostatní možnosti 3D tvorby modelu interiéru.

Klíčová slova: 3D model, Autodesk, Blender, Interiér

## **Abstract**

This Bachelor's thesis is mainly focusing on analysis of software used for 3D modeling. The main goal is comparison Autodesk's proprietary software called 3ds Max with open-source software named Blender. The intro part is about usability of 3D models and analysis of its existence. Followed by main part which includes an introduction and comparison of software already mentioned. Comparison is formed by technique and way of making 3D content. Hardware requirements for each software is also mentioned. The subjective best software for a 3D interior modeling is chosen by created criteria. The final part refers to other possibilities of creating 3D interior models.

Keywords: 3D model, Autodesk, Blender, Interior

# Obsah

<b>Seznam obrázků, tabulek, příloh a zkratk</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>2. Cíle</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Rešerše literatury</b> .....	<b>14</b>
<b>4. Teoretická část</b> .....	<b>15</b>
4.1 3D model.....	15
4.1.1 Rozdíl mezi 3D a 2D modelem .....	15
4.2 Použití 3D modelu .....	17
4.2.1 Architektonická vizualizace .....	17
4.2.2 Zábavní průmysl.....	17
4.2.3 Navigace v interiérech .....	18
4.2.4 3D tisk.....	18
4.3 Představení firem a SW.....	19
4.3.1 Autodesk .....	19
4.3.2 Blender Foundation .....	20
<b>5. Analýza SW Blender a 3ds Max</b> .....	<b>21</b>
5.1 Parametry SW.....	22
5.1.1 Dostupnost SW.....	22
5.1.2 Rozsah videokurzů a tutoriálů .....	23
5.1.3 Podpora platforem .....	24
5.1.4 Uživatelská podpora .....	26
5.1.5 Intuitivnost ovládání .....	27
5.1.6 Rychlost startu SW .....	29
5.1.7 Náročnost na výpočetní výkon.....	30
5.2 Tvorba modelu.....	32
5.2.1 Nástroje pro tvorbu polygonové geometrie .....	32

5.2.2 Modifikační nástroje polygonové geometrie .....	33
5.2.3 Import půdorysu do SW.....	34
5.2.4 Import a export souborů.....	36
5.2.5 Čistá topologie.....	38
5.2.6 Práce s křivkami .....	41
5.2.7 Tvorba koberců.....	44
5.2.8 Vyhlazení hran .....	45
5.2.9 Knihovny s materiály a modely .....	46
<b>5.3 Materiály .....</b>	<b>47</b>
5.3.1 Tvorba textury .....	47
5.3.2 Tvorba materiálů .....	48
5.3.3 Externí SW na tvorbu materiálu .....	48
<b>5.4 Osvětlení .....</b>	<b>49</b>
5.4.1 Fotometrická světla.....	49
5.4.2 Nabídka světel.....	50
5.4.3 IES světla .....	51
<b>5.5 Render .....</b>	<b>51</b>
5.5.1 Nastavení renderu .....	51
5.5.2 Cloud Rendering.....	52
5.5.3 SW specializované pro render objektů .....	53
<b>6. Kritéria pro zhodnocení SW.....</b>	<b>53</b>
<b>7. 3D model interiéru PřF UK .....</b>	<b>55</b>
7.1 Metodika .....	55
7.2 Tvorba modelu.....	55
<b>8. Další možné způsoby tvorbu 3D modelu .....</b>	<b>56</b>
8.1 BIM: digitální správa budov .....	56
8.1.1 Autodesk Revit .....	57

8.2 Fotogrammetrie .....	57
8.3 Laserové skenování.....	58
<b>9. Diskuze a závěr.....</b>	<b>59</b>
<b>10. Literatura, zdroje dat.....</b>	<b>62</b>
10.1 Použitá literatura .....	62
10.2 Internetové zdroje .....	63
<b>11. Přílohy .....</b>	<b>66</b>

## Seznam obrázků, tabulek, příloh a zkratk

### Seznam obrázků

- Obr. 1: Objekt znázorněný ve 3D perspektivě v SW Blender
- Obr. 2: Objekt znázorněný ve 2D v SW 3ds Max
- Obr. 3: Nabídka základních geometrických objektů v SW 3ds Max
- Obr. 4: Nabídka základních geometrických objektů v SW Blender
- Obr. 5: Půdorys ve formátu DWG importovaný do SW 3ds Max
- Obr. 6: Tvorba zdi na základě importovaného půdorysu ve formátu JPEG
- Obr. 7: Nástroj Beautify Face v SW Blender
- Obr. 8: Znázornění čisté topologie na modelu lampy v prostředí 3ds Max
- Obr. 9: NURBS model v SW 3ds Max
- Obr. 10: Polygonový model v SW 3ds Max
- Obr. 11: NURBS objekt v SW Blender
- Obr. 12: NURBS objekt v SW 3ds Max
- Obr. 13: Detail vytvořeného koberce v SW 3ds Maxu
- Obr. 14: Detail vytvořeného koberce v SW Blender
- Obr. 15: Znázornění světelného toku IES světel
- Obr. 16: Uživatelské rozhraní a struktura zdi v Autodesk Revit 2018
- Obr. 17: Model výdechu metra vytvořený pomocí fotogrammetrické metody v SW  
Photomodeler UAS

### Seznam tabulek

- Tab. 1: Licence porovnávaných SW pro rok 2018
- Tab. 2: Počet dostupných videokurzů pro porovnávané SW
- Tab. 3: Kompatibilita porovnávaných SW s operačními systémy
- Tab. 4: Test uživatelské intuitivnosti při manipulaci se základním polygonovým  
objektem
- Tab. 5: Rychlost startu porovnávaných SW
- Tab. 6: Náročnost porovnávaných SW na paměť RAM
- Tab. 7: Seznam souborových přípon pro import a export do a z testovaného SW
- Tab. 8: Nástroje pro správu čisté topologie v testovaných SW
- Tab. 9: Kritéria pro zhodnocení SW

## Seznam příloh

Příloha 1: Koberec vytvořený v SW Blender pomocí nástroje Particle Systems

Příloha 2: Koberec vytvořený v SW 3ds Max pomocí nástroje Hair and Fur  
Modifier

Příloha 3: Použitý modifikační nástroj Chamfer v SW 3ds Max

Příloha 4: použitý modifikační nástroj Bevel v SW Blender

## Seznam zkratek

- DPZ – Dálkový průzkum země
- GIS – Geografický informační systém
- GPS – Global positioning system (Globální polohový systém)
- API – Application programming interface (Rozhraní pro programování aplikací)
- NURBS – Non-uniform rational basis spline
- RAM – Random access memory (Paměť s přímým přístupem)
- CPU – Central processing unit (Procesor)
- BIM – Building information model (Informační model budovy)
- GPU – Graphic processing unit (Grafická karta)
- UI – User interface (Uživatelské rozhraní)
- FAQ – Frequently asked questions (Často kladené dotazy)
- FPS – Frame per second (Počet obrázků za sekundu)
- SW – Software
- CAD – Computer aided design (Počítačem podporované projektování)
- 3D – Three dimension (Třírozměrný)
- 2D – Two dimension (Dvourozměrný)

# 1. Úvod

S prudkým nástupem informačních technologií v druhé polovině 20. století došlo k rozvoji technologií na poli mapování. Tento rozmach s sebou přinesl i vyšší nároky od veřejnosti na detailnější zmapování území a objektů. Požadována je především dokonalejší orientace a navigace uvnitř budov. Dále pak tvorba simulací jako například pohyb povodňových vln anebo pohyb osob při evakuaci z budov. Tyto požadavky mohou být realizovány právě pomocí 3D modelace objektů.

Využitím 3D tvorby tak lze realizovat široké spektrum reálných objektů, což je vhodné především pro již zmíněnou navigaci uvnitř budov, ale také architektonické vizualizace a interiérový design. Zároveň se zde také nabízí možnost tvorby virtuálních objektů, které mohou být využívány v různých animacích, například při psaní počítačových her či během natáčení filmů, videoklipů apod.

Vytváření grafických objektů v 3D prostředí vyžaduje použití specializovaných software (dále SW), které jsou charakteristické schopností práce s tříosou geometrií. Nabídka takových specifických SW je poměrně široká. Na trhu existuje několik open-source i komerčních SW, které řeší stejné úkony podobným způsobem. Většina SW umožňuje práci jak s 3D modelem exteriéru ale i interiéru. Zde je důležité zdůraznit, že tvorba interiéru vyžaduje vyšší nároky na nastavení osvětlení, dostupnost knihoven s již vytvořenými objekty, možnost interaktivního renderu pro výsledný výstup apod. (vysvětlení pojmu render viz kap. 4.1 a 5.5). Právě takové dílčí funkce SW jsou pro tvorbu interiéru důležité, jelikož do značné míry ovlivňují finální vzhled modelovaného objektu. Je pak přirozené, že každý SW, určený pro tvorbu 3D modelu, se v těchto dílčích krocích chová odlišně, což má vliv především na efektivitu práce při modelování. Tato bakalářská práce se zaměřuje na porovnání dvou typů SW a odhalení jejich kvalit a nedostatků pro tvorbu interiéru.

## 2. Cíle

Hlavním cílem této práce, jak již bylo naznačeno v závěru úvodní části, je porovnání dvou vybraných SW zaměřující se na tvorbu 3D modelů (zdůvodnění výběru zvolených SW (viz. kap. 5). Dalším cílem je zhodnocení postupu a funkcionality obou vybraných SW při modelaci 3D objektů. V závěru pak bude odpovězeno na otázku, jaké rozdíly lze očekávat u komerčních oproti open-source SW. Diskutovány rovněž budou důvody, které vedou uživatele k rozhodnutí zvolit komerční namísto open-source SW.

Hlavní funkcionality tvorby interiérového 3D modelu obou SW budou vzájemně, krok za krokem, porovnány testováním. Jelikož u vybraných SW lze volit z více možných metod, jak postupovat při tvorbě, bude snaha nalézt tu nejefektivnější a ta následně zdokumentována. Analýza bude provedena komplexně pro tvorbu samotného 3D modelu, volbu materiálu, výběr světel a dostupnosti knihoven s 3D obsahem. Určitá část práce je věnována analýze nastavení výsledného vykreslení objektu tzv. renderu. Pro porovnání SW byl vytvářen stejný objekt a vzájemně poměřena náročnost pro jeho vytvoření, a tak porovnána efektivita práce operátora v různém prostředí. Nelze však současně pominout i subjektivní parametr při testování intuitivnosti rozhraní, který může bohužel ovlivnit objektivitu posudku.

Součástí obsahu bude také zamyšlení se nad důvody proč některý SW určitou funkci, či nastavení nabízí a jiný nikoliv. Jedná se tedy o další cíl ve formě objasnění určitých důvodů, které mohly vývojáře SW vést k tomuto rozhodnutí.

Analýza rovněž zahrnuje i SW, které se specializují na určitou část tvorby objektu, jako například tvorbu materiálů anebo renderu. Následně proběhne porovnání se SW obsahující kompletní strukturu nástrojů pro všechny kroky tvorby objektu. Zmíněny budou i jiné možnosti modelování 3D objektů, v prostředí jiném než je CAD. Analyzována bude jejich náročnost, rychlost, přesnost a využití.

Přílohou této práce bude video, zachycující první patro a vstupní halu budovy školy Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze v ulici Albertov 6. Video bude vytvořeno pomocí testovaných SW.

### 3. Rešerše literatury

Bakalářská práce je založena především na praktických znalostech a zkušenostech s jednotlivými SW pro tvorbu 3D. Dále jsou v práci využity především odborné texty a výuková videa, sloužící k pochopení podstaty a ovládní SW.

3D modelace je často reflektovaný tématem v publikacích zabírajících se popisem jednotlivých funkcí SW (např. Murdock 2017; Mullen 2013). Výše zmíněné publikace poskytují základní informace pro konkrétní SW a poskytují pomoc při tvorbě požadovaných objektů. Zároveň představují možnosti a konkrétní příklady tvorby v SW. Specifičtěji se tématem tvorby 3D objektů modelů zabývá dílo *3D modeling of buildings: outstanding sites*, které pojednává o možnostech propojení GIS s 3D navigací v budovách (Héno 2014). Případně *Spatial subdivision of complex indoor environments for 3D indoor navigation*. Které čtenáře seznamuje se základními definicemi navigačního 3D prostoru (Diakité, Zlatanova 2017). Velmi konkrétně se zabývá 3D rekonstrukcí interiéru na základně vizuálních senzorů publikace *A 3D Modeling Method of Indoor Objects Using Kinect Sensor*. V díle je definován problém nedostatečné přesnosti uvedené metody a následně vytvořen algoritmus, který přesnost výrazně zlepšuje. Zajímavé však může být srovnání tvorby 3D modelu interiéru pomocí této metody a CAD metody (Shen, Yin, Chou 2017).

Publikací, které pojednávají konkrétně o tvorbě 3D modelu interiéru lze najít především mezi absolventskými pracemi technických univerzit. Mezi ty, které jsou velmi tematicky podobné patří například *Interaktivní 3D model bytového domu* (Boček 2017). Dále například Příbela (2017) se zabýval tvorbou 3D modelu přírodovědecké fakulty v Olomouci. Zmíněná práce je zaměřena na tvorbu virtuálního průletu budovou školy v grafickém prostředí Unreal Engine 4. Dílo je věnováno především samotné tvorbě objektu a SW je probíráno pouze okrajově. Specifičtěji se problematikou na výsledný render a nastavení světél zabývá Iraci (2013) ve svém díle *Blender Cycles*. Publikace se soustředí na jednotlivé kroky při nastavování renderu a světél v Blenderu a může posloužit jako výborný podklad pro porovnání s literaturou zabývající se stejným tématem v prostředí 3ds Maxu jako např. *Architectural Rendering with 3ds Max and V-Ray* (Kuhlo, Eggert 2013) případně *3D Photorealistic Rendering: Interiors & Exteriors with V-Ray and 3ds Max* (Cardoso 2017).

Konceptem porovnání jednotlivých SW pro 3D tvorbu se zabývá publikace *An Overview of 3D Software visualization*. Autoři práce se zabývají především 3D vizualizací dat a zhodnocení pokroku v práci se 3D SW (Teysere, Campo 2009).

## 4. Teoretická část

Tato část je zaměřena na definici samotného 3D modelu. Rovněž jsou uvedeny konkrétní možnosti uplatnění 3D tvorby se zaměřením na interiéry. Dále jsou také představeny společnosti vyvíjející SW, které budou v této práci porovnány.

### 4.1 3D model

3D model je výsledkem matematického znázornění jakéhokoliv objektu mající hloubku, výšku a šířku. V počítačové terminologii je složený z vertexů, linií a polygonů (Rouse 2016). Matematické znázornění objektu je vypočteno na základě informací, umístěných v bodech, z kterých je objekt složen. Tyto informace jsou závislé na nastavení a umístění světel v prostoru, materiálu, typu povrchu a dalších atributů objektu. Tuto operaci definuje pojem nazývající se render.

Vertex neboli z anglického překladu vrchol definuje bod v prostoru. Při práci v grafickém prostředí vertex obsahuje nejen geometrický souřadnicový systém, ale rovněž grafické informace (Slick 2018). Tyto grafické informace jsou důležité pro správné zobrazení materiálů, stínů, světel a textur.

Linie neboli hrany objektu jsou hranice stěny (Weissten 2018). Jejich vektorový směr je vždy přímka a zároveň jsou vždy ohraničeny vertexy. Polygonem je definována plocha objektu, která je ohraničena právě liniemi a vertexy (Slick 2018).

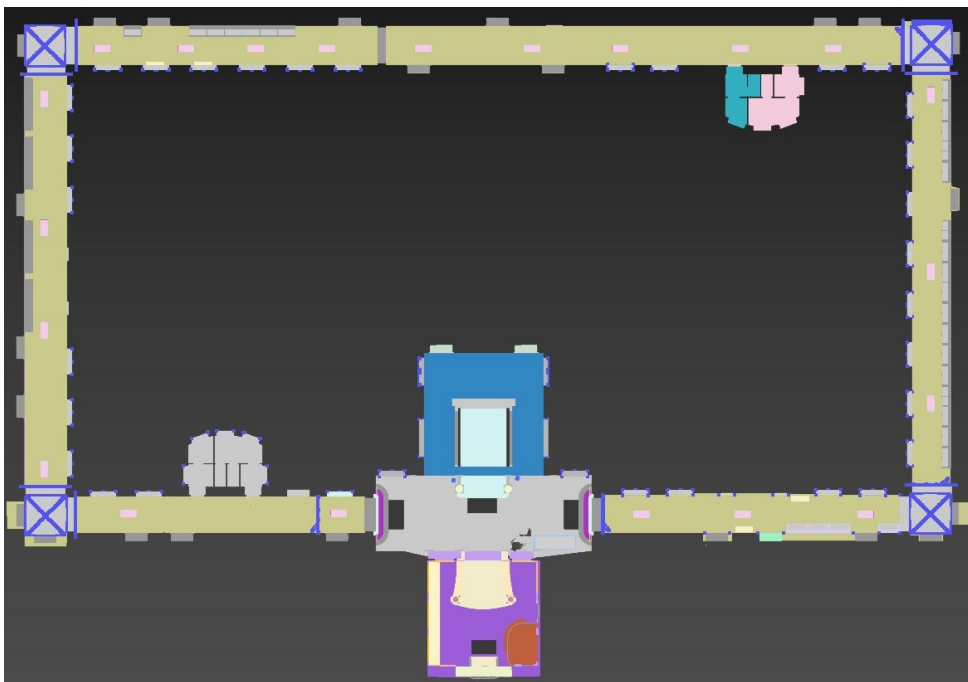
#### 4.1.1 Rozdíl mezi 3D a 2D modelem

3D model oproti 2D modelu obsahuje osu „Z“ neboli výšku. 3D modely lze zobrazit ze všech stran a úhlů pouze ve specializovaných SW (Slick 2018). 3D model obsahuje více informací, nežli 2D model. 3D výstup lze sice vytvořit z 2D zobrazení, avšak je nutné přidat k objektu informaci o výšce. Mnohem jednodušší pro uživatele je vytvoření 2D výstupu z 3D modelu. Tento proces se tvoří pomocí výpočtu renderu objektu (Franklin 2000).



**Obr. 1:** Objekt znázorněný ve 3D perspektivě v SW Blender

**Zdroj:** Blender 2.79b; Vlastní zpracování



**Obr. 2:** Objekt znázorněný ve 2D v SW 3ds Max

**Zdroj:** 3ds Max 2018; Vlastní zpracování

Skutečný 3D model však právě z důvodu chybějícího třetího rozměru nelze zobrazit na dvourozměrném povrchu (například papír). Zobrazení je možné na monitoru počítače pomocí interaktivní vizualizace, či ve skutečném světě pomocí sestaveného modelu nebo 3D tisku. Na obr. 1 je znázorněn pohled na vstup do budovy ve 3D pomocí perspektivní 2D vizualizace. Na obr. 2 je vyobrazen tentýž objekt v prostředí 2D.

## 4.2 Použití 3D modelu

Tato část se zabývá odůvodněním tvorby 3D modelu a také otázkou v čem spočívá výhoda zobrazení objektu ve 3D prostoru, oproti objektu znázorněnému ve 2D prostoru.

### 4.2.1 Architektonická vizualizace

Pomocí SW specializovaných pro 3D tvorbu, lze vytvořit velmi realistickou představu o připravovaném objektu. Vizualizace se používá např. při prezentaci návrhů ve veřejných zakázkách a výstavbě rodinných domů. Pomocí vizualizace lze graficky simulovat umístění objektu na plánované místo výstavby a představit si budoucí objekt v širším kontextu místa. Vizualizace je samozřejmě použitelná jak pro exteriér, tak pro interiér. Pomocí vizualizace si lze snadno za účelem optimalizace vizuálního vjemu představit různé prvky designu, jako například rozložení oken, rozvržení interiérů, barvu fasády apod.

### 4.2.2 Zábavní průmysl

Rozšíření 3D modelů je spojeno především s filmovým a herním průmyslem. Většina postav ze světa sci-fi je vytvořena právě pomocí SW umožňující 3D modelaci.

Především herní průmysl těží ze schopnosti tvořit reálné ale i nereálné interiéry a exteriéry. Výsledkem nemusí být vždy pouze statické výstupy reprezentovány pomocí fotografií nebo neinteraktivní vizualizací. Může to být také počítačová animace, což je často základem pro herní a filmový průmysl. Zde je ovšem potřeba počítat mnohonásobně vyššími nároky na výpočetní výkon, zejména výkon grafické karty.

Mechanismus počítačové animace funguje na principu sekvence statických obrazů, které jsou zobrazovány v rychlosti<sup>1</sup> postačující na to, aby oklamaly mozek a ten následně vnímal celou sekvenci jako plynulou (Kaufmann 2012).

Interaktivní výstupy fungují na principu možnosti volného pohybu objektu v prostoru. Interakce je většinou umožněna i bez nutnosti použití SW, ve kterém byl objekt tvořen. Příkladem může být objekt umístěný na webové stránce, v níž je prostřednictvím ovládajících prvků umožněna interakce s objektem. Takovýto výstup zvyšuje atraktivitu celého projektu.

---

<sup>1</sup> Nejběžnější rychlost u filmů je 24 snímků za vteřinu (Tubelight Podcast 2017).

#### 4.2.3 Navigace v interiérech

Orientace v interiérech pomocí navigace je dnes omezena nedostatečným, či zcela chybějícím GPS signálem. Připravovaný projekt s názvem Galileo přichází s řešením daného problému pomocí dostupnosti signálu uvnitř budov. Systém bude spolupracovat se zesilovačem, umístěným na střeše objektu a následné určení polohy proběhne prostřednictvím zařízení, které bude připojeno na zmíněný zesilovač (Bhatta 2011). Následná spolupráce 3D modelace interiéru se systémem Galileo může vytvořit v budoucnu velmi interaktivní způsob navigace uvnitř rozsáhlých interiérů.

Naopak bez použití družicových systémů lze přistoupit k navigaci uvnitř budov pomocí definování topologie uvnitř budov. Definovaná topologie je přiřazena ke geometrickému 3D modelu a výsledkem je pak symbolický model. Dle Zhang a kol. (2016) se jedná o geometrický 3D model, pokud byl vytvořen v CAD a takový model je pak určen pro geometrickou reprezentaci, která je vhodná především pro vizualizaci. Naopak tzv. symbolický model je vhodný pro navigaci uvnitř budov a v tomto typu modelu má každý jednotlivý objekt vlastní symbolické ID (Jamali, Boguslawski 2016). Pomocí vztahů mezi jednotlivými ID je následně definována topologie uvnitř budovy. Tvorba symbolického modelu je rovněž umožněna v CAD, je však náročnější na zpracování z důvodu nutnosti definování topologie.

#### 4.2.4 3D tisk

3D tisk je odvětví, jehož rozmach lze začlenit na přelom 20. a 21. století (Huang, Wen, Mao, Chen 2017). V 3D CAD SW lze navrhnout tvar a následně pomocí 3D tiskárny objekt vytvořit.

Tisk 3D objektu přináší zvýšené požadavky na SW v oblasti fyziky a vzájemné interakce mezi jednotlivými komponenty objektu. Nepřípustné jsou rovněž chyby v geometrii. Například překrývající se polygony, či díry v polygonech sice na vizualizaci nemusí být vždy vidět, ale při 3D tisku se projeví znatelnou odchylkou na povrchu objektu, či dokonce nemožností model vytisknout (3d-tisk.cz 2016). Specializované SW jako například Fushion360, OnShape, Solidworks nebo Meshlab kombinují nejen počítačem podporované navrhování (CAD), ale také obrábění (CAM) a konstrukční analýzy (CAE) (3d-tisk.cz 2016).

Na druhou stranu se nejedná o vizualizaci objektů, a tudíž odpadá správa materiálů, textur a renderu. Rozsáhlé využití 3D tisku lze najít v možnostech tisku náhradních

komponent menších rozměrů. Limitujícím faktorem je totiž velikost 3D tiskárny. Jedná se však o poměrně zdlouhavý proces<sup>2</sup>.

Testovaný SW Blender obsahuje nástroje pro standardní správu objektu určenou pro 3D tisk. Nástroje jako kontrola geometrie, ostrost hran, minimální tloušťka hran je k dispozici mezi nástroji pod názvem *3D print*. V 3ds Maxu je podobná správa objektu rovněž možná, nenachází se však společně seskupená mezi sadou nástrojů. Společnost Autodesk má ve svém portfoliu několik jiných SW specializujících se na tvorbu modelů určených pro 3D tisk, a proto není pro tento účel 3ds Max dokonale optimalizován.

### 4.3 Představení firem a SW

Tato část se bude věnovat stručnému představení společností, které vydaly SW testované v této bakalářské práci.

#### 4.3.1 Autodesk

Jedná se o Americkou nadnárodní firmu, fungující od roku 1982 a zabývající se vývojem SW v odvětví počítačové grafiky. Společnost se značně podílela na rozvoji v používání CAD SW. Mezi jejich vlajkovou loď v produktech lze zařadit SW AutoCAD, který byl prvním SW z dílny Autodesk. Dle časopisu Forbes se jedná o 468. nejhodnotnější firmu na světě (Forbes 2018).

V roce 2018 portfolio společnosti obsahuje celkem 112 produktů. Jelikož jsou produkty optimalizovány na vzájemnou interakci, je kompatibilita mezi jednotlivým SW zaručena. Veškeré nabízené SW v portfoliu mají uzavřený zdrojový kód, jedná se tedy o proprietární SW. Z tohoto důvodu komunikace a kompatibilita s produkty jiných firem je více či méně omezena. Společnost rovněž nabízí i jednotlivé balíčky produktů, a tudíž je možné koupit více specializovaných SW za sníženou cenu. Se SW od společnosti Autodesk například pracuje architektonické studio, které realizovalo projekt One Tower v USA anebo společnost Tesla Motors.

3ds Max, který bude v této práci analyzován, je výkonný SW určený výhradně pro 3D vizualizaci modelů, tvorbu reálných i nereálných objektů včetně kompletních scén pro herní průmysl a architektonické realizace. Především disponuje širokými možnostmi modelace 3D geometrie. Zároveň však obsahuje i poměrně rozsáhlé nastavení pro tvorbu materiálů, světla,

---

<sup>2</sup> Rychlost se v běžných podmínkách pohybuje okolo 40 – 50 mm/s (Grieser 2016).

animace i renderu. První verze byla představena v roce 1988.

#### 4.3.2 Blender Foundation

Nizozemská nezisková firma fungující na bázi dobrovolných příspěvků a podporovatelů (Blender 2018). Především z tohoto důvodu má společnost ve svém portfoliu jediný SW a tím je Blender. SW disponuje nástroji pro úpravu a tvorbu objektů v celé fázi modelování. Jelikož se jedná o open-source SW je samotný zdrojový kód veřejně dostupný a každý uživatel se může zapojit do vývoje. Blender byl v počátku roku 1995 napsán pro licenci shareware, a tudíž byla kostra samotného SW napsána za pomoci programátorů s nárokem na honorář. Společnost později zkrachovala a z důvodu snahy udržení rozvoje již vytvořeného SW, byl zdrojový kód otevřen pro veřejnost. Pomocí Blenderu bylo rovněž vydáno několik celovečerních filmů, počítačových her a reklamních videí. Příkladem může být například reklama vytvořená pro Coca Colu nebo reklamní video pro BMW X5.

## 5. Analýza SW Blender a 3ds Max

Tato kapitola bude rozdělena do pěti částí. V první části budou probírány jednotlivé parametry SW a také diskutována náročnost na výpočetní výkon. Ve druhé hlavní části proběhne analýza a postup tvorby geometrie samotného modelu v jednotlivých SW a porovnání výsledků. Třetí část bude věnována tvorbě materiálů a následně čtvrtá část nastavení světel. V závěrečné, páté části bude analyzováno nastavení renderu.

Aby mohl SW být zařazen mezi skupinu vhodné pro tvorbu 3D modelu interiérů, měl by splňovat několik základních kritérií. Tvorba interiéru se od exteriéru liší především zvýšenými požadavky na SW v oblasti nastavení osvětlení. Interiér rovněž obsahuje různé objekty jako nábytek, dveře, kliky apod. SW by tedy měl mít možnost importovat již vytvořené objekty. Dále by měl obsahovat nástroje pro vyhlazení hran, vyhledání a odstranění chybné geometrie. Zároveň nástroj na úpravu materiálů na pokročilé úrovni, různé modifikační nástroje pro správu geometrie a tvorbu objektů vyskytujících se často v interiérech. V neposlední řadě by také měl mít možnost importu již vytvořeného půdorysu budovy.

Pro zhodnocení byly vybrány dva hlavní představitelé SW optimalizované pro 3D tvorbu objektů<sup>3</sup>. Vybrán byl jeden zástupce z komerční sféry a jeden s licenci open-source. Zásadní podmínkou bylo, aby se jednalo o tzv. all in SW. Tedy aby bylo možné tvořit geometrii samotného objektu, nastavit materiály a světla, a nakonec také možnost spustit render. Další neméně důležitou podmínkou bylo, aby zástupce komerčního SW nabízel studentskou licenci zdarma. V této práci budou zhodnoceny SW:

- 3ds Max 2018.4 od společnosti Autodesk
- Blender 2.79b od společnosti Blender Foundation

Při výběru těchto dvou konkrétních SW sehrála roli zejména dostupnost studentské licence na SW od společnosti Autodesk. Dále motivace porovnat a najít přidanou hodnotu v zástupci z komerční sféry se zástupcem, který je nabízen zcela zdarma i pro komerční účely. Z tohoto důvodu byl do analýzy zařazen Blender. Na trhu existuje několik dalších SW optimalizovaných pro 3D modelaci. Avšak buď nedisponují bezplatnou studentskou licenci (například MODO od společnosti The Foundry) a testování by nemohlo legálně vůbec

---

<sup>3</sup> SW umožňující práci s třísou geometrií.

proběhnout, anebo počet nástrojů a funkcí je zásadně menší, nežli obsahují tyto dva vybraní zástupci a srovnání by tedy nemělo příliš vypovídající hodnotu (například SketchUp od společnosti Trimble). Případně se nejedná o SW stejného zaměření, a tudíž obsahují nástroje, které by byly nevyužité anebo naopak by zcela chyběly (například SolidWorks, Fusion 360, Catia).

Na trhu existují specializované SW, které se věnují konkrétnímu kroku při tvorbě 3D modelu. SW tohoto zaměření budou rovněž zmíněny a zanalyzovány.

## 5.1 Parametry SW

V této podkapitole budou obsažena kritéria, která se věnují případné volbě SW a také jaké služby SW nabízejí. Diskutována je rovněž náročnost na výpočetní výkon testovaných SW

### 5.1.1 Dostupnost SW

První důležité kritérium pro výběr SW je dostupnost. Jednotlivé SW jsou nabízeny z hlediska licence ve variantě proprietární či open-source SW.

**Tab. 1:** Licence porovnávaných SW pro rok 2018

SW	3ds Max	Blender
licence	Proprietární SW	Open-source
Cena	1 505 USD/rok	N/A
Studentská licence	3 roky	N/A
Komerční použití	ANO	ANO

**Zdroj:** Autodesk.com 2018, Blender.org 2018

Jak je patrné z Tab. 1 3ds Max je nabízen na trhu za velmi vysokou cenu. Naopak licence Blenderu nabízí možnost použití zdarma pro jakékoliv účely. Zároveň je možné Blender volně distribuovat, uživatelé rovněž mají přístup ke zdrojovému kódu a upravovat ho, nakonec je dokonce možná distribuce již pozměněného SW. Tato metoda s sebou rovněž přináší výhodu ve formě velmi snadné instalace bez nutnosti procházet procesem ověřování licence při instalaci a každém spuštění SW.

Autodesk nabízí 3 roky studentskou licenci na veškerý svůj SW. Po uplynutí této doby je možné, má-li žadatel stále status studenta tuto licenci obnovit opět na další tři roky. Pro komerční účely však studentskou verzi SW využívat nelze. Tato metoda

licencování je pro firmu velmi výhodná, 3 roky je dostatečná doba k rozvinutí znalostí a seznámení se SW. Po uplynutí této doby se nepředpokládá, že by se uživatel chtěl učit s jiným SW a licenci si (rozhodne-li se pokračovat v 3D modelaci) s velkou pravděpodobností zakoupí. Existuje také možnost pořídit si tzv. trial verzi SW, která nabídne 30 dní na vyzkoušení a po uplynutí této doby dojde k omezení funkčnosti SW. Tato lhůta je ale velmi krátká pro seznámení s tak komplexními SW, jaké Autodesk nabízí.

Společnost nabízí licence SW v podobě měsíčního, ročního či víceletého členství. Z právního hlediska se tedy jedná o legální výpůjčku SW a po uplynutí předplacené doby SW k dispozici již uživatel nemá. Takovýto systém je velmi finančně náročný a lze odůvodnit skutečností, že trh s potencionálními uživateli specializovaného SW není tak rozsáhlý a prodej celoživotních licencí by pro společnost Autodesk zřejmě znamenala mnohem nižší příjmy.

Závěrem lze tedy konstatovat, že z hlediska dostupnosti je tedy vhodnější výběr open-source SW bez poplatků, proto se Blender v této části jeví jako vhodnější volbou pro modelaci 3D interiéru.

### 5.1.2 Rozsah videokurzů a tutoriálů

Začít s tvorbou modelu v novém SW je mnohdy velmi obtížně, především díky komplexním nástrojům a funkcím, které SW nabízí. Z toho důvodu existují online videokurzy, které mají za cíl nasměrovat uživatele v počátcích.

Výukový obsah umístěný na webových stránkách je většinou tvořen uživateli, kteří získali licenci pro tuto činnost přímo od společnosti vyvíjecí SW. Webová aplikace obsahuje videokurzy rozdělené do kapitol věnující se tvorbě konkrétního objektu a představením funkčnosti různých nástrojů. Videokurzy jsou zpoplatněny a většinou fungují na principu měsíčního předplatného. V Tab. 2 jsou zobrazeny nejpopulárnější webové stránky se zaměřením na videokurzy a počet lekcí pro konkrétní SW.

**Tab. 2:** Počet dostupných videokurzů pro porovnávané SW

SW	3ds Max	Blender
Lynda.com	65	25
Pluralsight.com	297	305
Udemy.com	67	200
VTC.com	5	1
Skillshare.com	6	75

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Z Tab. 2 vyplývá, že existuje poměrně velké množství kurzů pro Blender. Tento SW se v průběhu let vyvíjel a jeho prostředí se s každou verzí výrazně měnil. Rovněž umožňuje v rozsáhlé míře modifikovat uživatelské rozhraní a z těchto důvodů se online kurzy stávají poměrně nepřesné. Většina návodů, knih a manuálů je tvořena uživateli, kteří vydávají video-návody a knihy spíše na bázi dobrovolnictví případně dobrovolných příspěvků. Takovýto postup je v open-source SW běžný.

3ds Max naopak výraznou modifikovatelnost uživatelského rozhraní nenabízí. Důvodem je stálá komunita uživatelů po dobu několika let existence a přílišná změna v uživatelském rozhraní (UI) by mohla značnou část uživatelů odradit. Tento koncept již předefinovaného UI je z důvodu nepřístupného zdrojového kódu pro proprietární SW charakteristický.

Z dostupných informací tedy vyplývá, že volba nejvhodnějšího SW z hlediska nabídky videokurzů je na základě vlastních preferencí. Záleží, zdali má uživatel požadavky na SW především v oblasti modifikovatelnosti UI anebo přesnosti videokurzů.

### 5.1.3 Podpora platformem

Z hlediska všestrannosti je poměrně důležité, aby bylo možné spustit SW na různých operačních systémech. V opačném případě firma může přijít o potenciální zákazníky pracující v jiném operačním systému, než jejich produkt podporuje. Jelikož existují emulátory prostředí operačního systému lze tento problém technicky překonat. Použitím emulátoru však dochází z důvodu optimalizace hardware na konkrétní operační systém k snížení uživatelské přívětivosti a spolehlivosti SW.

**Tab. 3:** Kompatibilita porovnávaných SW s operačními systémy

Operační systém \ SW	3ds Max	Blender
Microsoft Windows	✓	✓
MAC OS	✗ <sup>4</sup>	✓
GNU/Linux	✗	✓
Solaris	✗	✓
FreeBSD	✗	✓
IRIX	✗	✓
SkyOS	✗	✓
MorphOS	✗	✓

**Zdroj:** Autodesk.com 2018; Blender.org 2018

Jelikož je 3ds Max podporován pouze operačním systémem Microsoft Windows je z hlediska všestrannosti výhodnější zvolit Blender, který jak je patrné z Tab. 3 je multiplatformní. Avšak takovýto koncept společnosti Autodesk má několik odůvodnění. Tím je například snadná optimalizace a větší záruka spolehlivosti. To znamená, že pro vydavatele SW je vždy snazší se soustředit pouze na jednu platformu, pružněji tak reagovat na vyskytlé chyby ve zdrojovém kódu a vydat případnou opravu. Naopak vývojáři Blenderu případnou potenciální chybu v SW musí opravit a optimalizovat pro všechna prostředí operačních systémů. Zároveň je také možné dostat se do situace, kdy SW pod jedním operačním systémem pracuje naprosto správně a v druhém vykazuje chyby.

Dále hraje roli samotné rozhraní, v jakém byl SW napsán. Existují dva hlavní typy OpenGL a DirectX. Přestože jsou navzájem kompatibilní, OpenGL je otevřený standard a je tudíž používaný ve většina případů v open-source SW. DirectX je spustitelný pouze na platformě Windows. 3ds Max je napsán spíše pro rozhraní DirectX, a tudíž například v režimu OpenGL není schopný zobrazit stínování přímo v okně určený pro tvorbu modelu (AristasDigitales 2010).

V neposlední řadě 3ds Max těží z výhod grafických karet Nvidia Quadro, speciálně vytvořené pro výkon v grafickém prostředí. Uvedené grafické karty však společnost Apple ve svém portfoliu pro MacBook Pro nenabízí (Apple.com 2018). Operační systém Mac OS tedy nedokáže využít plný potenciál SW. Tento faktor je poněkud překvapivým zjištěním, protože především v minulosti byla jakákoliv práce v grafickém prostředí výsadou počítačů společnosti Apple (Blake 2015). Postupem času se však společnost, dle nabídky svých

---

<sup>4</sup> SW od společnosti Autodesk byl v minulosti podporován operačním systémem MAC. Od roku 2014 není nadále tento systém podporován.

aktuálních produktů nejspíše přestala orientovat na produkty určené pro profesionální sféru.

Z uvedených skutečností tedy vyplývá že, pokud pro uživatele není problém se vázat pouze na jediný operační systém, získá určité výhody. V tomto případě je tedy vhodné zvolit 3ds Max. Avšak v případě, že Microsoft Windows z jakéhokoliv důvodu použít nelze, je výhodnější zvolit Blender. Zároveň také v případě použití open-source operačního systému Linux dojde ke značnému ušetření pořizovacích nákladů, což je opět faktor hovořící pro Blender.

#### 5.1.4 Uživatelská podpora

V této části budou analyzovány možnosti uživatelské podpory, které nabízí používaný SW. Uživatelská podpora je důležitá především v případě výskytu problému s kompatibilitou, či pokud máme jakýkoliv dotaz týkající se SW.

Společnost Autodesk garantuje telefonickou i emailovou podporu všem uživatelům, kteří SW zakoupili. Zároveň disponuje službou virtuální agentky, která komunikuje s uživatelem v reálném čase. Tato služba funguje na principu rozpoznávání slov a vět a na základě vyhodnocení zpracuje odpověď vyhledanou ve vnitřní databázi. Funkce je dostupná pouze v anglickém jazyce. Jedná se o velmi pohotovou a funkční službu pro pomoc při instalaci a problémy s aktivačními kódy.

Blender funguje na principu komunity. Jelikož se jedná o open-source SW, tuto podporu tvoří samotní uživatelé. Podpora tedy primárně funguje na principu uživatelské komunikace na sociálních sítích a fórech.

Oba zmíněné SW mají k dispozici emailovou adresu na svých webových stránkách, na kterou je možné se obrátit v případě obecného či technického dotazu. Průzkum dostupnosti a kvality poskytované emailové podpory proběhl pomocí obecného dotazu který se týkal *počtu aktivních uživatelů SW a z jaké země pocházejí*. Testována byla pohotovost uživatelské podpory a čas potřebný k odpovědi na dotaz. Od obou společností dorazila odpověď s vysvětlením, že tato data nejsou k dispozici. Odpověď na dotaz přišla:

- Blender: 1 den, 2 hodiny a 9 minut
- 3ds Max: 2 dny, 1 hodina a 7 minut

Poměrně překvapivým zjištěním je, že společnost vydávající SW na bázi open-source disponovala pohotovější reakcí na dotaz nežli společnost vlastníci proprietární SW. Zároveň je zajímavé, že společnost Autodesk nemá dostupná data o počtu uživatelů SW. Každý uživatel, který SW užívá legálně musí vlastnit licenci, měla by být tato data vedena v archivu společnosti. Lze tedy předpokládat, že data společnost vlastní, avšak je nemůže zveřejnit, či poskytnout. U open-source SW by byla analýza počtu uživatelů velmi náročná, jelikož společnost nevyžaduje žádnou registraci při stažení a používání SW.

Z hlediska uživatelské podpory se na základě analýzy dospělo k překvapivému zjištění, že je z hlediska uživatelské podpory vhodnější použít Blender. Tato skutečnost může být odůvodněna především rozsáhlými možnostmi k přístupu informací na webových diskuzích a fórech. V případě potřeby pomoci při modelaci, či technického problému nastává podpora ve formě příspěvků jiných uživatelů na sociálních sítích. V takovém případě tedy odpadá důležitost podpory nabízené přímo od společnosti, jelikož je velmi pravděpodobné, že se s vyskytlým problémem již v minulosti někdo setkal a řešení je popsáno na webu. Zároveň také společně s použitím open-source SW odpadá nutnost ověřování licence a uživatelského účtu. Z tohoto důvodu lze dospět k závěru, že pokud u open-source technická podpora chybí tak jednoduše prostě není potřeba. V neposlední řadě také hovoří pro volbu Blender výsledek analýzy předkládající pohotovější odpověď na položený dotaz. Na druhou stranu nelze opominout telefonickou podporu a službu virtuální agentky v případě 3ds Maxu.

#### 5.1.5 Intuitivnost ovládání

3ds Max je z důvodu dlouholeté existence na trhu považován za standard v oblasti ovládání 3D SW. Levé tlačítko myši slouží pro výběr objektu, pravé pro zobrazení dialogového okna a kolečko myši pro zoom, respektive jeho klik pro okružní pohyb okolo objektu, případně s použitím klávesy *Alt* pro pohyb kamery.

Naopak Blender má základní uživatelské nastavení pro ovládání definován odlišně. Pravé tlačítko myši slouží k výběru objektu a levé pro pohyb 3D kurzoru. Takto zvolené ovládání je jedinečné a na trhu není jiný SW pro 3D tvorbu, který by v základním nastavení byl nadefinován tímto způsobem. 3D kurzor je především využíván pro definici počátečních souřadnic při tvorbě nového objektu. Případně je použit jako osa při editaci určité skupiny objektů (Blender.org 2018). Kontextová nabídka je zobrazena pomocí klávesy *Tab*. Dalším znatelným rozdílem je potvrzovací okno při mazání objektů. Tato funkce brání nechtěnému

smazání objektu a je tedy nutné potvrdit, zdali opravdu má být vybraný objekt smazán a až následně po potvrzení dialogu je objekt smazán. Nechtěné smazání objektu nastalo několikrát při tvorbě ukázkového modelu v 3ds Maxu, právě z důvodu chybějící výše uvedené funkce.

Oba zmíněné SW jsou plně modifikovatelné a nastavení jednotlivých klávesových zkratk je přizpůsobitelné. V 3ds Maxu je poměrně zásadní detail, který je registrovatelný v případě roztažení okna s nástroji. Při tomto posunu dochází ke skládání a vyplňování okna nástroji a následný přístup ke všem nástrojům je značně zlepšen. V Blenderu při roztažení okna s nástroji dochází k pouze otrockému roztažení ikon, bez přeskupování jednotlivých nástrojů a v případě potřeby je tedy stále nutné hledat nástroj posunem kolečkem myši (viz příloha 3 a 4).

Orientace v prostoru se zdá být více uživatelsky přívětivá v Blenderu. Okružní pohyb je mnohem přesnější a na rozdíl od 3ds Maxu nedochází k častému „uskakování“ objektu způsobené nepřesným klikem myši. Rovněž klávesové zkratky jsou lépe rozvrženy pro práci jednou rukou na klávesnici a druhou umístěnou na myši. Negativně však lze hodnotit použití levého tlačítka pro určení polohy 3D kurzoru. 3D kurzor při modelaci nenabízí zásadní výhodu a jeho četnost použití není příliš vysoká. Navzdory této skutečnosti je tato funkce umístěna na, z hlediska přístupnosti nejdůležitějším tlačítku myši.

Pro srovnání rychlosti a intuitivnosti byl proveden test. Úkolem bylo vytvořit v prázdné scéně krychli, otočit jí o 360° v ose Z, následně naklopit o 90° v ose Y, následně celou krychli zmenšit na polovinu své velikosti a nakonec smazat. Počítán byl počet kliků a čas. Nejprve byl test proveden bez použití klávesových zkratk a následně druhý s použitím klávesových zkratk. Pro změření času byl test proveden celkem pětkrát a z výsledků byl vypočítán aritmetický průměr.

**Tab. 4:** Test intuitivnosti SW při manipulaci se základním polygonovým

<b>Bez použití klávesových zkratk</b>		
	3ds Max	Blender
Čas [s]	35,8	25,79
počet kliků myši	11	8
<b>s použitím klávesových zkratk</b>		
	3ds Max	Blender
Čas [s]	26,73	16,89
Počet kliků myši	6	5
Počet klávesových zkratk	4	4

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

Za základě výsledků z Tab. 4 je zřetelné, že tvorba základních tvarů a následná manipulace s nimi je rychlejší a vyžaduje méně kliků myši v Blenderu. Při manipulaci je v Blenderu umožněno přímo při úkonu psát hodnotu „o kolik“ má být proveden posun. V 3ds Maxu je nutné pro tento úkon otevřít dialogové okno, což znamená zdržení a rovněž jedná o dva kliky myši navíc. 3ds Max však nabízí funkci „posunu v řádech desítek“, případně dle nastavení. Díky této funkci je otáčení a manipulace přesnější, jelikož se pohyb posunuje skokově po dílech a nikoliv plynule.

V Blenderu je osa XYZ lépe čitelná a viditelnější z tohoto důvodu nevznikl žádný nechtěný pohyb. Naopak v 3ds Maxu v jednom z pokusů nechtěný pohyb nastal. V počtu kliků myši se rovněž projevilo dialogové okno s dotazem, zdali opravdu má být vybraný objekt smazán. Urychlení tvorby objektu rovněž nastalo v Blenderu díky již umístěnému 3D kurzoru a tudíž ihned po zvolení požadovaného objektu nastal proces tvorby. V 3ds Maxu bylo nejprve nutné levým tlačítkem myši zvolit bod, ve kterém bude nový objekt vytvořen.

Závěrem lze říci, že pro správu jednoduchých objektů je intuitivnější Blender. SW rovněž nabízí podobně jako 3ds Max široké spektrum klávesových zkratk. Základní geometrie a následnou manipulaci s ní lze dle testu tvořit rychleji v Blenderu.

#### 5.1.6 Rychlost startu SW

Spouštění komplexních SW je ve většině případů proces trvající v řádu desítek a mnohdy až stovek vteřin. Čas potřebný pro start SW může být snížen lepší optimalizací pro konkrétní operační systém. Zároveň je tento faktor závislý na počtu a komplexnosti nástrojů a funkcí obsažených v SW. Větší počet a komplexnost nástrojů tento čas, potřebný ke startu prodlužují. Dále je důležité zmínit doplňky, které se instalují do SW a rozšiřují schopnosti a funkčnost SW. Tyto doplňky se nazývají Add-ons (Blender), případně pluginy (3ds Max) a mohou rovněž výrazně ovlivnit rychlost startu SW. Při analýze byly tyto doplňky brány v potaz. Test rychlosti startu SW byl proveden celkem pětkrát a následně byl z výsledků vypočten aritmetický průměr.

**Tab. 5:** Rychlost startu porovnávaných SW

	3ds Max	Blender
čas [s] – se zapnutými Add-ons	21,13	5,92
čas [s] – s vypnutými Add-ons	N/A	1,13

**Zdroj:** Blender 2.79b, 3ds Max 2018; Vlastní zpracování

Z Tab. 5 je jasné patrné, že Blender má mnohem rychlejší start, než 3ds Max. Tato skutečnost je s největší pravděpodobností způsobena rozsáhlými knihovnami, kterými disponuje právě 3ds Max. Knihovny jsou většinou objemné soubory, a tudíž jejich načítání výrazně prodlužuje čas potřebný ke startu. Dále při spouštění proprietárního SW dochází vždy ke kontrole platnosti licence, a tento úkon může znatelně celý proces spouštění zpomalit. Hovořit lze i o lepší optimalizaci Blenderu (viz kap. 5.1.7).

Blender oproti 3ds Maxu umožňuje vypnout pluginy a tím ještě více zkrátit čas potřebný pro start SW. V 3ds Maxu lze vypnout pouze pluginy třetích stran, které byly pro tento test vypnuty. Při testu byl upozorován nedostatek Blenderu týkající se chybějícího tlačítka pro hromadné zapnutí či vypnutí Add-ons. Jelikož Blender obsahuje v základním nastavení celkem 119 Add-ons, případné tlačítko pro hromadné zapnutí, či vypnutí by výrazně ušetřilo čas. Avšak výhodou open-source SW oproti proprietárnímu SW je, že v případě takového či podobného nedostatku je vždy možné chybějící funkci naprogramovat a do zdrojového kódu vložit. V proprietárním SW takovouto úpravu provést není možné a řešením je pouze počkat na oficiální aktualizaci od výrobce.

#### 5.1.7 Náročnost na výpočetní výkon

Samotná modelace 3D objektu není příliš náročná na výpočetní techniku, protože se jedná o práci s vektory, které využívají výpočetní výkon minimálně. Práci s vektorovou grafikou zaměstnává především CPU, který kalkuluje geometrické umístění jednotlivých objektů. Změna nastává, pokud se k modelu připojí materiály, textury a osvětlení. V tuto chvíli roste náročnost především na výpočetní výkon grafické karty. Zátěž pro výpočetní výkon je úměrný k počtu vertexů, hran a polygonů. Pro každý bod na objektu je při výsledném renderu nutné vypočítat dráhu světla, a tudíž i odlesky, stíny a materiály objektu. Jedná se o velký objem poměrně jednoduchých geometrických výpočtů. Z tohoto důvodu je pro práci s renderem využita především grafická karta, která pracuje s velkým počtem jader v GPU, které jsou schopny vypočítat více jednoduchých geometrických vlastností objektu za kratší čas, než CPU (Fox 2017).

Grafická karta je nejzásadnější modul v případě požadavku na urychlení procesu výsledného renderu. Vhodné je tedy uzpůsobení hardwaru tak, aby bylo možné připojit více grafických karet, aby následný výpočet renderu mohl probíhat rychleji. V případě grafické karty je nejdůležitějším parametrem počet jader. Grafická karta obsahující více jader o menším výkonu umožňuje rozložit objemnou práci s nenáročnými výpočty na více částí

a výsledkem bude tedy kratší potřebná doba k renderu (3XS Systems 2018). Vyšší objem paměti RAM na grafické kartě je důležité při správě komplexnějších scén. Paměť RAM v grafické kartě je násobně rychlejší a SW vždy prioritně využije právě RAM v grafické kartě. Pokud scéna vyčerpá RAM paměť v grafické kartě, SW použije k uložení dat systémovou RAM a dojde tedy k poklesu výkonu (3XS Systems 2018).

Paměť RAM je při práci s 3D modelem využita pro uložení obsahu v pracovním okně, výsledkem je rychlejší reakce a plynulejší vykreslování. Tento princip je využit například při prohlížení animace v pracovním okně. K prvnímu spuštění animace dojde z HDD a až následně je uložena do paměti RAM. Jelikož RAM disponuje rychlejšími datovými přenosy než HDD. První spuštění animace má vždy nižší hodnotu FPS než druhé, čtené z paměti RAM (Fulla 2018). Na základě této skutečnosti lze dospět k závěru, že paměť s vyšší kapacitou poskytne větší prostor pro uložení komplexnějších a delších animací a následné zobrazení při tvorbě je plynulejší. Rychlejší jádro paměti umožní rychlejší vložení scény do paměti, a tedy úsporu času při práci s objekty.

Zároveň je také do paměti RAM uložena scéna při spuštění renderu. V takovémto případě může nastat situace, kdy se daná scéna pro nedostatek prostoru do paměti RAM neuloží. SW tedy následně pro potřebu uložení scény využije HDD. Jelikož je rychlost zápisu HDD násobně nižší, než v případě RAM dojde k výraznému poklesu rychlosti výpočtu renderu. V případě práce s komplexnějšími scénami je tedy důležité vlastnit dostatečně velkou paměť RAM.

3ds Max obsahuje občasný bug, který uloží scénu do paměti RAM a následně i přes zavření SW a smazání všech objektů zůstane scéna v paměti. Blender takovýto bug neobsahuje, avšak je znatelně lépe optimalizovaný pro práci pod operačním systémem Linux než Windows. V prostředí Linux je Blender až dvojnásobně méně náročnější na spotřebu paměti než ve Windows.

Oba SW byly testovány v prostředí Windows 7 a v obou případech byl importován do SW shodný objekt postele obsahující 437 897 polygonů, 224 383 vertexů a rovněž kompletní textury. Testována byla i náročnost na paměť RAM samotného SW neobsahující žádnou scénu. Výsledky jsou znázorněny v Tab. 6.

**Tab. 6:** Náročnost porovnávaných SW na paměť RAM

	3ds Max	Blender
se scénou [kB]	728 712	224 220
bez scény [kB]	574 260	117 952

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

Dle Tab. 6 je rozdíl v nárocích na RAM poměrně značný. Tato skutečnost může být způsobena nejspíše lepší optimalizací Blenderu než 3ds Maxu. Dalším důvodem je s největší pravděpodobností znatelně vyšší obsah funkcí v případě 3ds Maxu, tudíž zvýšenými nároky na výpočetní výkon.

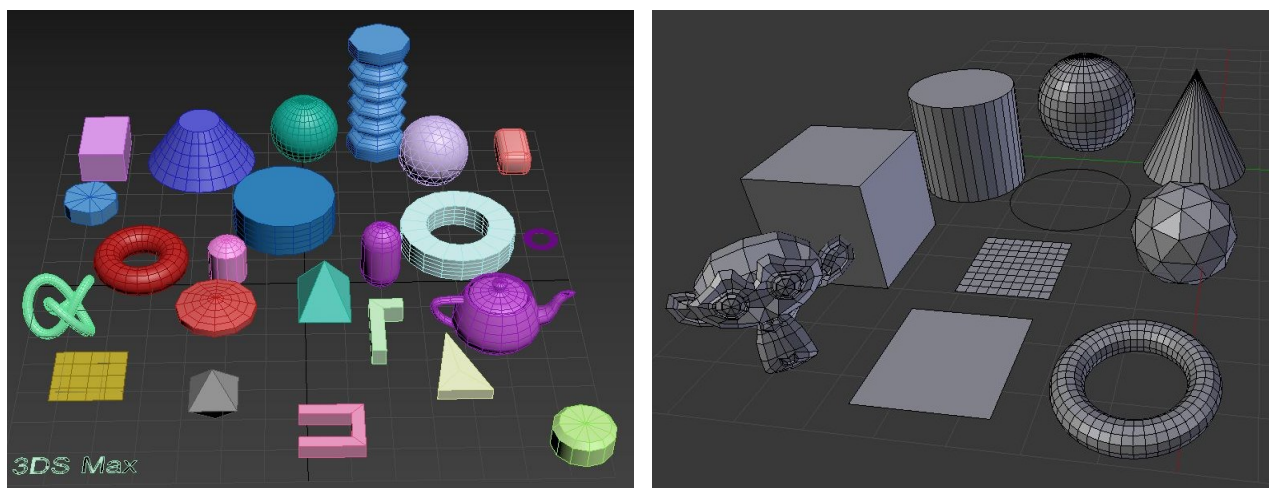
## 5.2 Tvorba modelu

Tvorba samotné geometrie objektu je zařazena v rámci posloupnosti před zpracováním materiálů a světel. Nejprve je modelována samotná kostra objektu a následně jsou aplikovány různé detaily. Při tvorbě interiérů se zpravidla začíná ohraničením prostoru pomocí zdí stropů a podlah, následují dveře a okna a ve finální části objekty, které jsou obsažené v prostoru interiérů jako například židle, stoly a jiné vybavení.

### 5.2.1 Nástroje pro tvorbu polygonové geometrie

Prvním krokem při modelaci 3D obsahu je vždy tvorba geometrie z nichž jsou následně vytvořeny požadované objekty za pomoci modifikačních nástrojů či tvarovacích nástrojů.

3ds Max nabízí v základní nabídce *Standard primitives a extended primitives* celkem 24 předdefinovaných polygonových objektů (viz Obr. 3). Blender nabízí v základní nabídce *create mesh* 10 objektů (viz. Obr. 4). Oba SW mají možnost doinstalovat další různé druhy polygonových objektů za pomoci pluginů. Například ozubené kolečko, vázu, květiny, schodiště, zábradlí atp. 3ds Max disponuje možností automatické aplikace náhodné barvy nově vytvořeného objektu, a tudíž se stávají objekty lépe přehledné a odlišitelné (viz Obr. 3 a 4).



**Obr. 3 a 4:** Nabídka základních geometrických objektů v 3ds Max (vlevo) a Blenderu (vpravo)

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; vlastní zpracování

Větší počet předdefinovaných polygonových objektů zvyšuje komfort při tvorbě 3D modelu. V případě 3D modelu interiéru je tato výhoda znatelná, jelikož je v interiéru vesměs obsaženo mnoho komplexních tvarů, které lze vytvořit velmi jednoduše právě pomocí předdefinovaných nástrojů a úpravou jejich nastavení. V závislosti na požadované úrovni detailu dokonce není nutné ani použití modifikačních nástrojů (viz kap. 5.2.2). V této části analýzy lze 3ds Max označit jako lépe uzpůsobený pro tvorbu 3D modelu interiéru.

### 5.2.2 Modifikační nástroje polygonové geometrie

SW pro 3D tvorbu obsahují nástroje, pomocí nichž je možné upravovat již vytvořené objekty (viz kap. 5.2.1). Při použití modifikačního nástroje se změní samotná geometrie objektu a také jeho vlastnosti. V porovnávaných SW jsou tyto nástroje jednoznačně nejpoužívanější v úpravě polygonové geometrie.

Počet modifikačních nástrojů:

- 3ds Max: 102
- Blender: 51

3ds Max obsahuje dvojnásobný počet modifikačních nástrojů než Blender. Jelikož lze použít více modifikačních nástrojů najednou a zároveň je kombinovat závisle na sobě, jsou možnosti úprav v obou SW velmi široké. Menší nabídka modifikačních nástrojů v případě Blenderu tedy nemusí automaticky znamenat skutečnost, že nelze nějaký tvar na základě dostupných nástrojů vytvořit. Avšak může být snížen uživatelský komfort, jelikož je v případě nutnosti nezbytné použít více modifikačních nástrojů a tím pádem je zvýšen nárok na uživatele. Naopak v případě 3ds Maxu je díky vyššímu počtu nástrojů pravděpodobné, že modifikační nástroj pro danou úpravu objektu SW již obsahuje, a tudíž práce probíhá pouze s nastavením jednoho nástroje.

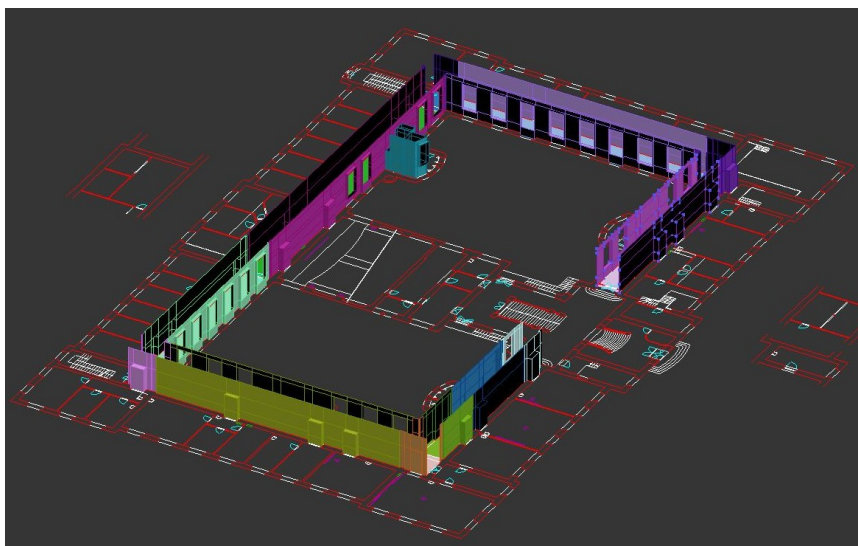
Pro test byl vybrán nástroj, který byl v ukázkovém modelu hojně využit. Jedná se o nástroj pro zjemnění hran objektu. V každém SW se vyskytuje pod jiným jménem v Blenderu pod názvem Bevel a v 3ds Maxu pod názvem Chamfer i přes rozdílný název plní totožnou funkci.

Aplikován byl na hrany krychle a výsledek je velmi podobný (viz příloha 3 a 4). Oba nástroje dodržují geometrii složenou ze čtyřúhelníkových polygonů. V případě 3ds Max je možností nastavení více (rozšířené nastavení vyhlazení celého objektu, vyhlazení dle použitého materiálu, směr vyhlazení). V případě Blenderu je například nutné pro vyhlazení hran mezi jednotlivými nově vytvořenými liniemi použít další modifikační nástroj. Zároveň 3ds Max nabízí rozsáhlejší možnosti nastavení pro jednotlivé modifikační nástroje, především pak v oblastech vyhlazení a práci se skupinami polygonů.

V tomto případě je tedy vhodnější pro tvorbu 3D modelu interiéru použít 3ds Max z důvodu většího počtu a komplexnosti nástrojů. Jelikož interiér obsahuje mnoho různých tvarů, pro které je nutné použít právě modifikační nástroje, jedná se tedy o důležitý parametr.

### 5.2.3 Import půdorysu do SW

Oba testované SW umožňují vytvářet 3D model na základě skutečných rozměrů. Pro zachování stejného měřítka je nutné získat rozměry reálného objektu. Nejsnazším způsobem je importovat vytvořený půdorys budovy do SW. Digitální půdorys obsahuje vytvořenou geometrii ve vektorech a poskytuje možnost přesného přichytnutí k vertexu nebo linii. Půdorys nemusí být vždy vytvořen digitálně, ale lze rovněž použít metodu nákresu na papír a následný sken dokumentu. Z hlediska přesnosti je jednoznačně výhodnější použít metodu digitálně vytvořeného půdorysu (viz obr. 5).



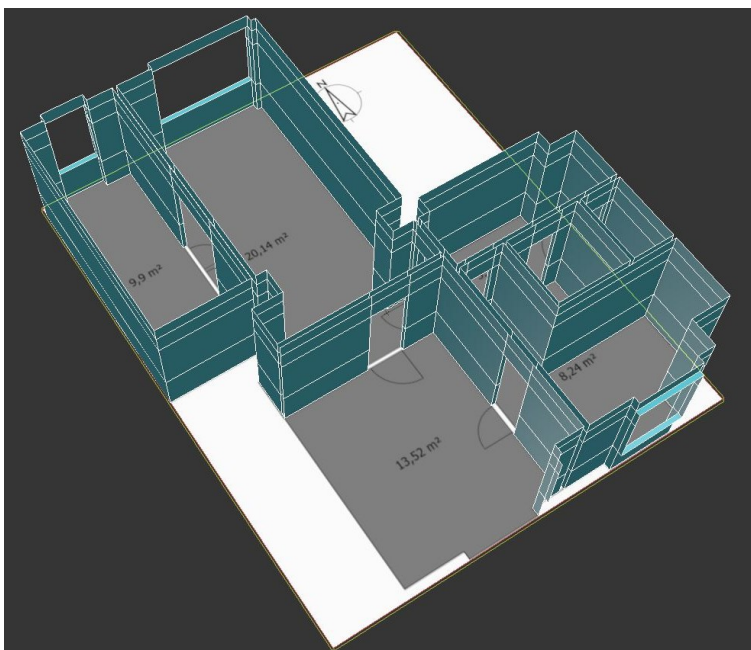
**Obr. 5:** Půdorys ve formátu DWG importovaný do SW 3ds Max

**Zdroj:** 3ds Max 2018; vlastní zpracování

Mezi portfolio společnosti Autodesk patří rovněž SW AutoCAD, který je vhodný pro správu vektorové grafiky a tvorbu půdorysu. Tento SW umožňuje export DWG souboru, který je dokonale kompatibilní s 3ds Maxem. Nevýhodou je však nutnost vlastnit SW AutoCAD a tak zvýšené finanční náklady.

Blender, jak je patrné Tab. 7 nepodporuje import souboru s příponou DWG, který je hojně používán při tvorbě půdorysu. Pro tvorbu ukázkového modelu byl poskytnut plán s půdorysem právě ve formátu DWG, bez možnosti volby. Řešením je konverze z formátu DWG do DXF, nebo OBJ, konverze ale probíhá přes tzv. třetí stranu, a tudíž není vždy zaručena dokonalá kompatibilita.

Dalším možným řešením je tvorba půdorysu v SW pracující s vektory (např. Adobe Illustrator, Sweet Home 3D) a následný export do formátu JPEG. Takto vytvořený půdorys je možné importovat do všech SW vhodných pro tvorbu 3D modelu interiéru. Vše je ale zatíženo nevýhodou horší uživatelské přívětivosti, ale především přesností. Jedná se totiž o fotografii v rastrovém formátu a ta nedisponuje vertexy ani liniemi, tudíž není možné přichytit se přesně na vytvořenou geometrii.



**Obr 6:** Tvorba zdí na základě importovaného půdorysu ve formátu JPEG

**Zdroj:** Sweet Home 3D, vlastní zpracování

Na Obr. 6 jsou zdi vytvořeny na základě půdorysu formátu JPEG. Při dostatečném oddálení od scény nejsou viditelné chyby v nepřesnosti umístění stěn. V případě přiblížení na konkrétní rohy stěn by bylo nepřesné umístění již patrné.

#### 5.2.4 Import a export souborů

Z hlediska kompatibility je vhodné, aby měl SW možnost importu i exportu několik různých typů souborů. Import je důležitý zejména z důvodu vkládání již vytvořených objektů z internetových knihoven, ale zároveň také jednotlivých textur a pomocných fotografií. Export je využit zejména při finální práci, za účelem dalšího zpracování neboli post-processingu. Zároveň však například při prezentaci hotového modelu a následné tvorbě interaktivního modelu.

**Tab. 7:** Seznam souborových přípon pro import a export do a z testovaného SW

SW	3ds Max	Blender
Import	<b>FBX</b> ; <b>3DS</b> ; PRJ; ABC; AI; CATPART; CATPRODUCT; CGR; DAE; DEM; XML; DDF; <b>DWG</b> ; <b>DXF</b> ; FLT; HTR; IGE; IGS; IGES; <b>IPT</b> ; <b>IAM</b> ; JT; MODEL; MDL; SESSION; EXP; DLV; DLV3; DLV4; OBJ; PRT; NEU; G; ASM; <b>RVT</b> ; SAT; SHP; SKP; SLDPRT; SLDASM; STL; STP; STEP; TRC; WIRE; WRL; WRZ	DAE; ABC; ASF; PDB; <b>3DS</b> ; BVH; C3D; <b>FBX</b> ; <b>DXF</b> ; XCF; XTJ; IWO; PSK; PSS; MS3D; MDD; CHAN; RAW; STL; SVG; PLY; OBJ; X3D; WRL
Export	<b>FBX</b> ; <b>3DS</b> ; ABC; AI; ASE; ASS; DAE; <b>DWF</b> ; <b>DXF</b> ; FLT; HTR; IGS; OBJ; PXPROJ; SAT; STL; SVF; WRL	DAE; ABC; AMC; PDB; <b>3DS</b> ; BVH; X; <b>DXF</b> ; PY; SVG; PC2; PSK; PSA; JSX; FBX; MS3D; MDD; CHAN; RAW; STL; PLY; WRL; OBJ; X3D

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

Tab. 7 obsahuje formáty, které umožňují testované SW importovat a exportovat. Tučně jsou zvýrazněny formáty vyvinuté společností Autodesk. Na základě informací v tabulce je zřetelné, že některé formáty od Autodesku jsou podporovány i Blenderem. Jedná se o formáty, které společnost Autodesk nechala volně otevřené pro možnost šíření obsahu. Autodesk však vlastní i uzavřené formáty, které zvládají uložit více informací a také informace vytvořené specifickými nástroji pro konkrétní SW. Takovéto formáty nelze otevřít v jiných SW jako například Blender.

Blender je jediný SW společnosti Blender Foundation a tudíž neobsahuje žádné své specifické uzavřené formáty. Zároveň také uzavřené formáty do konceptu open-source vůbec nezapadají. Avšak z hlediska možností exportu obsahuje Blender zásadní výhodu v možnosti exportovat vytvořený model do herního prostředí. V tomto prostředí je umožněno simulovat herní svět a vytvořit ovladatelný prostor bez nutnosti znát programovací jazyk.

3ds Max je především přizpůsoben na import souborů vytvořených v SW nabízených od společnosti Autodesk. SW jsou optimalizovány pro vzájemnou kompatibilitu pomocí nástroje *link*, který závisle propojí data mezi jednotlivými SW a následná úprava proběhne automaticky ve všech propojených SW. Zároveň je možnost použití nástroje *Send to*, který model přesune do jiného podporovaného SW od Autodesku, bez vzájemné závislosti. Není tedy nutné používat import, export a je zaručena kompatibilita. Za nevýhodu však lze považovat nutnost vlastnit licenci na každý SW od Autodesku zvlášť. Takto nastavený koncept je sice velmi intuitivní, ale rovněž také velmi nákladný na finanční prostředky.

Blender rovněž obsahuje rozsáhlé možnosti importu a exportu. Rozdíl oproti 3ds Maxu

nastává v podpoře souborů vyvinutými přímo společností Autodesk. Jedná se například o hojně používaný vektorový formát DWG. Struktura souboru je neveřejná, a tudíž není možné zaručit kompatibilitu se SW Blender. Na druhou stranu pro import vektorové grafiky do Blenderu lze použít typ souboru SVG, který je vhodný například právě pro import půdorysu ve vektorovém formátu. Naopak 3ds Max import SVG umožňuje pouze jako texturu materiálu, a tudíž se s formátem nedá příliš pracovat.

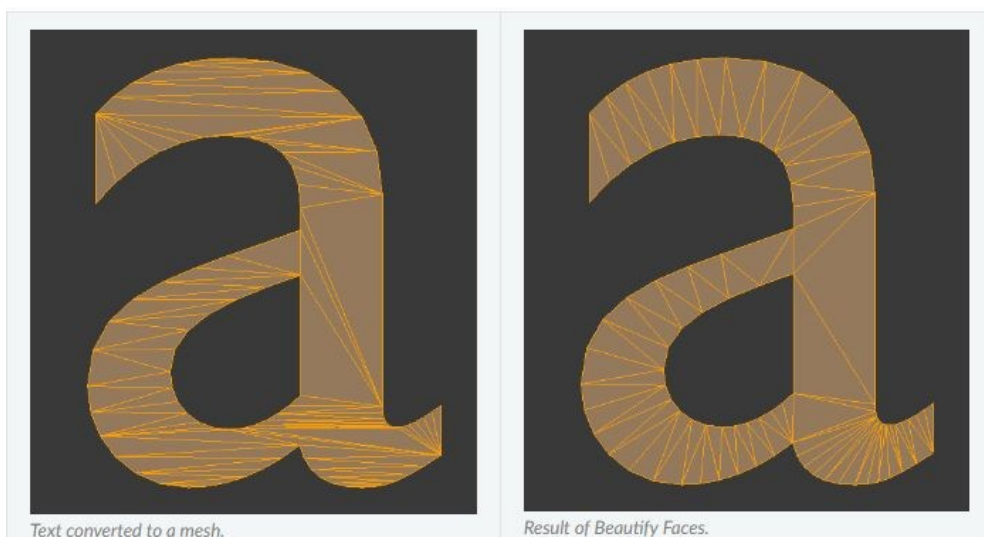
Import a export je neméně důležitým parametrem především v případě použití více různých SW a následného propojení. V tomto případě je tedy vhodnější použít SW 3ds Max. Ekosystém společnosti Autodesk je ve své třídě díky vzájemné propojitelnosti SW nepřekonatelný. Tato výhoda je však použitelná především pro větší grafická studia, naopak pro jednu fyzickou osobu by byly náklady za SW opravdu vysoké.

### 5.2.5 Čistá topologie

Pod pojmem čistá topologie si lze v 3D terminologii představit objekt složený ze spojených, navazujících polygonů podobné velikosti a bez nadbytečných částí. Aby bylo možné považovat vytvořenou topologii za čistou (viz Obr. 8) je důležité dodržet několik základních pravidel.

Při tvorbě jakéhokoliv modelu není vhodně mísit metodu tvorby pomocí trojúhelníkových polygonů a vícestranných polygonů. Výsledkem mohou být nepřesné stíny, díry v objektu a nesprávné fungování jednotlivých nástrojů SW. Při standardním modelování interiérů je nejvhodnější používat geometrii složenou pouze ze čtyřúhelníkových polygonů.

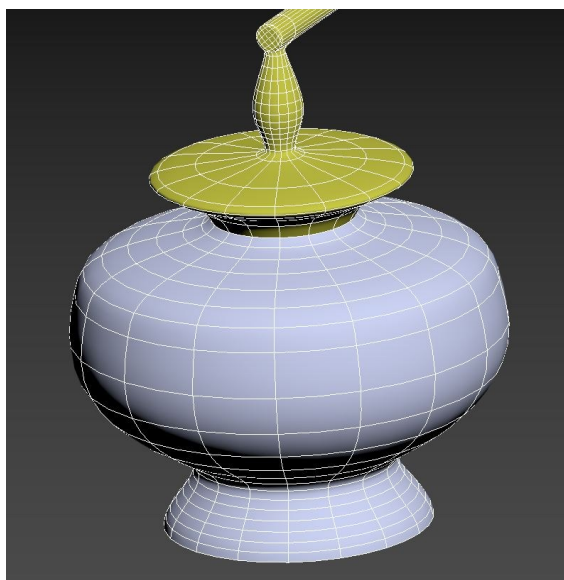
V případě tvorby modelu technikou low-poly, která je používána za účelem snížení nároků na výpočetní výkon a obsahuje co nejmenší počet polygonů je vhodné sestavit model obsahující pouze trojúhelníkové polygony. Takovýmto způsobem jsou tvořeny například interiéry i exteriéry v některých hrách nenáročných na grafické prostředí. Zároveň jsou trojúhelníkové polygony poměrně přesné ve znázornění výšky a členitosti terénu. 3ds Max i Blender umožňuje převést objekt do trojúhelníkového modelu jedním kliknutím pomocí nástroje *convert to editable mesh* respektive *Quad to tris*. Blender však obsahuje navíc zajímavou funkci *Beautify Faces*, která za pomoci limitů úhlů mezi jednotlivými liniemi upraví trojúhelníkový model (viz Obr. 7).



**Obr. 7:** Nástroj Beautify Face v SW Blender

**Zdroj:** Blender 2.79b Manual

Dále platí, že vertexy, hrany ani jednotlivé polygony se nesmí překrývat. Tzn. nesmí obsahovat stejnou geometrickou informaci a ležet na stejných souřadnicích. Zároveň by také geometrie polygonů měla být plynulá. Tzn. že v ideálním případě by se jednotlivé díly objektu neměly vsouvat do sebe, ale měl by se tvořit plynulý spoj (viz Obr. 8).



**Obr. 8:** Znáznornění čisté topologie na modelu lampy v prostředí 3ds Max

**Zdroj:** 3ds Max 2018; vlastní zpracování

Čistou topologií je nutné dodržovat zejména z důvodu rychlejší a snazší práci při následných úpravách a používání dostupných nástrojů v SW. Pokud objekt nedisponuje čistou geometrií, modifikační nástroje pak v drtivé většině případů nefungují správně,

rovněž je ohroženo korektní vykreslení stínů, odrazů a světél při výsledném renderu. Požadavky na výpočetní výkon jsou přímo úměrné počtu geometrie ve scéně, a právě z tohoto důvodu je také důležité nadbytečnou geometrii odstranit. Rovněž je důležité dodržovat přiměřený počet polygonů a nevytvářet příliš mnoho detailů na malých objektech v rozsáhlých scénách. Viditelnost detailů je vždy závislá na zvoleném rozlišení.

3ds Max je vybaven funkcí *xView*, obsahující nástroje pro správu čisté topologie (viz. Tab. 8). Například nástroj *Overlapping verticies* umožní odhalit kolizi jednotlivých vertexů. Případně *Multiple Edges* zvýrazní linie nesoucí stejnou geometrickou informaci, a tudíž překrývající se. Jelikož se jedná o pouhé označení, nikoliv samotné odstranění, je tato funkce poměrně přesná a kontrolovatelná. Následné odstranění proběhne až v dalším kroku pomocí nástroje *Weld*.

Blender disponuje sestavou nástrojů *Clean up* pomocí nichž je možné odstranit překrývající geometrii ale také například vyplnit díry v objektech. Při použití nástroje je ihned automaticky odstraněna veškerá nadbytečná geometrie. Jelikož se takto děje bez mezikroku, který by nejprve geometrii označil a až následně odstranil, mohou se vyskytnout chyby v podobě nekontrolovaného odstranění geometrie.

Dle názvů nástrojů předložených v Tab. 8 lze říci, že Blender obsahuje rozmanitější výběr nástrojů pro správu čisté geometrie, než 3ds Max.

**Tab. 8:** Nástroje pro správu čisté topologie v testovaných SW

3ds Max	Blender
Face Orientation	Delete Loose
Overlapping Faces	Degenerate Dissolve
Multiple Edges	Limited Dissolve
Isolated Vertices	Make Planar Faces
Overlapping Vertices	Split Non-planar faces
T-Vertices	Split Concave Faces
Missing UVW Coordinates	Remove Doubles
Flipped UVW Faces	Fill Holes
Overlapped UVW Faces	

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

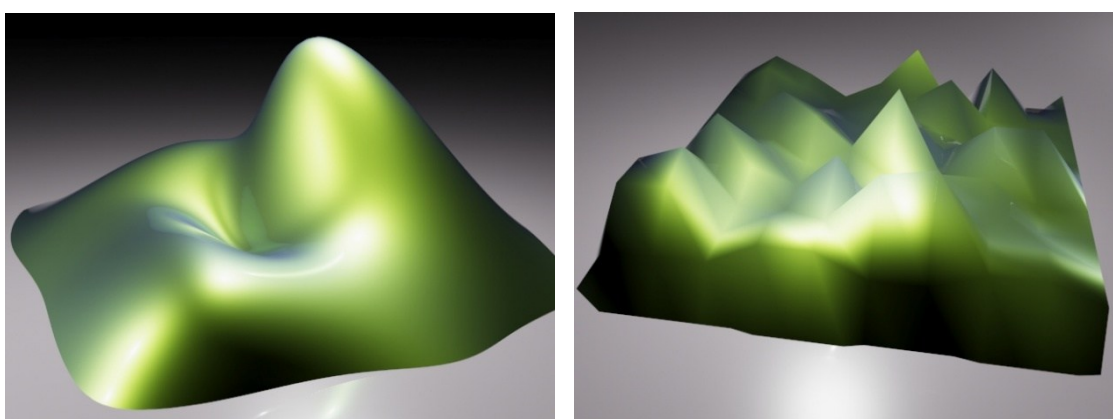
Oba SW jsou optimalizovány pro spouštění skriptů vytvořených v prostředí Python. Je tedy možné si naprogramovat vlastní nástroj a následně hotový skript do grafického prostředí importovat. Pomocí vlastního nástroje je možné aplikovat své pravidla pro správu geometrie. Předem připravené nástroje však zlepšují uživatelskou intuitivnost a nekladou

takové nároky na znalosti uživatele. Jelikož je kód nástrojů dostupný pouze u open-source je možné použít tyto zdrojové kódy pro případnou inspiraci při tvorbě svého vlastního. V případě proprietárního SW s nepřístupným zdrojovým kódem je možné se dostat do situace, kdy není přesně jasné, na jakém principu nástroj funguje a jakým způsobem ho nastavit v případě, že nefunguje dle představ.

### 5.2.6 Práce s křivkami

Křivky představují pro 3D SW problém z důvodu jejich složitého geometrického vyjádření. Pro práci s křivkami se používá tzv. NURBS povrch. Takovýto povrch není tvořen jednotlivými polygony, ale je vyjádřen křivkou (Coelho, Roehl, Bletzinger 2017). NURBS povrch slouží k vyjádření křivek a jiných složitých tvarů za pomoci matematických vzorců. Manipulace s křivkami je zpřístupněna pomocí ovládajících bodů neboli tzv. vah (viz. Obr. 11 a 12). Křivky tedy umožňují pružnější tvorbu velkého množství tvarů a objektů. Při práci je vhodné znát základy deskriptivní geometrie, jelikož právě na tomto principu NURBS povrch pracuje. Při použití NURBS povrchu kladen zvýšený nárok na výpočetní výkon, především pak na paměť RAM (Piegl 2012). Nesprávné použití vah může vytvořit chyby v geometrii a v neposlední řadě je povrch NURBS náročný na zmapování nástrojů pro tvorbu čisté geometrie. Tvary jsou geometricky složitější a algoritmus na vyhledání překrývajících se vertexů polygonů, či hran nefunguje vždy spolehlivě, mnohdy vůbec.

V 3D modelu interiéru jsou NURBS křivky vhodné pro modelaci různých ozdobných prvků, vodních hladin, kobereců apod.



**Obr. 9 a 10:** NURBS model (vlevo) a polygonový model (vpravo) v 3ds Max

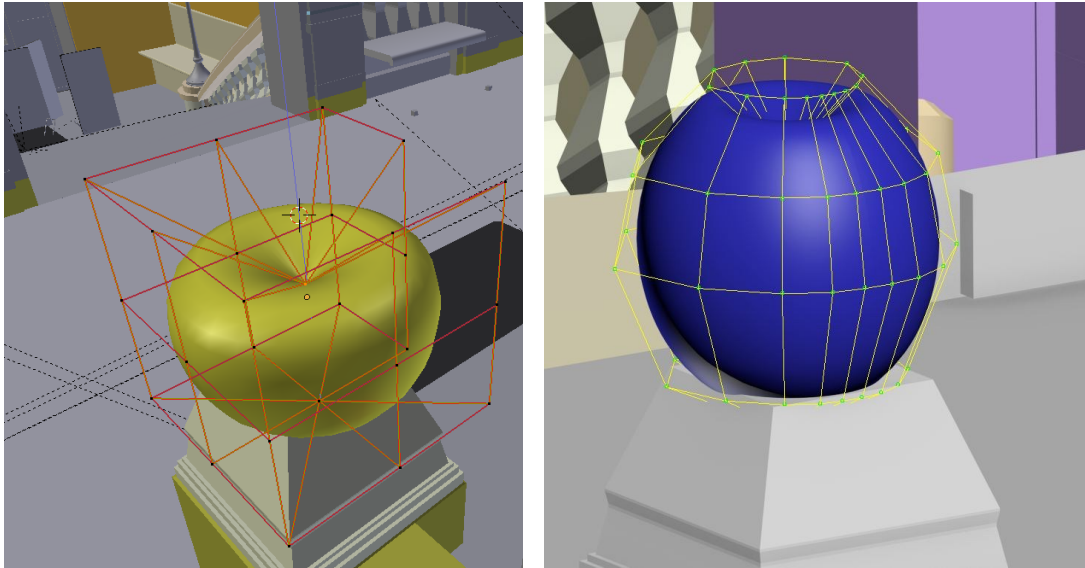
**Zdroj:** 3ds Max 2018; Vlastní zpracování

Z Obr. 9 a 10 vyplývá, že NURBS povrch nemá žádné ostré přechody v zobrazení odlesků a stínů. Veškeré hrany jsou jemnější a hladší. Podobný výsledek jako je na ukázkovém NURBS modelu lze jistě docílit i pomocí polygonového modelu. Objekt by však musel obsahovat značné množství polygonů, a tudíž by byl náročnější na výpočetní výkon a další úpravy.

Na trhu existují SW, které se specializují na práci s NURBS povrchem. Takové SW jsou zaměřeny především na práci s křivkami, a tudíž nejsou v zásadě příliš vhodné pro tvorbu 3D modelu interiéru jako celku. Příkladem je SW ZBrush a Rhinoceros 3D. Oba uvedené neposkytují mnoho možností nastavení renderu a světel. Naopak díky specializaci na tvarování objektů je vhodné použít tento SW pro tvorbu určitého objektu a následně importovat do jiného SW. Například ZBrush od verze 4 nabízí plnou integraci do 3ds Maxu i Blenderu (Pixologic.com 2018). Právě díky svým možnostem nastavení je nepřekonatelný v oblasti úpravy a modelování organických objektů jako například rostlin, soch, lidí a zvířat. Samotná tvorba geometrie je v tomto SW velmi nepřesná a je téměř nemožné vytvořit čistou geometrii (Educba.com 2017). Z tohoto důvodu nemohl být tento SW použit samostatně jako nástroj na tvorbu interiérů. Na tvorbu organických prvků a následný export je však velmi výkonný.

V nabídce společnosti Autodesk je rovněž SW Mudbox, který je konkurenceschopný právě pro ZBrush, Rhinoceros 3D a nástroje pro tvarování obsažené v Blenderu. Zaručena je vzájemná kompatibilita Mudboxu s 3ds Maxem a tudíž je možné tvořit geometrii v 3ds Maxu a následně ji importovat do Mudboxu pro vytvoření detailů. Tvorbu geometrie objektu lze provést rovněž v Blenderu, ale kompatibilita mezi Mudboxem a Blenderem není na takové úrovni. V takovém případě je nejprve nutné převést vytvořený objekt do formátu OBJ a následně importovat do Blenderu. Touto cestou však dochází k určité ztrátě informací. Dochází například ke sloučení rozděleného objektu na jednotlivé části nebo ztráta vytvořených materiálů a barev. Blender obsahuje nástroje pro tvarování objektu, a tudíž celý proces importu a exportu není případně nutný. Jelikož však počet nástrojů není tak rozsáhlý jako v případě SW Mudbox je použití více vhodné pro méně komplexní scény (Educba.com 2017).

3ds Max a Blender umožňuje práci jak s NURBS křivkami, tak i s polygony. Oba SW jsou tedy pro tvorbu 3D interiéru vhodné. Větší rozsah nástrojů však nabízí Blender. Tato skutečnost je nejspíše způsobena tím, že společnost Autodesk má ve svém portfoliu SW Mudbox specializující se právě na NURBS povrch. V případě rozsáhlých možností úpravy NURBS povrchu v 3ds Maxu by si tak tyto dva SW konkurovaly.



**Obr. 11 a 12:** NURBS objekt v SW Blender (vlevo) a v 3ds Max (vpravo)

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

jak je patrné z Obr. 11 a 12 každý NURBS model je ohraničen klecí, složenou z vertexů plnicí funkci tzv. vah vertexu.

Velmi snadnou práci s křivkami nabízí Blender. Pro úchop vertexu je používáno pravé tlačítko myši a následný pohyb pomocí levého. Tato funkce společně s velmi výrazným zobrazením, po jaké ose aktuálně probíhá posun velmi snižuje možnost nechtěného pohybu části objektu.

3ds Max rovněž zobrazuje po jaké ose se vertex, či hrana pohybuje, v praxi to ale není příliš viditelné a dochází tak k poměrně častým nechtěným pohybům. Při pohybu s jednotlivými váhami NURBS modelu v Blenderu je objekt upravován v reálném čase. Tzn. veškerá změna provedena pomocí posunu váhy vertexu se na objektu objeví ihned. 3ds Max naopak v rámci ušetření výpočetního výkonu objekt při pohybu s váhami nejprve skryje a zobrazí až poté, co je pohyb dokončen. Tento jev je z hlediska uživatelské přívětivosti negativní.

Závěrem lze tedy zhodnotit práci s křivkami ve prospěch Blenderu, jelikož je práce více intuitivnější a funkční. Zároveň také obsahuje větší rozsah nástrojů než 3ds Max.

### 5.2.7 Tvorba koberců

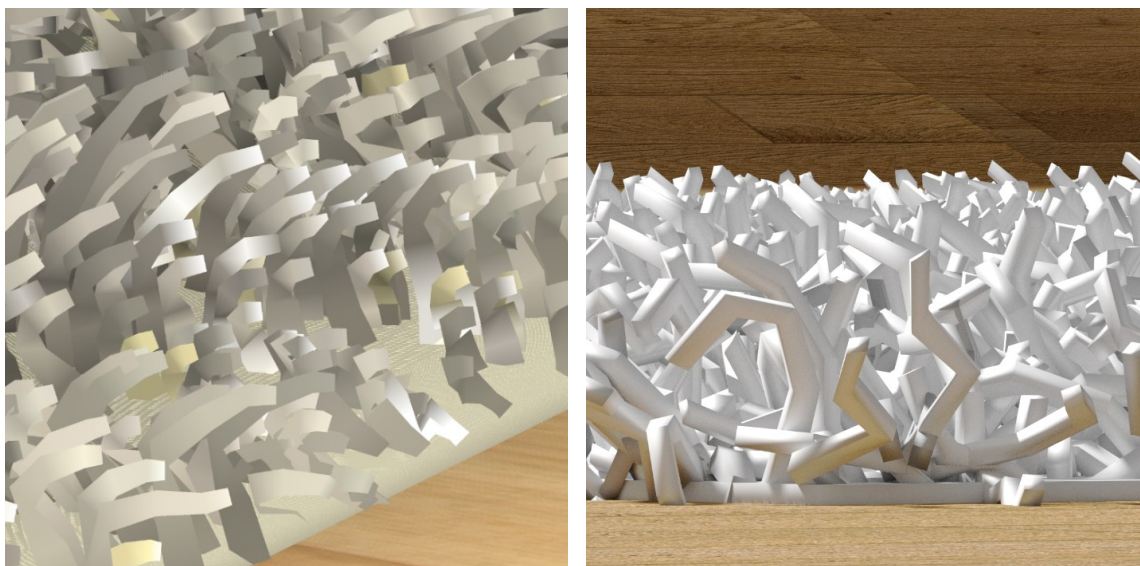
Při tvorbě objektů obsahující povrch vytvořený z vláken jsou dvě možnosti, jak postupovat. Objekt vytvořit pomocí geometrie, a tudíž pomocí dostupného nástroje v SW anebo definovat povrch objektu jako materiál. V této analýze bude zhodnocena tvorba pomocí nástroje obsaženém v SW.

3ds Max obsahuje nástroj *hair and fur modifier*, který je pomocí nastavení schopný tvořit objekt s vlákny. Pokud by byl koberec tvořen bez použití tohoto nástroje výsledek by trval mnohonásobně déle, a navíc by byl náročnější na výpočetní výkon. Vzhled velmi podobný realitě je především realizován díky nástroji *comp*, který pracuje jako hřeben, a tudíž je možné upravit jednotlivá vlákna, tak aby směřovala náhodně a každé jiným směrem. Naopak Blender tímto nástrojem nedisponuje a je tedy tvorba koberců více manuální. Nejprve je nutné vymodelovat několik vláken koberce a následně pomocí nástroje *particle systems* vložit vlákna na plochu koberce (viz. Příloha 1 a 2).

Při přímém srovnání výsledných renderů z obou SW lze dospět k závěru, že nástroj *Hair and fur modifier* dosahuje lepších výsledků především v náhodnosti umístění jednotlivých vláken. Dostupný nástroj pro tvorbu vláken funguje na principu vytvoření obalu na geometrii a následné vykreslení daných tvarů v prostoru scény. Nedochozí tedy k modifikaci samotného objektu, jak je tomu v případě použití jiných modifikátorů v 3ds Maxu (Autodesk.help 2016). Koberec vytvořený v Blenderu pomocí nástroje *particle systems* je příliš statický a opakující se geometrie je zřetelná. Avšak protože je každé jednotlivé vlákno koberce reprezentováno geometrií, dosahuje vizualizace lepších kvalit v oblasti stínů koberce. Zároveň je však velmi zřetelný nárůst náročnosti na výpočetní výkon. Doba potřebná pro ukázkový render koberců v rozlišení 1980x1080.

- 3ds Max: 0:17 minut
- Blender: 9:57 minut

Na druhou stranu při znatelném přiblížení je vidět, že vytvořený koberec pomocí 3ds Maxu nedosahuje takových kvalit jako koberec vytvořený v Blenderu (viz Obr. 13 a 14). Pokud by bylo nutné vytvořit vizualizaci s přímým přiblížením na detail koberce, tak je v takovém případě možné dosáhnout lepších výsledků případným přesnějším nakonfigurováním nástroje v 3ds Maxu. Avšak za cenu vyšších nároků na uživatelské schopnosti a výpočetní techniku.



**Obr. 13 a 14:** Detail vytvořeného koberce v 3ds Maxu (vlevo) a Blenderu (vpravo)

**Zdroj:** 3ds Max 2018, Blender 2.79b; Vlastní zpracování

Z hlediska uživatelského komfortu je pro tvorbu specifického objektu (v tomto případě koberců) velmi výhodné, pokud SW nabízí modifikátor nebo nástroj k tomu určený. 3ds Max díky svému nástroji pro tvorbu koberců dosahuje výsledků, které více odpovídají realitě.

### 5.2.8 Vyhlazení hran

Jedním z pravidel čisté geometrie je absence ostrých hran. Takovéto hrany se v reálném světě podstatně nevyskytují, a tudíž vypadají nereálně a při renderu vytváří nepřírodní stíny. Pro správu ostrých hran se používají nástroje, které dané hrany zaoblí. Hrany jsou na výsledném renderu hladší, ale zároveň s sebou přináší zvýšenou zátěž na výpočetní výkon. V tomto případě lze říci, že pokud se jedná o vzdálenou hranu ve vizualizaci není nezbytně nutné ostrou hranu opravovat.

3ds Max obsahuje pro správu ostrých hran modifikační nástroj *Turbosmooth*. Jedná se o nástroj, který pomocí jednoho kliku zjemní všechny vyskytující se hrany na zvoleném objektu. Nástroj pracuje na základě aproximace nové polohy vertexů, tak aby došlo rozdělení ostré hrany na dvě s tupějším úhlem. Nástroj umožňuje nastavit míru zjemnění, a tudíž počet rozdělní jednotlivých ostrých hran. Toto nastavení je spojeno s jemnějším zobrazením hran, ale exponenciálním nárůstem nároků na výpočetní výkon. Modifikační nástroj automaticky do svého výpočtu nezahrnuje hrany, které jsou spojeny s jedním vertexem v úhlu 90°. tato skutečnost je přítomná z důvodu částečného zachování tvaru objektu. Jelikož tento modifikační nástroj ovlivňuje geometrii kompletně celého objektu je nutné použít pomocné vodící linky v místech, kde není žádoucí tak výrazné vyhlazení jako na zbytku objektu.

Blender je vybaven nástrojem *subsurfmodifier*, který plní totožný účel a obsahuje velmi podobné nastavení. Rozdílem je ovšem, že nástroj zahrnuje rovněž i linie spojené jedním vertexem v úhlu 90°. Nástroj zobrazuje průhlednou klec reprezentující původní tvar v okolí nově zformovaného objektu, vyhlazení hran je tak přehlednější a kontrolovatelnější. Výhodou je rovněž rozsáhlejší kompatibilita nástroje. Jelikož nástroj pracuje na základě otevřeného kódu pro aproximaci hran, je tak lépe zajištěna kompatibilita s případným importem do SW specializující se na konkrétní krok jako například render. Příkladem může být import do renderovacího SW Lumion, který vykazoval problémy s kompatibilitou s modifikačním nástrojem *Turbosmooth*, naopak objekty upravené pomocí *subsurfmodifier* byly vyobrazeny bez problému.

Závěrem lze tedy říci, že práce s vyhlazením hran byla uživatelsky přívětivější v Blenderu z důvodu vyšší přehlednosti při práci s nástrojem a také díky lepší kompatibilitě nástroje.

### 5.2.9 Knihovny s materiály a modely

Při tvorbě 3D modelu, především pak u 3D modelu interiéru, je důležité využívat internetové knihovny. Takové knihovny obsahují již vytvořené modely a širokou paletu různých materiálů. Vzorové modely jsou tvořeny samotnými uživateli, kteří je další uživatelům poskytují za poplatek anebo zdarma. Stažený model nebo materiál lze jednoduše importovat do SW a následně editovat jeho parametry. Systém knihoven může výrazně urychlit práci na tvorbě 3D interiéru. Při tvorbě ukázkového modelu byly využity knihovny Autodesk online Gallery (<https://gallery.autodesk.com/>) a Turbosquid (<https://www.turbosquid.com/>). Oba zmíněné servery nabízejí možnost stáhnout modely pro oba testované SW. Při tvorbě

ukázkového modelu bylo této možnosti využito při tvorbě klik dveří, umyvadla a květin.

Již zmíněná služba Autodesk online Gallery funguje na principu galerie. Jednotliví autoři zde představují svoje portfolio a jiní uživatelé mohou přidávat kritiku k vytvořenému modelu. Pokud autor svůj model otevře veřejnosti je možné si ho stáhnout a následně použít v SW od Autodesku i Blender.

Práce s importovaným objektem funguje v obou SW na stejném principu a v průběhu tvorby se nevyskytl žádný problém. Z toho hlediska lze konstatovat, že oba testované SW zvládají import již vytvořených objektů shodně.

### 5.3 Materiály

Termín materiál ve 3D tvorbě definuje dvojrozměrný povrch a obsahuje veškeré informace potřebné pro vizuální a fyzickou simulaci objektu (Valve 2016). Na základě těchto informací je následně vypočítán render. Bez použití materiálu by se jednalo pouze o šedé objekty bez odlesků, textury a stínů. Takto vytvořené objekty by sice byly velmi nenáročné na výpočetní výkon, avšak vizuálně velmi neatraktivní. Použití materiálů je tedy důležitá fáze při tvorbě 3D modelu interiérů.

Z hlediska terminologie se rozlišují materiály a textury. Textury jsou rastrové formáty, které se za pomoci přiblížení a posunu aplikují na povrch objektu. Materiály jsou matematicky definované povrchy objektu, které je možné upravovat pomocí číselného nastavení. Jedná se o vektorové formáty a kvalita není omezena přiblížením. Zároveň je snížena náročnost na výpočetní výkon a úložiště. Především pak je pomocí materiálů dosaženo reálného vzhledu díky náhodnému rozložení vzoru, přesnějšímu umístění na objektu a nevyskytujícími se švy mezi rozhraním použitého rasteru jako je tomu v případě použití textury. Nastavení materiálů však vyžaduje více uživatelského umění.

#### 5.3.1 Tvorba textury

Při tvorbě textury na objektu je nejprve nutné objekt tzv. rozbalit do 2D pohledu a následně použít texturu. Blender obsahuje nástroj *Smart UV project*, který je více automatizovaný než nástroj plnící podobnou funkci v 3ds Maxu. Požadovaný objekt je kompletně rozbalen automaticky a zároveň dojde k systematickému poskládání jednotlivých dílů objektu. Následná aplikace textury je snadná pomocí posunu. 3ds Max pro rozbalení objektu používá modifikační nástroj *Unwrap uv*, který rozloží označený objekt na části. Práce je více manuální a časově náročnější. Nástroj však poskytuje velmi široké nastavení, jak má být

textura na objekt umístěna a upravena.

V Blenderu se s texturami pracuje především pomocí automatických kroků, a tudíž je práce snazší. Takovýto postup však disponuje menšími možnostmi nastavení a možností volby, než poskytuje 3ds Max.

### 5.3.2 Tvorba materiálů

Tvorba materiálů v 3ds Maxu i Blenderu funguje na totožném principu tvořící různě propojitelné uzly. Každý uzel definuje určitou změnu v materiálu. Tento princip tvorby tedy nabízí podstatě neomezené možnosti kombinace a úpravy materiálů.

Blender na rozdíl od 3ds Maxu neobsahuje vestavěnou knihovnu materiálů, použitelnou například pro prvotní nástin scény. Knihovna obsažená v 3ds Maxu obsahuje více než sto základních předem připravených materiálů vytvořené společností Autodesk. Takto vytvořené materiály je možné upravit a následně použít anebo se inspirovat při tvorbě vlastních.

Práce při tvorbě nových materiálů je v testovaných SW velmi podobná. Tvorba uzlů pracuje na stejném principu a je zde patrná vzájemná inspirace. 3ds Max umožňuje přepnout nastavení tvorby materiálů do tzv. „kompaktního editoru“, ve kterém se materiály definují pomocí jednoduššího nastavení posuvníků a číselných definicích. Tento typ editoru je předchůdcem uzlového editoru a poskytuje méně pružnější nastavení materiálů, avšak ovládání je snazší, a především zpočátku práce se SW představuje značné ulehčení. Blender takového přepnutí neobsahuje.

Tvorba materiálů probíhá v obou testovaných SW velmi podobně, avšak výhoda 3ds Maxu je jednoznačně v předem připravených materiálech a také možnost přepnout editor do dvou různých módů. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že 3ds Max může být vyhodnocen lépe pro práci s materiály v 3D modelu interiéru.

### 5.3.3 Externí SW na tvorbu materiálu

Na trhu existují externí SW, které jsou zaměřeny pouze na práci s materiály a obsahující velmi rozšířené možnosti nastavení. Například Allegorithmic Substance designer. Uvedený SW je uzpůsobený pro tvorbu 3D povrchů, náhodně generovaných vzorů a například úpravu materiálů v reálném čase. SW taktéž pracuje na principu uzlů, každý uzel však zobrazuje náročnost na vykreslení materiálu v hodnotách ms. Díky tomuto detailu je možné vyvarovat se předimenzovaným uzlům, které by pak zbytečně navyšovaly nárok na výpočetní výkon.

Podobná funkce v editoru materiálu v 3ds Max i Blender chybí.

SW rovněž nabízí přímé implementování do 3ds Maxu. Tudiž práce v těchto dvou SW je velmi výkonná a navzájem tvoří výborný ekosystém. Blender je rovněž podporován, avšak je nutné každý vytvořený materiál, či texturu ze SW exportovat a následně importovat do Blenderu. Tento úkon bohužel celý proces zdržuje a zároveň není možné editovat materiál umístěný na objektu v reálném času. Důvodem společnosti Allegorithmic pro rozhodnutí neposkytovat plnou integraci do Blenderu je zřejmě jeho nižší popularita. Zároveň je možné se domnívat, že existuje určitá dohoda mezi společnostmi nabízející komerční SW o výhradní právo pro vzájemnou podporu.

## 5.4 Osvětlení

Osvětlení slouží při 3D vizualizaci k lepšímu vystižení atmosféry objektu. Bez použití světla by byl objekt statický a bez stínů. Pokud chybí světlo v reálném světě, objekty jsou ve tmě a není nic vidět. Naopak 3D scéna, ve které nebudou přítomny žádné světla bude vidět velmi dobře, protože nebude obsahovat žádné stíny, odlesky ani jiné světelné vizuální efekty. Pokud je tvořen 3D model exteriéru, pracuje se především s nastavením jednoho světelného zdroje a to slunce. Avšak pro 3D model interiéru je nutné počítat s nastavením rozsáhlého počtu žárovek a lamp, ale zároveň také již zmíněného slunce, jehož paprsky procházejí skrze okna.

### 5.4.1 Fotometrická světla

Prvním krokem při volbě světla je rozhodnutí, jakým typem světla bude scéna vybavena. V nabídce jsou buď fotometrická anebo standardní světla. Fotometrická světla obsahují zásadní výhodu ve formě možné změny nastavení na základě reálných fyzikálních veličin. Tato možnost nastavení může přiblížit scénu blíže k realitě. Práce s intenzitou probíhá přímo s fyzikálními jednotkami jako je například lumen nebo kandela. V případě použití správného měřítka modelu je tedy možné nastavit přesnou hodnotu osvětlení získanou z označení na reálné žárovce. Dále je tímto způsobem možné nastavit i jas, osvětlení, světelnou energii, barvu a například také stmívání.

Naopak při změně nastavení standardních světla práce probíhá pomocí bezrozměrných jednotek vytvořenými pouze pro práci se SW. Využití těchto světla je především v případě tvorby animovaných a fantasy světů. Tvorba reálně vypadajících objektů je rovněž v případě použití těchto světla také možná. Avšak nastavení jasu probíhá především metodou

„pokus-omyl“.

3ds Max umožňuje práci s fotometrickými světly a jejich volba je dokonce nastavena defaultně. Rovněž je velmi dobře propracovaná správa nastavení barvy světelného toku. Barvu je možné nastavit v teplotních hodnotách kelvinu. Případně použít již předdefinované nastavení široce používaných žárovek a následně aplikovat barvený filtr, který ve scéně slouží jako barevné sklo žárovky. Autodesk rovněž spolupracuje s výrobcí žárovek a díky této kooperaci jsou k dispozici data pro konkrétní žárovky. Pomocí těchto dat jsou ve scéně vykresleny reálné světelné hodnoty žárovek, bez nutnosti nastavovat parametry ručně.

Blender naopak bez doinstalovaného Add-onu práci s fotometrickými světly neumožňuje. Z této skutečnosti lze předpokládat, že nabídka světél v 3ds Max je lépe uzpůsobena pro tvorbu reálných modelů.

#### 5.4.2 Nabídka světél

Základní nabídka světél v 3ds Maxu obsahuje tři různé druhy světél, mezi které patří imitace slunečních paprsků, žárovek a světlo s kuželovým paprskem mířící na definovaný cíl. V případě Blenderu je nabídka rozsáhlejší o dva další různé zdroje světelných paprsků. Mezi, které patří například stíněné světlo, které vysílá paprsky pouze pod 180° úhlem. Zároveň také světlo s kuželovým paprskem, jehož stín má ostré hrany.

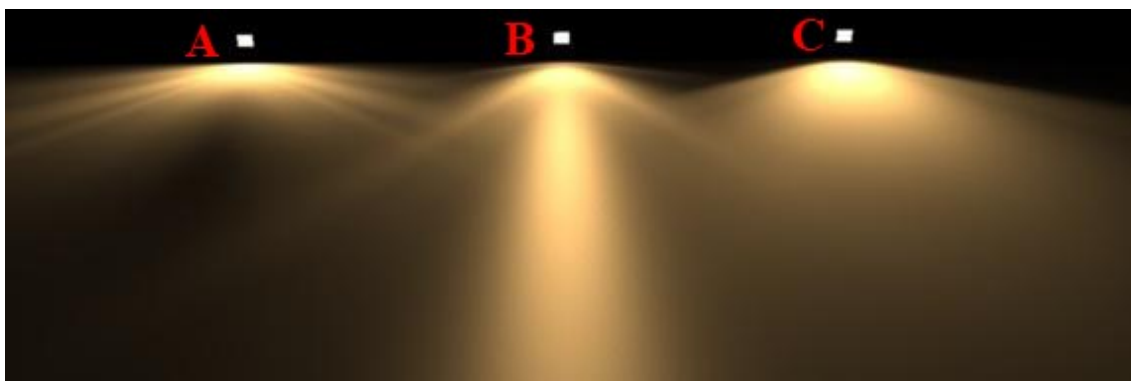
V případě použití světelného zdroje pro imitaci slunečních paprsků je v 3ds Maxu umožněno nastavit konkrétní čas, datum i rok scény. Následně se dle tohoto vstupu umístí slunce do polohy, kde se v daný čas nacházelo nebo bude nacházet. Tato funkce umožňuje scénu přiblížit ještě více realitě. Blender tuto funkci v základním nastavení neobsahuje, avšak existuje volně dostupný Add-on, který funkci do SW přidá.

V případě použití světla s kuželovým vyobrazením paprsků lze nasměřovat tok paprsků na zvolený cíl. V 3ds Maxu je cíl vyobrazen jako objekt, se kterým je možné volně manipulovat. Výhodou je možnost přichytit cíl na konkrétní vertex či linii objektu pomocí funkce *snap*. V Blenderu světla se zaměřením na konkrétní cíl takového nastavení neobsahují.

### 5.4.3 IES světla

Pomocí IES osvětlení je možné definovat, jakým způsobem budou distribuovány světelné paprsky vycházejících ze zdroje světla (Indigo Renderer 2018). Pomocí pavučinového grafu je možné zvolit vyobrazení stínů vycházející od žárovky. Příkladem mohou být světelné zdroje na Obr. č. 15. Zdroj označený písmenem „B“ má nejvyšší intenzitu uprostřed, dále pak směrem od středu intenzita poklesne, později opět nabyde, a nakonec zas poklesne. Díky této funkci je možné vykreslit stínidla a zároveň se přiblížit více k reálnému zobrazení světla.

**Obr. 15:** Znárodnění světelného toku IES světla



**Zdroj:** Indigo Renderer 2018

## 5.5 Render

Render neboli vykreslení geometrických a grafických vlastností objektu mají testované SW k dispozici jako instalovaný plugin. Jedná se o závěrečný krok v případě tvorby modelu 3D interiéru.

### 5.5.1 Nastavení renderu

Nastavení renderu probíhá pomocí dialogového okna, ve kterém se nastavuje především kvalita výsledného zobrazení. Lepší kvalita ve většině případů znamená delší renderovací čas (například při změně v použití CPU nebo GPU pro render, kvalita zůstane stejná, avšak délka renderu se mění). Pro snadnější práci s 3D modelem interiéru je zásadní, aby SW umožňoval vykreslení scény v reálném čase a následná aktualizace scény probíhala automaticky. Dále by měla být možnost renderovat pouze část scény jakožto testovací ukázkou.

Blender umožňuje v nastavení renderu zvolit možnost, zdali bude probíhat výpočet pomocí grafické karty či pomocí CPU. PC sestava, na které probíhala analýza SW obsahuje

velmi výkonnostně rozdílné GPU a CPU a tudíž by test nebyl příliš relevantní. Test rychlosti byl tedy posouzen na základě videa od Spiderware (2015). Dle videa, které se zabývá tímto konkrétním problémem se výsledky výrazně liší v případě rozdílného nastavení. Test proběhl na testovací scéně modelu vesmírné lodi. Grafická karta v testovaném PC byla Nvidia GTX 970 a CPU Intel i7 Hexacore.

- GPU: 3 minuty 23 minut a 93 setin
- GPU: 15 minut 35 vteřin a 12 setin

Z výsledků je tedy patrné, že renderování pomocí grafické karty je více než čtyřnásobně rychlejší. Možnost volby, zdali výsledný render bude počítán grafickou kartou anebo pomocí CPU poskytuje výhodu především uživatelům, kteří nedisponují výkonnou grafickou kartou, ale naopak CPU ano. Takováto situace je častá většinou v případě uživatelů notebooku. Tato příjemná výhoda, kterou obsahuje pouze Blender může ušetřit několik desítek minut případně i hodin. 3ds Max takovouto jednoduchou preferenční volbu nenabízí.

### 5.5.2 Cloud Rendering

Společnost Autodesk nabízí od verze 3ds Max 2016 podporu služby A360 Render in cloud (<https://www.autodesk.cz/products/rendering/overview>). Tato služba funguje na principu výpůjčky výpočetního výkonu. Vytvořenou scénu lze nahrát na server a následný render proběhne online bez nutnosti vlastnit výkonnou výpočetní techniku.

Služba je implementována přímo do SW a pro nenáročné scény není zpoplatněna. V průběhu testování byla služba několikrát vyzkoušena a bohužel se při práci vyskytlo několik závažných chyb. V první řadě především neschopnost nahrát scénu na server, následovalo chybové oznámení o skutečnosti, že služba není dostupná a rovněž také zamrznutí samotného renderu při práci. Služba i přesto, že je velmi ambiciózní se nejevila jako příliš spolehlivá. Tato situace může být nejspíše zdůvodněna skutečností, že se jedná o relativně nový projekt, který je v provozu teprve od poloviny roku 2015 (OConnor 2015).

Velikou výhodou tohoto typu renderu je však možnost nastavit výstup jako interaktivní panorama, které umožňuje spustit virtuální prohlídku interiéru. Rovněž je také dostupná podpora virtuální reality s použitím 3D brýlí. V případě tvorby 3D modelu interiéru se jedná o zásadní výhodu, kterou obsahuje 3ds Max.

Pro open-source SW typu Blender je tato služba k dispozici také, ale pouze formou

tzv. třetích stran. Nahrání scény tedy nedochází na servery vlastněné společností Blender Foundation, ale na servery společností, které propůjčují výpočetní výkon jakožto svůj obchodní záměr. Render jakékoliv scény je v takovémto případě vždy zpoplatněn.

### 5.5.3 SW specializované pro render objektů

Ve specializovaném SW pro render není možné modelovat ani upravovat již vytvořenou geometrii. Příkladem může být komerční SW Lumion, který neposkytuje tak výrazné množství nastavení jako konkurenční SW Vray. Především v oblastech nastavení materiálů se jedná spíše o jednoduchý editor bez možnosti tvorby 3D ornamentů, bežešvých textur, náhodných vzorů a jiných nástrojů dostupných v Blenderu či 3ds Maxu. Silnou stránkou Lumionu je především intuitivnost. Takto kvalitní intuitivnosti ovládnání je dosaženo za pomoci nižšího obsahu speciálních nástrojů a nastavení.

Práce s renderem v 3ds Maxu a Blenderu je dle nastavení zaměřena především na tvorbu fotorealistických statických výstupů. Naopak Lumion díky velmi intuitivnímu trasování pohybu kamery je uzpůsoben lépe pro tvorbu animací. Při tvorbě animací může být snížen důraz na dokonalé až realistické vykreslení světelných a strukturních detailů. V případě statické vizualizace má divák čas prostudovat podrobně veškeré detaily, avšak v případě animace tyto detaily vnímat nestihne. Zároveň dochází pomocí pohybu k rozostření scény.

Nevýhodou je zakoupení licence pro separátní SW, a tudíž výrazné navýšení nákladů. Rovněž také určitá nekompatibilita se SW, ve kterém vznikl geometrický model.

Jelikož přílohou k této práci je video, a nikoliv statický výstup, byl pro výsledný render použit právě SW Lumion. Důvody jsou zmíněny výše a jedná se především o zvýšenou intuitivnost a přesnost v trasování pohybu kamery.

## 6. Kritéria pro zhodnocení SW

V této části jsou zhodnoceny oba testované SW na základě vytvořených kritérií, které jsou považovány za důležité při tvorbě 3D modelu interiérů. Většina kritérií je dopodrobna probírána v této práci v kapitole nazvané analýza. V Tab. 9 je znázorněno pomocí sloupce „Schopnost SW“, jak daný SW s konkrétním problémem pracuje. Hodnoty jsou v rozmezí 1 až 3. Zároveň je v tabulce obsažen sloupec „Důležitost“, který nabývá hodnot 1 až 2 a funguje jako váha k bodovému ohodnocení schopnosti SW. Vyšší číslo znamená lepší

výsledek. Veškeré bodové ohodnocení bylo vytvořeno na základě předešlých zkušeností s tvorbou 3D modelu interiérů. Pomocí těchto vytvořených kritérií lze najít vhodný SW pro práci s 3D modelem interiéru.

**Tab. 9:** Kritéria pro zhodnocení SW

Kritérium	Důležitost	Schopnost SW Blender	Schopnost SW 3ds Max
Dostupnost	2	3	1
Rozsah videokurzů	1,5	2	2
Přesnost videokurzů	1	1	3
Podpora platforem	1,5	3	1
Uživatelská podpora	1,5	2	2
Intuitivnost ovládání	2	2	2
Rychlost startu SW	1	3	1
Tvorba jednoduchých polygonových objektů	1,5	1	3
Modifikační nástroje	2	2	3
Import půdorysu	2	2	3
Správa čisté topologie	1,5	2	2
Práce s křivkami	1,5	3	2
Tvorba koberců	1,5	2	3
Vyhlazení hran	1,5	2	2
Online knihovny s materiály	1,5	3	3
Náročnost na výpočetní výkon	1,5	3	1
Virtuální realita	1,5	1	3
Tvorba materiálů	2	2	3
Nastavení světel	2	2	2
Nastavení renderu	2	2	2

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Celkem:

- 3ds Max 68 bodů
- Blender 66 bodů

Na základě vytvořených kritérií lze dospět k závěru, že oba SW dosahují velmi podobných výsledků. Přesto 3ds Max dosáhl mírně vyššího bodového ohodnocení.

## 7. 3D model interiéru PŘF UK

### 7.1 Metodika

Pro tuto práci byla použita především metodika komparace. Analytická část je zaměřena na samotnou tvorbu 3D modelu a představení výsledků.

Pro metodu komparace byl požadovaný úkon vyzkoušen v testovaných SW a následně kriticky zhodnocen a popsán. Jelikož se jednalo o stejný konkrétní úkon mohly být výsledky subjektivně posouzeny z hlediska výsledné kvality, náročnosti na výpočetní techniku a intuitivnost ovládní při modelování objektu. Tabulky znázorněné v této práci byly vytvořené v SW Microsoft Office Excel 2016.

Veškeré testování 3D SW bylo provedeno na PC sestavě skládající se z komponent:

- CPU: Intel Core i5-4460 3.20Ghz
- GPU: ATI Radeon HD4870, 1024MB
- RAM: Kingston DDR3 8135MB, 1600Mhz
- Základní deska: Asus B85M-Gamer
- HDD: Crucial SSD MX200
- Operační systém: Windows 7 Ultimate, SP 1

### 7.2 Tvorba modelu

Samotná tvorba 3D modelu interiéru přírodovědecké fakulty, který sloužil jako podklad pro ukázkové video probíhala především v SW 3ds Max. Z důvodu časové náročnosti a případné neefektivnosti bylo rozhodnuto, že budou tvořeny pouze důležité kroky v obou testovaných SW. Jelikož je umožněno model exportovat z jednoho SW do druhého bylo této možnosti využito. Princip tohoto testování spočíval v tom, že pokud se dospělo v tvorbě modelu k nějakému důležitému kroku jako například tvorba schodů, koberců, rámu oken, dveří, oblouků apod. Byl model importován do SW Blender a tentýž krok byl vyzkoušen i v jiném prostředí. Konkrétně lze zmínit případ koberců, které jsou v modelu obsaženy celkem čtyřikrát. Díky této metodě byly vytvořeny jednou v SW 3ds Max i Blender a poté metoda tvorby zhodnocena. Zbylé tři koberce již nebylo nutné tvořit v obou SW, a tak byly modelovány pouze v 3ds Max. Důvodem, proč byl vybrán 3ds Max jako hlavní SW pro tvorbu modelu je především dostupnost studentské licence.

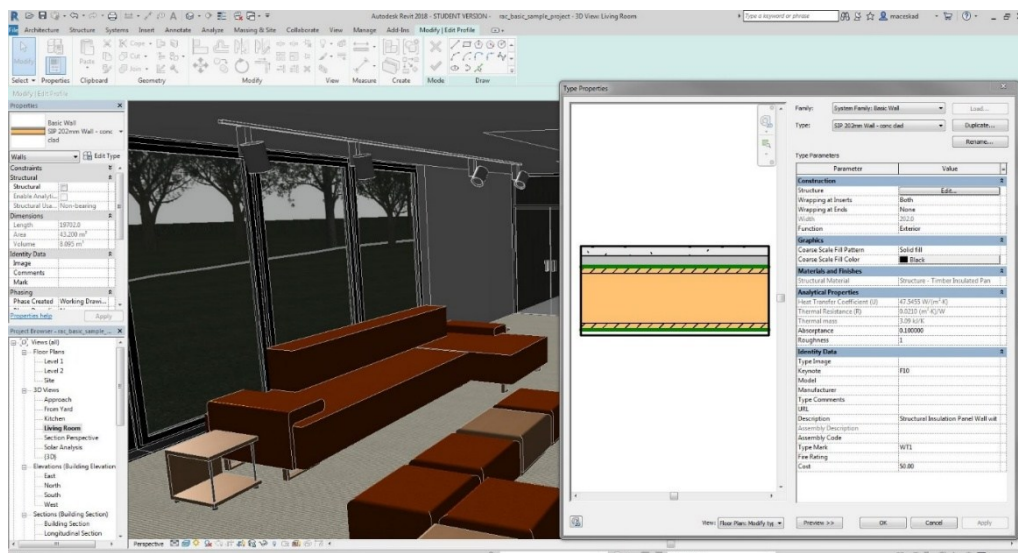
Zároveň bylo důležité, aby vytvořený model souhlasil s reálnými rozměry. Pro tento účel byl získán půdorys školy ve formátu DWG. Půdorys však nedisponuje rozměrem na ose Z, který je nutné znát pro dodržení souhlasného měřítka objektu. Pro tento účel byl autorem použit dálkový laserový měřič Leica X310. Textury a materiály byly vytvořeny na základě empirického zkoumání v objektu budovy PřF a fotografií pořízených na místě pozorování.

## 8. Další možné způsoby tvorbu 3D modelu

Tvorba 3D modelu je možná několika různými metodami a vždy záleží v jaké kvalitě a pro jaký účel bude výsledný model použit. 3D model vytvořený v CAD SW 3ds Max, nebo Blender je z hlediska použití určen především pro prostředí požadující vysoké nároky na detaily a kvalitou blížící se až k realistickým výstupům.

### 8.1 BIM: digitální správa budov

BIM (z anglického překladu building information model) neboli informační model budovy je model obsahující informace, které definují strukturu jednotlivých objektů. Veškeré zdi, dveře, stropy apod. obsahují editovatelné atributy. Na základě těchto atributů je možné vytvořit například komplexní analýzu o statice, stáří, pevnosti, ceně a struktuře daného objektu (viz. Obr. 16). Tato metoda tedy umožňuje uložení geometrických i strukturních informací o objektu. Oproti tomu objekty vytvořené v CAD modelovacím SW jako je například 3ds Max nebo Blender v sobě nesou pouze informaci o geometrii pro vizualizaci (Heegeon 2017). Na druhou stranu právě funkce pro vizualizaci a modelování jsou více rozšířené.



**Obr. 16:** Uživatelské rozhraní a struktura zdi v Autodesk Revit 2018

**Zdroj:** Autodesk Revit 2018; Ukázkový projekt

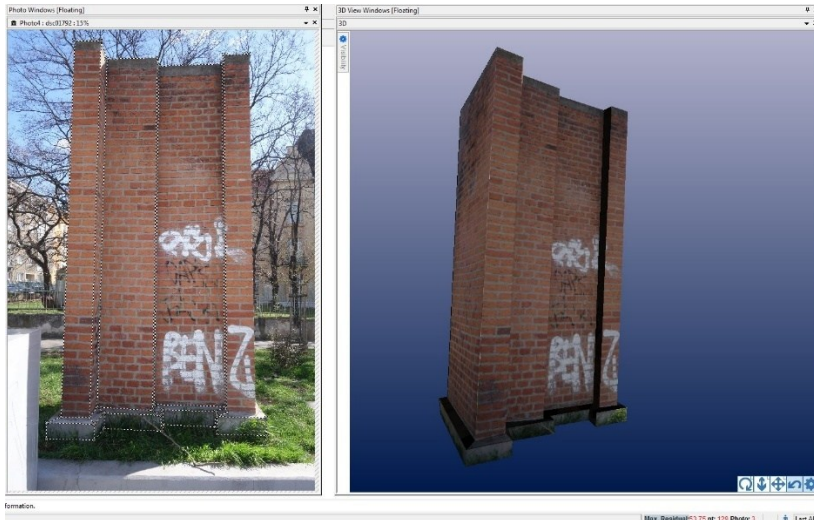
Na Obr. 16 je možné spatřit uživatelské rozhraní SW Autodesk Revit. V pravé části snímku se nacházejí možnosti nastavení atributů zdi a rovněž také řez strukturou zdi.

### 8.1.1 Autodesk Revit

Revit je specializovaný SW na tvorbu BIM modelů. Při tvorbě interiérů v SW Revit se používá spíše termín 3D kreslení nežli 3D modelování (Wing 2016). Objekty nejsou přímo vytvářeny uživatelem, ale spíše vloženy z nabídky a poté upraveny. Důvodem, proč nebyl vybrán tento SW jako vhodný pro zpracování ukázkové práce je nutnost znát veškeré detaily o struktuře objektů a infrastruktuře budovy. K těmto informacím není vždy přístup. SW je výkonný právě pro správu budov, ale nedisponuje tolika možnostmi nastavení vizualizace a renderu.

## 8.2 Fotogrammetrie

Tvorba 3D modelu pomocí fotogrammetrie je určena především pro objekty se specifickou texturou. Výsledný model je vytvořen z pořízených fotografií, které jsou k dispozici na základě účelného fotografování ze všech stran objektu. V tomto prostředí nelze vytvářet nereálné objekty.



**Obr. 17:** Model výdechu metra vytvořený pomocí fotogrammetrické metody v SW Photomodeler UAS

**Zdroj:** Photomodeler UAS; Vlastní zpracování

SW určený pro tvorbu objektů pomocí fotogrammetrie pracuje na bázi georeferencování definovaných bodů na pořízených fotografiích a následné vložení textury z fotografie (viz. Obr. 17).

### 8.3 Laserové skenování

Tento způsob je zaměřen především na projekty, které jsou limitovány časovým termínem. Tato metoda je hojně využívána v souvislosti navigace uvnitř budov, jelikož toto odvětví je náročně především na velký objem dat, než na detaily a kvalitu zpracování je tato metoda právě pro tento účel vhodná. V současnosti je skenování tvořeno především za pomoci ultrazvukových senzorů, laserových snímačů a vizuálních senzorů. Ultrazvukové senzory se vyznačují především nízkou přesností a citlivostí na ruch způsobený okolím. Laserové snímače jsou velmi přesné, ale zároveň znatelně dražší, než ostatní metody a vizuální metody jsou relativně přesné, ale neposkytují obrys budovy automaticky (Shan, Jiang, Du, Ji, Li, Lyu, Yang, Liu 2017).

Laserové skenování funguje na principu zachycení velikého počtu bodového mračka, jednotlivé body obsahují definovaný souřadnicový systém, pomocí něhož je vymodelován fyzický objekt (Jung, Yoon, Ju, Heo 2015).

## 9. Diskuze a závěr

Odvětví 3D modelace se zdá být perspektivní a tudíž možnosti uplatnění jsou poměrně široké. Tato skutečnost sloužila k motivaci autora při psaní této práce. Osobní cíl byl především naučit se ovládat a pochopit koncept testovaných SW. Prvním důležitým krokem při tvorbě 3D modelů je samotný výběr SW. Naskytla se tedy příležitost analyzovat SW a na základě výsledků představit, jaké výhody volba konkrétního SW přináší. Z tohoto důvodu byla sepsána tato práce a může tedy pomoci při prvotním rozhodování, jaký SW pro tvorbu 3D modelu interiéru zvolit.

Hlavním cílem práce bylo analyzovat a porovnat open-source SW Blender s komerčním SW 3ds Max od společnosti Autodesk. Jednotlivá srovnání probíhala při modelaci interiéru budovy PřF UK v Praze. Dalším cílem bylo zhodnocení postupu a funkcionality obou zvolených SW. Práce s oběma SW je velmi časově náročná a v počátcích složitá na orientaci v jednotlivých nástrojích. Při analýze se vyskytly problémy s ovládáním SW především zpočátku, kdy bylo nutné pochopit koncept obou SW. Dále také v průběhu tvorby, kdy bylo shledáno, že PC sestava, která sloužila k modelaci 3D modelu interiéru je z hlediska výkonnosti nedostatečná.

Testované SW 3ds Max a Blender prodělaly výrazný vývoj a v dnešní době jsou na velmi vysoké úrovni. Na základě analýzy funkcí, jednotlivých doplňků a možností nastavení lze konstatovat, že neexistuje objekt, či jakýkoliv výplod fantazie, který by pomocí uvedených SW nemohl být vymodelován. Určité odlišnosti lze nalézt v postupu při tvorbě, ať už reálných či nereálných objektů. Při srovnávání SW tedy v podstatě ihned zpočátku bylo upuštěno od otázky „zdali to“ SW umožňuje a nahrazena byla otázkou „jakým způsobem“ daný krok umožňuje.

Výhoda 3ds Maxu oproti Blenderu se až tak nezdá být ve své funkčnosti. Oba SW jsou velmi dobře uzpůsobeny pro modelaci interiérů a disponují širokou paletou nástrojů a práce s modelem probíhá v obou SW na podobném principu. 3ds Max nabízí rozsáhlejší množství specifických nástrojů a funkcí, tudíž je v tvorbě konkrétních objektů jako například kobereců, zábradlí apod. uživatelsky přívětivější. Rovněž nástroje pro vyhlazení hran a jiné modifikační nástroje pracují se širším nastavením. Avšak užší rozsah nastavení nástrojů neznamená, že by Blender nebyl schopný nějaký objekt vymodelovat. Pro stejný krok je však nutné použít kombinaci více nástrojů, to je ale vykoupeno nižší uživatelskou přívětivostí.

Na základě analýzy bylo vyzorováno, že nástroje obsažené v 3ds Maxu disponují širším nastavením. Naopak nabídka nástrojů v Blenderu pokrývá širší spektrum pro více druhů odvětví počítačové grafiky, avšak s menšími možnostmi nastavení. V takovém případě lze tedy hovořit o vyspělejší modifikovatelnosti nástrojů v 3ds Max, avšak nástroje v Blenderu umožňují tvorbu modelu i v jiném grafickém odvětví jako například 3D tisk, obrábění apod. Tato situace je způsobena především skutečností, že společnost Autodesk nabízí ve svém portfoliu několik druhů SW specializující se pro konkrétní účel, a tak úzce specializované nástroje jsou obsaženy v SW tomu určeném. Pro společnost Autodesk je takováto strategie výhodná, jelikož si jednotlivé SW nekonkurují. Naopak společnost Blender Foundation vlastní pouze jediný SW, kterým je Blender. Lze tedy hovořit o vyšší univerzálnosti Blenderu oproti 3ds Max. Naopak 3ds Max je více specializován pro konkrétní účel a nástroje v něm obsažené umožňují dokonalejší modifikovatelnost.

Pro zhodnocení funkcionality obou vybraných SW byla vytvořena kritéria, která zahrnují všechny testované části a pomocí nichž byl vybrán SW, který byl shledán vhodnější pro tvorbu 3D modelů interiéru. Vytvořené kritéria tak mohou sloužit k rychlejší orientaci v případě potřeby porovnat dva různé SW. Nelze však opominout subjektivní stránku věci, především v oblastech testování intuitivnosti ovládní.

Dalším cílem bylo nalézt rozdíly mezi open-source SW a komerčním SW v oblasti 3D modelace interiéru. Argumenty hovořící pro volbu komerčního SW oproti open-source SW byly v minulosti vždy spojovány především s dokonalou uživatelskou podporou. Takovéto teze platily zejména v minulosti, kdy nebylo k dispozici dostatečné množství návodů a tutoriálů dostupných na internetu. V dnešní době podpora funguje zejména ve formě tutoriálů a diskutujících uživatelů ve vláknech na sociálních sítích a tato podpora nemusí být vždy pod záštitou společnosti. Naopak nastupuje důležitost cloudových služeb jako například uvolnění úložního prostoru, či výpočetního výkonu ze serverů společnosti. Tato služba je důležitá zejména z důvodu neustále se zvyšujícím nárokům na výpočetní výkon a narůstajícímu objemu dat se kterými se pracuje. Právě v tomto bodě narůstá výhoda komerčních SW. Naopak open-source SW včetně Blenderu v tomto případě konkurovat nemohou. Důvodem je nedostatek finančních prostředků pro chod a správu serverů. Řešením ovšem může být případné sdílení výpočetního výkonu a úložiště samotnými uživateli SW, avšak v takovém případě je především ohrožena bezpečnost při správě dat.

Open-source je občas přijímán s názorem, že „pokud je něco zdarma, nemůže to fungovat pořádně“ (Tarver 2014). Rovněž se také hovoří o dlouholetém zvyku v grafických studiích na 3ds Max, a tudíž práce v jiném SW by byla zatížena nejen zhoršenou

kompatibilitou, ale také nutností učit se SW. Technické a grafické univerzity vyučují práci ve 3D prostředí především v SW od společnosti Autodesk. Tento zvyk může být odůvodněn nabídkou společností svého SW na míru školám za zvýhodněnou cenu. Firma samotná má velký zájem, aby se ve školách používal jejich SW a studenti si na něj zvykli. Případné rozhodnutí v budoucnu změnit platformu je nepravděpodobné. Grafická studia hledají zájemce o práci především dle vzdělání a ti ve většině případů budou mít zkušenosti s 3ds Maxem. Tato situace zřejmě zdůvodňuje větší rozšíření proprietárního SW v profesionální sféře.

V zásadě lze říci, že oba SW jsou vzájemnými konkurenty, jelikož nabízejí velmi podobnou službu. Blender však tuto službu nabízí dokonce zdarma. 3ds Max především těží ze své dlouholeté značky a velmi dobře provázaným ekosystémem zahrnující velmi rozmanité portfolio od společnosti Autodesk. Zároveň se stále jedná o nejpoužívanější SW pro profesionální použití. Avšak plnohodnotné využití ekosystému, kterým disponuje Autodesk je právě z důvodu vysokým finančním nákladům určené především pro velká grafická studia nikoliv pro samostatnou fyzickou osobu.

Odkaz na výsledné video 3D modelu interiéru přírodovědecké fakulty UK v Praze: [<https://youtu.be/d-2PAjpgR1w>].

## 10. Literatura, zdroje dat

### 10.1 Použitá literatura

BHATTA, B. (2011): Global Navigation Satellite Systems: Insights into GPS, GLONASS, Galileo, Compass and Others. CRC Press, Boca Raton.

BOČEK, L. (2017): Interaktivní 3D model bytového domu. Bakalářská práce. Provozně ekonomická fakulta, Medelova univerzita v Brně, Brno.

CARDOSO, J. (2017): 3D Photorealistic Rendering: Interiors & Exteriors with V-RAY and 3ds Max. CRC Press, Boca Raton.

COELHO, M., ROEHL, D., BLETZINGER, U., K. (2017): Material model based on NURBS response surfaces. Applied Mathematical Modelling, 51, 11, 574-586.

DIAKITÉ, A. A., ZLATANOVA, S. (2017): Spatial subdivision of complex indoor environments for 3D indoor navigation. International Journal of Geographical Information Science, 32, 2, 213-235.

HEEGEON, CH. (2018): Architectural visualization of a BIM-based model. Bakalářská práce, Civil Engineering, Helsinki Metropolia University of Applied Science, Helsinki.

HÉNO, R., CHANDELIER, L. (2014): 3D Modeling of Building: outstanding Sites. ISTE Ltd, London.

HUANG, L. CH., WEN, H. CH., MAO, S. Y., CHEN, J. J. (2017): Applying 3D Printing Technique to Reconstruct Culture Artifacts. IEEE Ubi-media Computing and Workshops (Ubi-media), Pattaya.

IRACI, B. (2013): Blender Cycles: Lightning and Rendering Cookbook. Packt Publishing, Birmingham.

JAMALI, A., BOGUSLAWSKI, P. (2016): A Hybrid 3D Indoor Space Model. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 1, 75-80.

JUNG, J., YOON, S., JU, S., HEO, J. (2015): Development of Kinematic 3D Laser Scanning System for Indoor Mapping and as-Built BIM Using Constrained SLAM. Sensors, 15, 10, 26 430 – 26 456.

KAUFMANN, M. (2012): Computer Animation. Morgan Kaufmann, Waltham.

KUHLO, M., EGGERT, E. (2010): Architectural Rendering with 3ds Max and V-Ray: Photorealistic Visualization. Focal press, Oxford.

MULLEN, T. (2018): Mastering Blender. Sybex, Indianapolis.

MURDOCK, L. K. (2016): Autodesk 3ds Max 2017 Complete Reference Guide. SDC Publication, Mission.

PIEGL, L., TILLER, W. (2012): The NURBS Book. Springer Science & Business Media, New York.

PŘÍBELA, M. (2017): Přírodovědecká fakulta UPOL v Unreal Engine 4. bakalářská práce, katedra informatiky PřF UPOL, Olomouc.

SHAN, P., JIANG, X., DU, Y., JI, H., LI, P., LYU, C., YANG, W., LIU, Y. (2017): A laser triangulation based on 3D scanner used for an autonomus interior finishing robot. IEEE, Robotics and Biomimetrics.

SHEN, B., YIN, F., CHOU, W. (2017) A 3D Modeling Method of Indoor Objects Using Kinect Sensor. IEEE, International Symposium on Computational Intelligence and Design, 1, 64-68.

TEYSERE, R. A., CAMPO, R. M. (2009): An Overview of 3D Software Visualization. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 15, 1, 87-105.

WING, E. (2016): Autodesk Revit 2017 for Architecture: No Experience Required. Sybex, Indianapolis.

## 10.2 Internetové zdroje

APPLE (2018): Mac Pro. <https://www.apple.com/cz/mac-pro/> (cit. 6. 6. 2018)

ARISTASDIGITALES (2010): opengl vs directx ¿who is better to work in 3ds max ?. In: Youtube [online]. Zveřejněno 14. 12. 2010. <https://www.youtube.com/watch?v=Mgsc1h1HBxc> (cit. 29. 4. 2018).

AUTODESK (2018): <https://www.autodesk.com/> (cit. 5. 5. 2018).

AUTODESK.HELP (2016): World-space Modifiers. Autodesk Help. <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/3DSMax/files/GUID-C360C208-F869-4DC2-9284-72E086AE697F-htm.html> (cit. 3. 6. 2018).

BLAKE, R. (2015): Is Mac or PC Better for Graphic Designers? <https://creativepro.com/is-mac-or-pc-better-for-graphic-designers> (cit: 21. 6. 2018).

BLENDER (2018): Blender Foundation. <https://www.blender.org/> (cit. 5. 5. 2018).

EDUCBA (2017): Mudbox vs Zbrush – 5 Major and important Point of Difference. <https://www.educba.com/mudbox-vs-zbrush/> (5. 6. 2018).

FRANKLIN, C. (2000): How 3-D Graphic Work. <https://computer.howstuffworks.com/3dgraphics1.htm> (30. 4. 2018).

FORBES (2018): The World's Largest Public Companies. <https://www.forbes.com/companies/autodesk/> (cit. 1. 7. 2018).

FOX, A. (2017): MTE Explains: The Difference Between a CPU and a GPU. <https://www.maketecheasier.com/difference-between-cpu-and-gpu/> (cit. 22. 4. 2018).

FULLA, A., E.(2018): Best computer for 3DS MAX. In: Youtube [online]. Zveřejněno 22. 4. 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=IRenc4M3o1w> (cit. 7.6.2018).

GRIESER, F. (2016): 3D Printing Speed: How Fast Can 3D Printers Go? <https://all3dp.com/3d-printing-speed/> (cit. 10. 6. 2018).

INDIGO RENDERER (2018): IES Lights. <https://www.indigorenderer.com/documentation/manual/techniques/ies-lights> (cit. 30. 6. 2018).

OCONNOR, J. (2015): Using the Autodesk A360 Cloud Rendering Service in 3ds Max 2016. <https://area.autodesk.com/blogs/the-3ds-max-blog/using-the-autodesk-a360-cloud-rendering-in-3ds-max-2016/> (cit 10. 6. 2018).

PIXOLOGIC (2018): ZBrush. <http://pixologic.com/> (13. 6. 2018).

ROUSE, M. (2016): 3D Model. <https://whatis.techtarget.com/definition/3D-model> (cit. 29. 4. 2018).

SLICK, J. (2018): 3D Model Components – Vertices, Edges, Polygons & More. <https://www.lifewire.com/3d-model-components-1952> (cit. 7. 5. 2018).

SPIDERWARE (2015): Blender Cycles CPU vs GPU Rendering. In: Youtube [online]. Zveřejněno 29. 4. 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=ZNwk0DEKPc8> (cit. 2. 6. 2018).

TARVER, M (2014): The Problems of Open Source. <http://marktarver.com/problems.html> (cit. 25. 7. 2018)

TUBELIGHT PODCAST (2017): Why are Movies generally taken at 24 fps and not more or less? <http://tubelightpodcasts.com/why-are-movies-generally-taken-at-24-fps-and-not-more-or-less/> (cit. 26. 4. 2018).

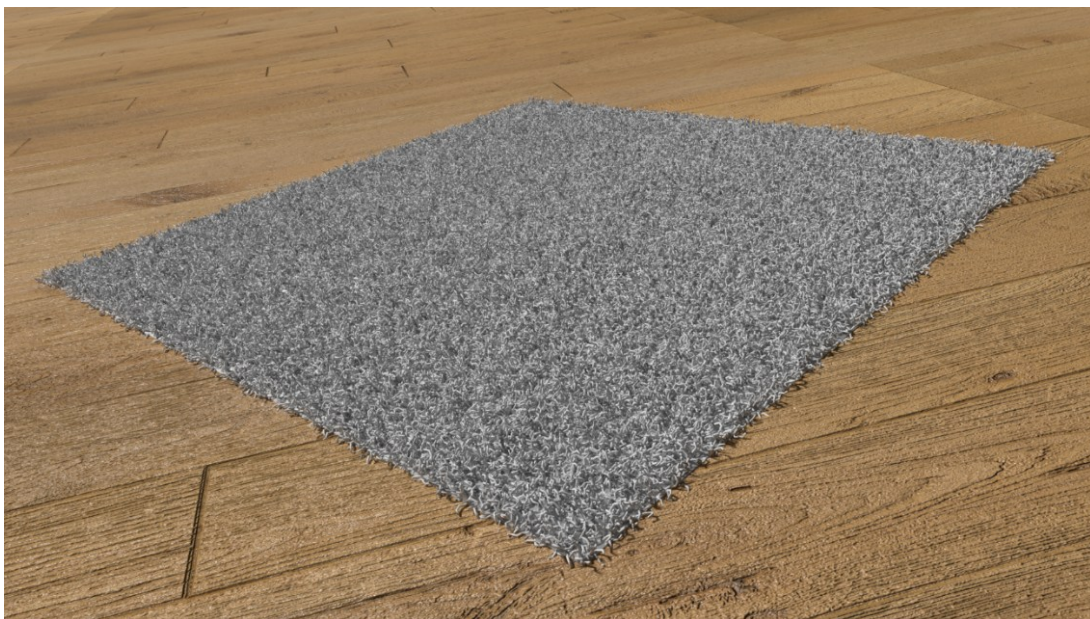
VALVE (2016): Material. <https://developer.valvesoftware.com/wiki/Material> (cit. 13. 6. 2018).

WEISSTEN, E., W. (2018): Polygon Edge. <http://mathworld.wolfram.com/PolygonEdge.html> (cit. 16. 4. 2018).

3D-TISK.CZ (2016): Tip: 6 šikovných aplikací, se kterými můžete bezplatně vytvářet modely pro 3D tisk. <https://www.3d-tisk.cz/tip-6-sikovnych-aplikaci-se-kterymi-muzete-bezplatne-vytvaret-modely-pro-3d-tisk/> (cit. 10. 6. 2018).

3XS SYSTEMS (2018): The Best Performing Graphics Cards for Rendering. <https://www.scan.co.uk/3xs/info/gpu-rendering> (cit 8. 6. 2018).

## 11. Přílohy



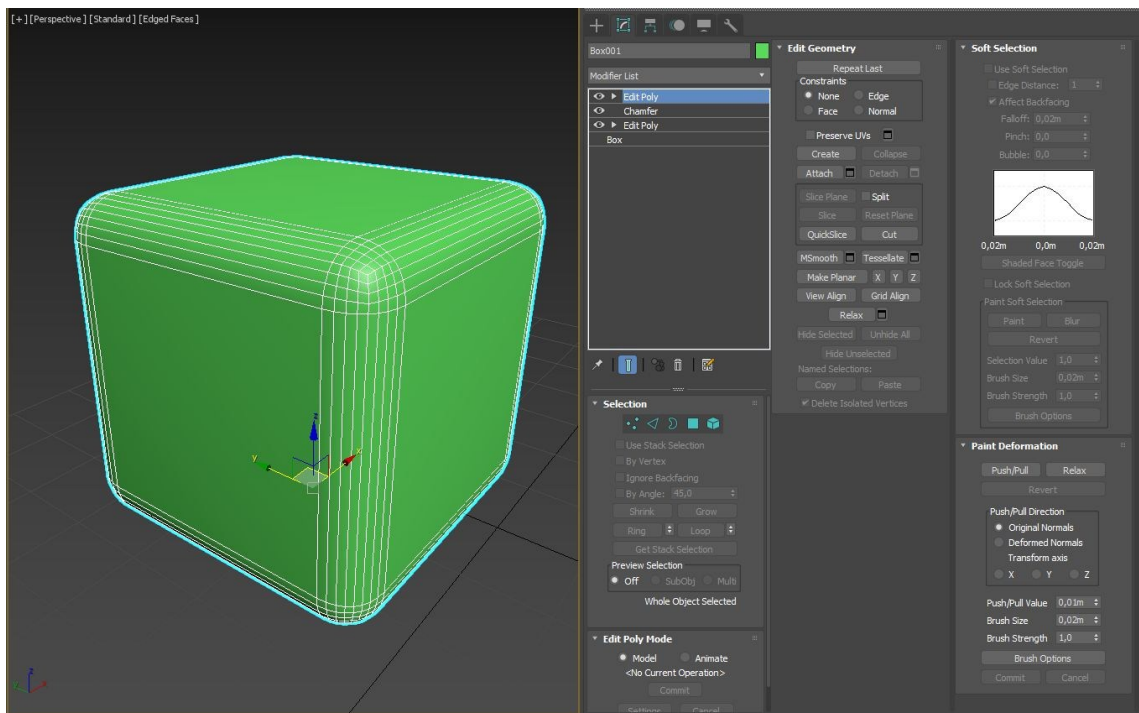
**Příloha 1:** Koberec vytvořený v SW Blender pomocí nástroje Particle Systems

**Zdroj:** Blender 2.79b; Vlastní zpracování



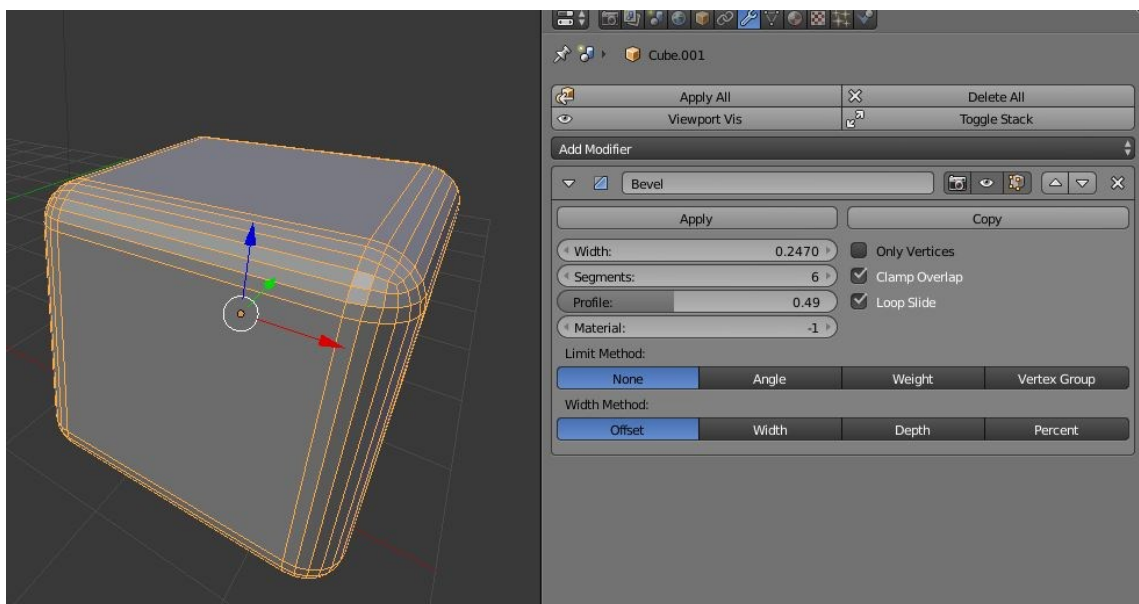
**Příloha 2:** Koberec vytvořený v SW 3ds Max pomocí nástroje Hair and Fur Modifier

**Zdroj:** 3ds Max 2018; Vlastní zpracování



**Příloha 3:** Použitý modifikační nástroj Chamfer v SW 3ds Max

**Zdroj:** 3ds Max 2018; Vlastní zpracování



**Příloha 4:** Použitý modifikační Bevel nástroj v SW Blender.

**Zdroj:** Blender 2.79b; Vlastní zpracování