



Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

3D Modelování a jeho praktické využití

Radim Joska

První soukromé jazykové gymnázium v Hradci Králové

Brandlova 875, 500 03 Hradec Králové 3

ANOTACE

JOSKA, Radim. *3D modelování a jeho praktické využití*. Hradec Králové: První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové, 2017.

Projekt s názvem „*3D modelování a jeho praktické využití*“ je cílen na vytvoření modelu budovy Prvního soukromého jazykového gymnázia v programu SketchUp. Teoretická část se zabývá popisem 3D modelování a představuje jeho hlavní využití. Zahrnu je i informace, které popisují samotný programovací software SketchUp. V praktické části bylo cílem vytvořit model a důkladně popsat jeho modelování, zaměřit se i na případná úskalí při vytváření 3D modelu a možnosti, jak tento model dovést k co nejněpodobnější, byť základní podobě.

Klíčová slova: 3D modelování, SketchUp, model, software

Annotation

The project named "3D modelling and its practical use" is aimed on creating a model of the building of First private language gymnasium in the SketchUp software. The theoretical part deals with a description of 3D modelling and presents its primary uses. It also contains information describing the SketchUp programming software itself. In the practical part the intention was to create a model and to describe its modelling process. Furthermore, the aim was to focus on potential threats of 3D modelling and also on options of how to make the most realistic, yet basic image of the building with the model.

Keywords: 3D modelling, SketchUp, model, software

Obsah

1. Úvod	7
2. Teoretická část práce	8
2.1 3D modelování	8
2.1.1 Historie	8
2.1.2 Základy	8
2.1.3 Software	8
2.2 Systém souřadnic	11
2.3 3D skenery.....	12
2.3.1 Funkčnost	12
2.3.2 Typy skenerů	12
2.4 3D tisk.....	16
2.5 Praktické využití	17
2.6 SketchUp	18
3. Metodika	20
4. Praktická část práce	21
4.1 Plány budovy	22
4.2 Stěny budovy.....	22
4.3 Okna	24
4.4 Přístřešky.....	24
4.5 Dveře	26
4.6 Schody	27
4.7 Patro.....	27
4.8 Tisk modelu	28
4.8.1 Úpravy před tiskem	28
4.8.2 Tiskárna	28
4.8.3 Materiál.....	29
4.8.4 Tisk modelu	30
5. Diskuse	33
6. Závěr.....	34
7. Použité zdroje a literatura.....	35
8. Seznam obrázků	37

1. Úvod

V současném světě je velmi rozšířené odvětví 3D modelování a 3D tisku. Mnozí z nás se s tímto fenoménem setkáváme téměř denně – 3D modely se využívají v medicíně, ve výuce, v architektuře, filmu, počítačových hrách a v mnohých dalších odvětvích. Stejně tak 3D tisk si začíná pomalu hledat své místo v životě současného člověka. Od tisku souvisejícím se zdravotnictvím, přes tisk pomocí stravitelných náplní až po módní průmysl a umění.

Práce s názvem *3D modelování a jeho praktické využití* je ve svém základu rozdělena do dvou částí: Teoretická část se zabývá základy 3D modelování a popisuje různé druhy 3D skenerů a tisku. Tato část práce je věnována i praktickému využití 3D modelování, které se stále rozvíjí a je tak neustále využíváno všude kolem nás. Podstatnější část této práce – praktická část, pak prezentuje samotný postup vytvoření 3D modelu školy Prvního soukromého jazykové gymnázia Hradec Králové. Tento model byl vytvořen v programu SketchUp, kterému je také věnována jedna celá kapitola v teoretické části. Zde jsou popsány jeho základní funkce, výhody a nevýhody oproti ostatním programům.

Cílem práce je nejen pomocí komparační analýzy porovnat a popsat základy 3D modelování, popsat 3D skenery a tisk, ale hlavně vytvořit 3D model školy za využití výše zmíněného programu. Vytisknutý model budovy školy najde uplatnění jako případná pomůcka při výuce či prezentaci školy, nebo jako reálná ukázka 3D vytisknutého objektu pomocí jedné z mnoha metod 3D tisku.

2. Teoretická část práce

2.1 3D modelování

2.1.1 Historie

William Fetter, designér firmy Boeing, je považován za autora slovního spojení „počítačová grafika“, které použil, když v roce 1960 popisoval svoji práci. Na začátku grafických technologií byly projekty jako Whirlwind, což byl první počítač využívající CRT obrazovku pro výstup dat, který navíc umožňoval využití světelného pera. Významným krokem byl počítač TX-2 vyvinutý roku 1959. V roce 1963 byl pro tento počítač naprogramován Ivanem Sutherlandem program Sketchpad, který byl prvním programem využívajícím grafické možnosti počítače a tedy i prvním programem s grafickým uživatelským rozhraním. V roce 1965 uvedla firma IBM na trh grafický terminál IBM 2250, první komerčně dostupný grafický počítač. Na konci 80. let se 3D grafika stala skutečností na SGI počítačích, které byly později použity při tvorbě prvních počítačem tvořených krátkých filmů v Pixaru. Od 80. let se v počítačových systémech využívají symboly, ikony, obrázky a další grafické prvky (souhrnně označované jako grafické uživatelské rozhraní) pro usnadnění a zpříjemnění komunikace mezi uživatelem a počítačem. V 90. letech nastal růst popularity 3D grafiky díky počítačovým hrám a animovaným filmům. ^[1]

2.1.2 Základy

Počítačová 3D grafika (tzv. trojrozměrná) je specifické označení pro určitou část grafické tvorby, pracuje se zde s trojrozměrnými objekty. 3D modelování je proces tvarování a vytváření 3D modelu, který je vytvářen podle dat získaných měřicím přístrojem (scannerem) nebo na základě počítačové simulace.

Reprezentace tvaru tělesa je buď hraniční, nebo objemová. V hraniční reprezentaci je těleso určeno svými hranicemi, které tvoří stěny, hrany nebo vrcholy. V objemové reprezentaci jsou tělesa určena definicí bodů získaných přístrojem, např. 3D scannerem. Používá se metoda sledování paprsku a speciální algoritmy, které zviditelňují objem nebo povrch. ^[2]

2.1.3 Software

3D modelovací software je třída počítačových programů používaná na výrobu 3D modelů. Jednotlivé programy jsou nazývány „*modeling applications*“ nebo „*modelers*“ (volně přeloženo jako modelovací programy nebo modeláře). 3D software umožňuje uživatelům vytvářet a měnit modely prostřednictvím svých 3D sítí. Uživatelé mohou sčítat, odčítat, protáhnout a jinak měnit síť podle svých přání. Na modely může být pohlíženo z různých úhlů, většinou i současně. Lze jimi otočit a pohled zoomovat (přiblížit). ^[3]

Z 3D programu lze model převést na soubor, který pak můžeme propojit s jinými aplikacemi. Většina 3D programů obsahuje funkce, jako je například vykreslování a mapování textur. Některé vyspělejší programy mohou podporovat animaci modelů.^[3] Mezi nejpoužívanější a nejznámější programy patří:

Tinkercad

Jednoduchý návrhář 3D modelů, který celý běží ve webovém prohlížeči. Je napsaný v HTML5¹ s využitím WebGL², čímž nabízí prostředí, které si nezadá s desktopovou aplikací. Lze spustit pouze ve webovém prohlížeči Chromu a Firefoxu.

Výhody:

- Bez instalace
- Zdarma
- Knihovna návrhů
- Import a export do souboru

Nevýhody:

- Pouze v prohlížečích Chrome a Firefox^[4]

Google SketchUp

Bezplatný, snadno použitelný, nepostrádá funkčnost a nabízí kolekci všech běžných kreslicích a vyplňovacích nástrojů. Díky jednoduchému přístupu k 3D grafickému designu a modelování je ideální pro amatéry v oblasti technologie CAD.

Výhody:

- Snadnější 3D kreslení
- Spousta tipů a nápověd
- Uživatelsky přívětivý
- Možnost nahrání do Google Earth
- Integrace Google Map

Nevýhody:

- Bez pokročilých funkcí velkých CAD aplikací
- Bezplatná verze bez možnosti do formátu CAD
- Neschopnost v bezplatné verzi přidávání obrázků a textu
- Nutnost instalace pluginu pro export do STL^[3]

Blender

Otevřený software pro modelování, vykreslování 3D počítačové grafiky a animaci s využitím různých technik (např. sledování paprsku, radiosita, scanlinerendering, GI). Vlastní interface je vykreslování pomocí knihovny OpenGL, která umožňuje nejen hardwarovou akceleraci vykreslování 2D a 3D objektů, ale především snadnou přenositelnost na všechny podporované platformy (např. GNU/Linux, Microsoft Windows, Mac OS X). Je to výborný nástroj k modelování ve 3D, ale nezkušené spíše odradí.

¹ HTML5 je programovací jazyk ve kterém se tvoří webové stránky^[5]

² WebGL je rozhraní napsané v JavaScriptu pro zobrazení interaktivní 3D grafiky^[6]

³ STL je souborový formát, který pochází z CAD programů a je to forma pro 3D tisk. Tento formát je vytvořen firmou „3D Systems“^[3]

Výhody:

- Neuvěřitelná šíře funkcí
- Rozsáhlá online nápověda
- Nepřekrývající se rozhraní
- Bezplatný
- Možnost 3D modelování, animace, renderování
- Nepřetržité vylepšování

Nevýhody:

- Zaměření na pokročilé uživatele
- Velká škála rozmanitostí^[3]

DesignSparkMechanical

Program je vhodným nástrojem pro každého studenta techniky, technického pracovníka či vývojáře. Software reaguje zejména na požadavek rychlosti. 3D model produktu má být k dispozici ihned po té, co vznikne jeho idea v hlavě návrháře. Kromě snadného vytváření vlastních modelů je možná také modifikace již existujících. Allied Electronics a RS Components, které software vytvořily, totiž daly zároveň k dispozici 38 000 3D modelů ze svého on-line katalogu.

Výhody:

- Rychlá tvorba modelů
- Snadné ovládání
- Vytváření podrobné a kvótované výrobní dokumentace
- Knihovna modelů
- Zdarma k dispozici
- Import návrhů do formátu STL pro rychlou tvorbu prototypů

Nevýhody:

- Omezená možnost tvorby sestav a výkresů
- Import 3D modelů – pouze 6 souborových formátů
- Tvorba jednodušších modelů^[7]

Wings3D

Modelovací program, který je zaměřen pouze na lowpoly modelování, rendering, se musí provádět v jiném programu. Tento software je velmi snadný a spolehlivý, má dobré intuitivní ovládání, a proto je vhodný pro začátečníky. Zobrazování je pomocí OpenGL.

Výhody:

- Široká škála modelovacích nástrojů
- Nastavitelné klávesové zkratky
- Snadné kontextové a uživatelské rozhraní
- Vytváření 3D modelů reálných tvarů součástí

Nevýhody:

- Množství funkcí
- Počáteční obtížnost

- Absence funkcí pro animaci^[3]

3DTin

Nástroj vhodný pro všechny typy uživatelů, zvláště pro ty, kteří rádi něco vytváří přímo v prohlížeči. Software běží ve webovém rozhraní. Vhodné prohlížeče pro práci s 3DTin jsou Google Chrome a MozillaFirefox. Nutností je také JavaScriptové API pro nativní zobrazování, tedy WebGL. Především kvůli používání předdefinovaných tvarů objektů. K dispozici jich je k vytvoření kvalitního 3D díla dostatek. Jednotlivým objektům můžete také editovat rozměry. Díky tomu lze vytvořit opravdu cokoliv, co vás napadne. Otáčení 3D výtvaru je možné jakkoliv, třeba o 360 stupňů do všech možných směrů. Výtvar lze uložit na disk nebo na online úložiště. Ukládání je podporováno ve formátech STL, OBJ a Collada.

Výhody:

- Nespočet předdefinovaných objektů a barev
- Zobrazování změn v reálném čase
- Ukládání do PC nebo cloudového úložiště

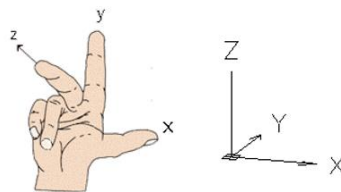
Nevýhody:

- Nutnost JavaScriptové API WebGL^[8]

2.2 Systém souřadnic

3D model je fyzické těleso, které je reprezentováno pomocí sbírky bodů ve 3D prostoru. Model je spojen různými geometrickými subjekty, jako jsou trojúhelníky, čáry a zakřivené povrchy. Existují dva způsoby, jak je možné vytvořit 3D model. Jeden je tzv. manuální a druhý automatický, který probíhá za pomoci speciálních 3D skenerů. Manuální je práce při, které se vytváří objekt v modelovacím programu za pomoci geometrických dat.^[9]

Možnost orientovat se v rovině nebo v prostoru nám umožňuje tzv. souřadnicový systém. Jedním z nejzákladnějších souřadnicových systémů je kartézská soustava, která je pravoúhlá. Pro snadné představení takové soustavy je možné využít naši pravou ruku (Obrázek 1). Z počátku vede kladný směr osy X (palec), kolmo a vlevo na něj je osa Y (ukazovák) a kolmo na rovinu definovanou osami X a Y vede osa Z (vztyčený prostředník). Pomocí tohoto pravidla určíme kladný směr osy otáčení. Osu uchopíme do pravé ruky, palec směřuje v kladném směru osy a prsty ukazují kladný směr otáčení.^[10]



Obrázek 1 Pravidlo pravé ruky^[11]

2.3 3D skenery

Oblast 3D skenování je relativně mladé, ale rychle vyvíjející se odvětví, které se v současnosti nachází skoro ve většině nejen technologických odvětví. Matematické výpočty 3D bodu ze sady 2D bodů jsou známy již dlouho, ale nebyly uvedeny do praxe. Až při nástupu výkonných počítačových procesorů se tato činnost podařila umožnit. Mezi lety 1989 a 1990 vznikly 3 firmy, které jako první uvedly komerční 3D skenery.^[12]

2.3.1 Funkčnost

Účelem 3D skeneru je obvykle vytvoření mračna bodů, což je souhrn bodů, které jsou v trojrozměrném souřadnicovém systému. Tyto body jsou obvykle definovány pomocí písmen X, Y, Z a často slouží pro digitalizaci vnějšího povrchu předmětu. Body jsou potom použity pro rekonstrukci tvaru předmětu. Pokud je předmět barevný, tak se v každém bodě sbírá „barevná informace“ a poté může být určena také barva povrchu. 3D skener má hodně společného s klasickými kamerami. Stejně jako ony, má kužel jako zorné pole, ale na rozdíl od klasických kamer, které pouze zaznamenávají barevné informace o plochách, 3D skener shromažďuje informace o plochách se vzdálenostmi, to mu umožňuje trojrozměrnou digitalizaci. Ve většině situací nestačí skenování jednou, ale předmět se musí naskenovat víckrát, aby byl dobře zaznamenán z každé strany.^[12]

2.3.2 Typy skenerů

Obecně lze rozdělit 3D skenování podle několika kritérií. Jedním ze základních dělení je dotykové a bezdotykové. Bezdotyková technologie se dále specifikuje podle dvou hlavních kritérií, aktivní a pasivní, a to podle toho, zda je na objekt vysílán nějaký paprsek či není.^[12]

Rozdělení skenerů podle způsobů snímání

Dotykové skenery

Neboli kontaktní využívají přímého fyzického dotyku senzoru se skenovaným objektem. Do této skupiny patří 3D digitizéry a stacionární souřadnicové měřicí systémy (CMM – Coordinate Measuring Machine). Tento typ skenerů vyniká především svojí nízkou cenou oproti bezdotykovým skenerům, ale jejich nevýhodou jsou omezené možnosti snímání v malých částech a složitějších tvarech a také průběh skenování trvá déle s porovnáním bezdotykovými skenery. ^[12]



Obrázek 2 Dotykový 3D skener[13]

Bezdotykové skenery

Jinak také bezkontaktní skenery nevyžadují ke své funkci dotyk s povrchem. Tento typ snímače využívá druh záření nebo světla a zjišťuje jeho odraz pomocí kamery. Jejich princip je založen na výpočtu vzdálenosti k předmětu prostřednictvím směřovaného laseru a videokamery. Jeho účelem je vytvořit mračna bodů. Snímání povrchu je proto mnohem rychlejší než u dotykových skenerů a jsou tak mnohem produktivnější. Výraznou předností je velká přesnost snímaného objektu, dokonce i pro těžce přístupná místa a i ve složitějších částech objektu. Plocha je měřená bez jakéhokoliv poškození a je vytvářen vysoký počet bodů. ^[12]



Obrázek 3 Bezdotykový 3D skener^[14]

Aktivní a pasivní skenery

Aktivní optické skenery mají zdroj některého druhu záření a odpovídající přijímač. Na základě analýzy od skenovaného zařízení pak vypočítají 3D souřadnice. Toto zařízení většinou bývá používáno jako světlo s určitou vlnovou délkou (laser, RTG nebo zvukové vlny /ultrazvuk/). Pasivní skenery nevyužívají žádný zdroj záření a pracují pouze s přirozenými odrazy paprsků od okolního světla. ^[12]

Rozdělení podle mobility zařízení

Stacionární skenery

Skenery není možné přemísťovat z různých stanovišť, proto se musí skenovaný objekt dopravit přímo ke skeneru. Velkou nevýhodou jsou omezené rozměry skenovaného předmětu, které jsou závislé na rozsahu skenovací hlavičky. ^[12]

Mobilní skenery

Velkou výhodou těchto skenerů je možnost jednoduché přepravy. Mezi tyto mobilní skenery patří například bezdotykové ruční laserové zařízení nebo dotykové zařízení s pohyblivým ramenem, kde se souřadnice získávají a rekonstruuji pomocí polohování všech kloubů ramene. ^[12]

Rozdělení podle principů digitalizace

Mechanické řízené 3D skenery

Nejstarší je mechanický způsob 3D skenování, kdy hrot s kuličkou je umístěn v měřicí hlavě, která obsahuje vysoce citlivé snímače reagující na vychýlení hrotu při dotyku kuličky s objektem. Po každém vychýlení systém zaznamená polohu os měřicího stroje a software informace použije pro výpočet středu kuličky. Tento proces je hodně zdlouhavý, protože při každém vychýlení se zaznamená jeden bod. ^[12]

Mechanické ruční 3D skenery

Tyto skenery se liší ve způsobu měření polohy dotykové kuličky. U ručního skeneru se odečítání absolutní přesné polohy děje na základě informací o poloze jednotlivých kloubů, ze kterých se skener skládá. Software přijímá informace, které jsou odesílány jednotlivými klouby na základě jejich délky, a přepočítává polohu kuličky koncového hrotu. Výhodou těchto skenerů je jejich nízká cena a mobilita. Nevýhodou je jejich nepřesnost a malý dosah měření. ^[12]

Laserové 3D skenery

V dnešní době jsou používány nejčastěji. Jedná se buď o rozšiřující skenovací hlavy pro mechanické skenery, nebo samotný laserový skener, který se skládá z vysílače laserového paprsku a ze snímací kamery. Principem je vyhodnocování odrazu laserového paprsku od povrchu objektu. Aby bylo umožněno naskenování celého objektu, musí se objekt nebo skener otáčet dokola. Většina 3D laserových skenerů se drží v ruce, proto je třeba použít tzv. referenční značky, které jsou umístěny na objektu, které laser zaznamenává a software vypočítává absolutní polohu. ^[12]

Ultrazvukové 3D skenery

Tento způsob využívá bezkontaktního principu snímání povrchu, toto realizuje za pomoci ultrazvukové sondy, která je ve tvaru pistole s kovovým hrotem a přikládá se k povrchu objektu. Po stisknutí spouště pistole vyšle signál a ten je za pomoci speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekodován a přeměněn do trojrozměrných souřadnic. Tento typ skenerů se v dnešní době většinou nepoužívá kvůli jeho nízké přesnosti skenování. ^[12]

CT 3D skenery

Skenery využívající záření rentgenových paprsků. Tento princip umožňuje naskenování objektu nejen z povrchu, ale také zevnitř. Díky požadavkům na naskenování vnitřní části objektu nedestruktivním způsobem skenování se tato oblast začala rychle vyvíjet. Princip měření spočívá v tom, že se objekt umístí do uzavřené komory, kde se postupným otáčením zrentgenuje ze všech stran. Software následně zpracuje pořízená data a na základě kontrastu a známé polohy natočení spočítá prostorové body objektu. Skenování probíhá poměrně rychle, přesně a pohodlně, ale nevýhodou bývá malý měřicí prostor, vysoká cena skeneru a problémy se skenováním různých typů materiálů. ^[12]

Destruktivní 3D skenery

Jde o atypický typ skenování frézky s kamerou. Nejprve se objekt zalije do pomocného materiálu, který musí zatéct do všech skulin. Pomocný materiál musí mít kontrastní barvu s objektem. Nachystaný díl se upne na desku frézky a postupně se oddělují tenké vrstvičky konstantní tloušťky. Každá nově odkrytá vrstva se vyfotí a snímek uloží. V sadě 2D fotek je uložena informace, v jaké výšce Z byla fotka pořízena. Pomocí softwaru je na přechodu barev zalitého objektu na fotce extrahována okrajová křivka, která je reprezentována jako body v rovině. Spojením křivek ze všech odfrézovaných hladin vznikne 3D mrak bodů. Nevýhodou je, že se při tomto skenování objekt zničí, ale získá se levně informace o vnitřní geometrii. ^[12]

2.4 3D tisk

3D tisk, také známý jako aditivní výroba, je proces, při němž vzniká trojrozměrný objekt. Při tisku se vytváří po sobě následující vrstvy materiálu pod kontrolou počítače. Objekty je možné vytisknout v jakémkoliv tvaru nebo geometrii, které pochází z digitálních dat počítačového 3D modelu. ^[15]

Počátky technologie 3D tisku z digitálních dat sahají do 80. let 19. století, kdy Charles Hull vyvinul technologii zvanou stereo litografie, kterou si v roce 1986 nechal patentovat. Stereo litograf využívá UV laseru a fotopolymeru pro trojrozměrný tisk. Před rokem 1990 Hull založil firmu 3D Systems, která vyvinula první 3D tiskárnu, nic méně tento pojem nebyl v té době znám a stroj byl znám pod názvem stereo litografický aparát SLA-1. Jelikož se jednalo o úplně nový přístroj, tak byl k dostání pouze pro určité spektrum zákazníků. Po kladném ohlasu se firma rozhodla vytvořit vylepšenou a novou verzi SLA-250, která byla dostupná i pro širokou veřejnost. Z počátků byl 3D tisk velmi drahou záležitostí, protože byl stále ve fázi vývinu a tisky trvaly i několik dní, ale postupem času s nástupem konkurenčních firem se v 3D tisku objevily novinky jako je využívání termoplastu nebo selektivní laserové spékání, které je možné za použití CO2 laseru s práškovým materiálem. 3D Systems se dlouhou dobu držely na vrcholu prodejního žebříčku, ale v roce 1993 si MIT nechala patentovat technologii 3D tisku. Tento patent později odkoupila firma Corporation. Od této doby je známý 3D tisk známý v dnešní podobě. ^[15]

3D tisk využívá počítačových dat, 3D modelů, které jsou vytvořeny v CAD programech nebo zaznamenány 3D skenery. Ty převedou reálný objekt do digitální podoby, a později je z nich vtištěn požadovaný objekt. ^[15]

Modelování v CAD programech není snadné, proto je zapotřebí zkušeností, které je třeba si osvojit. Jakmile se však dosáhne určité úrovně, lze si vymodelovat téměř cokoliv. V dnešní době je spousta tzv. „3D knihoven“, které umožňují uživatelům stahovat různé modely bez toho, aby bylo nutné učit se v CAD programech. Také 3D skenery poskytují skvělou možnost získání 3D modelu. Jedinou jejich nevýhodou je občasná nepřesnost, která se musí následovně počítačově upravit. ^[15]

2.5 Praktické využití

Nejnámější využití 3D modelování je při animaci filmů. Každý si jistě všiml filmových efektů dnešních filmů. Co museli dříve vytvořit animátoři, to se dnes tvoří pomocí 3D modelování. Což usnadňuje filmařům práci a mnohdy i finanční prostředky.

Další velmi známé je využití 3D modelování v počítačových hrách. Zde se využívá takových efektů, že si hráč někdy myslí, že je to skutečnost. Současné hry hráče do hry úplně vtáhnou. ^[16]

3D modelování má ale hlavně využití v průmyslu, kde firmy mohou vytvořit prototypy svých výrobků nebo vyrobit formy pro jednotlivé výrobky. To jim zjednodušuje práci, zlevňuje výrobu a hlavně šetří čas. I když velké 3D tiskárny jsou dražší, jejich cena se postupným větším využitím a rozvojem odvětví snižuje. Průmyslovým firmám se tak investice do 3D tiskáren vyplatí. ^[16]

Největší potenciál má 3D modelování ve zdravotnictví. K možnosti vytisknutí nových orgánů se upínají stovky nemocných. Tak daleko však ještě 3D tisk nedospěl. Zatím lze vytisknout jen protézy, ale i tady jde o velký pokrok, protože díky 3D modelování je možné vytvořit protézu přímo na míru pacientovi a ještě navíc ve velmi krátkém čase a levněji než dosud. Dalším využitím 3D modelování je výroba zubních můstků. ^[16]

Poměrně hodně se začíná rozvíjet využití 3D modelování v architektuře, kde s jeho pomocí lze vytvořit model domu do velkých detailů (i s nábytkem). Zákazník tak může vidět, jak bude jeho dům vypadat a lze mu předat i model nového domu. Ve světě už byly provedeny i zkoušky tisku celého domu pomocí 3D tiskáren, ale jedná se zatím jen o výzkum. Další využití v architektuře je při opravách historických budov, kdy lze vytisknout přesnou kopii opravované části domu. Také se tisknou modely historických budov, takže si památky může prohlédnout více lidí nebo mají možnost si je vytisknout doma. ^[16]

3D modelování a tisk začínají využívat i designéři. Tisknou se různé šperky, figurky, ozdobné hrníčky a různé okrasné doplňky. 3D tisk se lze použít i při výrobě propagačních materiálů. 3D modelování se používá v reklamě – reklamní spoty, upoutávky, animace, webové prezentace, tvorba 3D maskotů. ^[16]

Oblastí, kde se začíná využívat 3D modelování a tisk, je školství. Pedagogové si mohou vytvořit pomůcky na výuku a studentům vše podrobněji předvést. ^[16]

Bohužel 3D modelování a tisk se dá také zneužít. Je možné totiž vytisknout zbraně, které navíc tím, že jsou z plastu, projdou dnešními speciálními bezpečnostními kontrolami například na letištích. ^[16]

Zjednodušeně se dá říci, že 3D tiskárna dokáže vytisknout vše, co potřebujete. Někdy stačí jen digitální předloha v počítači a pak už můžete tisknout.

2.6 SketchUp

SketchUp je program určený pro 3D modelování se širokým využitím v architektuře, inženýrství, filmech a počítačových hrách. Původně tento software uvedla firma Last Software v roce 2000 na trh jako využití pro profesionální designéry, aby umožnila možnost jednoduchého navrhování v digitální verzi. SketchUp byl v roce 2006 odkoupen společností Google, která o rok později přišla s novou verzí softwaru zahrnující freeware verzi bez některých funkcí, které se vyskytovaly v placené verzi SketchUp Pro. Společnost Google vyvinula program do vyšší úrovně a jedním z největších pokroků bylo vytvoření digitální knihovny tzv. 3D Warehouse. Uživatelé zde mohou volně poskytovat a stahovat komponenty, které jsou zde sdíleny ostatními uživateli a mohou je aplikovat do svého modelu. V 3D Warehouse nalezneme různé využitelné modely od částí domu: jako jsou dveře, okna, soupravy nábytku, po hotové modely budov nebo různých rekvizit. V současné době je vlastníkem programu společnost TrimbleNavigation, která software odkoupila v roce 2012. Avšak SketchUp se stále nachází ve vývoji, jeho prostředí bývá nadále aktualizováno a inovováno. ^[17]

SketchUp je CAD software pro modelování a jeho prostředí je zobrazeno v kartézské soustavě souřadnic a prostor v něm je prakticky neomezený. V prostředí se tedy vyskytují 3 základní osy (X, Y a Z), které se dají libovolně přemísťovat. Tyto osy mají stejné měřítko, u kterého je možné určit si jednotky, které vám po spuštění program sám nabídne: milimetry, centimetry, metry, palce nebo stopy. SketchUp funguje na principu uchop a táhni, tím pádem při modelování nenastávají velké obtíže, jako u jiných programů. Program ale neobsahuje souřadnicový systém, který by nám umožnil větší přesnost při vytváření modelu. Uživatel má možnost si nastavit potřebné rozměry u objektu, který vytváří. K tomu slouží funkce, které bylo u mého modelu velmi zapotřebí, nazývá se *MeasureTools*. Za jednu z nejdůležitějších funkcí považuji funkci *Push/Pull*, která umožňuje jakoukoliv plochu vytáhnout do výšky a vytvořit z ní tak trojrozměrný objekt. Pomocí této funkce se dokonale vytváří okna, dveře a jiné části. ^[18] SketchUp disponuje skvělou funkcí, čímž je vytváření skupin a komponentů, které umožňují lepší orientaci při modelování rozsáhlejších objektů. Ve svém modelu jsem tyto funkce hodně využíval pro různé části budovy.

Skupiny

Pro vytvoření skupiny je nutné označení všech daných prvků kliknutím pravým tlačítkem myši, aby se objevil seznam možností, ve kterém zvolíme „*make group*“. Skupinu je možné si pojmenovat, abychom věděli, co obsahuje. Následovně je nám umožněno libovolně pracovat s více prvky naráz. Je možné je přesouvat, rotovat atd. Zároveň lze upravit pouze určité části skupiny a to nám umožní dvojklik levého tlačítka myši. Pokud je to nutné, je možné skupinu uzamknout, což znemožní její pohyb a později ji znovu odemknout. Skupinu jde odstranit klikem pravého tlačítka myši a zvolením možnosti „*Explode*.“

Komponenty

Vytvoření komponentu je stejné jako vytváření skupiny, ale volíme možnost „*make component*.“ Komponenty jsou rozdílné v tom, že jejich kopie se chovají stejně jako originál, což u skupiny neplatí. Pokud chceme editovat komponent, změní se všechny jeho kopie. Tato možnost usnadňuje například vytváření sloupů, protože je možné je upravit všechny najednou. Komponenty je stejně jako u skupin možné pojmenovávat nebo rušit.

3. Metodika

Pro získání informací k této práci byly použity odborné knihy a vědecké práce vypůjčené ze Studijní a vědecké knihovny v Hradci Králové a využit internet. K napsání práce byl použit balík kancelářského software Microsoft Office a pro vytvoření modelu bylo využito SketchUp, který byl zvolen pro svou dostupnost a multiplatformní užití.

V teoretické části jsem popsal hlavní základy 3D modelování a programy, které se pro modelování využívají. Vytvořil jsem zde také přehled nejznámějších programů a zdůvodnil, proč jsem si vybral právě SketchUp. Ve své práci jsem se také věnoval využití 3D modelování.

V praktické části je důkladně popsán model budovy Prvního soukromého jazykového gymnázia v Hradci Králové, který jsem vytvořil. Pro lepší představivost zde byly přidány obrázky mého modelovacího postupu. Je zde ukázáno, na jaké úrovni je možné modelovat s programem SketchUp a různé jeho technické přednosti, kterými jiné programy nedisponují. Model gymnázia může posloužit jako pomůcka při výuce případně jako reklamní prostředek.

4. Praktická část práce

Jedno z nejdůležitějších rozhodnutí, které jsem v této práci musel učinit, bylo vybrání nevhodnějšího programu pro modelování. Programů je mnoho a jsou mezi nimi i patřičné rozdíly. Rozhodování ovlivnila volná dostupnost programu SketchUp. Další výhodou tohoto programu je jeho intuitivní ovládání a možnost využít zkušenosti ostatních uživatelů na internetu.

Program je dostupný z oficiálních stránek <http://www.sketchup.com/>, kde je možnost po rychlé registraci si program stáhnout. Po stažení programu se spustí instalační soubor s příponou *exe*. Instalace je automaticky nastavená, takže stačí, jako u většiny programů, pouze zvolit kam má být program uložen, přečíst si a odsouhlasit podmínky s užíváním programu.

Před začátkem této práce jsem neměl s programem SketchUp žádné zkušenosti, proto jsem si musel program nejdříve vyzkoušet a naučit se v něm pracovat. Při zkoušení mi program vyhovoval, tudíž jsem se ujistil, že bude pro mou práci vhodný. Na internetových fórech je možné nalézt návody na práci s tímto programem a na internetovém portálu Youtube je možno nalézt mnoho návodových videí, které přiblíží dokonalé orientování v programu.

Nejčastěji používané funkce při modelování budovy:

Push / Pull– umožňuje přidat plochám třetí rozměr.

Measurements– kolonka pro zadávání přesných rozměrů.

Line– tužka, která vykreslí rovnou čáru.

Guide – pravítko, jehož pomocí lze vyznačit vzdálenosti. Lze později odstranit.

Offset – při zmenšení nebo zvětšení tvaru udržuje stejné vzdálenosti.

PaintBucket – modelu přidává barvu a texturu.

Move – umožňuje pohyb objektů.

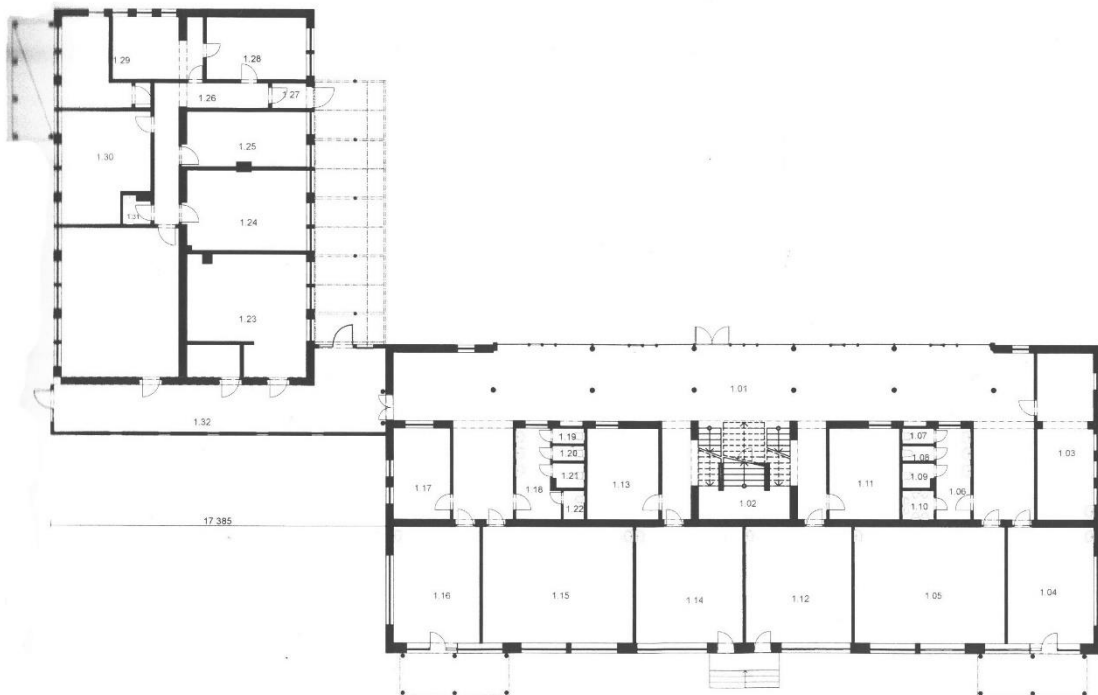
Circle– vytvoření kruhu nebo elipsy.

4.1 Plány budovy

Po získání základních znalostí v programu SketchUp, jsem začal s modelováním. Jako podkladové materiály mi zapůjčil pan PhDr. Ladislav Bartůška plány budovy školy Prvního soukromého jazykového gymnázia. Plány jsem naskenoval, abych je mohl využít v počítačové podobě. Po podrobné prohlídce plánů jsem zjistil, že neobsahují veškeré rozměry, které jsou zapotřebí. Proto bylo nutné některé údaje na plánech přeměřit a pomocí uvedeného měřítka přepočítat a doplnit.

Po důkladném průzkumu a výpočtech chybějících údajů jsem začal modelovat v programu SketchUp 2017. Při prvním spuštění programu se zobrazí nabídka šablon, se kterými lze pracovat. Vybral jsem si šablonu „*Architectural Design – Meters*“, jejíž základní jednotkou jsou metry, což bylo pro mé účely nejvhodnější.

Do programu SketchUp jsem importoval obrázek přízemí budovy gymnázia, protože tento plán přízemí byl vhodný pro vytvoření podstavy budovy.



Obrázek 4 Přízemí PSJG

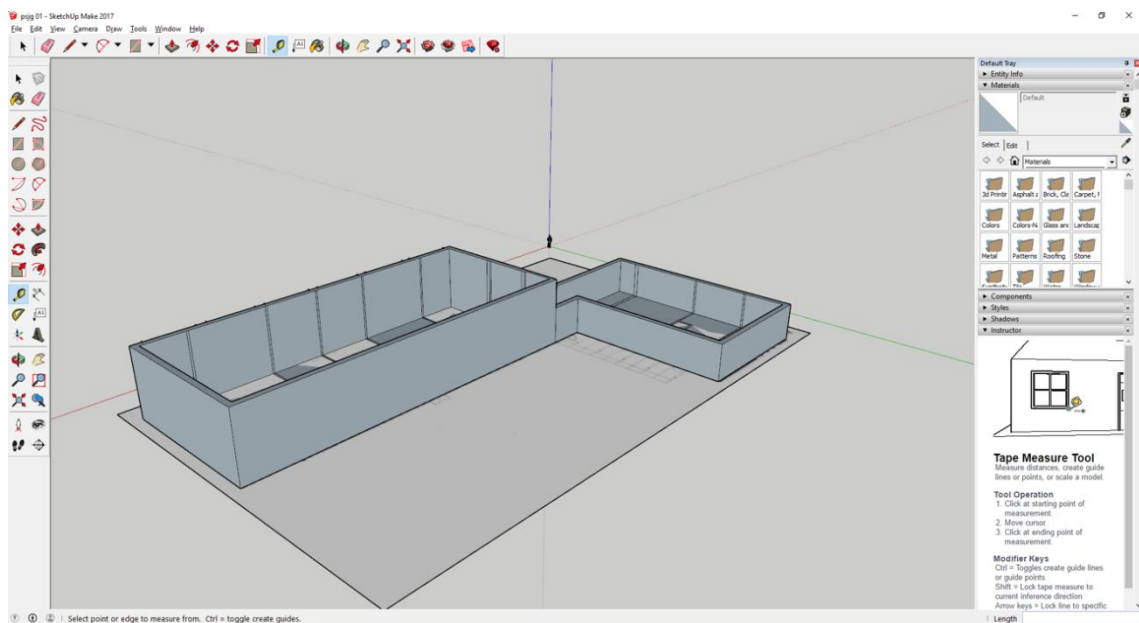
4.2 Stěny budovy

Po importu obrázku bylo zapotřebí upravit plán na poměry a velikost půdorysu budovy. Míry budovy jsem zanesl pomocí funkce *Line* tak, že jsem klikl na počáteční bod linie a ukazatelem myši jsem určil směr linie a funkcí *Measurements* jsem zadal přesnou délku. Z načrtnuté čáry a plánu jsem vytvořil skupinu, kterou jsem uzamkl. Po obkreslení obvodu plánu budovy program vytvořil podstavu, na kterou jsem začal vykreslovat jednotlivé stěny budovy.



Obrázek 5 Podstava PSJG

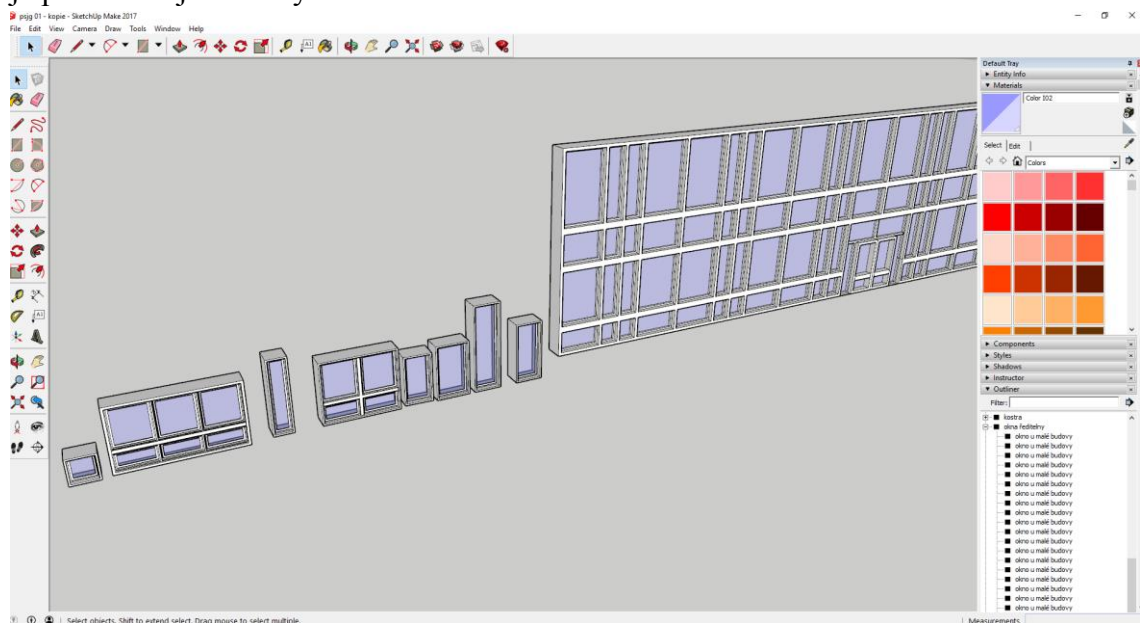
Z nakresleného půdorysu jsem funkcí *Push / Pull*, která slouží k vytažení plochy do prostoru, vytáhl jednotlivé stěny budovy do vyměřené výšky a tak vznikl třetí rozměr objektu – *osa Z*.



Obrázek 6 Vnější stěny budovy PSJG

4.3 Okna

Po vytvoření vnějších stěn jsem začal připravovat otvory pro okna a dveře pomocí funkce *Guide*, která slouží jako pravítko. Kliknutím na místo začátku osy a určením směru osy pomocí myši se zadá potřebná délka. Načrtnutá okna a dveře jsem obkreslil pomocí funkce *Line* a odstranil vnitřek obtažením funkcí *Push / Pull* a tím mi vznikly mezery pro okna. Jednotlivá okna měla různé rozměry, proto bylo nutné vytvořit více vzorů oken. Nejdříve jsem vytvořil obdélník okna a ten jsem funkcí *Push / Pull* vytáhl do výšky jednotlivých oken. Okraje a rámy oken jsem vytvořil, tak že jsem uchopil myši okraje oken a rovnoměrně je vytáhl funkcí *Offset*, která udrží tvar upravovaného objektu. Pro realistické působení okna, bylo zapotřebí tabuli skla zbarvit funkcí *PaintBucket*. Touto funkcí lze vybrat barvy a jejich texturu. Nutností bylo nastavit libovolný odstín modré barvy, neboť ta vytváří efekt skla a v nastavení této funkce jsem změnil průhlednost na 40%. Tento postup jsem opakoval pro všechny typy oken, ze kterých jsem následovně vytvářel skupinu. Nakonec jsem funkcí *Move* rozmístil jednotlivá okna do modelu. Tak, že jsem pomocí kliknutí pravého tlačítka myši na roh okna a posunem je přetáhl do jednotlivých okenních otvorů.

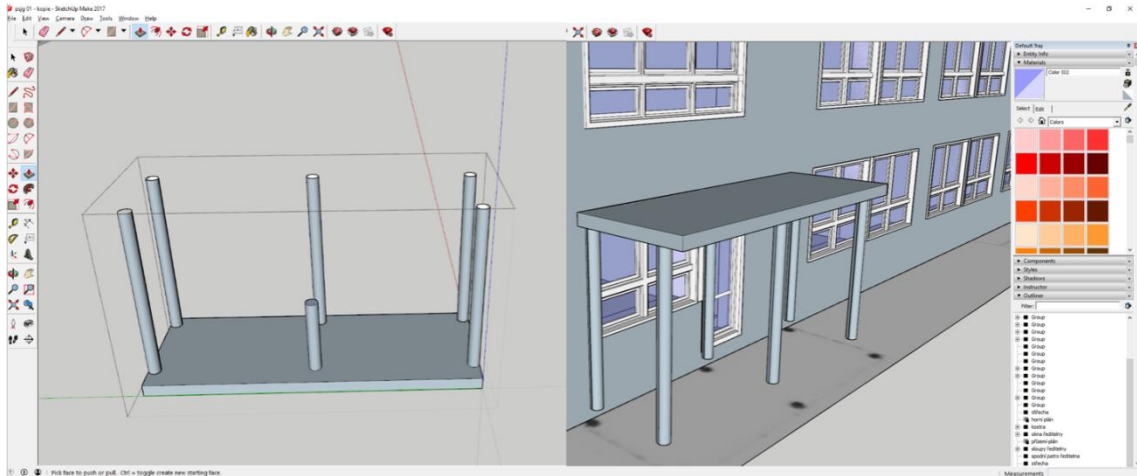


Obrázek 7 Okna PSJG

4.4 Přístřešky

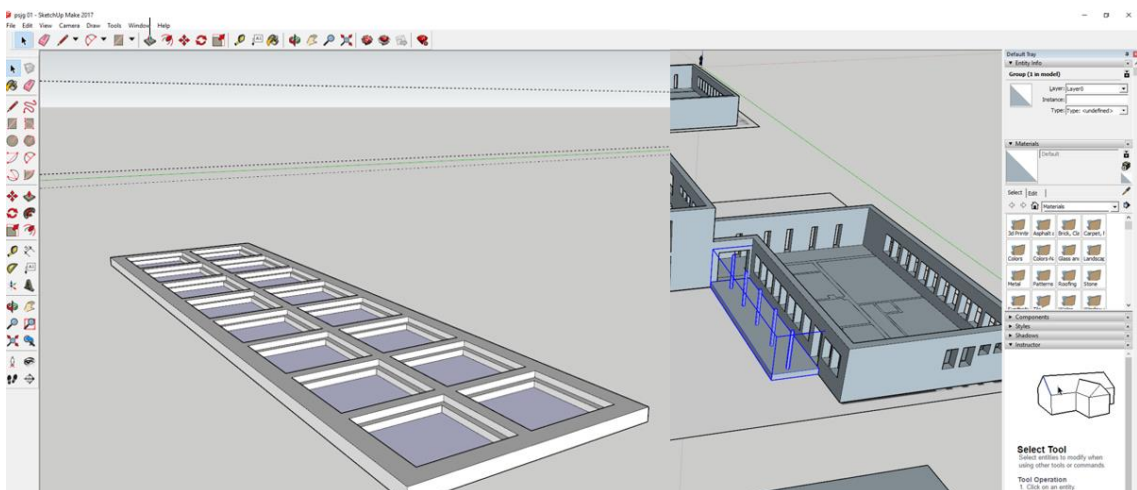
Pokračoval jsem vytvořením detailů budovy – dvou přístřešků ze zadní strany budovy. Problémem těchto přístřešků bylo, že stojí každý na 6 pilířích. Nejdříve jsem si vytvořil obdélník dle velikosti přístřešku a ten jsem pomocí funkce *Push / Pull* vytáhl do potřebné výšky, kterou jsem musel změřit, neboť v plánech nebyla zanesena. Dále jsem vyměřil polohu pilířů a funkcí *GUIDE* jsem načrtl jejich lokalizaci. Funkcí *Circle* bylo zapotřebí vytvořit podstavu pilířů. Kliknutím myši na místo středu podstavy a zadáním rozměru průměru vznikl kruh, který byl vytažen do 3. rozměru, opět pomocí funkce *Push / Pull*. Pro usnadnění práce jsem vytvořil z jedné podstavy pilíře komponent, když jsem

dvojklikem levého tlačítka označil celou podstavu a pravým tlačítkem vybral z možnosti komponent. Kopii komponentu jsem postupně nakopíroval pomocí *Ctrl* a uchopení funkcí *Move*. Jednou z výhod programu SketchUp je vytváření pomocných os v jakémkoliv směru při kopírování objektů. Po vytažení všech komponentů jsem celý soubor označil a vytvořil z něho skupinu, která mi umožnila připojit přístřešek lépe k budově. Stejnou metodou jsem připojil i druhý přístřešek.



Obrázek 8 Přístřešky

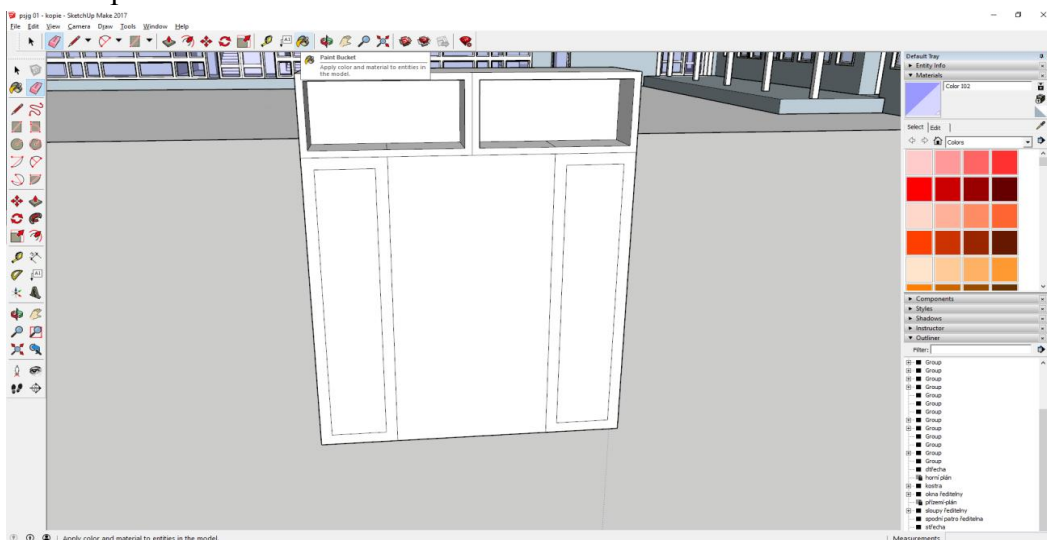
Pokračoval jsem nedávno vystavěným zastřešením chodníku, který propojuje budovy. Při vymodelování tohoto zastřešení jsem začínal podobně jako při vymodelování přístřešků. Zastřešení má prosklenou střechu, proto jsem musel po vymodelování pilířů ještě vytvářet toto prosklení. Pomocí funkce *Offset* jsem několikrát vykreslil okraj prosklení, aby působilo reálně. Opět jsem z objektů vytvořil skupinu a připojil ji k budově.



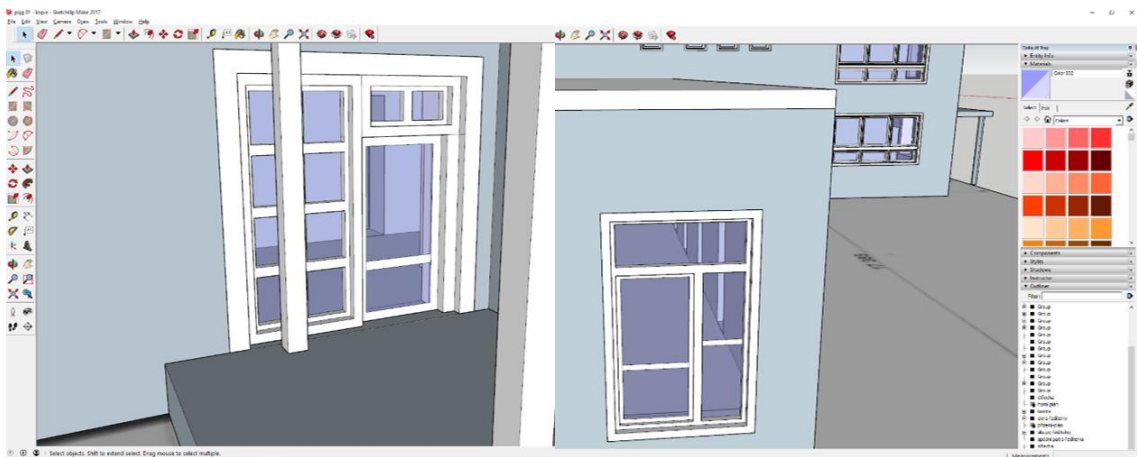
Obrázek 9 Zastřešení chodníku

4.5 Dveře

Následovala tvorba vchodových dveří. Gymnázium má více rozdílných vchodových dveří, proto bylo nutné vytvořit více druhů dveří, které mají různé prosklení a některé jsou i dvoukřídlé. U vymodelování dveří jsem v podstatě postupoval stejně jako u oken. Musel jsem také načrtnout otvory pomocí funkce *Guide*, obkreslit je pomocí funkce *Line* a odstranit vnitřek klávesou *Delete*. Vytvořil jsem si vzory dveří tím, že jsem obdélník vytáhl funkcí *Push/Pull* do výšky jednotlivých dveří. Znovu použitím funkcí *Guide* jsem vytvořil rámy dveří, které bylo zapotřebí následně obtáhnout. Pro vytvoření reálného efektu skla jsem zasunul nebo případně vysunul rámy a prosklení dveří. Zvolil jsem stejný odstín modré barvy a průhlednost 40% jako u oken. Celý objekt jsem označil levým tlačítkem myši a tím zvolil možnost vytváření skupiny. Nakonec jsem dveře rozmístil do modelu pomocí funkce *Move*.



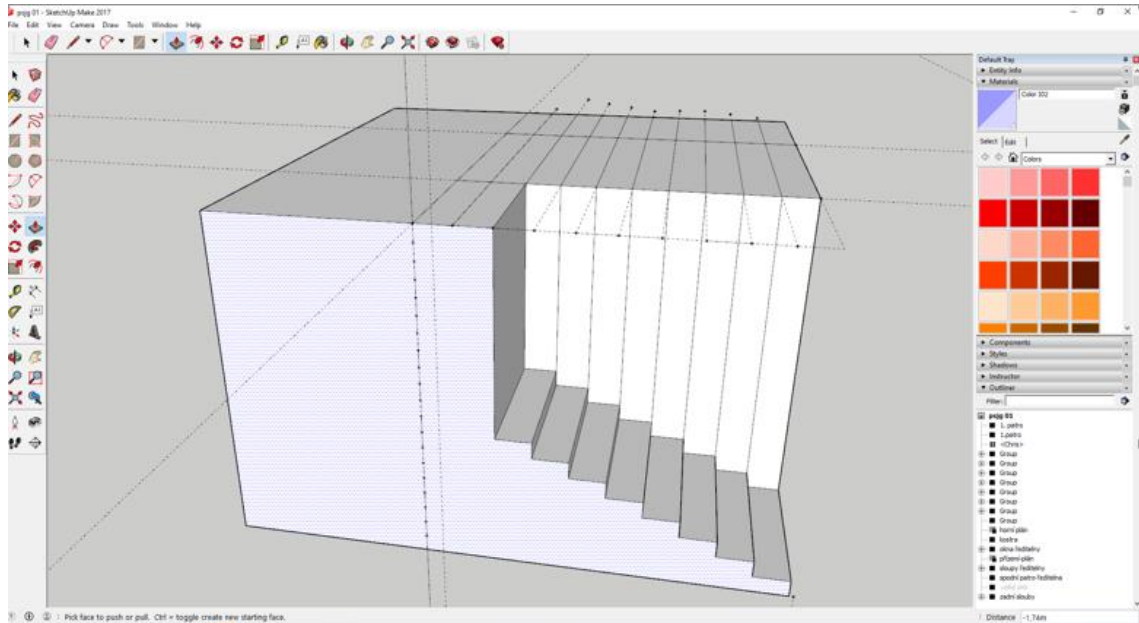
Obrázek 10 Tvorba dveří



Obrázek 11 Dveře

4.6 Schody

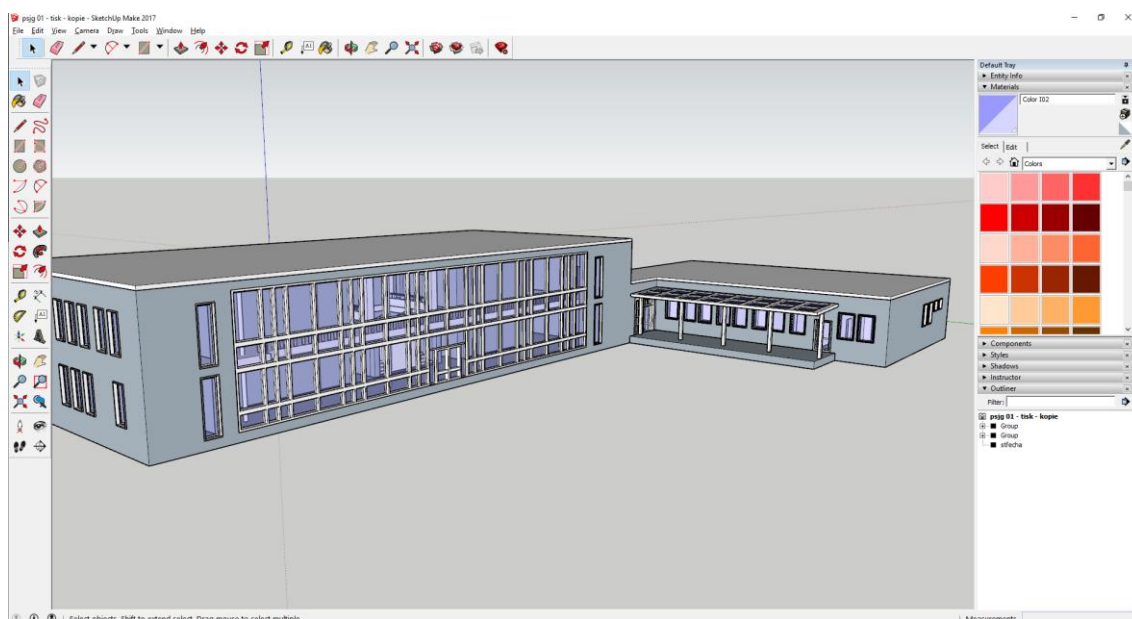
Pro vytvoření schodů bylo důležité zaměřit v modelu čtvercový prostor, kde se nacházejí schody. Vedle v prostoru jsem vymodeloval odpovídající čtverec, který jsem vytáhl funkcí *Push / Pull* do výšky druhého poschodí. Funkcí *Guide* jsem načrtl schody, jejich podestu a obtáhl jsem je funkcí *Line*. Poté bylo zapotřebí vymodelovat schody do správné výšky funkcí *Push / Pull*. Po vytvoření skupiny jsem schody zapracoval do modelu.



Obrázek 12 Schody

4.7 Patro

Na začátku bylo potřeba funkcí *Push / Pull* vytáhnout již zakreslené vnitřní stěny do výšky stropu přízemí celé budovy. Pro vytvoření 1. patra jsem musel přeměřit vnitřní obvod budovy. Podle toho jsem ve vedlejší ploše zakreslil obdélník, který jsem vymodeloval do patřičné výšky. Po vytvoření skupiny jsem ho zanesl do modelu. Zkopíroval jsem stěny přízemí a přidal je do 1. patra. Nakonec bylo nutné vytvořit zastřešení budovy. Střecha gymnázia je rovná, ale má dvě budovy v nestejně výšce, proto bylo zapotřebí vytvořit 2 správně vyměřené obdélníky a přemístit je do modelu. Tím byl 3D model budovy Prvního soukromého jazykového gymnázia v Hradci Králové hotový.



Obrázek 13 Hotový model

4.8 Tisk modelu

4.8.1 Úpravy před tiskem

Před tiskem modelu bylo nutné přidat rozšíření do programu SketchUp, abych mohl model uložit ve formátu STL, který vyžaduje program pro tisk.

3D model budovy gymnázia jsem musel upravit. Odstranil jsem výplně oken, protože prosklení nejde vytisknout.

Dříve, než se začal model tisknout, bylo nutné uložit ho do programu 3D tiskárny, kde se model ještě jednou zkontroloval a zmenšil pro potřeby tisku. V tomto programu byly také přidány podpurné sloupce, které byly zapotřebí hlavně ve spodní části budovy, protože je budova patrová. Dále byly zapotřebí přidat ještě u přístřešků budovy.

4.8.2 Tiskárna

K tisku modelu bylo použito tiskárny FLASH FORGE FINDER. Tato tiskárna má jednoduchý tvar, pro odeslání výtisku do tiskárny lze použít WIFI, kabel USB, Flash USB disk nebo SD kartu. Data pro tiskárnu lze snadno připravit v přiloženém ovladači, který komunikuje v českém jazyce. Tiskárna je poměrně tichá, při provozu vydává 47 dB, maximálně 50 dB. Největší výtisk této tiskárny je dán technologickým limitem stavební komory, kterou je krychle o hraně 14cm. Pro větší výtisky je již zapotřebí větší tiskárny. Tiskárna tiskne materiálem, který je možno zakoupit všude, není odkázána jen na jednoho výrobce. Nejvíce oblíbeným materiálem je PLA nebo jeho deriváty. Použití dalších materiálů záleží na charakteru modelu. Často se také používá termoplast ABS, který má však oproti PLA vyšší nároky na samotný tisk. ^[19]

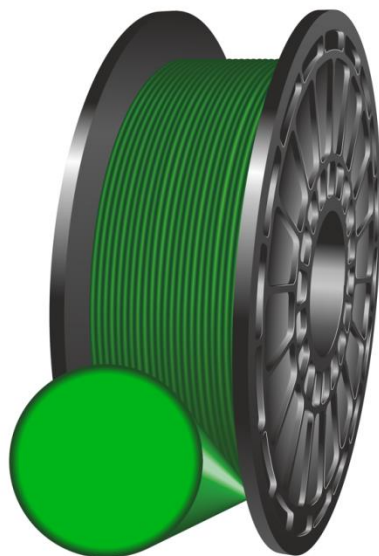


Obrázek 14FlashforgeFinder 3D^[19]

4.8.3 Materiál

Pro náš tisk byl použit materiál PLA ECO⁴LightGreen. Tento materiál se doporučuje jako startovní materiál pro začátek s 3D tiskem. Nízká teplotní roztažnost ho předurčuje i k tisku velkých dílů a to bez vyhřívané komory nebo podložky. Lze jím tisknout mechanicky málo namáhavé modely do 60°C. Výhodou tohoto materiálu je i jeho biologická odbouratelnost, která je dána tím, že je vyráběn z obnovitelných zdrojů jako kukuřičného nebo bramborového škrobu. PLA je často používán u tiskáren s více extrudery jako podpůrný materiál. ^[19]

⁴Bioplast PLA - plastická hmota vyrobená z biomasy. Dosahuje stejných vlastností jakoplast. Je možné jej biologicky zkompostovat, čímž nepředstavuje ekologickou zátěž. ^[20]



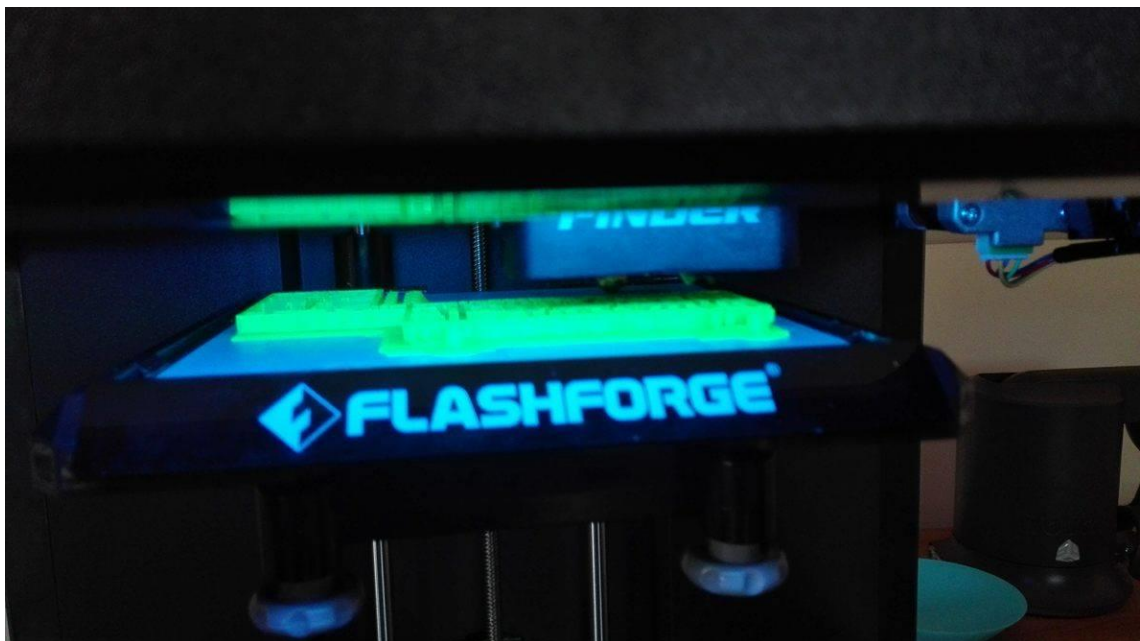
Obrázek 15 PLA ECO LightGreen^[19]

4.8.4 Tisk modelu

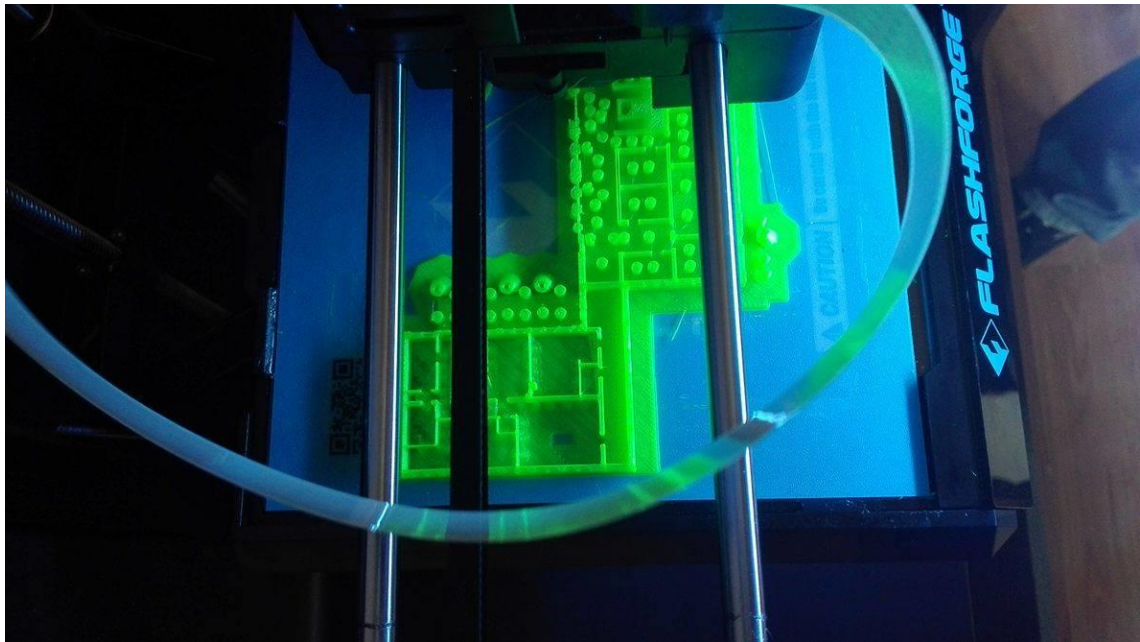
Tisk u tohoto druhu tiskárny probíhá postupným vrstvením materiálu na sebe. Jedná se o aditivní technologii tvorby modelů, při které dochází k roztavení materiálu a nanášení jej po vrstvách. PLA materiál jen natlačen do kanálu, který ho odvede do nahřáté trysky. Roztavený materiál je tlakem vytlačen na pracovní plochu, kde se v pomalých krocích tvaruje podle modelu. Samotný tisk modelu trval 6 hodin.



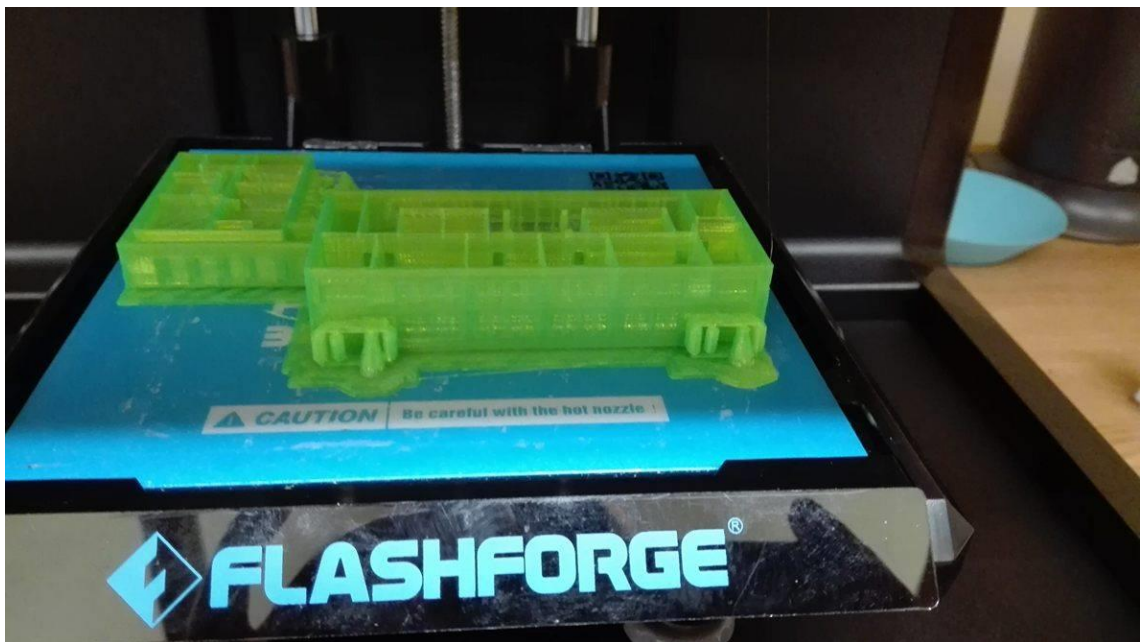
Obrázek 16 Displej 3D tiskárny



Obrázek 17 Průběh tisku



Obrázek 18 Průběh tisku - podpěry



Obrázek 19 Hotový výtisk

5. Diskuse

Při své práci jsem zjistil, že 3D modelování a tisk jsou už v dnešní době známou záležitostí. Existuje hodně programů pro 3D modelování a tak se musí uživatel rozhodovat, který se hodí právě jemu pro konkrétní model. Může se stát, že se bude muset naučit pracovat s více programy pro různé modely. I když si uživatel program vybere, stane se, že v průběhu práce zjistí, že se pro jeho model nehodí. Pak nezbyvá, než že musí vybírat znovu.

Dále je důležité porovnat programy pro 3D tisk a tiskárny. I tady je široká nabídka, ale pro daný model nemusí každý program vyhovovat.

Pro použití v domácnosti a pro malé firmy stačí jednodušší a levnější zařízení, prostřednictvím kterých i tak vytvoří poměrně dokonalé výrobky. Velké firmy pracují s týmem odborníků, kteří jistě dokáží vybrat správné zařízení.

I přes některá úskalí je 3D modelování a tisk velkým pokrokem a jeho využití bude stále větší. Značně totiž ulehčuje práci ve výrobě, protože zkracuje dobu od návrhu designu, přes tvorbu prototypu až po finální výrobu. Rozvoj 3D technologií nenahradí klasickou výrobu, ale doplní ji a pomůže ji zrychlit a zlevnit.

K vytištění modelu byla použita tiskárna, která pracuje s materiálem PLA a která je limitována stavební komorou tvaru krychle o hraně 14cm. Pro tisk bylo nutné model poměrově zmenšit.

Při použití větší tiskárny by byl vytištěný model větší a více podrobný. Lze použít i jiný druh 3D tiskárny, která pracuje s jinými materiály. Je možné vytisknout i objekt plastový, který je vyplněný voskem, jenž se později vypláchne teplou vodou a není pak problém se špatně odstranitelnými plastovými podpěrami. Další možností je vytištění modelu ze speciálního sádrového kompozitu, který 3D tiskárna vyztuží. Hotový model se ponoří do speciálního lepidla a nechá se zaschnout. Zde se prázdná místa vyplňují suchým kompozitem, který je následně z hotového modelu odsán. Tyto modely mají nevýhodu, že jsou velmi křehké.

6. Závěr

Projekt s názvem „*3D modelování a jeho praktické využití*“ je cílen na vytvoření modelu budovy Prvního soukromého jazykového gymnázia v programu SketchUp. V teoretické části je konkrétně popsán tento program i s vysvětlením jeho výběru. Jsou tam uvedeny i další programy pro použití ve 3D modelování a vypsány jednotlivé rozdíly mezi nimi. Dále jsou uvedeny základy 3D modelování, druhy skenerů a tisků. Důležitou součástí teoretické části práce je uvedení praktických příkladů použití 3D modelování.

V praktické části práce je vypracován postup 3D modelování budovy gymnázia. Model vznikl na základě zapůjčených plánů budovy, které byly neúplné, tudíž bylo zapotřebí pomocí matematické analýzy vyhodnotit neuvedené hodnoty. Někde byly i drobné rozdíly mezi plány a skutečností. Model byl vypracován podle skutečnosti.

Při tisku modelu se ukázalo, že model je složitý. Budova gymnázia je totiž dvoupatrová a při tisku modelu se vytvořilo mnoho podpěr, které v tomto případě nejdou odstranit. Také přístřešky budovy postavené na sloupech se projeví pro 3D tisk problémovými. Vhodnější by bylo vytisknout model z jiného materiálu a tím pádem i na jiné tiskárně. Tisk modelu by se ale výrazně prodražil.

Budova lze vymodelovat i pomocí jiných 3D programů a komparační analýzou porovnat reálnou vhodnost užití použitých programů na středních školách při výuce 3D modelování a informatiky. Zároveň lze aplikovat jinou metodu 3D tisku a porovnat vlastnosti jednotlivých vytištěných 3D modelů a po následovné analýze zvolit nejvhodnější typ 3D tiskárny do prostředí středních škol s ohledem na pořizovací náklady tiskárny a samotných tiskových materiálů.

Zhotovený model je názornou ukázkou smyslu 3D modelování při výuce informatiky a zároveň didaktickou pomůckou pro názornost metody FMD 3D tisku.

7. Použité zdroje a literatura

- [1] Počítačová 3D grafika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_3D_grafika
- [2] 3D computergraphics. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics
- [3] KRAUS, Josef. *Nejlepší bezplatný program pro 3D modelování* [online]. 2012 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/nejlepsi-bezplatny-program-pro-3d-modelovani/sc-3-a-163845/>
- [4] JANŮ, Stanislav. *5 nejlepších programů pro 3D modelování* [online]. 2014 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/5-nejlepsich-programu-pro-3d-modelovani/tinkercad/sc-3-a-175362-ch-94252/default.aspx#articleStart>
- [5] HyperTextMarkupLanguage. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/HyperText_Markup_Language
- [6] WebGL. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/WebGL>
- [7] DesignSparkMechanical. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/DesignSpark_Mechanical
- [8] *3DTin* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://3dtin.wordpress.com/>
- [9] 3D modeling. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling
- [10] ING., DRÁPELA, Miloslav. 3D modelování. 1. Velké Poříčí: SŠPTP, 2013.
- [11] *Souřadný systém* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/studium/materialy/autocad/acad_I_cz/zaklad/sour_system.html
- [12] ING., NAVRÁTIL, Robert. Technologie skenování ve 3D. 1. Velké Poříčí: SŠPTP, 2013.
- [13] 3D scanner. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2017 [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner
- [14] *3D skenování* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2851-3d-skenovani.html>
- [15] 3D printing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- [16] *3D tisk: nová technologie i velký business* [online]. 2013 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.dsl.cz/clanky/2933-3d-tisk-nova-technologie-i-velky-business>

- [17] SketchUp. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, 2016 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>
- [18] KUTAL, Martin. *3D MODEL MALÉ PEVNOSTI PAMÁTNÍKU TEREZÍN* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/17985/Bakalarska%20prace%20-%20Martin%20Kutal.pdf?sequence=1>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Karel Janečka, Ph.D.
- [19] *ABC3D* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://www.abc3d.cz/3d-tiskarny-top/flashforge-finder>
- [20] *Informace o bioplastu PLA* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <http://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>

8. Seznam obrázků

- Obrázek 1 Pravidlo pravé ruky
- Obrázek 2 Dotykový 3D skener
- Obrázek 3 Bezdotykový 3D skener
- Obrázek 20 Přízemí PSJG
- Obrázek 5 Podstava PSJG
- Obrázek 6 Vnější stěny budovy PSJG
- Obrázek 7 Okna PSJG
- Obrázek 8 Přístřešky
- Obrázek 9 Zastřešení chodníku
- Obrázek 10 Tvorba dveří
- Obrázek 11 Dveře
- Obrázek 12 Schody
- Obrázek 13 Hotový model
- Obrázek 14 FlashforgeFinder 3D
- Obrázek 1521 PLA ECO LightGrenn
- Obrázek 16 Displej 3D tiskárny
- Obrázek 17 Průběh tisku
- Obrázek 18 Průběh tisku - podpěry
- Obrázek 19 Hotový výtisk