Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií

Diplomová práce

Optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk

Bc. Ondřej Horálek

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Ondřej Horálek

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk

Název anglicky

Architectural models optimalization for 3D print

Cíle práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na problematiku optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk.
Hlavním cílem práce je optimalizovat architektonické modely pro 3D tisk.
Dílčí cíle práce jsou:
- Identifikace problémů tisku architektonických modelů bez předtiskové úpravy.
- Charakterizovat proces 3D tisku a tvorbu architektonických modelů.
- Návrh kritérií požadavků na 3D tisknuté architektonické modely.
- Zhodnocení a formulace závěrů.

Metodika

Teoretická část bude zaměřena na rešerši odborných zdrojů. Dále bude zkoumán a zhodnocen software pro tvorbu 3D modelů a software pro 3D tisk. Následně bude pro účely DP vymodelován referenční model, který bude sloužit jako podklad pro řízené rozhovory s architekty. Rozhovory budou vedeny za účelem zjištění požadavků pro 3D tisknuté modely z odborné praxe. Architekti budou tázáni ohledně požadavků na modely. Po zpracování získaných dat budou formulovány závěry a doporučení pro optimalizaci architektonických modelů pro 3D tisk.

Doporučený rozsah práce

60–80 stran

Klíčová slova

3D, tisk, architektura, modely, modelování, CAD

Doporučené zdroje informací

Ben Redwood: The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications
https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/
Liza Wallach Kloski, Nick Kloski: Getting Started with 3D Printing: A Hands-on Guide to the Hardware, Software, and Services Behind the New Manufacturing Revolution

---

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 10. 8. 2021

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2022 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D. za všechny cenné rady, čas a pomoc jak v rovině profesní, tak v rovině osobní, která dala za vznik této diplomové práci. Děkuji za pomoct všem architektům, kteří mi věnovali svůj čas při osobních rozhovorech a také komunitě 3D tiskařů, kteří mi pomohli s tiskem fyzických modelů. Na závěr bych rád poděkoval mé přítelkyni a rodině za jejich podporu při studiu.

Optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk. Navazuje tak na předchozí bakalářskou práci autora o použitelnosti 3D tisku v architektuře za účely tvorby modelů. Hlavním cílem této diplomové práce je optimalizovat architektonické modely pro 3D tisk.

Teoretická část diplomové práce pojednává o technologiích 3D tisku, jednotlivých typech tiskáren a jejich fungování. Dále definuje slicovací software potřebný k obsluze 3D tiskárny, programy pro architektonické virtuální modelování využívané v praxi a rekapituluje výsledky bakalářské práce.

Vlastní práce obsahuje volbu 3D tiskové technologie a výběr jednotlivých tiskáren a modelovacích programů na základě teoretických východisek. Pokračuje zhodnocením slicovacích programů pro účely 3D tisku, zkušebním tiskem s cílem zjištění problematických částí exportu modelu. Dále obsahuje definici předtiskových optimalizačních úprav modelů následovanou druhým zkušebním tiskem pro ověření bezchybnosti tisku fyzických architektonických modelů. Poslední částí vlastní práce je návrh polostrukturovaného rozhovoru a následně provedeného s architekty z praxe za účelem ověření získaných poznatků a jejich vyhodnocení.

Z výsledků práce plyne, že navržený soubor doporučených úprav pro předtiskovou optimalizaci modelu po aplikaci na virtuální model skutečně usnadní následný proces 3D tisku jak časově, tak finančně.

Klíčová slova: 3D tisk, modelování, architektonické modely, aditivní výroba, BIM

Architectural models optimalization for 3D print

Abstract

This diploma thesis focuses on the issue of optimalization of architectural models used for 3D printing. It builds on author's previous bachelor's thesis that discusses the usability of 3D printing in architecture in order to create architectural models of buildings. The main aim of this diploma thesis is to optimize architectural models for 3D printing.

The theoretical part of the thesis discusses 3D printing technologies, types of 3D printers and their functional basics. It also defines the slicing software that is needed to operate the 3D printer, programs for architectural virtual modeling based on the regular practice and summarizes the results of the bachelor's thesis.

The practical part examines the selection of 3D printing technology, of the 3D printers and of the modeling programs that was based on theoretical research. It continues with the evaluation of the slicing software (= slicer) for the purposes of 3D printing and follows up with a trial print done to identify problematic parts of the model export. The practical part of the thesis also contains a definition of pre-print optimization of models followed by a second print test to verify the flawlessness of the printing of 3D architectural models. The last part of the work is the design of a semi-structured interview that is consequently conducted with architects from practice to verify and evaluate the obtained results.

The results of the diploma thesis clearly show that the set of recommended adjustments for pre-print optimization of the 3D model after application to the virtual model will really reduce the subsequent process of 3D printing, both in time and finance.

Keywords: 3D print, modelling, architectural models, additive manufacturing, BIM

Obsah

1 Úvod ... 16

2 Cíl práce a metodika ... 17

2.1 Cíl práce ... 17

2.2 Metodika ... 17

3 Teoretická východiska ... 18

3.1 Vývoj 3D tisku ... 18

3.2 Technologie 3D tisku ... 19

3.2.1 Fused deposition modeling (FDM) ... 19

3.2.2 Stereolitografie (SLA) ... 24

3.2.3 Digital light processing (DLP) ... 24

3.2.4 Selective laser sintering (SLS) ... 26

3.2.5 Material jetting (MJ) ... 27

3.2.6 Drop on demand (DOD) ... 27

3.2.7 Sand binder jetting ... 28

3.2.8 Metal binder jetting ... 28

3.2.9 Direct metal laser sintering (DMLS) / Selective laser melting (SLM) ... 29

3.2.10 Electronic beam melting (EBM) ... 30

3.3 Slicovací software ... 30

3.4 Modelovací software v architektuře ... 31

3.4.1 BIM ... 33

3.4.2 Klasický modelovací software ... 36

3.6 Výsledky bakalářské práce ... 41

4 Vlastní práce ... 44

4.1 Volba 3D tiskové technologie ... 44

4.2 Vybrané 3D tiskárny pro testování ... 44

4.2.1 Průša i3 MK3S+ ... 45

4.2.2 Ultimaker 2+ ... 45

4.2.3 Creality CR-10 Max ... 45

4.3 Filament ... 46

4.4 Slicery pro vybrané 3D tiskárny a jejich zhodnocení ... 47

4.4.1 P-slicer ... 47

4.4.2 Cura ... 49

4.4.3 Creality ... 51

4.5 Nastavení vybraných tiskáren ... 52

4.5.1 Parametry tisku pro měřítko M 1:100 ... 52

4.6 Modelovací software ... 53

4.6.1 Archicad ... 53
4.6.2 Revit ... 53
4.6.3 SketchUp ... 54
4.7 Referenční model ... 54
4.7.1 Tvorba modelu ... 54
4.8 První zkušební tisk ... 56
4.8.1 Zkušební tisk – Archicad ... 56
4.8.2 Zkušební tisk – Revit ... 63
4.8.3 Zkušební tisk – SketchUp ... 69
4.9 Předtisková optimalizace modelu ... 74
4.9.1 Optimalizace modelu v programu Archicad ... 74
4.9.2 Optimalizace modelu v programu Revit ... 77
4.9.3 Optimalizace modelu v programu SketchUp ... 78
4.10 Druhý zkušební tisk ... 80
4.11 Návod polostrukturovaného rozhovoru ... 86
4.11.1 Vybrané otázky ... 88

5 Výsledky a diskuse ... 89
5.1 Vybrané slicery ... 89
5.2 První zkušební tisk ... 89
5.3 Optimalizace ... 90
5.4 Druhý zkušební tisk ... 91
5.5 Výsledky rozhovorů ... 93

6 Závěr ... 96

7 Seznam použitých zdrojů ... 97

8 Přílohy ... 101

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sestava tiskové hlavy 20
Obrázek 2 - Tiskárna kartézského typu od Průši (model i3 MK3S+) 21
Obrázek 3 – Tiskárna typu core XY (TronXY X5S) 21
Obrázek 4 - Tiskárna typu Delta (Anycubic Kossel Linear Plus) 22
Obrázek 5 - Tiskárna typu Polar (Polar 3D) 22
Obrázek 6 – Tiskárna typu Scara (FLX.ARM.S16) 23
Obrázek 7 - Princip tisku SLA 24
Obrázek 8 - Princip tisku DLP 25
Obrázek 9 - Princip tisku technologií SLS 26
Obrázek 10 - Princip tisku technologií MJ 27
Obrázek 11 - Vizualizace DOD tiskárny 27
Obrázek 12 - Princip tisku pomocí technologie sand binder jetting 28
Obrázek 13 - Schéma DMLS/SLM tiskárny 29
Obrázek 14 - Schéma EBM tiskárny 30
Obrázek 15 - Koláčový graf BIM softwarů v praxi pro rok 2019 32
Obrázek 16 – Pracovní prostředí softwaru Revit 33
Obrázek 17 - Pracovní prostředí softwaru Archicad 34
Obrázek 18 - Pracovní prostředí softwaru Allplan 35
Obrázek 19 - Pracovní prostředí softwaru Vectorworks 36
Obrázek 20 - Pracovní prostředí softwaru Rhino3D s použitím rozšíření Grasshopper 37
Obrázek 21 - Ukázka 3D návrhu koncertní haly Walta Disneyho v Los Angeles od Franka Gehryho 38
Obrázek 22 - Náhled modelu v programu SketchUp za použití řezu objektem 39
Obrázek 23 - Pracovní prostředí softwaru 3D Studio Max 40
Obrázek 24 - Náhled na hlavní pracovní prostředí Prusa Sliceru 48
Obrázek 25 - Proces přidání nové tiskárny do sliceru Ultimaker Cura 49
Obrázek 26 - Hlavní pracovní prostor sliceru Cura s volbou nastavení tisku 50
Obrázek 27 – Proces přidání nové tiskárny do sliceru Creality 51
Obrázek 28 - Hlavní pracovní prostor sliceru Creality s volbou nastavení tisku 52
Obrázek 29 - Náhled na vymodelovaný referenční model rodinného domu 55
Obrázek 30 - Vizualizace referenčního rodinného domu za použití virtuálního 3D modelu 55

Obrázek 31 - Referenční model po importu z programu Archicad do pracovního prostředí Prusa sliceru 57
Obrázek 32 - Referenční model z programu Archicad po slicování v prostředí Prusa sliceru 57
Obrázek 33 – Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí Prusa sliceru .. 58
Obrázek 34 - Referenční model z programu Archicad po importu do pracovního prostředí sliceru Cura 59
Obrázek 35 – X-Ray zobrazení modelu z programu Archicad v prostředí sliceru Cura 59
Obrázek 36 - Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí sliceru Cura.... 60
Obrázek 37 - Referenční model z programu Archicad po importu do pracovního prostředí sliceru Creality 61
Obrázek 38 - Referenční model z programu Archicad po slicování v prostředí sliceru Creality 61
Obrázek 39 - Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí sliceru Creality 62
Obrázek 40 - Referenční model po importu z programu Revit do pracovního prostředí Prusa sliceru 63
Obrázek 41 - Referenční model z programu Revit po slicování v prostředí Prusa sliceru .. 64
Obrázek 42 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí Prusa sliceru..... 64
Obrázek 43 - Referenční model z programu Revit po importu do pracovního prostředí sliceru Cura 65
Obrázek 44 - X-Ray zobrazení modelu z programu Revit v prostředí sliceru Cura 65
Obrázek 45 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí sliceru Cura..... 66
Obrázek 46 - Referenční model z programu Revit po importu do pracovního prostředí sliceru Creality 67
Obrázek 47 - Referenční model z programu Revit po slicování v prostředí sliceru Creality 67
Obrázek 48 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí sliceru Creality..... 68
Obrázek 49 - Referenční model po importu z programu SketchUp do pracovního prostředí Prusa sliceru 69
Obrázek 50 - Referenční model z programu SketchUp po slicování v prostředí Prusa sliceru 70
Obrázek 51 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí Prusa sliceru . 70

Obrázek 52 - Referenční model z programu SketchUp po importu do pracovního prostředí sliceru Cura 71
Obrázek 53 - X-Ray zobrazení modelu z programu SketchUp v prostředí sliceru Cura 72
Obrázek 54 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí sliceru Cura 72
Obrázek 55 - Referenční model z programu SketchUp po importu do pracovního prostředí sliceru Creality 73
Obrázek 56 - Referenční model z programu SketchUp po slicování v prostředí sliceru Creality 73
Obrázek 57 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí sliceru Creality 74
Obrázek 58 - Referenční model před a po úpravě drobných detailů 75
Obrázek 59 - Detaily modelu před zjednodušením 75
Obrázek 60 - Ukázka převedení objektů na morfy 76
Obrázek 61 - Proces sjednocení 76
Obrázek 62 - Logické rozdělení modelu na části dle převislých konstrukcí 77
Obrázek 63 – Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí Prusa sliceru 80
Obrázek 64 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí Prusa sliceru 81
Obrázek 65 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí Prusa sliceru 81
Obrázek 66 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura 82
Obrázek 67 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura 82
Obrázek 68 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí sliceru Cura 83
Obrázek 69 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura se zobrazení vnitřní výplně 83
Obrázek 70 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura v X-Ray zobrazení 84
Obrázek 71 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Creality 85

Obrázek 72 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí sliceru Creality 85
Obrázek 73 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí sliceru Creality 86
Obrázek 74 - Vytištěný referenční model na tiskárně Creality CR-10 MAX 91
Obrázek 75 - Vytištěný referenční model na tiskárně Ultimaker 2+ 91
Obrázek 76 - Vytištěný referenční model na tiskárně Průša i3 MK3S+ 92

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Tabulka porovnání hodnocených aspektů na referenčním modelu rodinného domu 41
Tabulka 2 - Porovnání statistik prvního a druhého zkušebního tisku 92
Tabulka 3 - Porovnání nákladů vynaložených na tiskový materiál při prvním a druhém zkušebním tisku 93
Tabulka 4 - Srovnání průměrů hodnocení senzorického testování architekty 94

Seznam použitých zkratek

3D – Three-dimensional (trojrozměrný)

ABS – Acrylonitrile butadiene styrene (Akrylonitrilbutadienstyren)

BIM – Building information modeling (Informační model budovy)

CAD – Computer aided design (Počítačem podporované projektování)

DLP – Digital light processing (Digitální projekce světla)

DMD – Digital micromirror device (Digitální mikrozrcadlové zařízení)

DMLS – Direct metal laser sintering (Přímé spékání kovového prášku laserem)

DOD – Drop on demand (Vyžádané dávkování)

EBM – Electronic beam melting (Tavení elektronovým paprskem)

FDM/FFF – Fused deposit modeling / Fused filament fabrication (Vytvrzování roztaveného filamentu)

MJ – Material jetting (Tryskání materiálu)

PC – Polycarbonate (Polykarbonát)

PET – Polyethylene terephthalate (Polyethylentereftalát)

PETG – Polyethylene terephthalate glycol-modified

PETT – Polyethylene-co-trimethylene terephthalate (Polyethylen-co-trimethylen tereftalát)

PLA – Polylactic acid (Polymléčná kyselina)

PTFE – Polytetrafluorethylen

SLA – Stereolitografie

SLM – Selective laser melting (Selektivní laserové tavení)

SLS – Selective laser sintering (Selektivní laserové spékání)

TPC – Thermoplastic copolyester (Termoplastický kopolyester)

TPE – Thermoplastic elastomer (Termoplastický elastomer)

TPU – Thermoplastic polyurethane (Termoplastický polyuretan)

UV – Ultraviolet (Ultrafialové)

1 Úvod

Aditivní výroba neboli 3D tisk se stále víc dostává do veřejného povědomí a mnoho odvětví jej standardně ve svém pracovním procesu využívá. V architektuře je jeho uplatnění zřejmé pro tisk reálných 3D domů, tam je však poměrně ještě dlouhá cesta vývoje a vyřešení mnoha problémů, nicméně první zkušební domy již vznikají a testují potenciál této technologie v běžné praxi. Podobně se tomu děje v architektonickém modelování. Klasickou formu modelování architektonických modelů doplňuje a někde již nahrazuje 3D tisk. Zejména mladí architekti, kteří již při studiu tuto technologii vyzkoušeli a poznali její výhody, k ní inklinují častěji než ke klasickým způsobům tvorby modelů.

Existují různé typy programů, které architekti v praxi využívají pro tvorbu virtuálních modelů. Dle zjištění organizace NBS z Velké Británie v roce 2019 přes 60 % projekčních a architektonických kanceláři dává přednost programům typu BIM před klasickými 2D CAD programy. Rostoucí popularita BIM softwaru je v praxi patrná a jedná se tak o nový standard.

Z mnoha rozhovorů s mladými architekty je však patrné, že i přestože většina moderních CAD/BIM programů disponuje nástroji pro export 3D modelu do tiskového formátu, není to tak jednoduché a rozhodně tisk z těchto programů nefunguje na jedno kliknutí. Architekti v praxi též rádi využívají softwarové nástroje z řad klasických modelovacích programů jako je například SketchUp pro účely tvorby vizualizací. I z těchto klasických modelovacích programů je výsledkem virtuální 3D objekt, který by mohl být podkladem pro tisk fyzického architektonického modelu. Stejně jako u předcházející bakalářské práce byla hnacím motorem zvídavost, zdali je „Využití 3D tisku v architektuře“ nedoceněno z důvodu vysokých nákladů nebo jiných aspektů, tak je hnacím motorem této práce zvídavost, proč tisk z modelovacích programů nefunguje na jedno tlačítko. Zároveň také, jaké jsou rozdíly mezi modely exportovanými z BIM a klasických modelovacích programů.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Diplomová práce je tematicky zaměřena na problematiku optimalizace architektonických modelů pro 3D tisk.

Hlavním cílem práce je optimalizovat architektonické modely pro 3D tisk.

Dílčí cíle práce jsou:

- Identifikace problémů tisku architektonických modelů bez předtiskové úpravy.
- Charakterizovat proces 3D tisku a tvorbu architektonických modelů.
- Návrh kritérií požadavků na 3D tisknuté architektonické modely.
- Vybrat nejvhodnější tiskárnu pro architektonické 3D tištěné modely
- Zhodnocení a formulace závěrů.

2.2 Metodika

Teoretická část bude zaměřena na rešerši odborných zdrojů a na výsledky předcházející bakalářské práce. Dále proběhne volba tiskové technologie a výběr testovaných tiskáren pro zkušební výtisky s hodnocením slicovacího softwaru pro 3D tisk. Následně bude provedena volba nejčastěji používaných modelovacích programů v praxi na základě teoretických východisek z teoretické části. Za účelem diplomové práce bude následně vymodelován referenční model, který bude konvertován do ostatních modelovacích softwarů, a poté bude podkladem pro testovací tisk. Zkušební tisk bude rozdělen do dvou opakování, první proběhne bez předtiskové optimalizace modelu pro identifikaci vzniklých problémů. Následně proběhne optimalizace virtuálního architektonického modelu na základě dostupných zdrojů následována druhým zkušebním tiskem. Výtisky druhého zkušebního tisku po optimalizaci modelu budou použity pro polostrukturované rozhovory s architekty z praxe, které budou navrženy za účelem ověření získaných výsledků s běžnou praxí. Součástí rozhovorů s architekty bude senzorické hodnocení finálních výtisků po optimalizaci. Po zpracování získaných dat budou formulovány závěry a doporučení pro optimalizaci architektonických modelů pro 3D tisk.

3 Teoretická východiska

Mezi teoretickými východisky diplomové práce bude probrána základní technologie 3D tisku, principy samotného fungování a jednotlivých technologií, dále bude stručně probrán vývoj 3D tisku a jeho počátky. Další východiska této práce bude tvořit pár vybraných modelovacích softwarů z oblasti architektury. Budou probrány nejpoužívanější programy pro tvorbu virtuálních 3D modelů jak z kategorie BIM softwarů, tak z kategorie klasických modelovacích programů.

Závěr teoretických východisek bude tvořit shrnutí výsledků a závěrů předcházející bakalářské práce, na kterou tato diplomová práce navazuje, a čerpá z ní výsledky jako podklad pro předtiskovou optimalizaci architektonických modelů pro 3D tisk.

3.1 Vývoj 3D tisku

3D tiskem se nazývá proces, při kterém se vytváří fyzický model na základě jeho digitální předlohy, vytvořené v softwaru pro tvorbu 3D objektů (Stříteský, 2019; Horálek, 2020).

Myšlenka takové 3D tiskové technologie se zrodila poprvé na konci 80. let. Tehdy byla známá pod názvem Rapid Prototyping (RP) (Kováčik, c2018; Horálek, 2020).

Technologie Rapid Prototyping se využívala nejdříve v průmyslu pro nenákladné a časově nenáročné prototypy. Ty vznikaly za účelem otestování výrobku před uvedením na samotný trh. Výrobky se tak testovaly zejména z pohledu ergonomie apod. Veřejnost si takovou technologii v té době nemohla dovolit kvůli vysokým pořizovacím nákladům, pro průmysl ale znamenala spousty ušetřených peněz (Stříteský, 2019; Horálek, 2020).

V roce 1983 Charles Hull prvně představil svůj stereolitografický přístroj (SLA). Roku 1986 Charles Hull získal patent pro svůj přístroj SLA. Zisk patentu dal za vznik společnosti 3D Systems Corporation založené Charlesem Hullem. Společnost prosperuje v oboru 3D tisku dodnes (Kováčik, c2018; Horálek, 2020).

Kolem konce 80. let se objevily ještě tyto technologie 3D tisku:

- Ballistic Particle Manufacturing (BPM) – William Masters
- Laminated Object Manufacturing (LOM) – Michael Feygin
- Solid Grounding Curing (SGC) – Itzchak Pomerantz
- Trojrozměrný tisk (3DP) – Emanuel Sachs (Kováčik, c2018; Horálek, 2020)

Mezi lety 2000 až 2009 se začal sektor 3D tisku rozdělovat na dvě specifické oblasti, jež jsou jasně definovány až dnes. Prvním směrem byl high-end 3D tisk, zaměřující se na složité součástky, který byl finančně náročný. Tento směr je dnes nejvíce viditelný v oboru letectví, automobilitě, lékařství a šperkařství. Druhým směrem je odvětví označované jako „koncepční modelářství“. Zaměření 3D tiskáren mělo za cíl zlepšení koncepčního vývoje funkčních prototypů, ty byly záměrně vyvíjeny jako nízkonákladové a uživatelsky přívětivé pro malé výrobce. Toto odvětví se dá považovat za předchůdce aktuálních stolních tiskáren, nicméně v té době byly stále spíše průmyslové (Stříteský, 2019; Horálek, 2020).

Roku 2007 přišla na trh první tiskárna s cenou do 10 000 dolarů od společnosti 3D Systems. Tato tiskárna na trhu neuspěla tak, jak se očekávalo, přičemž jednou z příčin byla konkurenční tiskárna na trhu s cenovkou pod 5 000 dolarů. Zpětně je rok 2007 považován za zlomový, tehdy se technologie 3D tisku zpřístupnila širší veřejnosti (Kováčik, c2018; Horálek, 2020).

Po tom všem následoval open source projekt RepRap doktora Adriana Bowyera a jeho týmu. Projekt RepRap měl za cíl navrhnout takovou tiskárnu, která dokáže vytisknout co nejvíce vlastních součástek, aby tak tiskárny mohly tisknout další tiskárny. U nás v České republice je nejznámějším představitelem projektu RepRap Josef Průša. Ten má na svém kontě celosvětově známou tiskárnu i3, která získává mnohačetná ocenění mezi komunitou tiskařů (Stříteský, 2019; Horálek, 2020).

3.2 Technologie 3D tisku

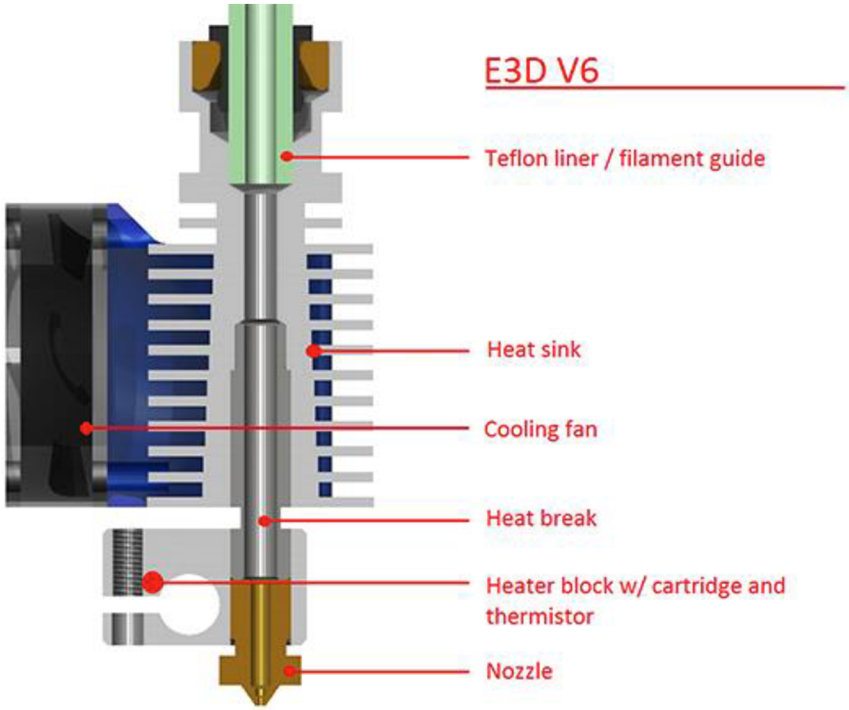
3.2.1 Fused deposition modeling (FDM)

Technologie tisku známá též pod zkratkou FFF (Fused Filament Fabrication. Technologie funguje na principu extruze materiálu. Obecně je tato technologie cenově nejdostupnější, a proto též nejznámější. Při samotném tisku dochází nejprve k roztavení plastové struny, známé spíše pod názvem filament, v tiskové hlavě při nastavené teplotě dle materiálu. Tisková hlava na tiskové podložce sleduje předdefinovanou trasu, po které klade tavený filament. Filament (materiál) ihned po vytlačení z trysky chladne a dochází tak k vytvrzení. Pohybem hlavy po tiskové podložce a vytlačováním filamentu po jednotlivých vrstvách tak vzniká fyzický model. Technologie typu FDM/FFF technologicky neumožňuje tisk do volného prostoru, vždy je nutné tisknout na pevný podklad. Proto se v případech, kde má tisknutý model převislou hmotu, využívají podpěry, na kterých tisk pokračuje, a které se

následně po dokončení tisku mechanicky odstraní od zbytku modelu (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Kloski, 2016; Horálek, 2020).

Tisková hlava

Primární částí tiskové hlavy je takzvaný hotend (obr. 1), který je velmi důležitý pro kvalitní tisk. Samotný hotend se skládá z různých dílů, které obstarávají chlazení a tavení filamentu. Filament je extrudován do tiskové hlavy v teflonové trubičce, a je velmi důležité, aby nedocházelo k jeho tavení dříve než na samotném konci sestavy hotendu, jinak by docházelo k uspání celé tiskové hlavy roztaveným filamentem. Chladící část se nazývá heat sink, ten je oddělený od heater blocku za pomoci heat break. Heat break je dimenzován tak, aby v něm docházelo k minimální tepelné vodivost z heat blocku směrem do heat sinku. Tryska (nozzle) samotná, z které dochází k vytlačování taveného filamentu, je umístěna na konci hotendu. Standardně se používá u většiny dostupných tiskáren tryska kovová, avšak existuje alternativní tryska s PTFE (teflonovou) trubičkou. Teflonová trubička poskytuje velmi nízký koeficient tření a z tohoto důvodu nedochází k usazování roztaveného materiálu v trysce. Avšak teflonovou trubičku nelze použít pro tisk některých druhů filamentu, zejména těch, které se taví při 250 °C a více, jelikož teflon při této teplotě měkne a uvolňuje do ovzduší toxické plyny (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).



Obrázek 1 - Sestava tiskové hlavy
Zdroj: Redakce SHW, c1998-2020

Typy FDM tiskáren

Kartézská 3D tiskárna – je v dnešní době tou nejdostupnější 3D tiskárnou na trhu. Princip jejího fungování je založený na pohybu v osách X, Y, Z, proto je označována jako kartézská (obr. 2). Výrobci tiskáren tohoto typu pohyb v osách řeší různými způsoby. Někteří nabízejí pohyb podložky v ose Y a extrudér se pohybuje pouze v osách X a Z. Jiní výrobci nabízejí podložku fixní, toto řešení je ovšem dražší. Tisková plocha těchto tiskáren se v dnešní době pohybuje standardně kolem 20-30 cm ve všech třech rozměrech. Existují však již tiskárny, které nabízejí tiskovou plochu kolem 45 cm po všech osách (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).

Obrázek 2 - Tiskárna kartézského typu od Průši (model i3 MK3S+)
Zdroj: (PRUSA RESEARCH, [2021])

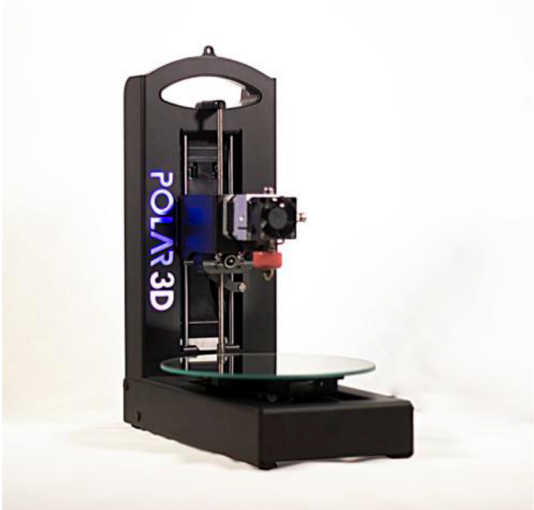
Core XY – tento typ je založený na principech tiskárny kartézského typu, avšak nabízí vyšší tiskové rychlosti, protože nedochází k pohybu modelem po ose Y (obr. 3). Nedochází tak k chvění modelu a tím vznikajícím nepřesnostem vrstev jako je tomu například u kartézského typu (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).

Obrázek 3 – Tiskárna typu core XY (TronXY X5S)
Zdroj: Sham, [2017]

Delta typ – vychází též z kartézské soustavy, avšak tento typ má tiskovou hlavu zavěšenou na třech hybných ramenech (obr. 4), která se starají o pohyb v osách X, Y, Z. Výhodou tiskárny typu delta je její schopnost tisknout modely vyšší ve směru osy Z, jelikož tiskárna má tiskový prostor značně větší ve směru této osy (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).

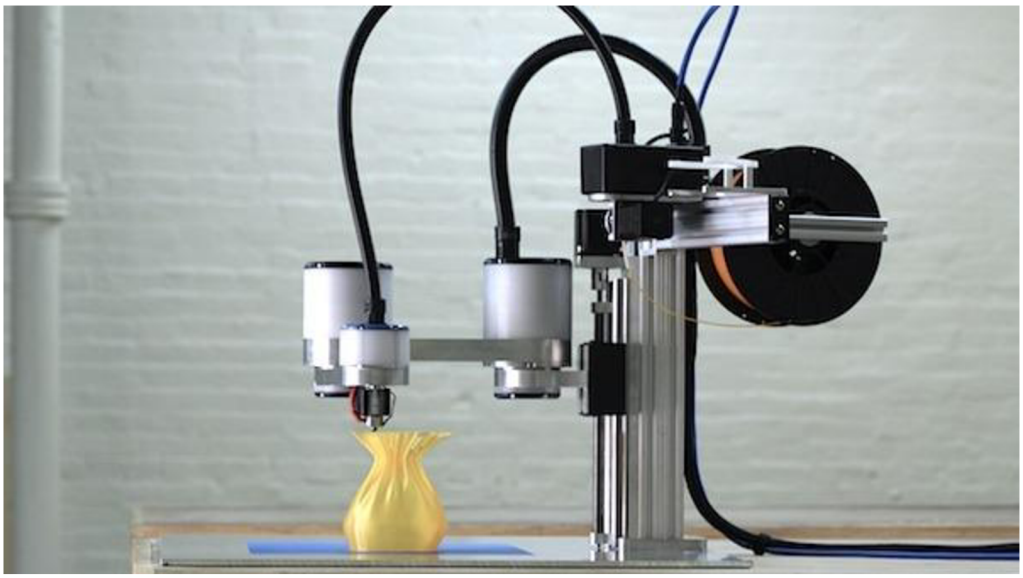
Obrázek 4 - Tiskárna typu Delta (Anycubic Kossel Linear Plus)
Zdroj: XYZprint, c2019

Polar typ – představuje poměrně zajímavé řešení, kde je tisková hlava fixní v osách X, Y a pohybuje se pouze ve směru osy Z (obr. 5). Tisková podložka se otáčí a kompenzuje tak pohyb fixní hlavy v ose X a Y. Avšak otočná tisková podložka nemůže být vyhřívaná, protože by docházelo k překroucení kabeláže. Dle webových stránek výrobce lze říci, že byl vývoj tohoto typu ukončen (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).



Obrázek 5 - Tiskárna typu Polar (Polar 3D)
Zdroj: Polar, [2016]

Scara – je okrajovou kategorií pro nadšence do 3D tisku (obr. 6). Tisk probíhá za pomoci dvou mechanických ramen, která pohybují s tiskovou hlavou na konci, a kterou tak přesouvají po tiskové podložce. Celá sestava mechanických paží pak stoupá v ose Z, podložka je tedy fixní bez pohybu (Redakce SHW, c1998-2020; Horálek, 2020).



Obrázek 6 – Tiskárna typu Scara (FLX.ARM.S16)
Zdroj: 3ders, c2011-2019

Filament

Filament je materiál, který se používá pro 3D tisk metodou FDM/FFF. Klasicky se jedná o plastovou strunu, která se extruduje do tiskové hlavy. Následně dochází k jejímu tavení a kladení tryskou na požadované místo. Filament má běžnou tloušťku struny 1,75 mm až 3 mm. Existuje mnoho druhů filamentu, od základních až po profesionální. Mezi běžně užívané druhy filamentu patří například: PLA, ABS, PETG (PET, PETT), Nylon, TPE, TPU, TPC, PC. Tyto druhy mají pochopitelně různé vlastnosti užití a různé teploty tavení, se kterými je vždy nutno počítat pro korektní tisk (Rohringer, [2021]; Plastics for 3D Printing, 2016; Horálek, 2020).

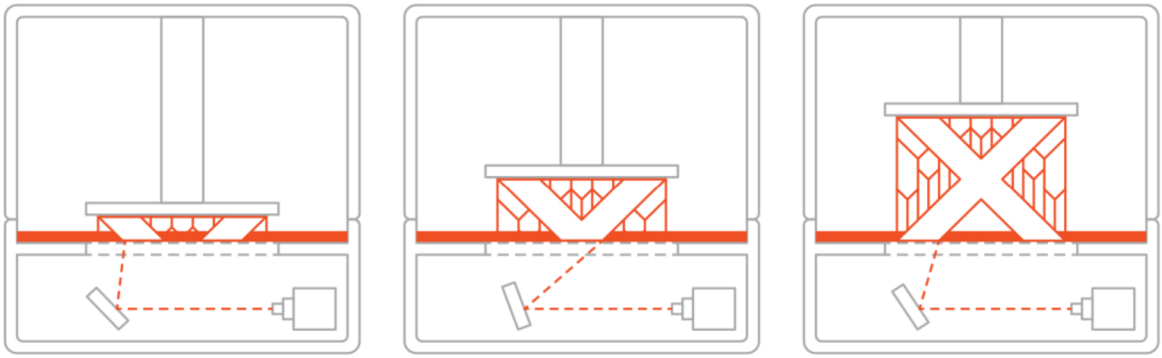
Vždy je dobré si o daném typu vyhledat všechny informace, některé filamenty nejsou vhodné pro styk s potravinami a například ABS filament při tavení uvolňuje toxický zápach, s tím vším je potřeba při tisku počítat (ABS, c2022; Horálek, 2020).

3.2.2 Stereolitografie (SLA)

Stereolitografie byla vyvinuta Chuckem Hullem roku 1986, jedná se tak o první technologií 3D tisku na světě. SLA je založeno na polymerizaci v kádi (Homola, c2019; Horálek, 2020).

Technologie funguje na principu vytvrzování pryskyřice v kádi pomocí laseru (obr. 7). Tiskárna pomocí zrcátek, kterým se říká galvanometry, odráží paprsek laseru v kádi s pryskyřicí, a tak vytvrzuje vrstvu po vrstvě. Jeden galvanometr je umístěn na ose X a druhý na ose Y. Nevýhodou této technologie je poměrně větší časová náročnost vytvrzování, jelikož nedochází k vytvrzení celé vrstvy najednou jako tomu je u následující technologie DLP (Homola c2019; Industrial Materials and Methods, 2016; Horálek, 2020).

Technologie SLA umožňuje vytvářet velké modely s dobrými fyzikálními vlastnostmi. Nevýhodou ale může být vyšší cena jak samotné tiskárny, tak materiálů (Homola, c2019; Horálek, 2020).

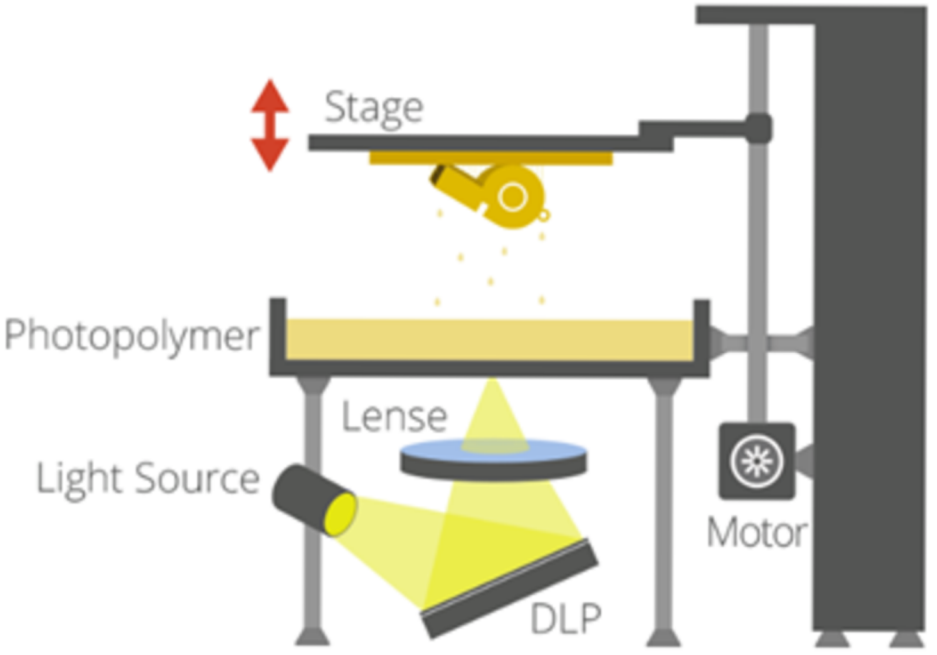


Obrázek 7 - Princip tisku SLA
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019

3.2.3 Digital light processing (DLP)

Digital light processing je technologie založená na podobném principu jako technologie SLA. Dochází též k vytvrzování pryskyřice v kádi pomocí světla. DLP však oproti SLA vytvrzuje celou vrstvu najednou. Vytvrzení probíhá pomocí promítnutí celé jedné vrstvy digitálním projektorem, a tak dochází ke značné úspoře času oproti technologii SLA. Digitální projektor, který promítá celou vrstvu, je ve skutečnosti digitální obrazovkou a z toho důvodu se jednotlivé vrstvy skládají ze čtvercových pixelů, kterým se při tisku říká „voxely“ (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek, 2020).

O projekci vrstvy do pryskyřice se stará obrazovka z LED diod nebo UV lampa (obr. 8), její svit je směrován na místo pomocí Digital Micromirror Device (DMD). Jedná se o pole mikro zrcadel, které řídí směr svitu UV lampy (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek, 2020).

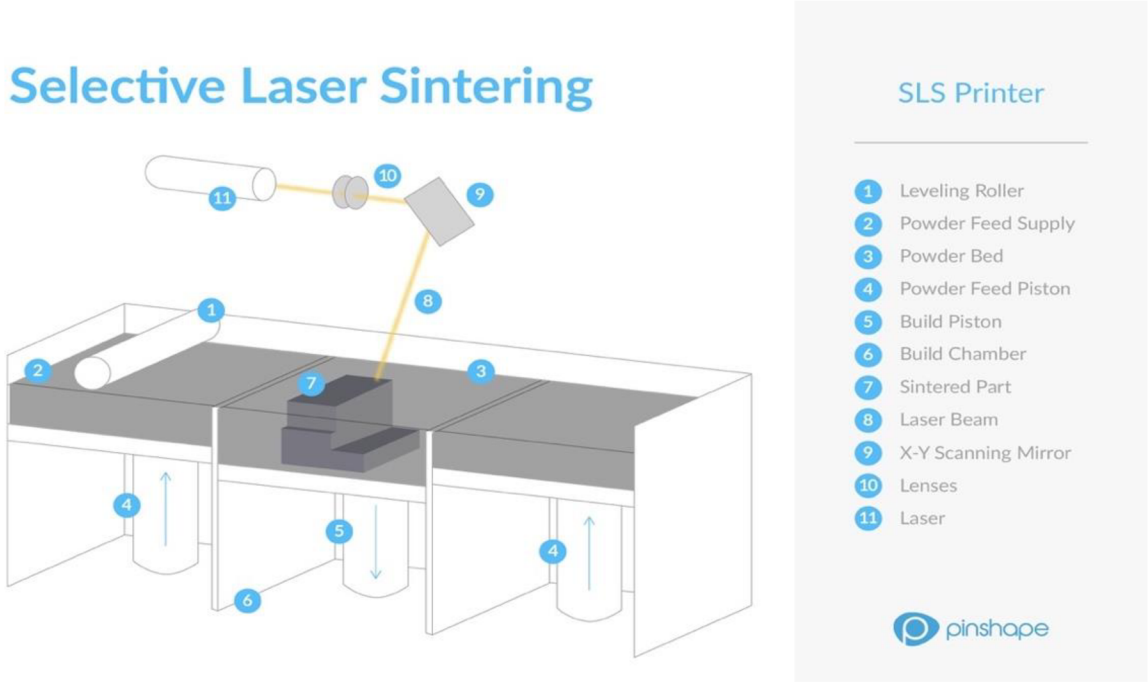


Obrázek 8 - Princip tisku DLP
Zdroj: Prudhvi, c2014-2019

3.2.4 Selective laser sintering (SLS)

SLS (obr. 9) podobně jako SLA vytvrzuje materiál odraženým paprskem laseru. Oproti SLA, kde se využívá pryskyřice, se zde využívá polymerový prach, který je umístěn v kádi. Zde je následně polymerový prach zahřát lehce pod hranici tavení a speciální nůž nebo stěrka zarovná sypký polymer v kádi do roviny. Parsek laseru poté sleduje tvar tisknutého objektu po vrchní část kádě s polymerem, a tak dojde k jeho spečení. Po dokončení celé vrstvy podložka v kádi se sypkým polymerem klesne níž, o výšku jedné vrstvy, a speciální stěrka opět rozprostře polymerový prach do roviny a celý proces se opakuje. Tyto kroky se opakují, dokud není celý objekt vytisknut. Po vytisknutí se výtisk vyndá a očistí od zbytků polymerového prachu (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Industrial Materials and Methods, 2016; Horálek, 2020).

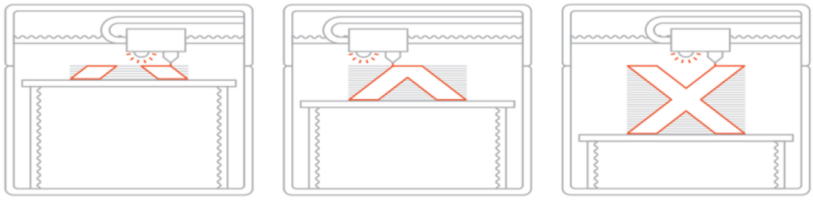
Poddruhem SLS je pak Micro Selective Laser Sintering (µSLS). Oproti běžnému SLS s polymerovým prachem se zde pracuje s kovy. Princip fungování je stejný jako u klasického SLS, avšak díky velmi drobnému měřítku na mikro úrovni je tato technologie µSLS schopna produkovat opravdové kovové součástky s přesností pod 5 µm s rychlostí 60 mm^3/hodinu (All3DP, [2022]).



Obrázek 9 - Princip tisku technologií SLS
Zdroj: Pinshape, c2017

3.2.5 Material jetting (MJ)

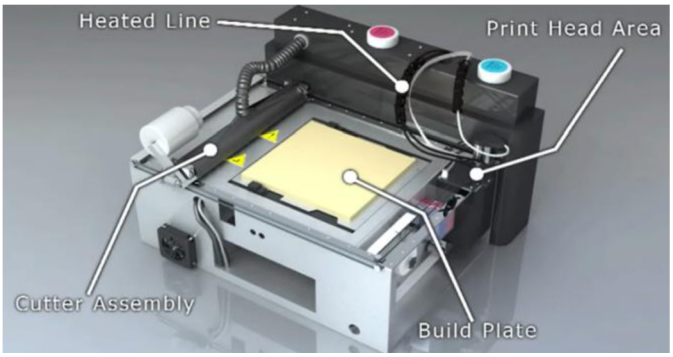
V principu jde o velmi podobnou technologii klasické laserové tiskárně. Zde však nedochází k tisku pouze jedné vrstvy, ale tisku více vrstev na sebe (obr. 10). Podobně jako je tomu u běžné tiskárny, i zde zanechá tisková hlava kapičky fotopolymeru na požadovaných místech. Tento fotopolymer reaguje na UV světlo a UV lampa, která je součástí tiskárny, následně polymer osvitem vytvrdí, aby mohlo dojít k nanesení další vrstvy. Tisková plocha následně klesne o tloušťku vrstvy a proces se opakuje znovu. Oproti jiným technologiím se Material jetting liší tím, že vrstvy nejsou kladeny bodově, ale lineárně. Díky tomu mohou tyto tiskárny tisknout v jedné rovině více modelů bez dopadu na rychlost tisku. Lze tím maximalizovat produkci. Podpěry objektů se tisknou souběžně s tiskem vytvrzených vrstev, ale z materiálu, který je po dokončení tisku rozpustitelný (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Industrial Materials and Methods, 2016; Horálek, 2020).



Obrázek 10 - Princip tisku technologií MJ
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019

3.2.6 Drop on demand (DOD)

Tisk je prováděn za pomoci dvou trysek (obr. 11). První tryska slouží k extruzi tiskového materiálu a druhá tryska extruduje materiál pro podpěry, které jsou po dokončení rozpustitelné. Typickým materiálem pro tisk metodou DOD jsou materiály na bázi vosku a vrstvy jsou při tisku kladeny bodově. Tato technologie využívá před tiskem další vrstvy speciální frézku, která předchozí vrstvu upraví do absolutní roviny, a tak ji připraví na další vrstvu (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek, 2020).

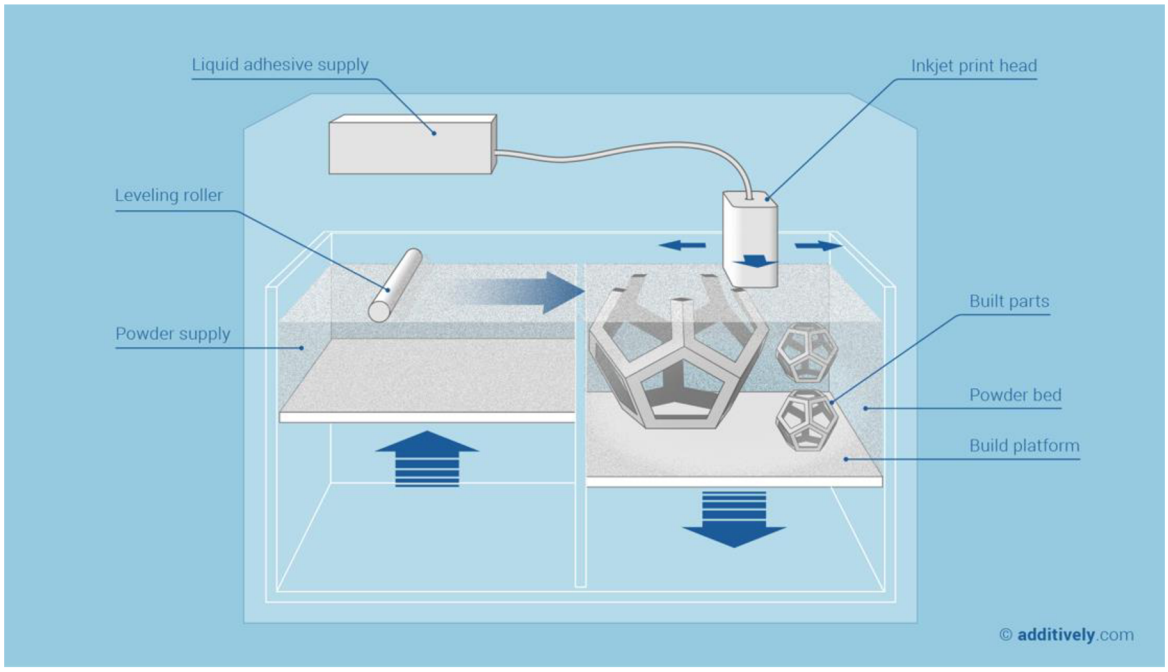


Obrázek 11 - Vizualizace DOD tiskárny
Zdroj: SolidscapeInc, 2011

3.2.7 Sand binder jetting

Funguje na principu spojování vrstev písku za užití pojiv, díky tomu je možno tisknout barevné objekty. Proces tisku (obr. 12) probíhá za pomoci tiskové hlavy, která nanese na písek zarovnaný do vodorovné roviny pojivo. Nanesená vrstva pojiva se následně překryje vrstvou nového písku. Proces se takto opakuje až do konce tisku. Po vytištění je třeba objekt očistit od volných zrnek písku, která na modelu ulpěla (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek, 2020).

Sand binder jetting se využívá zejména pro tvorbu forem při odlévání. Formy se vytisknou stejným způsobem, očistí se a po složení jsou připraveny ihned k odlévání. Po odlití a vytvrdnutí materiálu do forem dochází ke zničení formy. Přesto, že se formy ničí, je tento postup finančně výhodný a tato technologie se jednoduše implementuje do stávající výroby (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek 2020).



Obrázek 12 - Princip tisku pomocí technologie sand binder jetting
Zdroj: Additively, c2019

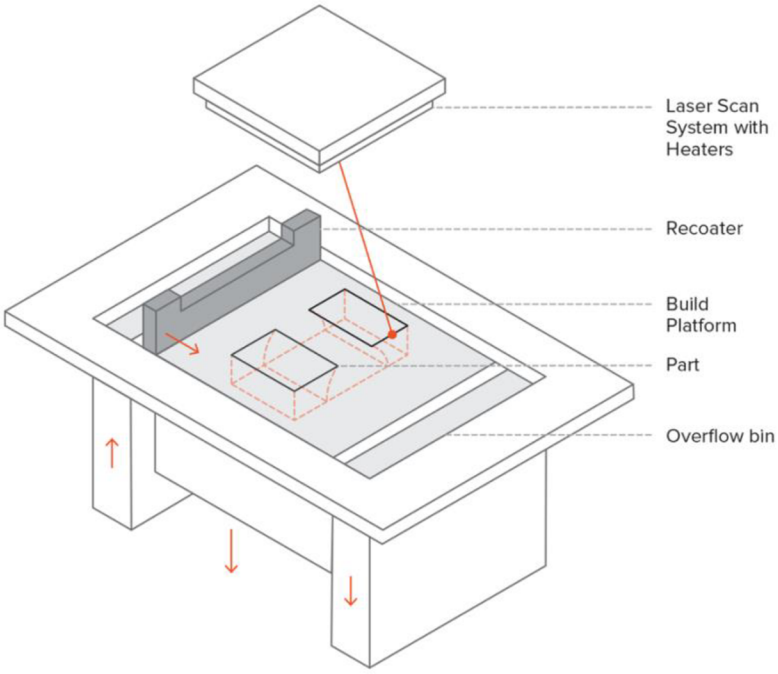
3.2.8 Metal binder jetting

U této technologie je princip tisku stejný jako u předchozí technologie sand binder jetting. Avšak zde dochází ke spojování kovového prachu, díky tomu lze vyrábět modely různých geometrických a organických tvarů, kterých by nešlo dosáhnout klasickými metodami. Aby byl vytisknutý model vhodný k použití, je nutné ho následně speciálně upravit. Bez úpravy má totiž model špatné mechanické vlastnosti. Po dokončení tisku se

výtisky očistí od volných částic kovového prachu a dávají do pece, kde dojde k vypálení pojiva. Po tomto zásahu má výtisk přibližně 60% hustotu a následuje úprava bronzem. Výtisky se bronzem zasypou, následně se zavřou do pece, kde se volné kapiláry výtisku vyplní bronzem, a model tak získá přibližně 90% hustotu. I přes takovou úpravu však výtisky nemají tak dobré mechanické vlastnosti jako díly vyrobené pomocí technologie powder bed fusion (Redwood, 2017; All3DP, [2022]).

3.2.9 Direct metal laser sintering (DMLS) / Selective laser melting (SLM)

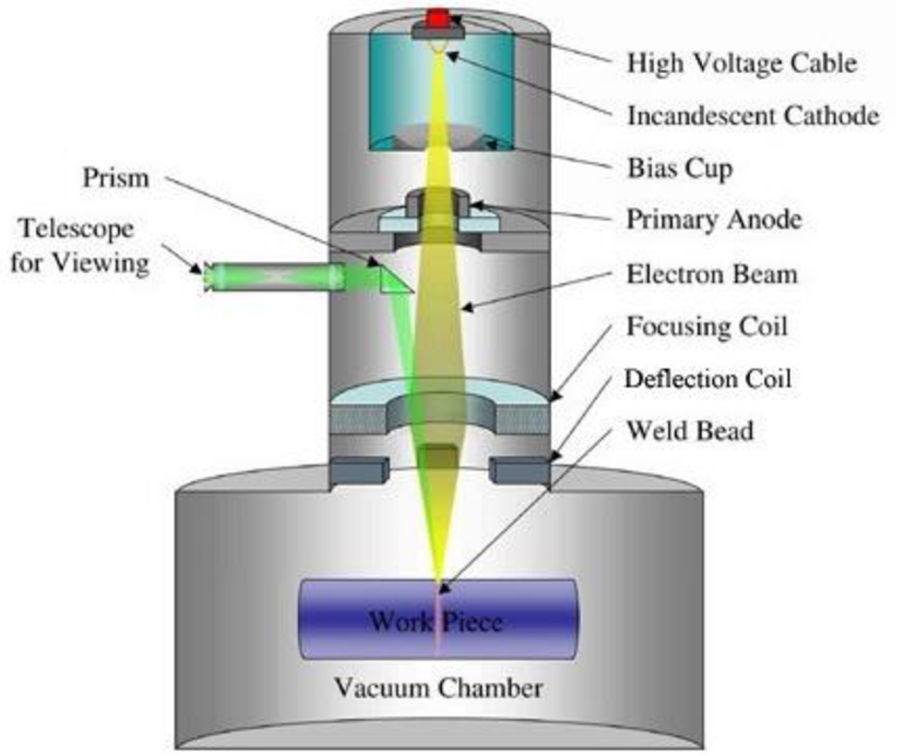
Jedná se o velmi podobné technologie. Obě jsou navrženy na produkci kovových součástek a spadají pod technologii powder bed fusion (obr. 13). Rozdílem mezi DMLS a SLM je způsob spojování metalického prachu. U DMLS se kovový prach netaví, zahřívá se pouze na vysokou teplotu, při které dochází ke spojení prachu na molekulární úrovni. SLM technologie užívá k laser, pomocí kterého dochází k tavení kovového prachu, a tak vytváří homogenní díl. Znamená to tedy to, že pomocí technologie DMLS se vytváří díly z kovových slitin a pomocí SLM jednotné materiály jako je například titan (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Industrial Materials and Methods, 2016; Horálek, 2020).



Obrázek 13 - Schéma DMLS/SLM tiskárny
Zdroj: Bournias Varotsis, c2019

3.2.10 Electronic beam melting (EBM)

Technologie využívá vysokoenergetický nebo elektronový paprsek, aby došlo k indukci fúze mezi částicemi kovového prachu. Soustředěný paprsek přejíždí přes tenkou vrstvu metalického prachu a tím způsobuje lokální tavení a vytvrzení kovového prachu ve vrstvě, která je právě tištěna (obr. 14). Výhodou oproti technologiím jako je například SLM či DMLS je rychlost tisku, avšak tato technologie může být použita jen na vodivé materiály a provádí se zásadně ve vakuu (Redwood, 2017; All3DP, [2022]; Horálek, 2020).



Obrázek 14 - Schéma EBM tiskárny
Zdroj: Whiteclouds, c2019

3.3 Slicovací software

Slicer v 3D tisku slouží jako nástroj, který překládá informace o tom, co a jak tisknout do jazyku, kterému 3D tiskárna rozumí. Tento jazyk určený pro 3D tiskárny se nazývá G-code. V G-code se ukrývají informace pro 3D tiskárnu, kterými se při tisku řídí. Bez těchto informací je tiskárna nefunkční, jelikož si není schopna sama přeložit informace o tisknutém modelu tak, aby došlo ke korektnímu tisku (Additive-X, [2021]; Carolo, [2020]).

Po importování do sliceru se definují parametry tisku jako je například výška vrstvy, jakým typem filamentu se bude tisknout, jakou tryskou a na jakém modelu tiskárny. Mimo jiné je také možné ve sliceru nastavit rychlost tisku, procentuální výplň modelu, aby nedošlo k vysoké spotřebě materiálu, nebo také geometrický tvar výplně. Slicery také umožňují generování podpěr modelu, aby části tisknutého modelu nebyly tištěny do volného prostoru a nedocházelo k deformaci a neúspěšnému tisku. Funkce tvorby podpěr je jednou z hlavních výhod sliceru, jelikož většinu objektů by bylo bez podpěr velmi složité vytisknout. Slicer na základě těchto dat vytvoří trasu, kterou bude tisková hlava při tisku postupovat. Následně vygeneruje již zmiňovaný G-code, kterému tiskárna rozumí, a bude podle něj schopna zahájit tisk, korigovat teplotu podložky, trysky a směr pohybu (Additive-X, [2021]; Carolo, [2020]).

Slicery je možné dělit dle zaměření na hobby a profesionální. Mnoho jich je dostupných zdarma a kvalitou nejsou všechny stejné. Volbou sliceru je možné ovlivnit i kvalitu a dobu tisku. Někteří výrobci tiskáren dodávají zároveň s tiskárnou svůj slicovací program, nicméně je možné použít jiný. Slicery se mohou lišit zejména v podpoře formátů, v kterých jsou schopny importovat virtuální modely určené k následnému tisku, a také v zákaznické podpoře (Additive-X, [2021]; Carolo, [2020]).

Mezi neznámější a nejoblíbenější slicery patří například slicer Cura, který je velmi jednoduchý, přehledný a disponuje mnoha užitečnými nástroji. Navíc je zdarma s možností zakoupení firemní licence. Mezi další velmi dobře hodnocené slicery patří Netfabb Standard, PrusaSlicer, Simlify3D, OctoPrint či Slic3r (Locker, [2021]).

3.4 Modelovací software v architektuře

V moderním odvětví architektury je digitální navrhování stěžejní částí. Klienti dnes očekávají víc než jen náčrt, výkresy a fyzický model. Očekávají, že si budou moct virtuální návrh detailně prohlédnout. Díky 3D softwaru je možné těmto požadavkům klienta dostát. Virtuální model umožňuje prohlédnout průběh slunečního svitu budovou v průběhu dne a pomůže odhalit mnoho nesrovnalostí v návrhu. Mimo to 3D modelovací software automatizuje mnoho běžných procesů, a tak umožnuje uspořit čas při navrhování. Efektivitu práce také znásobuje jednoduché sdílení navržené stavby směrem ke klientovi (Archistar Academy, c2018).

V dnešní architektuře se využívá zejména modelovací software typu BIM fungující na principu knihovních prvků a běžný modelovací software pracující s geometrickými tělesy. Organizace NBS ve Velké Británii pravidelně provádí výzkum trendů v oblasti BIM. Tato organizace v roce 2019 v National BIM report publikovala výsledky z průzkumu ohledně angažovanosti firem v BIM navrhování, který prováděla přibližně u 1000 firem. Mezi jednotlivými dotazy bylo také zjišťováno, v jakém CAD softwaru pro navrhování BIM modelů pracují. Z výsledků v přiloženém koláčovém grafu (obr. 15) níže plyne, že nejvyužívanější software pro BIM navrhování je program Revit od firmy Autodesk se ziskem 46 %, dále následuje program Archicad od firmy Graphisoft s 15 %. Software AutoCAD a AutoCAD LT s 24 %, který není originálně 3D modelovacím BIM softwarem, reprezentuje část odborníků, kteří časem budou pravděpodobně přecházet k čistě BIM orientovaným nástrojům. Při porovnání s reportem z roku 2020, který je posledním veřejně dostupným, si software firmy Autodesk – Revit polepšil na rovných 50 % a Archicad na 16 %. Programy AutoCAD a AutoCAD LT získal 20 %, což znamená, že obliba těchto programů padá na úkor BIM zaměřeným programům Revit a Archicad (Škarka, c2012-2020; CIAT, c2020).

Obrázek 15 - Koláčový graf BIM softwarů v praxi pro rok 2019
Zdroj: Škarka, c2012-2020

Mimo software typu BIM se v architektuře využívá také běžný 3D modelovací software, primárně za účelem tvorby modelu pro vizualizace. Z těchto modelovacích programů na rozdíl od BIM softwaru nejde následně generovat žádná stavební 2D dokumentace a model nenese ani žádné informace jako tomu je v případě BIM. V architektuře se k modelování nejčastěji používají modelovací programy dvou typů. Jedním z nich je modelování pomocí těles a druhý typ funguje na principu drátěného modelu (Foyr, c2020; Arquinétpolis, b.r.).

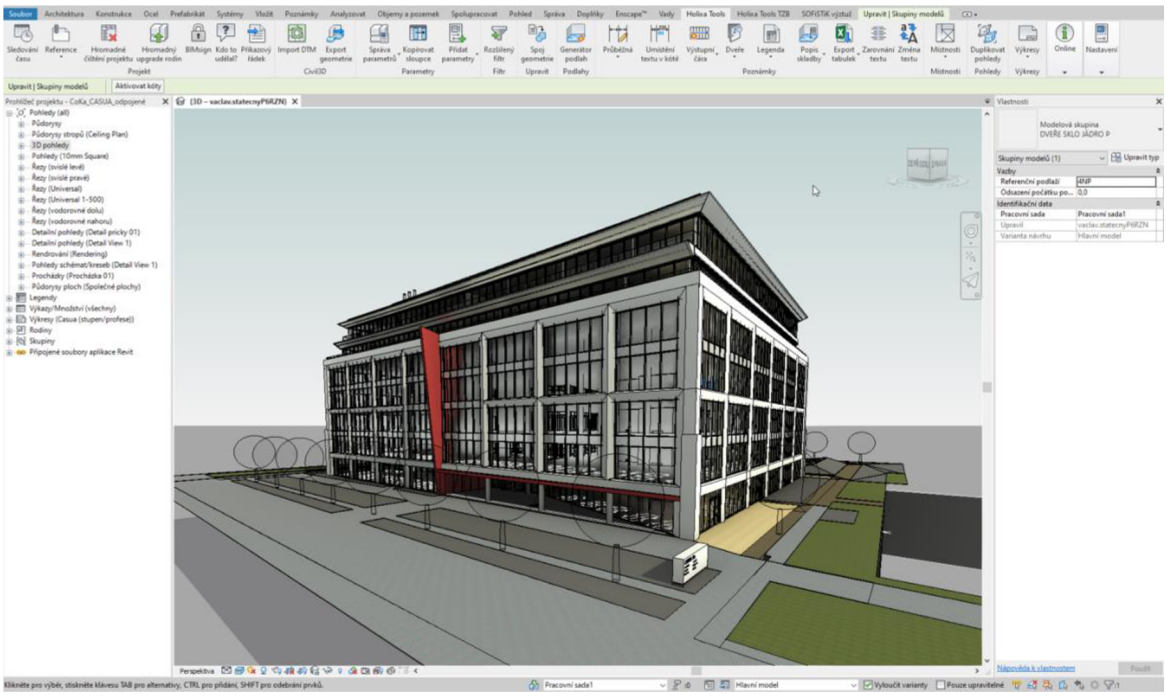
3.4.1 BIM

Architektonické návrhy, které se odehrávaly dříve zejména na papíře v podobě skic se následně s nástupem technologie CAD (Computer Aided Design) převedly do digitální 2D podoby. S vývojem CAD přišla možnost tvořit 3D objekty v prostředí CADu. Novým standardem je nyní BIM, který je velmi komplexním nástrojem a kombinuje zejména výkresovou a 3D modelovou dokumentaci. Mezi jeho hlavní výhody patří využívání jednoho sdíleného 3D modelu pro celý tým a možnost souběžné editace všemi členy týmu (Lorek, c2022).

Autodesk Revit

Aplikace Revit (obr. 16) nabízí velkou efektivitu práce v průběhu celého životního cyklu projektu, od koncepčního návrhu až po výstavbu objektu, včetně vizualizací. Revit umožňuje modelovat návrh s vysokou přesností, k čemuž se váže automatická aktualizace 2D výkresové dokumentace, kdykoliv se provede změna ve 3D modelu. Z důvodu provázanosti dokumentace se 2D dokumentace generuje automaticky podle postupu navrhování modelu, a tak usnadňuje efektivitu práce. Z toho plyne mnoho automatizovaných rutinních procesů.

S cloudovým řešením BIM Collaborate Pro je možno pracovat s celým týmem v rámci jednoho projektu ať už se jedná o profesní pozici architekta, či projektanta (Autodesk, c2022).

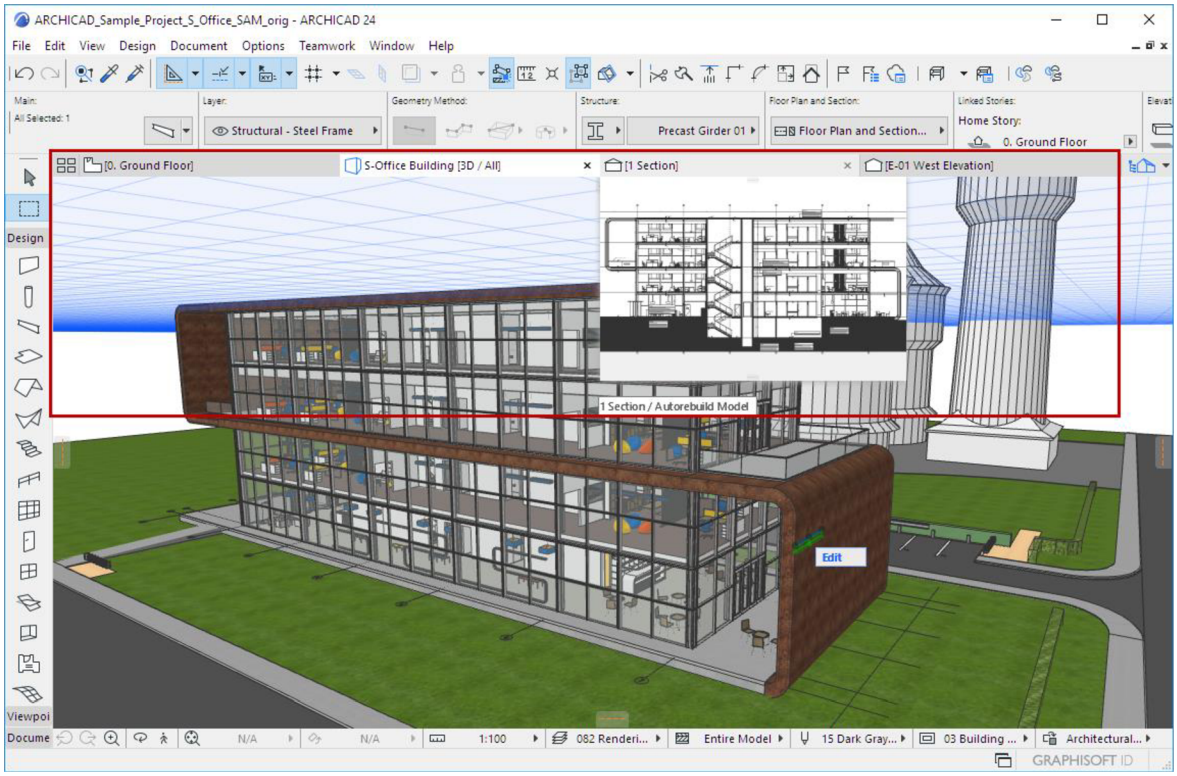


Obrázek 16 – Pracovní prostředí softwaru Revit
Zdroj: Arkance Systems, c2022

Graphisoft Archicad

Archicad je software pro architekty a projektanty, který umožňuje produkovat 2D dokumentaci až do úrovně prováděcí dokumentace (obr. 17). Program Archicad vychází ze starého programu z roku 1982, který sloužil pro 3D navrhování potrubních systémů. V dnešní formě Archicad disponuje mnoha užitečnými funkcemi, které byly navrženy tak, aby usnadnily architektům a projektantům práci. V modelování umožňuje poměrně jednoduše vytvářet prvky v jakékoliv podobě geometrie s nástrojem morf a dále využívá běžných knihovních prvků a nástrojů, jakými je například zeď, střecha, okno apod. Mimo to automaticky generuje výkresovou 2D dokumentaci na základě postupu modelování a umožňuje automaticky tvořit příslušné tabulky k dokumentaci, které je možné editovat v programu Excel, a následně importovat zpět (Cegra, b. r.).

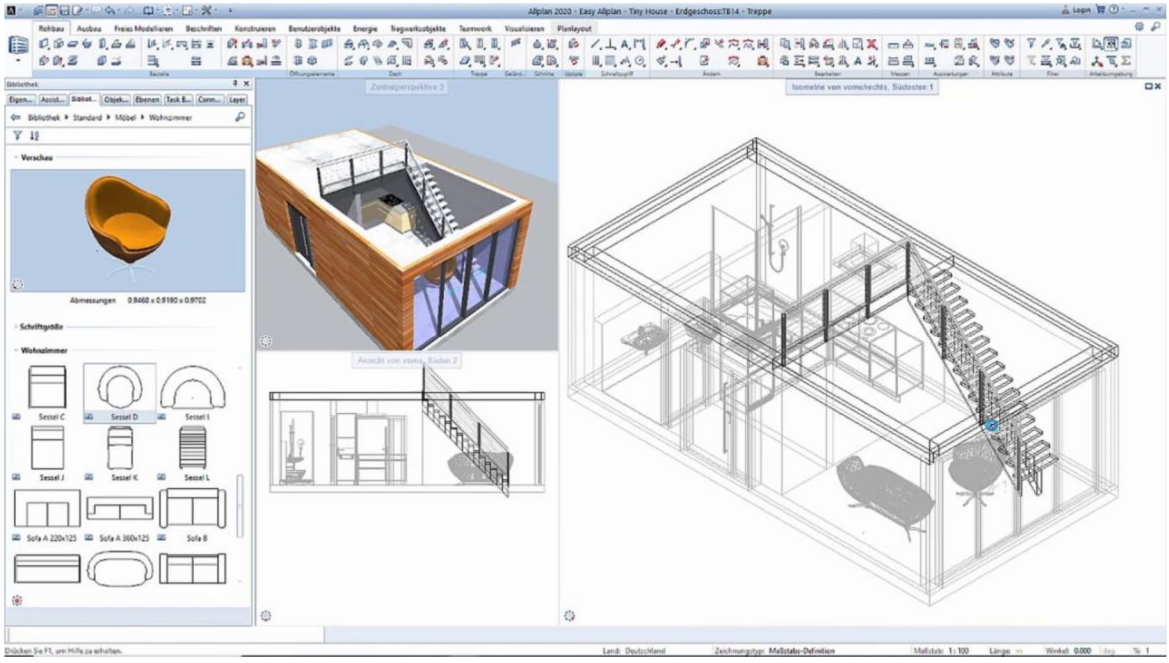
Též disponuje možností pracovat s celým týmem v jednom editovatelném souboru, a tak šetřit čas a zefektivňovat procesy navrhování. K tomu poskytuje nástroje pro rekonstrukce a disponuje průběžně aktualizovanou knihovnou 3D BIM objektů jako je sanita, vybavení kuchyně a další (Cegra, b. r.).



Obrázek 17 - Pracovní prostředí softwaru Archicad
Zdroj: GRAPHISOFT Archicad, c2022

Nemetschek Allplan

Allplan od společnosti Nemetschek je velmi podobný programu Archicad od společnosti Graphisoft. Jedná se též o BIM orientovaný software, který umožňuje velmi jednoduchou práci jak na 3D modelu stavby, tak na 2D výkresové dokumentaci, která vzniká souběžně s 3D navrhováním (obr. 18). Allplan se zaměřuje podobně jako ostatní na AEC (Architecture, Engineering, Construction) průmysl, což znamená, že software je určený pro architekty, inženýry a konstruktéry na stavbě. Práce více lidí na jednom projektu je řešena pomocí služby Allplan Share, která má za úkol minimalizovat časové prodlevy v komunikaci a případném stahování a nahrávání aktuálních verzí projektu. Software funguje na principu knihovních prvků, které jsou již základně nastavené, a ty jde dále specifikovat pro dané řešení (Sculpteo, c2009-2022; ALLPLAN, b. r.).

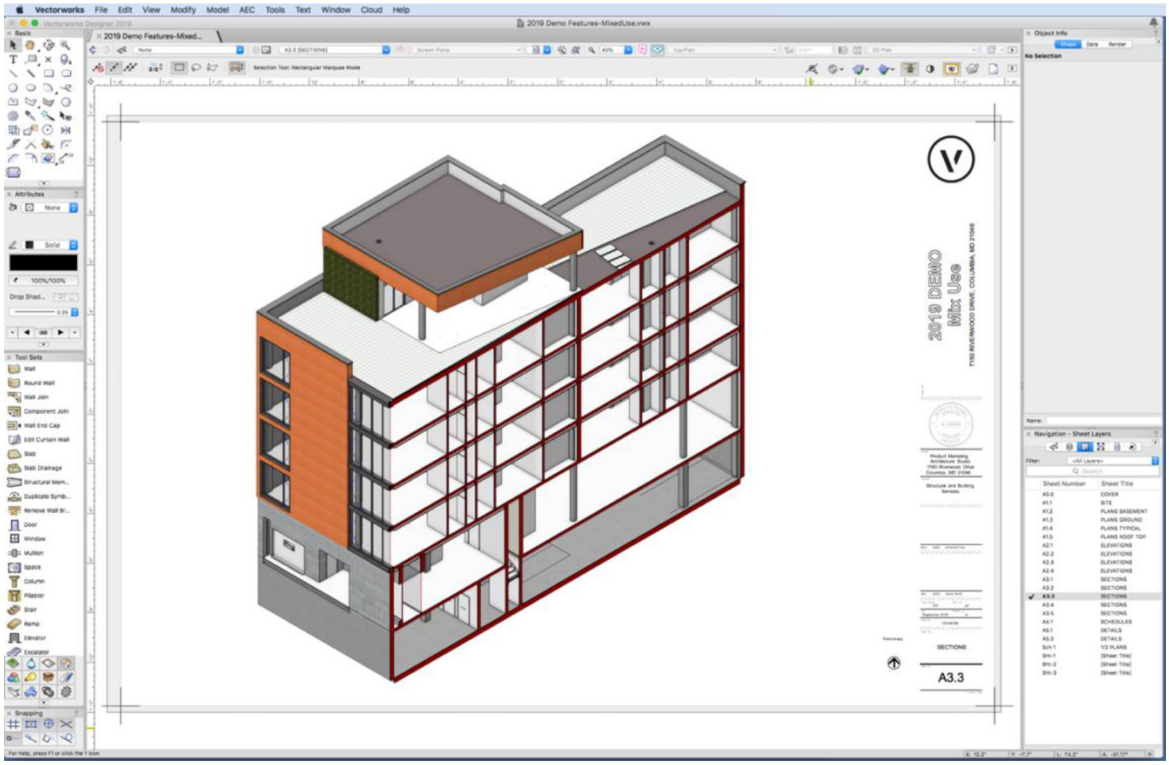


Obrázek 18 - Pracovní prostředí softwaru Allplan
Zdroj: ALLPLAN, 2021

Vectorworks Architect

Software opět spadá do kategorie AEC a patří pod mateřskou společnost Nemetschek, tudíž nabízí nástroje k práci od konceptu po realizaci stavby a není nutné střídat více programů. Je to všestranný nástroj, ve kterém si přijde na své každý odborník z praxe. Je možné na základě jeho BIM vlastností provádět různé simulace scénářů. Disponuje nástroji pro modelování staveniště a je možné v něm vymodelovat takřka vše, co je pro stavbu nutné. Program Vectorworks (obr. 19) umožňuje spolupráci s kolegy díky široké škále podpory jiných souborových formátů, jako je například i konkurenční Revit nebo

obecný open BIM a IFC formát. Mimo jiné Vectorworks umožňuje práci s mračny bodů, fotogrametrií a VR/AR technologií (Sculpteo, c2009-2022; VECTORWORKS, c2022; Revizto, c2012-2022).



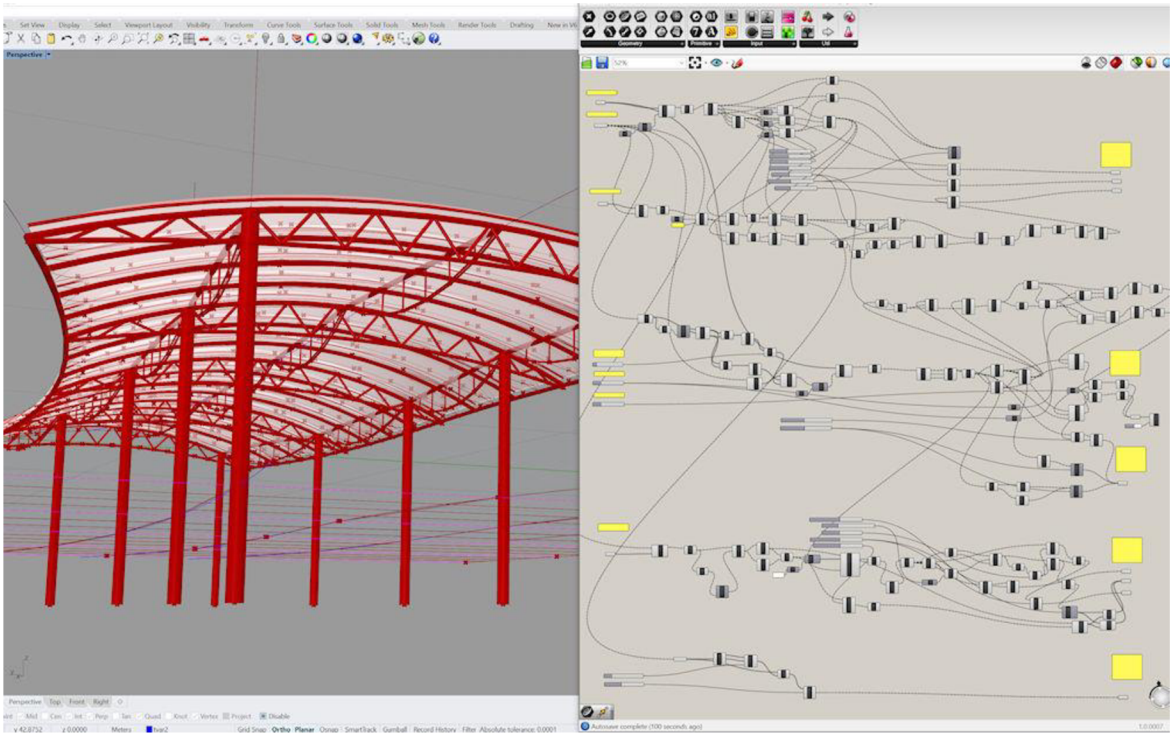
Obrázek 19 - Pracovní prostředí softwaru Vectorworks
Zdroj: Software Advice, c2006-2022

3.4.2 Klasický modelovací software

Klasické 3D modelovací softwary jsou ty, které pracují s geometrickými tvary a tělesy, které se následně upravují do požadovaných tvarů, případně je k tvarování hmoty možno použít jiná tělesa s použitím protínání hmoty apod. Jiný typ modelovacího softwaru využívaného v architektuře pracuje naopak s drátovým modelem. Některé klasické modelovací softwary nabízí možnost definovat hmoty graficky ve 2D s následným konvertování do 3D. Výhodou těchto softwarů je, že jsou v základu poměrně jednoduché a uživatelsky přívětivé k práci. Navíc nepotřebují tak silný výkon hardwaru za předpokladu jednoduchých geometrických těles v menším, či malém počtu polygonů. S rostoucím počtem polygonů a těles se nároky na výkon pracovní stanice zvyšují (Foyr, c2020).

Rhino3D

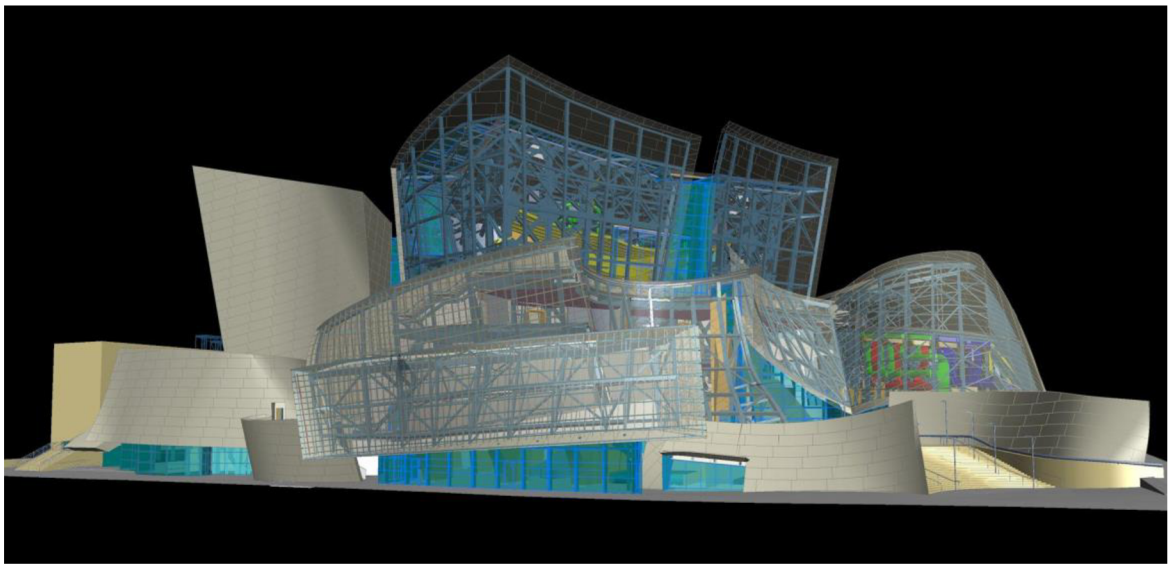
Nejedná se o program určený primárně pro architektonické modelování, avšak jeho povahou je v architektuře oblíbený. Rhino3D totiž oproti ostatním programům exceluje v modelování organických hmot, díky čemuž je velmi oblíbeným nástrojem pro modelování organické architektury. Více možností pak odemyká doplněk Grasshopper (obr. 20), což je grafický editor algoritmů přímo od vývojářů Rhino3D. Jedná se tak o vizuální programovací jazyk. Mimo jiné je však Rhino3D zaměřeno na průmyslový design jako je modelování automobilů a jiných dopravních prostředků, ale i například šperků. Rhino3D navíc mimo základní modelování umožňuje tvorbu animací, či renderování vytvořených modelů. K tomu také nativně umožňuje exportovat návrhy pro 3D tisk, či řezání laserem (Revizto, c2012-2022; Sculpteo, c2009-2022; Archistar Academy, c2018).



Obrázek 20 - Pracovní prostředí softwaru Rhino3D s použitím rozšíření Grasshopper
Zdroj: FREELANCINGeu, c2005-2022

CATIA

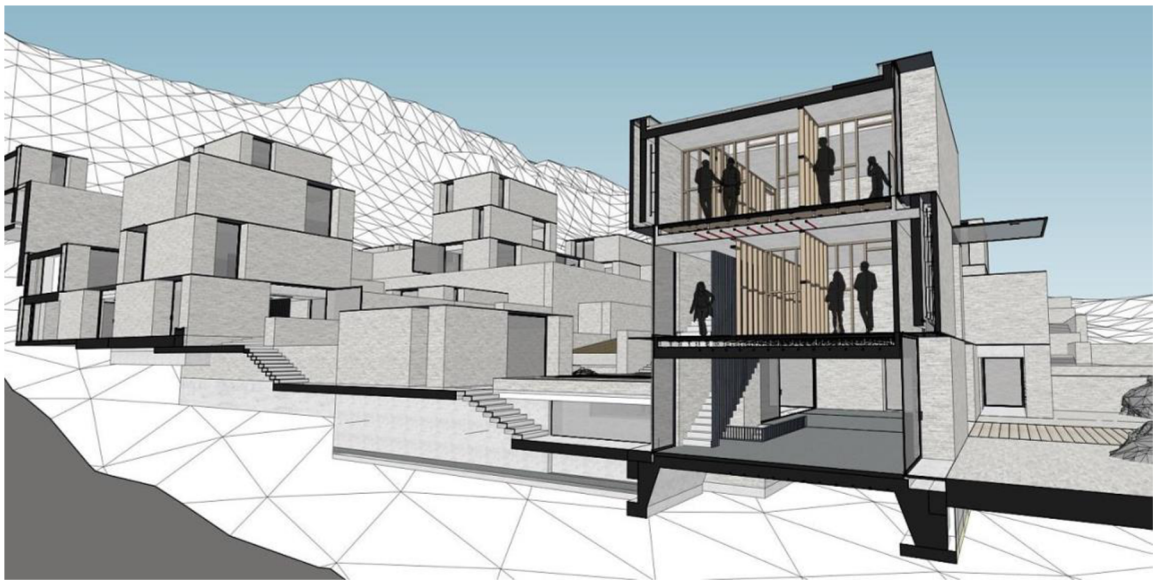
Program vyvíjený společností Dassault Systèmes je schopný vysoce přesných a komplexních modelů. Je v něm možné vymodelovat prakticky cokoliv na světě. Tento software byl vyvinut primárně pro vlastní potřebu společnosti Dassault Systèmes. Dnes se využívá zejména v automobilovém a leteckém průmyslu, ale také v architektuře. Disponuje praktickým prostředím umožňujícím kolaboraci pomocí cloudu. Jako důkaz využití v architektuře může být použití samotným Frankem Gehrym pro návrh jeho specificky tvarovaných budov (obr. 21), které po světě získávají mnoho ocenění (Revizto, c2012-2022; Sculpteo, c2009-2022).



Obrázek 21 - Ukázka 3D návrhu koncertní haly Walta Disneyho v Los Angeles od Franka Gehryho
Zdroj: Ariana, 2016

SketchUp

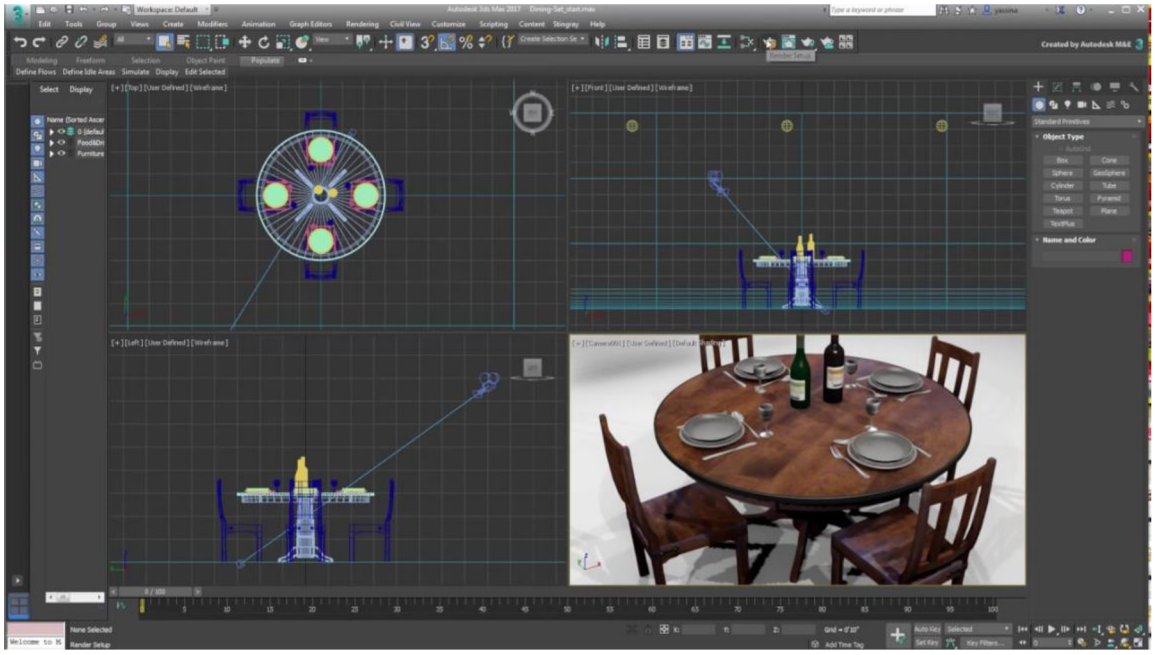
Hlavním benefitem SketchUpu je jeho jednoduchost. Lze v něm velmi rychle a efektivně vymodelovat poměrně komplexní modely, což vzhledem k časovým možnostem architekti oceňují. Program je využívaný zejména v architektuře jak pro hmotové koncepty budov, tak detailní modely určené pro vizualizace (obr. 22). Není problém v tomto programu vymodelovat ani automobily, lidi či jiné objekty dle vlastní potřeby. Mezi jeho další výhody patří velká škála rozšíření zdarma či komunitní knihovna objektů. Zaujme příznivou cenou, která v profesní sféře není oproti ostatním modelovacím nástrojům tak vysoká (Archistar Academy, c2018; Arquinétpolis, b.r.).



Obrázek 22 - Náhled modelu v programu SketchUp za použití řezu objektem
Zdroj: (CADSYS, [2019])

3D Studio Max

Jedná se o software z dílny společnosti Autodesk, podobně jako je tomu u programu Revit. Avšak program 3DS Max (obr. 23) je tím nejpokročilejším a nejprofesionálnějším v oboru modelování. Využívá se zejména ve vývojářských studiích při vývoji počítačových her, ale také slouží reklamnímu průmyslu při animaci reklamních spotů a ve filmovém průmyslu za účelem modelování celých scén. V programu 3DS Max je možné tvořit animace, virtuální prohlídky a v architektuře se využívá zejména v profesionálních vizualizačních studiích. Pro začátečníky v tomto programu se doporučuje absolvování odborného kurzu, jelikož se jedná o tak komplexní nástroj, že je těžké odhalit jeho plný potenciál bez odborného vedení. Zvládnuté dovednosti v 3D Studiu Max jsou však v praxi velmi ceněny (Arquinétpolis, b.r.; Sculpteo, c2009-2022).



Obrázek 23 - Pracovní prostředí softwaru 3D Studio Max
Zdroj: CADfórum, c2022

3.6 Výsledky bakalářské práce

Bakalářská práce byla zaměřena na problematiku 3D tisku architektonických modelů v architektuře. Přičemž hlavním cílem bylo zhodnotit použitelnost 3D tisku pro účely architektonického modelování a vedlejším cílem bylo zhodnotit vybrané aspekty tvorby architektonického modelu technologií 3D tisku a konvenční metodou architektonického modelování (Horálek, 2020).

V průběhu výzkumu došlo ke srovnání tří technologií 3D tisku, a to technologie FDM/FFF, SLA a DLP. Tyto technologie byly porovnány s konvenční metodou. Na základě rozhovorů s odborníky byly identifikovány klíčové aspekty pro architektonické modely. Jednalo se o náklady na tvorbu modelu, dobu tvorby modelu, řešení detailů, odolnost modelu a recyklovatelnost modelu (Horálek, 2020).

	FDM/FFF	**SLA**	**DLP**	**Konvenční modelování**
Náklady (Kč)	500-700	3500-4000	5600-6200	9000-13000
Doba (h)	80-90	45-55	40-50	30-40
N/h (Kč)	6,3-7,8	72,7-77,8	124-140	300-325
Detaily	Dělení na díly, drobnosti tisknout zvlášť	Dělení na díly, vyšší úroveň než FDM/FFF	Dělení na díly, vyšší úroveň než FDM/FFF	Dočasné podpory, drobné detaily 3D tiskem
Odolnost	Střední, degraduje na slunci	Střední, degraduje na slunci	Střední, degraduje na slunci	Nízká, nutnost výztuh v základně modelu
Recyklovatelnost	PLA kompostovatelný, recyklace plastů	Recyklace plastů	Recyklace plastů	Primárně směsný odpad

Tabulka 1 - Tabulka porovnání hodnocených aspektů na referenčním modelu rodinného domu
Zdroj: Horálek, 2020

Na základě dat obsažených v tabulce (tab. 1) mezi náklady jasně dominuje technologie tisku FDM/FFF, dále následuje technologie SLA a poté technologie DLP. Konvenční metoda je oproti nejekonomičtější technologii FDM/FFF dokonce osmnáctkrát dražší (Horálek, 2020).

Technologie FDM/FFF je časově nejnáročnější. Ovšem 3D tiskárna může tisknout nepřetržitě, zatím co modelář pracující konvenční metodou má stanovenou pracovní dobu. U tiskových technologií je patrné, že mají obdobné problémy v řešení detailů, navíc rozměrnější modely přesahující tiskovou plochu je třeba skládat z jednotlivých částí (Horálek, 2020).

SLA a DLP technologie poskytuje proti FDM/FFF kvalitnější zpracování detailů. U 3D technologie je též výhoda vytváření textur fasád, které konvenční metodou zaberou mnoho času navíc (Horálek, 2020).

Konvenční metoda však nenabízí stejnou vysokou mechanickou odolnost jako 3D tištěné modely. Oproti běžné metodě modelování není u 3D tištěných modelů tak zásadní vyztužení základny modelu, která by chránila spoje modelu před mechanickým namáháním (Horálek, 2020).

Materiály pro tištěné modely není nijak složité recyklovat, recyklují se jako běžné plasty. Filament typu PLA je navíc možné za určitých speciálních podmínek kompostovat, jelikož je vyráběn z kukuřičného škrobu. Konvenční modely však kvůli kombinaci materiálů a spojování lepidlem recyklovat většinou možné není (Horálek, 2020).

Z doplňujících otázek kladených odborníkům z praxe bylo též zjištěno, že časová náročnost přípravy dat se značně liší a u detailních modelů je potřeba složitější předtisková úprava. U těch velmi detailních, které vznikají v programech typu CAD/BIM, je potřeba přípravě dat věnovat větší množství času. Díky správně přípravě dat je možné zásadně redukovat následnou práci na opravě modelu (Horálek, 2020).

Ze závěrů práce plyne, že 3D tisk je vhodnou alternativou pro architektonické modely a konvenční modelování v mnoha aspektech dokonce předčí, zejména při srovnání nákladů nutných na vytvoření architektonického modelu. Ze závěrů též plyne, že hlavní problematika tvorby spočívá v úrovni detailů a měřítku modelu, zdali stačí pouze hmotová koncepce budovy, či je potřeba detailnějšího vyobrazení. Je patrné, že detaily a měřítko modelu jdou spjaty, jelikož podrobnější měřítko znamená větší zaměření na řešení detailů, případně fasády či vnitřní vybavení budovy v případě rozkládacího modelu budovy (Horálek, 2020).

Cena, doba tvorby, řešení detailů, odolnost a recyklovatelnost architektonických modelů byly identifikovány jako hlavní aspekty při tvorbě těchto modelů. Z toho plynou jednotlivé závěry níže:

- FDM/FFF je nejekonomičtější technologií tvorby tisku architektonických modelů při nevýhodě nejdelší doby tisku.
- Konvenční modelování bylo shledáno jako nejnákladnější vůči všem zkoumaným technologiím 3D tisku.
- DLP a SLA tisková technologie mají znatelně vyšší náklady na tisk a přibližně poloviční dobu tisku oproti technologii FDM/FFF

- Tvorba architektonických modelů pomocí 3D tiskové technologie je výhodnější než běžná konvenční metoda modelování (Horálek, 2020).

Z bakalářské práce plyne vysoký potenciál využití 3D tisku pro účely tvorby architektonických modelů pro prezentaci investorům. Dále je též patrné, že u velmi detailních modelů modelovaných v CAD/BIM softwaru je příprava tiskových dat poměrně složitější (Horálek, 2020).

4 Vlastní práce

V podkapitolách této části diplomové práce je podrobně rozebrána volba softwaru pro architektonické modelování, 3D tiskové technologie, tiskáren, jejich nastavení a slicerů, na kterých byly provedeny testy a vytisknuty testovací vzorky pro senzorické hodnocení architekty.

Dále je popsána tvorba osnovy pro polostrukturovaný rozhovor, který je další významnou částí této práce. Podrobně je popsána i tvorba modelu rodinného domu, který v této diplomové práci figuruje jako zkušební vzorek pro testy s exporty do slicerů a následně pro samotný tisk jako podklad senzorického testu.

4.1 Volba 3D tiskové technologie

Na základě závěrů bakalářské práce, předcházející této diplomové práci, byla zvolena 3D tisková technologie typu FDM/FFF. Ta byla v závěru bakalářské práce vyvozena z hodnocených aspektů jako nejekonomičtější technologie s nevýhodou délky doby tisku, což však v oboru architektonického modelování není zásadně na obtíž. FDM/FFF technologie též nabízí poměrně velké tiskové plochy (minimálně větší než technologie SLA a DLP ve stejné cenové kategorii) v ojedinělých případech až 450 x 450 x 450 mm, při stále dostupných pořizovacích cenách tiskáren. Vybraná technologie byla dále zvolena z důvodu prostorové a uživatelské nenáročnosti. FDM/FFF 3D tiskárny mohou být bez problému umístěny v architektonické kanceláři a nevyžadují speciálně dedikovaný prostor pouze pro 3D tisk, avšak je doporučeno, aby prostor byl dobře větraný z důvodu výparů při tavení filamentu v tiskové hlavě.

4.2 Vybrané 3D tiskárny pro testování

Pro tuto práci byly vybrány tři 3D tiskárny od různých výrobců na základě teoretických východisek v předchozí části diplomové práce a výsledcích z předcházející bakalářské práce. Pro výběr tiskáren byly navrženy cenové hladiny 30 000 Kč a 100 000 Kč, do kterých se uvažované tiskárny musely vejít.

4.2.1 Průša i3 MK3S+

3D tiskárna od českého výrobce Průši byla vybrána na základě mnohačetných ocenění, která sbírá ve světě. Též byla zvolena serverem All3dp.com jako nejlepší FDM/FFF 3D tiskárna do 1 000 dolarů pro rok 2021. S takovou cenou, aktuálně kolem 20–26 tisíc korun, je ideální pro malé kanceláře, které fyzické modely vyrábí zřídka, či je dodávají jako bonus na vlastní náklady. Konkrétně tento aktuální model tiskárny disponuje tiskovou plochou o rozměru 25 x 21 x 21 cm a výškou vrstvy od 0,05 mm do 0,35 mm. Maximální teplota trysky je až 300 stupňů Celsia a 120 stupňů Celsia v případě tiskové podložky. Tiskárnu od Průši je možné zakoupit jako stavebnici, nebo již zkompletovanou, kalibrovanou a otestovanou sestavu pro 3D tisk.

4.2.2 Ultimaker 2+

Tiskárna Ultimaker 2+ se už nachází ve vyšší cenové kategorii, přibližně kolem 75 tisíc Kč. Tiskárna je určena pro ateliéry, které aktivně využívají fyzické modely k prezentaci své práce investorům. Za vyšší cenu však architekt dostane již sestavenou tiskárnu připravenou k tisku chvíli od vybalení. Tento model nabízí tiskový objem o rozměrech 22,3 x 22 x 20,5 cm s výškou vrstvy od 0,02 mm do 0,6 mm na základě použité trysky. S provozními teplotami se tiskárna ocitá na škále od 180 do 260 stupňů Celsia a u vyhřívané podložky nabízí rozmezí teplot 20 až 110 stupňů Celsia.

4.2.3 Creality CR-10 Max

Model se řadí opět k nižším pořizovacím cenám na podobou úroveň jako model i3 MK3S+ od Průši. Cena se pohybuje kolem 21 tisíc Kč. Avšak tiskárna byla zvolena z důvodu největší tiskové plochy v daném segmentu tiskáren s technologií tisku FDM/FFF, oproti již zmiňovanému modelu Průša i3 má téměř devítinásobný tiskový objem. Dá se tak předpokládat velmi dobré užití tohoto modelu při tisku urbanistických fyzických 3D modelů, které se v případě menších 3D tiskáren musí tisknout na části a následně kompletovat. Tiskárna dosahuje provozní teploty až 250 stupňů Celsia na trysce a 100 stupňů Celsia na podložce. Výška vrstvy se pohybuje od 0,1 mm do 0,4 mm na základě použité trysky.

4.3 Filament

Na základě teoretických východisek byl zvolen filament typu PLA. Alternativně může být použit filament typu PET-G.

PLA je ve světě 3D tisku nejuniverzálnějším materiálem, který je nenáročný na použití a lze jím uspokojit většinu obecného tisku. Splňuje všechny požadavky, které mohou být kladeny na mechanické vlastnosti architektonických modelů. Má nízkou flexibilitu, vysokou pevnost a přibližně střední odolnost s minimálním smršťováním. Jeho výhodou jsou tiskové teploty, které splňuje snad každá 3D tiskárna dostupná na trhu. Teplota tisku se pohybuje v rozmezí 180 - 230°C, pro vyhřívanou podložku se rozmezí teplot pohybuje mezi 20 - 60°C, nicméně vyhřívaná podložka není pro PLA nutná. Filament nemá žádné speciální nároky na skladování, čímž jen potvrzuje jeho univerzálnost. Oproti jiným filamentům, jako je třeba ABS, při tisku dokonce nevylučuje nepříjemný zápach, který může být zdraví škodlivý. Za jistých podmínek lze říct, že je PLA filament ekologičtější než ostatní, jelikož je vyráběn z kukuřičného škrobu a za jistých laboratorních podmínek je biologicky rozložitelný. To ovšem ale neznamená, že nepovedené výtisky lze podomácku kompostovat!

PET-G disponuje v daném oboru tisku vlastnostmi přesahujícími požadavky na architektonické modely. Jedná se o materiál, s kterým zvládne pracovat jakýkoliv začátečník, a je poměrně univerzálním typem materiálu pro jakékoliv obecné užití stejně jako PLA. Mechaniky PET-G dosahuje vysokých pevností v tlaku, jeho flexibilita je přibližně střední a odolnost vysoká. V mechanických vlastnostech má materiál velkou rezervu pro případné neočekávané mechanické zatížení. PET-G dále disponuje minimálním smršťováním výsledného výtisku. Nevýhodou je, že je tento filament hydroskopický, což způsobuje vstřebávání vzdušné vlhkosti do materiálu v případě nesprávného skladování.

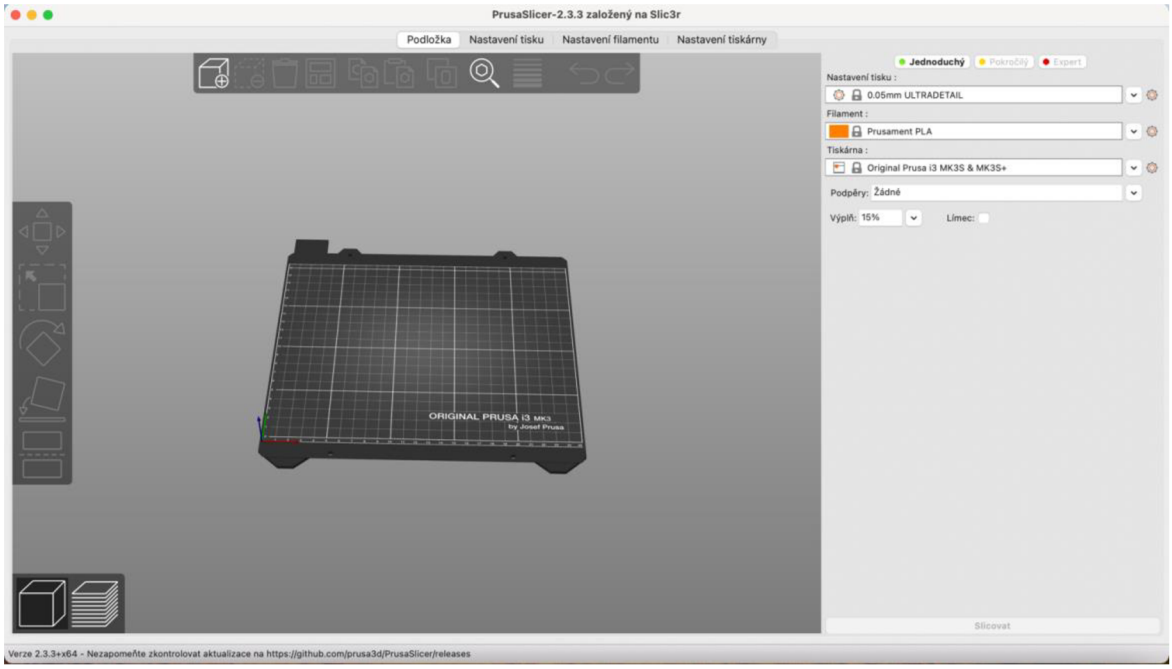
4.4 Slicery pro vybrané 3D tiskárny a jejich zhodnocení

Na základě zvolených modelů 3D tiskáren a jejich výrobců byly vybrány slicery. Ty byly zvoleny přímo na základě doporučení výrobcem tiskáren. Slicery byly následně analyzovány pro seznámení s jejich principy fungování a nástroji, které lze při běžném tisku využít.

4.4.1 P-slicer

Neboli též PrusaSlicer je slicer přímo od Prusa Research pro 3D tiskárny od této značky. Jedná se o software založený na open-source projektu Slic3r. Jeho instalace je velmi jednoduchá, probíhá standardním způsobem jako instalace jiných programů pro běžné uživatele. Po prvním spuštění se spustí průvodce nastavení tiskárny. Zde si uživatel nastaví, s jakými tiskárnami bude pracovat a jaké průměry trysek jsou na nich instalovány. Pro účely této práce byla vybrána pouze tiskárna definovaná výše (Průša i3 MK3S+) s tryskou o průměru 0,4 mm. Dále lze v průvodci zvolit z výběru filamentových profilů s kterými filamenty se bude typicky tisknout. Na základě výběru výše byl zvolen materiál PLA a PET-G. Není však nutné zvolit profil filamentu hned při prvním spuštěním, profil je možné zadat až před tiskem. V posledním kroku úvodního nastavení P-sliceru byl zvolen ze třech dostupných uživatelských rozhraní „Jednoduchý režim“.

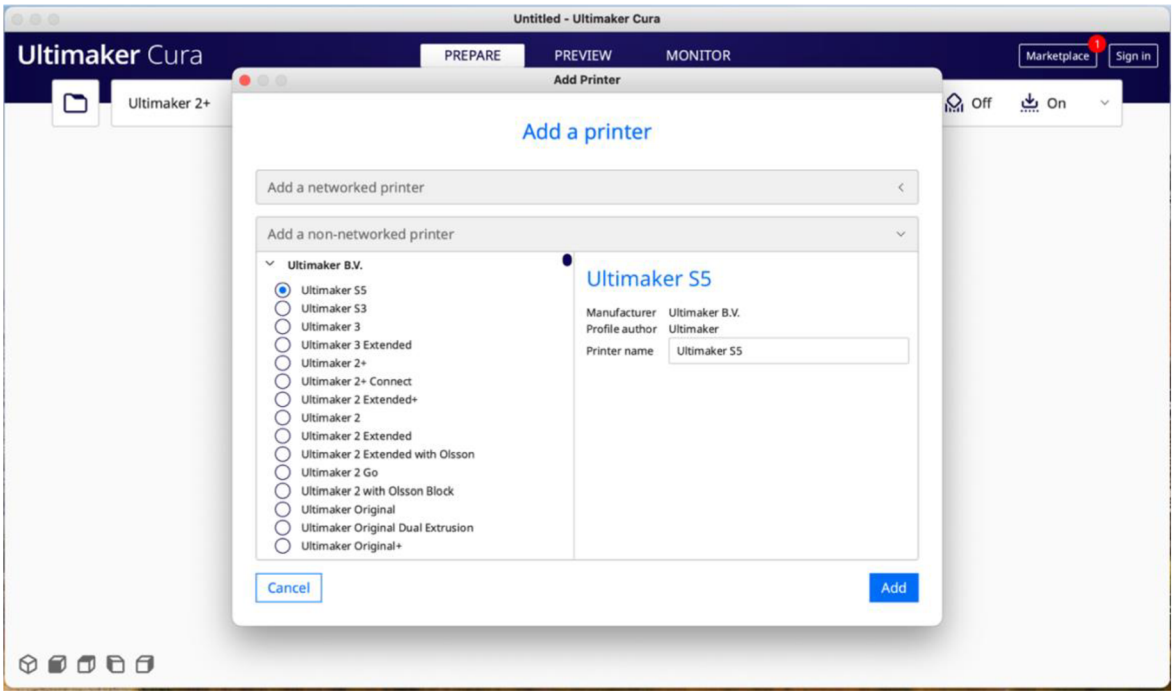
P-slicer v režimu jednoduchého rozhraní (obr. 24) disponuje čtyřmi hlavními záložkami – Podložka, Nastavení tisku, Nastavení filamentu, Nastavení tiskárny. V záložce „Podložka“ se nachází náhledové 3D okno, kde lze importovat tisknutý model, pozicovat jej na podložce a nastavovat měřítko tisku. Dále zde lze provést jednoduché nastavení tisku ve formě přednastavených profilů bez řešení podrobných detailů. Ty se nacházejí až v záložce „Nastavení tisku“, kde lze volit pokročilé nastavení tisku jako například nastavení vrstev, výplně, podpěry apod. V záložce „Nastavení filamentu“ je možné definovat filament, jež lze také definovat při prvním spuštění, jeho výrobce, chlazení, ale i náklady pro přibližný výpočet celkové ceny tisku modelu. Poslední záložkou je „Nastavení tiskárny“, které opět obsahuje údaje, které lze definovat již při prvním spuštění sliceru.



Obrázek 24 - Náhled na hlavní pracovní prostředí Prusa Sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

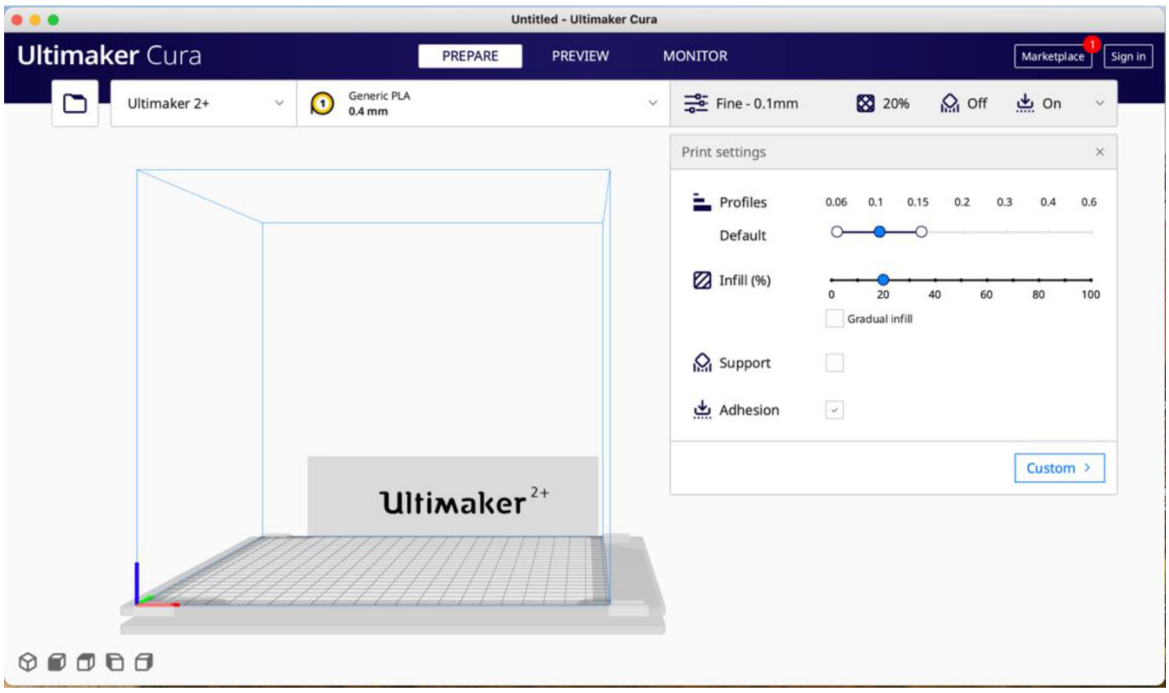
4.4.2 Cura

Slicer Cura je stájovým nástrojem výrobce Ultimaker, avšak podobně jako ostatní slicery podporuje tiskárny i jiných výrobců. V této diplomové práci byl slicer Cura zvolen jako výchozí pro tiskárnu Ultimaker 2+. Instalace není opět nijak náročná a zvládne ji běžný uživatel PC. Úvodní nastavení sliceru je velmi jednoduché. Program provede sken v lokální síti a vyhledá dostupné 3D tiskárny, pokud žádnou nenalezne, lze tiskárnu přidat ručně ze seznamu níže (obr. 25).



Obrázek 25 - Proces přidání nové tiskárny do sliceru Ultimaker Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

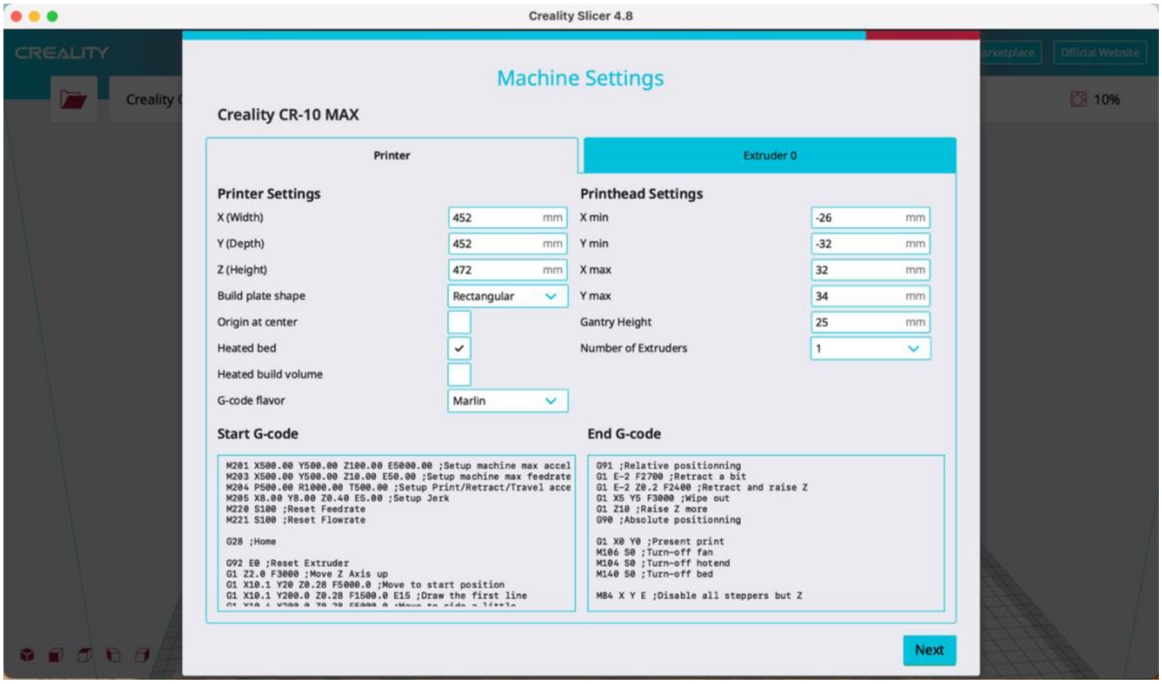
Slicer Cura nabízí jednoduché ovládání s možností pokročilých úprav a nastavení tisku. Skládá se ze tří záložek (obr. 26): Prepare, Preview, Monitor. Záložka „Prepare“ skýtá základní nastavení tisku jako je například volba profilu tiskárny, na které se bude tisknout, profil filamentu, průměr instalované trysky v tiskové hlavě, kvalita tisku, strukturální podpěry modelu apod. To vše je možné dále podrobně nastavovat po rozkliknutí uživatelského nastavení. V „Preview“ lze procházet postup tisknutí vrstev, či zobrazovat konstrukční rozdělení vrstev jako jsou podpěry, výplně aj. Záložka „Monitor“ umožňuje po zahájení tisku sledovat průběh tisku modelu. Pro možnost využití této funkce je nutné, aby byla tiskárna neustále připojená k počítači, na kterém je slicer Cura instalovaný.



Obrázek 26 - Hlavní pracovní prostor sliceru Cura s volbou nastavení tisku
Zdroj: Vlastní zpracování

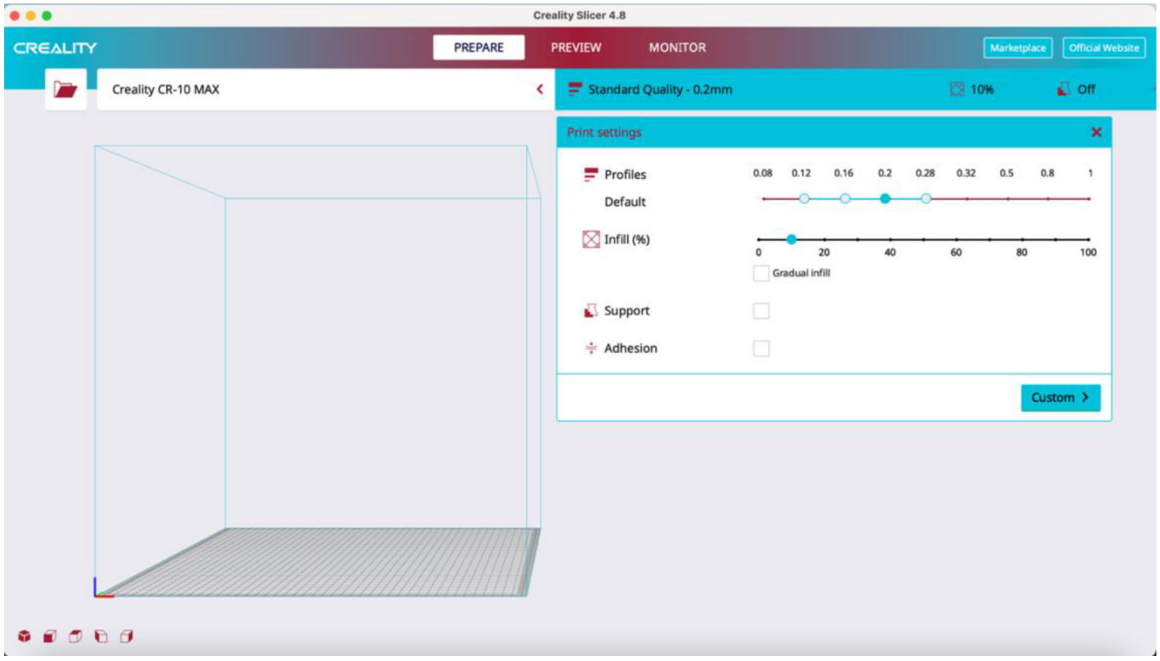
4.4.3 Creality

Pro tiskárnu Creality CR-10 MAX byl zvolen stejnojmenný slicer od výrobce Creality. Instalace je opět jednoduchá a zvládnutelná pro každého uživatele. V úvodním nastavení byla zvolena tiskárna Creality CR-10 MAX (obr. 27). Po vybrání tiskárny slicer nabízí uživatelskou úpravu výchozího nastavení tiskárny, jako je třeba změna bodu počátku, úprava výchozí hodnoty tiskárny a extruderu, či zdali tiskárna disponuje vyhřívanou podložkou. Tyto hodnoty byly ponechány výchozí, jelikož se počítá s použitím 3D tiskárny v takovém nastavení, v jakém se prodává, to znamená bez dodatečných úprav extruderu nebo podložky.



Obrázek 27 – Proces přidání nové tiskárny do sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Rozložení uživatelského rozhraní (obr. 28) je téměř stejné jako u sliceru od firmy Ultimaker Cura. Opět se zde nachází tři záložky: Prepare, Preview, Monitor. Tyto záložky mají opět stejné funkce jako je tomu u sliceru Cura.



Obrázek 28 - Hlavní pracovní prostor sliceru Creality s volbou nastavení tisku
Zdroj: Vlastní zpracování

4.5 Nastavení vybraných tiskáren

Pro tuto práci je zvolen jeden typ fyzického modelu, který se obecně pohybuje v měřítku 1:100. Na rozdíl od modelů v měřítku 1:500, které lze obecně nazvat jako urbanistické, a slouží hlavně pro znázornění usazení stavby do blízkého okolí, slouží tyto modely v měřítku 1:100 k zobrazení samotné stavby včetně určité míry detailů stavby. U modelů v měřítku 1:100 lze již prezentovat vnitřní dispozici stavby a model je možné vyhotovit jako rozkládací pro účely prezentace. Pro tento výzkum je zvažován fyzický model bez řešení vnitřní dispozice, jedná se tak čistě o ukázku hmoty a exteriérového řešení stavby.

4.5.1 Parametry tisku pro měřítko M 1:100

Nastavení tiskových parametrů vychází z předpokladu minimální znalosti dané problematiky 3D tisku a potřeby co nejjednoduššího nastavení pro spolehlivý tisk s minimální rizikem. Další predispozicí tisku zkušebních vzorků je korektně kalibrovaná tiskárna s kalibrovanou první vrstvou tisku. Na hotových výtiscích není prováděna žádná postprocessingová úprava.

Pro všechny výše zvolené tiskárny bylo v jejich příslušných slicerech zvoleno jednotné nastavení tisku. Teplota podložky i trysky tiskárny byla ponechána výchozí pro materiál PLA dle doporučení sliceru pro dané modely tiskáren.

Měřítko:	neměněno – ponecháno měřítko importovaného modelu.
Velikost trysky tiskárny:	0,4 mm
Výška vrstvy:	0,2 mm
Výplň:	10 %
Podpěry:	automaticky dle slicovacího softwaru

4.6 Modelovací software

Z poměrně široké palety dostupného softwaru pro architektonické modelování byly zvoleny tyto programy na základě doporučení odborné literatury a četnosti používání v praxi dle východisek teoretické části.

4.6.1 Archicad

Archicad je softwarové řešení od firmy Graphisoft. Program Archicad byl zvolen jako zástupce kategorie BIM software, které fungují na principu tvorby z existující knihovny prvků. V České republice je Archicad poměrně oblíbeným a velmi dostupným softwarem pro architekturu. Obecně je po Revitu dvojkou na trhu. Výsledkem vytvoření architektonického modelu v programu Archicad je model poskládaný z různých prvků a objektů. Z toho mohou plynout problémy, proč nelze vytisknout 3D fyzický model jednoduše.

4.6.2 Revit

Jedná se o program vyvíjený a spravovaný firmou Autodesk a je přímou konkurencí Archicadu od Graphisoftu. V praxi je nejpoužívanějším BIM softwarem. U Revitu problémy nutnosti úprav pro 3D tisk pramení z podobného jádra problému jako u Archicadu.

4.6.3 SketchUp

Program je zaměřený primárně na modelování, nefunguje na principu BIM a odbornou literaturou je doporučován pro modelování architektonických návrhů. Je v něm tedy možné pomocí základních nástrojů modelovat prvky přesně podle představivosti architekta bez omezení na výběr z existující knihovny. Avšak je možné stahovat již vytvořené objekty z knihovny dostupné online.

4.7 Referenční model

V této diplomové práci je zvažováno jedno měřítko fyzického modelu. Jedná se o měřítko M 1:100, které je běžným měřítkem pro modely i výkresovou dokumentaci samotnou. Při tomto měřítku nejsou důležité vazby na okolí či přilehlou zástavbu, ale řešení objektu a představa o jeho prostoru a hmotě.

Na základě této premisy byl vymodelován 3D model pro demonstrativní účely. Model byl následně použit pro zkušební tisk v měřítku M 1:100 na výše vybraných 3D tiskárnách při výše definovaném nastavení tisku tak, aby byly finální výtisky stylizované primárně pomocí výšky vrstev bez dalšího postprocessingu výtisků.

4.7.1 Tvorba modelu

Model rodinného domu byl vymodelován ve virtuálním prostředí CAD softwaru Archicad od firmy Graphisoft (obr. 29, 30). Při tvorbě modelu záměrně nebylo počítáno s nadcházející proměnou z virtuální do fyzické podoby pomocí 3D tiskárny. Bylo tomu z důvodu simulace běžného procesu modelování v praxi tak, aby při následném pokusu o export do zvolených slicerů vybraných tiskáren byly odhaleny problémové části modelu.

Jak již bylo zmíněno, při tvorbě modelu záměrně nebyl brán zřetel na budoucí tisk na 3D tiskárně. Při modelování bylo užito klasických nástrojů, které software Archicad nabízí.

Patří mezi ně:

- Stěna
- Deska
- Výplně otvorů (okna, dveře)
- Střecha
- Ostatní knihovní prvky sloužící jako doplňky

Obrázek 29 - Náhled na vymodelovaný referenční model rodinného domu
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 30 - Vizualizace referenčního rodinného domu za použití virtuálního 3D modelu
Zdroj: Vlastní zpracování

4.8 První zkušební tisk

Zkušební tisk je rozdělen do dvou zkoušek. První zkouška tisku byla provedena bez jakýchkoliv úprav modelu. Pro druhou zkoušku byl model připraven na tisk na 3D tiskárně.

Pro první zkoušku byl model do obecného formátu pro 3D tisk *„stl“*. Následně byl model importován do všech zvolených slicovacích programů. Pro první zkušební tisk byl očekáván velký počet chyb hlavně u exportů z programů Archicad a Revit. Tyto programy na principu BIM fungují na sestavování modelů z objektových knihoven. Byl stanoven předpoklad, že prostým skládáním modelu z jednotlivých části nedochází u modelované hmoty k absolutnímu utěsnění mezer mezi prvky modelu. To by pravděpodobně vedlo k tomu, že 3D tiskárna by jednotlivé prvky modelu tiskla na sebe, avšak by měla tendenci tyto části oddělovat a výtisk by tak nebyl jedna pevná hmota, nebo by došlo k chybě a celý tisk by se nepovedlo dokončit.

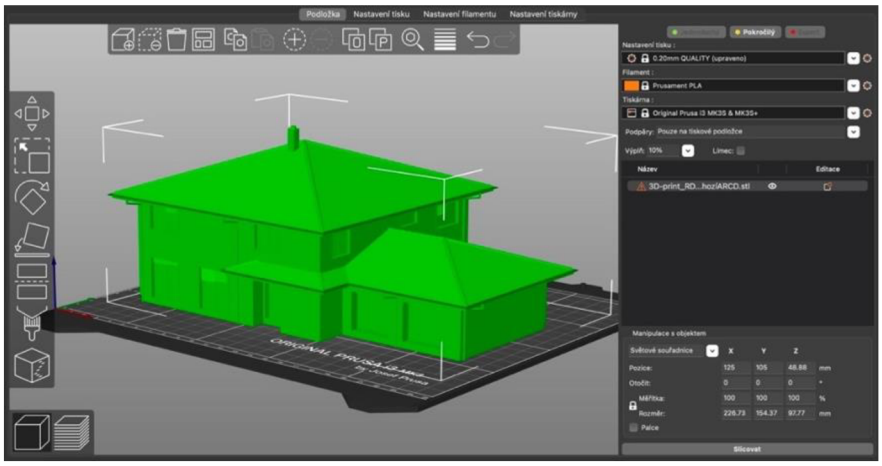
Z tohoto důvodu byl proveden první zkušební tisk pouze na úrovni importu modelů do slicerů a vyvození vzniklých chyb, na které slicery upozorňovaly.

4.8.1 Zkušební tisk – Archicad

Jelikož modelovací program Archicad již v několika posledních verzích disponuje možností exportu do formátu „stl“, byla tato nativní funkce využita. Následně proběhl import do všech slicovacích softwarů příslušných jednotlivým tiskárnám.

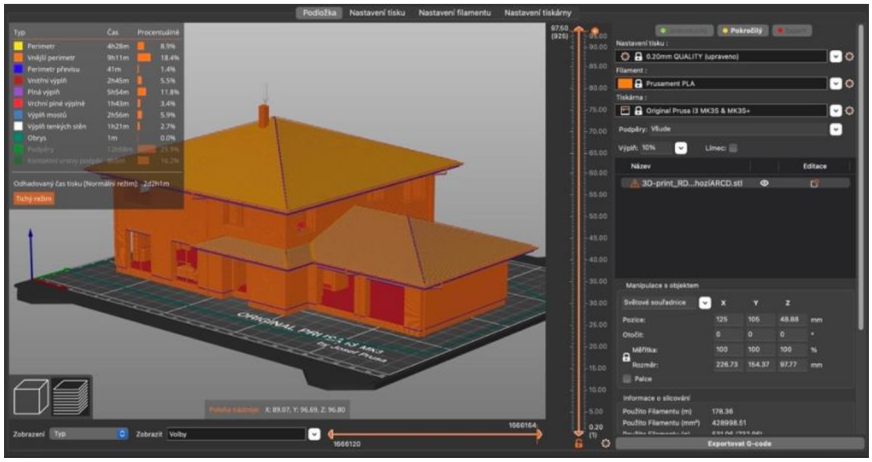
P-slicer

Model ve formátu stl byl importován do P-sliceru (obr. 31) příslušejícího tiskárně Průša i3 MK3S+. Na první pohled po importu objekt nejevil žádné známky naznačující chybný tisk. Vlastnosti tisku byly definovány dle parametrů stanovených výše v kapitole „4.5.1. M 1:100“.



Obrázek 31 - Referenční model po importu z programu Archicad do pracovního prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

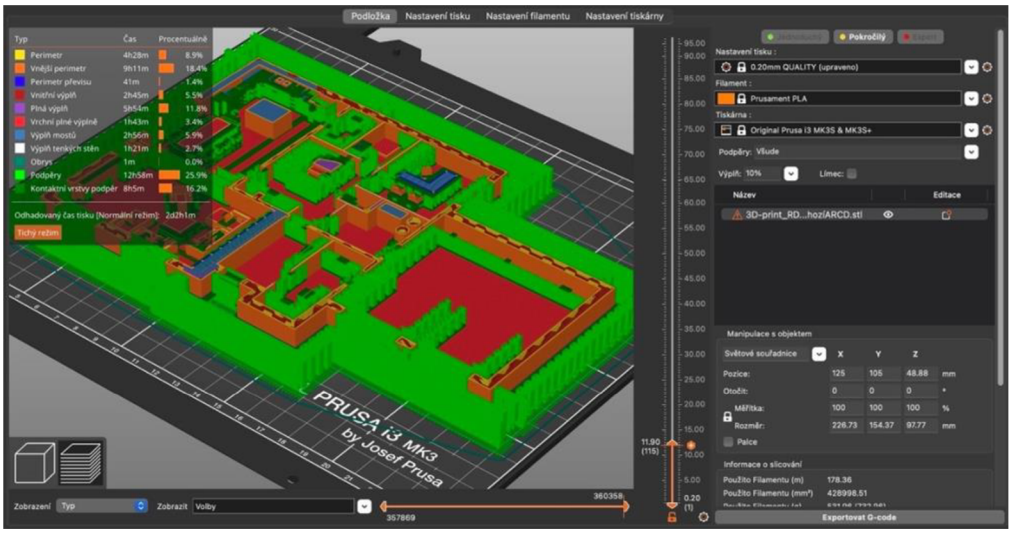
Následně bylo přistoupeno ke slicování modelu (obr. 32). Na obrázku níže po skrytí generovaných podpěr je již po prostudování odhadovaných vlastností tisku vidět několik nesrovnalostí. Například výplně oken, dveří a vrat u garáže kompletně zmizely. Dále je tmavě modrou barvou vidět perimetr převisu, který označuje části modelu, kde dochází k převisu konstrukce. Kvůli těmto převisům jsou generovány podpěry, nicméně v částech spojů střešních rovin nejsou předpokládány žádné převisy konstrukce a generování podpěr zde nedává smysl.



Obrázek 32 - Referenční model z programu Archicad po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Pro další zjištění chyb byl proveden půdorysný řez modelem (obr. 33) vedený před okenní otvory. Zde je patrné, že zelenou barvou znázorněné podpěry jsou dokonce generovány špatně, jelikož nejsou rozmístěny po celé půdorysné ploše, a tak ve fázi tisknutí stropů by došlo k tisku do volného prostoru bez podpěr a následnému zhroucení modelu. Od této části by bylo již nemožné počítat s korektním vytištěním modelu, všechny následující vrstvy by již byly vytištěny chybně.

Dle předběžného odhadu času potřebného pro tento neoptimalizovaný model by tisk trval přibližně 2 dny a 2 hodiny. Přibližně 21 hodin by trval jen tisk podpěr, což je téměř polovina doby tisku. Při tisku by tak bylo spotřebováno 178,29 m což je 531 gramů filamentu.



Obrázek 33 – Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

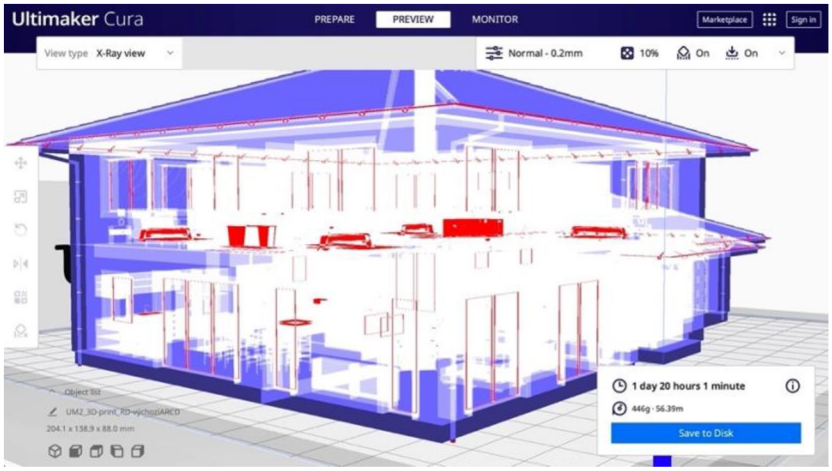
Cura

Po spuštění slicovacího programu Cura byl naimportován zkušební neupravený model (obr. 34). Slicovací software Cura ihned po importu hlásí chybu modelu s doporučením opravy vodotěsnosti hmoty. Následně byly nastaveny parametry tisku dle definovaného nastavení.

Slicovací program Cura oproti P-sliceru automaticky zobrazuje místa modelu, kde se předpokládá původ chyby tisku. Jedná se o světle modrou texturu s červeným vzorem. Tato textura se objevuje hlavně kolem oken, v místě okapů a též v částech vnitřního vybavení.

Obrázek 34 - Referenční model z programu Archicad po importu do pracovního prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

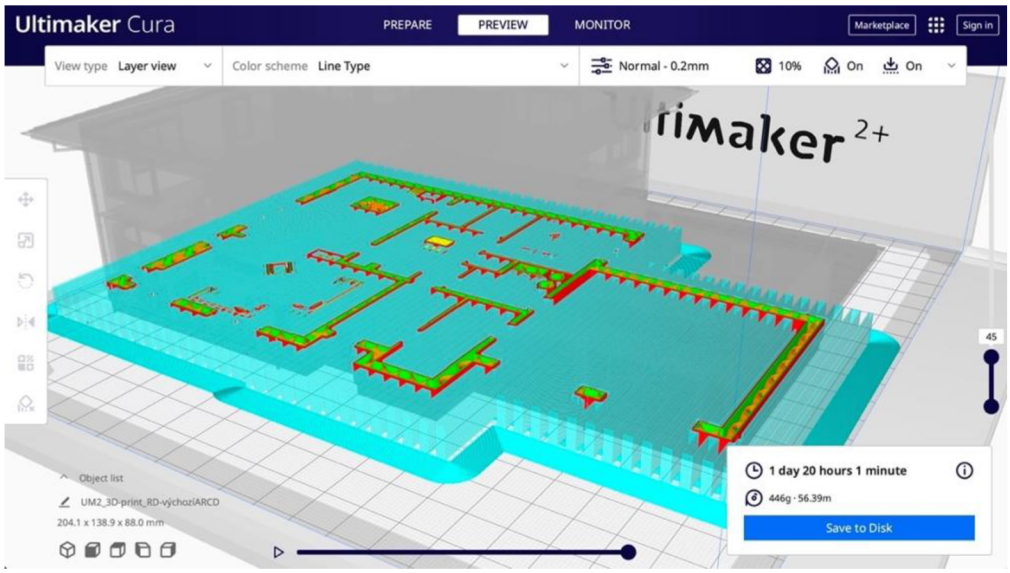
Při prohlédnutí neoptimalizovaného importu modelu v režimu X-ray (obr. 35) lze vidět červeně označená problematická místa. Jako na předchozím obrázku se jedná o stejná místa, tedy o hranice okenních otvorů, okapy a části vnitřního vybavení. Jsou tak označena místa, kde dochází k netěsnosti modelu.



Obrázek 35 – X-Ray zobrazení modelu z programu Archicad v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Po slicování modelu byl modelem stejně jako v předchozím případě veden řez v úrovní oken (obr. 36). Je patrné, že opět dochází k vynechání hmoty oken, dveří a vrat do garáže. Oproti P-sliceru zde však dochází ke správnému generování podpěr a model by se mimo tyto chyby neměl při tisku svislých konstrukcí zhroutit.

Odhad sliceru ohledně času potřebného k tisku je v tomto případě 1 den a 20 hodin. Na základě výpočtu slicerem by mělo být při tisku spotřebováno přibližně 446 g filamentu neboli 56,39 m.



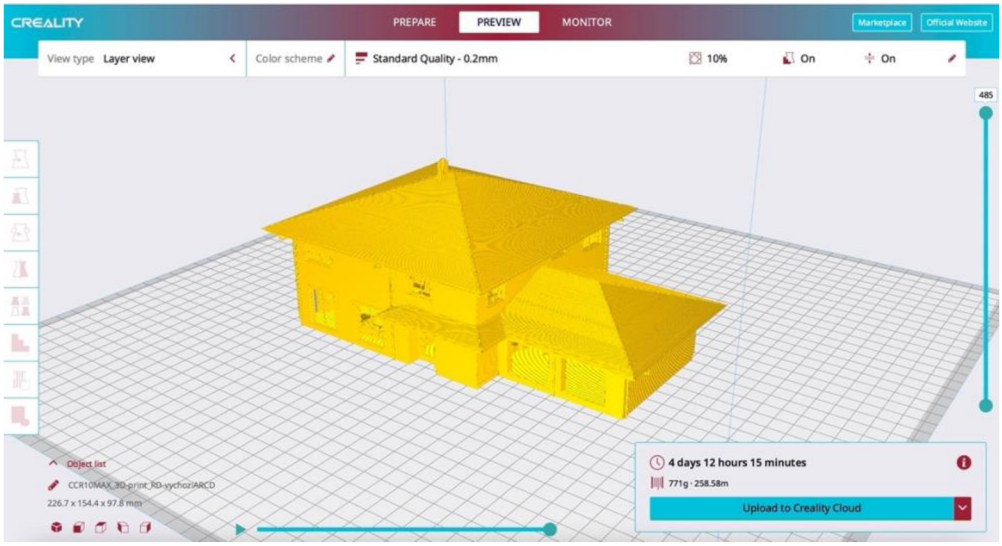
Obrázek 36 - Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Creality

Slicovací software k tiskárně Creality CR-10 MAX funguje velmi podobně jako slicer Cura tiskárny Ultimaker 2+, a tak hned po importu došlo k oznámení chyb vodotěsnosti hmoty modelu (obr. 37). Podobně jako slicer Cura zobrazuje pomocí barevného rozlišení ploch místa, ve kterých s největší pravděpodobností dojde k chybě tisku. Jedná se opět o oblasti kolem dveří, vrat garáže a oken, dále také okapových žlabů střech.

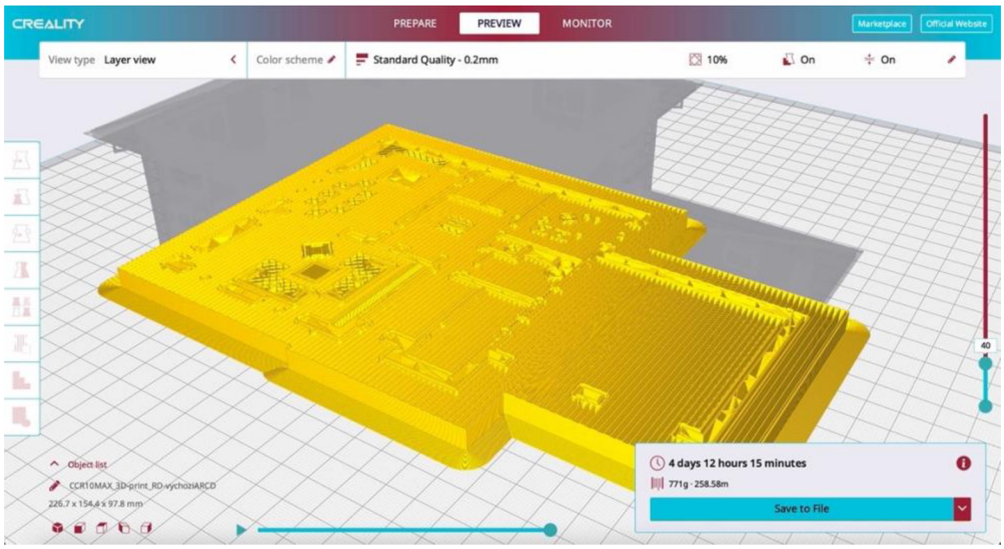
Obrázek 37 - Referenční model z programu Archicad po importu do pracovního prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Po rozdělení modelu na jednotlivé tiskové vrstvy je při skrytí generovaných podpěr vidět, že dochází k vynechání tisku vrat, oken a dveří (obr. 38).



Obrázek 38 - Referenční model z programu Archicad po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

V náhledu řezu modelem (obr. 39) je vidět plošné rozprostření generovaných podpěr. Je tedy pravděpodobné, že by mimo ostatní chyby v tisku s otvory nedošlo k propadnutí stropů nad přízemím a s tím celého zbytku modelu. Dle výpočtu sliceru bude tisk trvat 4 dny a 12 hodin, přitom bude spotřebováno 258,58 metrů filamentu, což je přibližně 771 gramů.



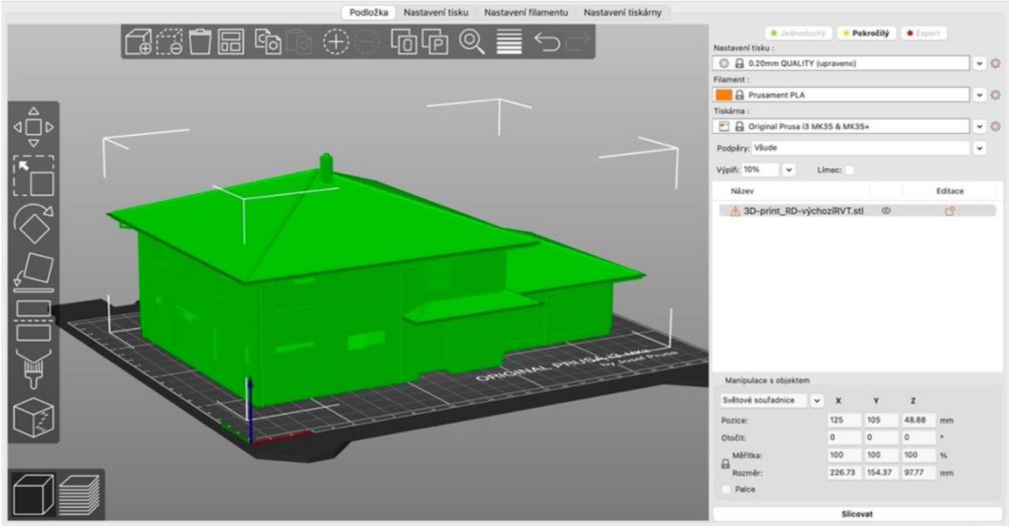
Obrázek 39 - Řez referenčním modelem z programu Archicad v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

4.8.2 Zkušební tisk – Revit

Referenční model rodinného domu byl převeden do programu Revit společnosti Autodesk a následně exportován do formátu stl pro tisk. Model byl dále importován do všech zvolených slicerů testovaných tiskáren.

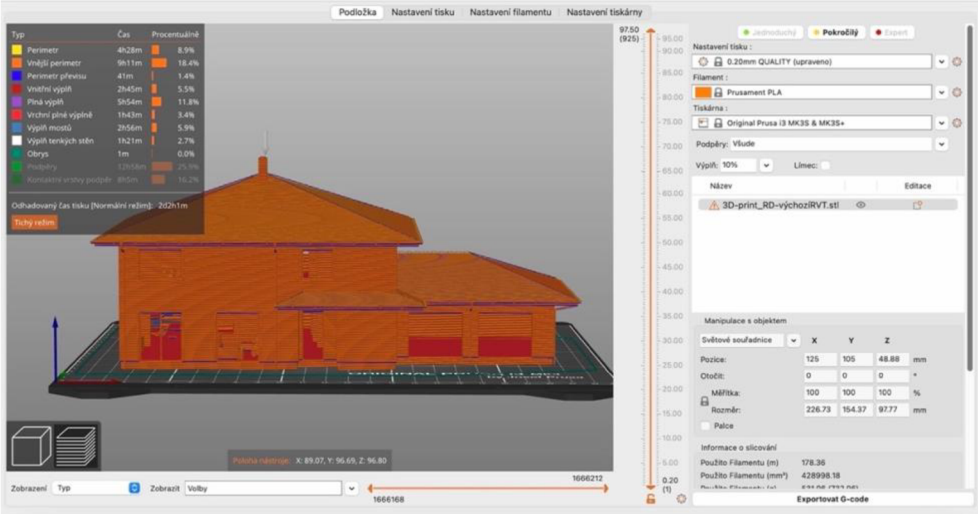
P-slicer

Na obrázku níže (obr. 40) je vidět, že P-slicer po importu modelu před slicováním téměř žádné informace o případných chybách nezobrazuje.



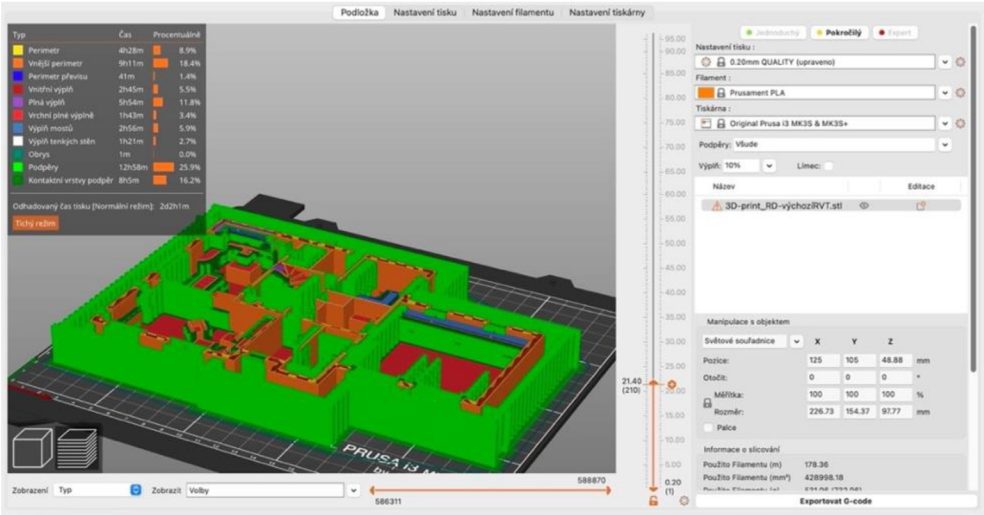
Obrázek 40 - Referenční model po importu z programu Revit do pracovního prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Se skrytou vrstvou podpěr (obr. 41) po slicování jsou vidět problémy v chybějící hmotě oken, dveří a vrat. Jde o v podstatě stejný problém jako při exportu z programu Archicad. V modře vykreslené vrstvě perimetru převisu jsou opět vidět místa, kde dojde k vygenerování podpěr, které jsou v případě nároží střešních rovin zbytečné. Při očišťování takových podpěr by navíc mohlo dojít k nechtěnému poškození modelu.



Obrázek 41 - Referenční model z programu Revit po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Model byl následně rozdělen řezem (obr. 42) mezi vrstvami pro zkoumání dalších nedostatků neoptimalizovaného modelu při tisku. Opět je patrné, že dochází k chybnému generování podpěr a model se při tištění stropu nad přízemím začne propadat. Velkou část doby tisku zde zaujímá tištění podpěr. Celý tisk modelu je odhadován na 2 dny a 2 hodiny při spotřebě 178,36 metrů a 530 g filamentů.



Obrázek 42 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Cura

V případě BIM softwaru Revit slicer Cura po importu modelu ihned označuje místa, kde dochází k netěsnosti modelu (obr. 43), případně místa, která mohou být zdrojem problémů při tisku. Příslušnou světle modrou šrafou s červeným vzorem jsou označena opět místa kolem oken, okapové žlaby, vrata garáže a objekty umístěné uvnitř modelu.

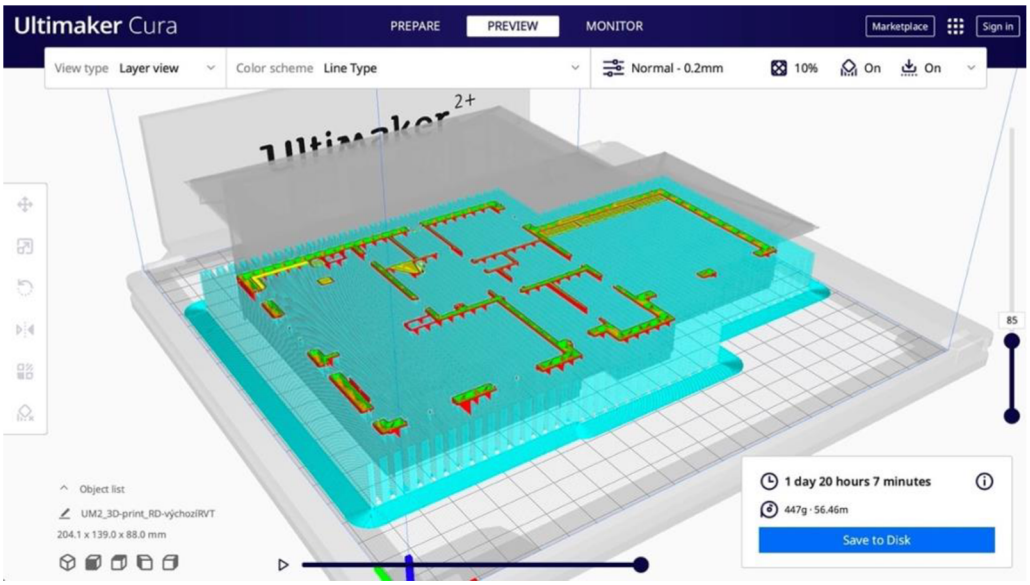
Obrázek 43 - Referenční model z programu Revit po importu do pracovního prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Přepnutím do X-Ray režimu sliceru (obr. 44) se problémová místa kolem okenních a dveřních otvorů znázorní červenou barvou. Je patrné, že jsou problémová místa po exportu z programu Revit velmi podobná jako po exportu z Archicadu.

Obrázek 44 - X-Ray zobrazení modelu z programu Revit v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Výše zmíněné problémy v režimu X-Ray potvrzuje i řez modelem (obr. 45). V místě oken i dveří chybí hmota. Nicméně generování podpěr proběhlo korektně a model by se neměl při tisku zbortit. Na základě výše označených ploch u vnitřního vybavení lze očekávat problémy s tiskem vnitřního vybavení, které by mohlo narušit či kompletně přerušit tisk.

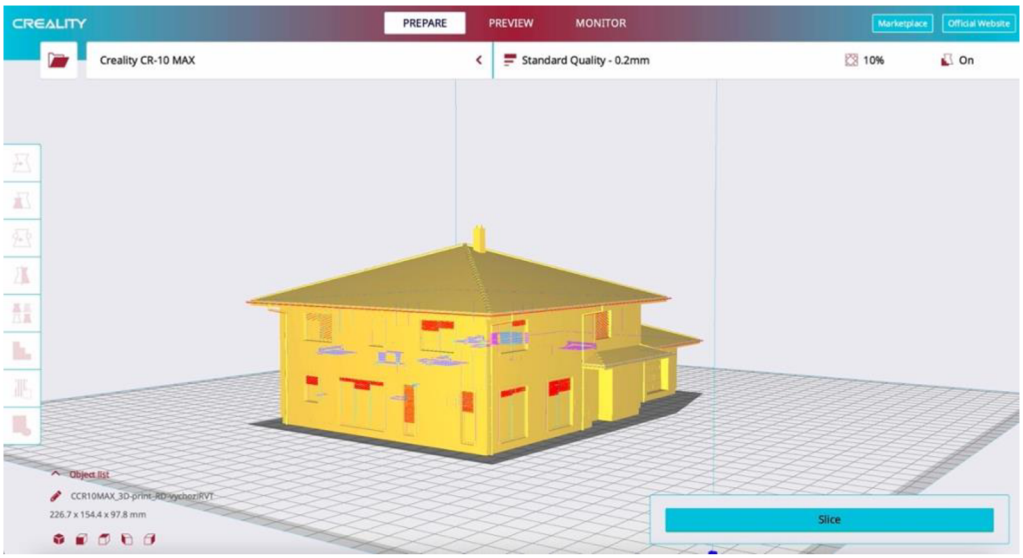
V případě odhadovaného času tisku modelu z programu Revit se jedná o tisk dlouhý 1 den a 20 hodin. Celkem tedy 56,46 metrů délky filamentu a 447 gramů.



Obrázek 45 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

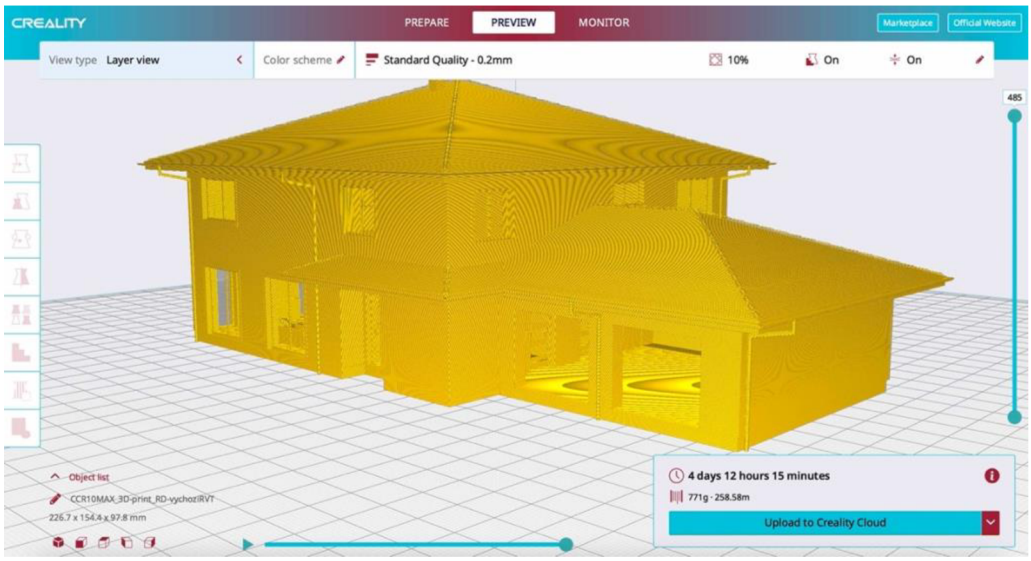
Creality

Po importu do sliceru Creality dochází k označení všech problematických míst (obr. 46). U modelu z programu Revit se jedná zejména o oblasti kolem oken, dveří, vrat a objektů uvnitř modelu.



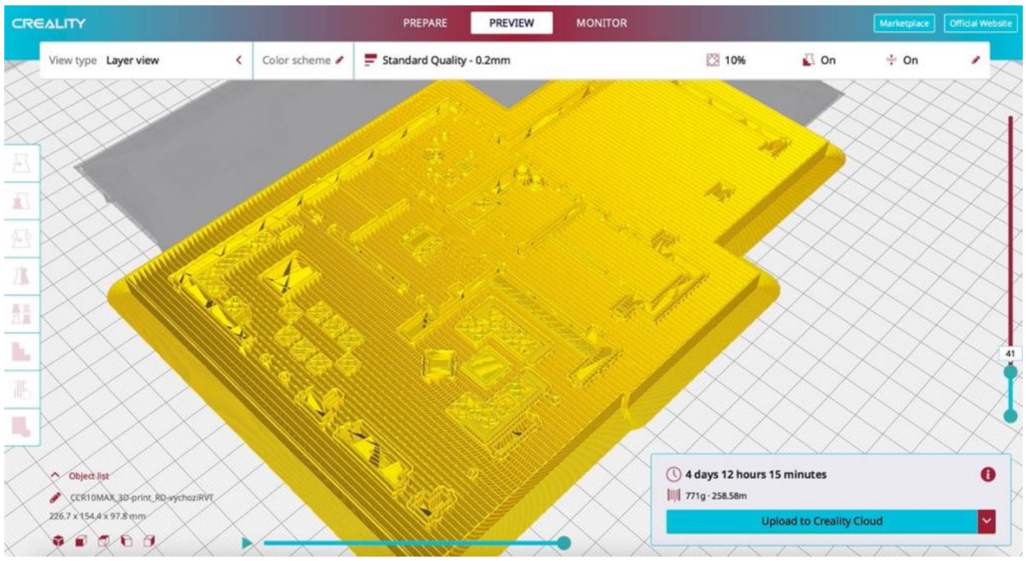
Obrázek 46 - Referenční model z programu Revit po importu do pracovního prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Při skrytí tiskových podpěr modelu lze vidět, že při tisku dojde k nevytištění oken (obr. 47), vrat a dveří. Vnitřní nábytek a vybavení, dle šraf výše, pravděpodobně nebude vytištěn se zbytkem modelu korektně kvůli neúplnému spojení s ostatní hmotou.



Obrázek 47 - Referenční model z programu Revit po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Na obrázku níže (obr. 48) s půdorysným řezem modelem mezi vrstvami lze opět vidět chyby při tištění výplní otvorů. Generování podpěr uvnitř modelu ve sliceru Creality proběhlo korektně. U některých části vnitřního vybavení je vidět, že došlo ke spojení se zbytkem modelu správně a vnitřní výplň je provázána s vnějším zdivem domu. Naopak u některých části je vidět, že vnitřní výplň je oddělena od vnějšího zdiva domu. Tisk samotný by dle predikce sliceru trval přibližně 4 dny a 12 hodin. Při tisku by tak bylo zpracováno 771 gramů materiálu v délce 258,58 metrů.



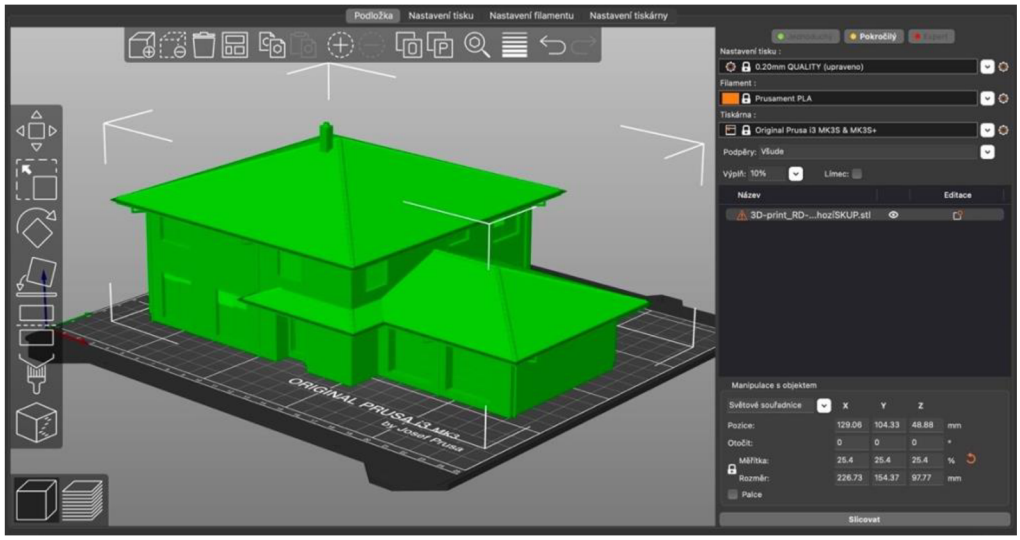
Obrázek 48 - Řez referenčním modelem z programu Revit v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

4.8.3 Zkušební tisk – SketchUp

Software SketchUp pro 3D modelování nativně umožňuje exportovat projekty do obecného stl formátu, s kterým slicery tiskáren umí pracovat. Model byl exportován do stl formátu pomocí nativního nástroje programu SketchUp a následně byl analyzován ve všech zvolených slicerech.

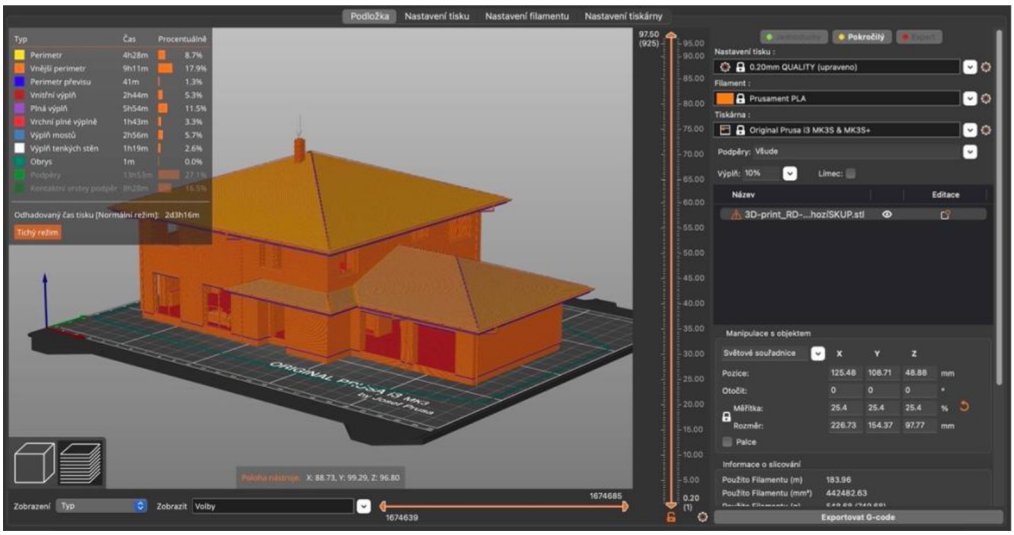
P-slicer

Ihned po importu modelu z programu SkechtUp do P-sliceru nejsou opět vidět žádné problémové části (obr. 49), jelikož slicer příslušný k tiskárně Průša i3 MK3S+ nezobrazuje problémové části po importu modelu jako tomu dělá slicer firmy Ultimaker či Creality.



Obrázek 49 - Referenční model po importu z programu SketchUp do pracovního prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

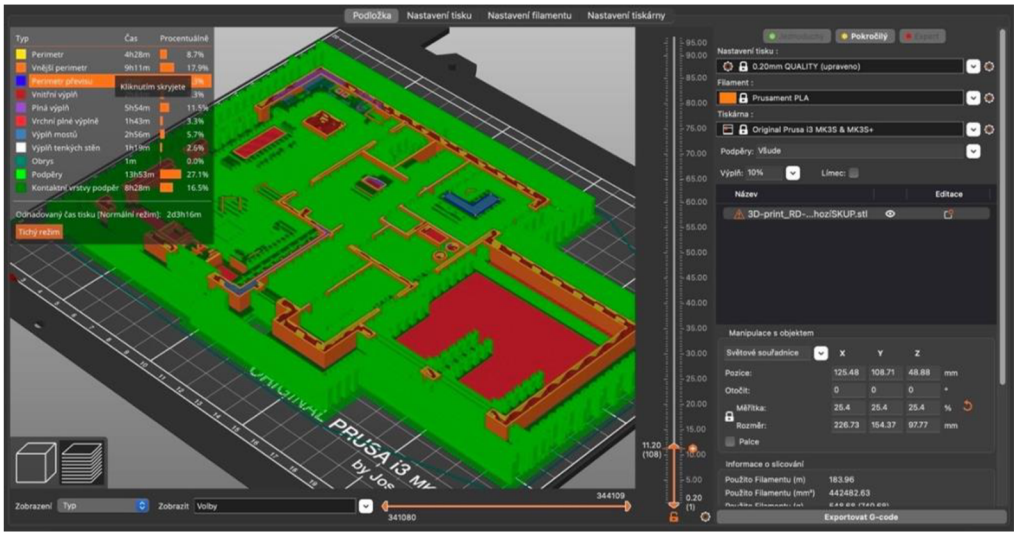
Na obrázku níže (obr. 50) je opět vidět vzniklé problémy kolem oblasti oken, vrat garáže a dveří. Perimetr převisu opět označuje všechny části modelu, které přesazují do volného prostoru a příslušná tmavě modrá barva je vidět opět i v oblasti okapních žlabů a nároží střešních rovin.



Obrázek 50 - Referenční model z programu SketchUp po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Při pohledu na řez modelem (obr. 51) po provedeném slicování objektu je vidět, že generování podpěr proběhlo podstatně lépe, nicméně v oblasti garáže ke generování podpěr nedochází, i přesto, že nad touto částí modelu později dojde k tisku vodorovné konstrukce, která ale díky nepřítomnosti podpěr propadne. Existuje zde šance, že se hlavní, větší část modelu vytiskne až na otvory v obvodu modelu korektně, zatímco druhá menší část s garáží vykáže fatální chyby a deformaci modelu.

Změna v generování podpěr je vidět i na časovém údaji, který se zvýšil na 2 dny a 3 hodiny. Celkem se spotřebuje 183,96 metrů filamentu o váze 548,68 gramů.



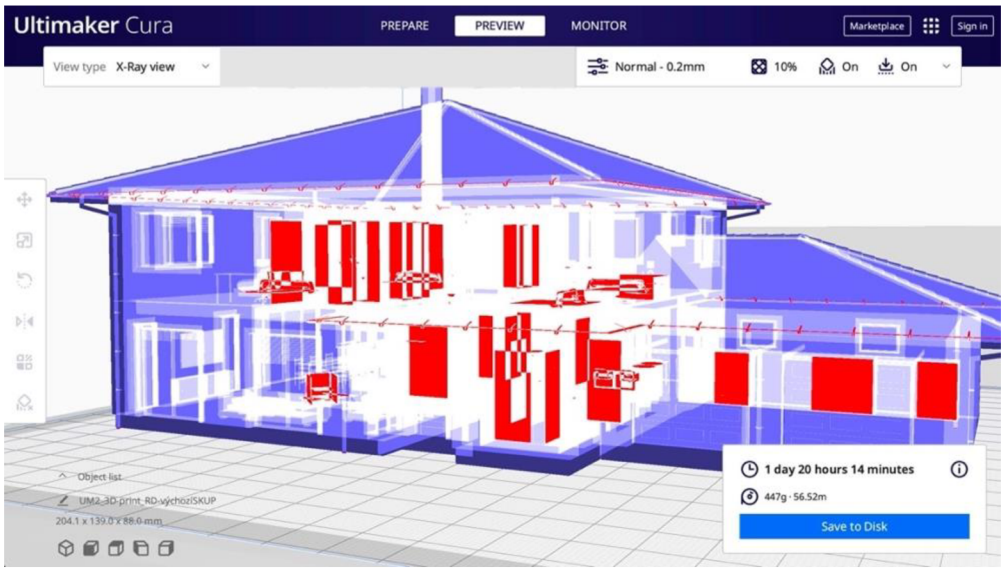
Obrázek 51 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

Cura

I v případě importovaného modelu z programu SketchUp do sliceru Cura byly v modelu nalezeny chyby (obr. 52), oproti BIM softwarům Archicad a Revit jsou však jiného charakteru. Okraje okenních otvorů, dveří a vrat již nejsou označeny tyrkysovou barvou s červenou šrafou, zde tedy problém jako předtím nevzniká. Zůstávají však označené okapní žlaby a nově přibyly plochy na vnitřním vybavení, zejména nábytku. Problém s nábytkem je způsoben špatnou orientací ploch, které program SketchUp rozděluje na rubovou a lícovou stranu, tedy vnitřní a vnější pohled. V případě opačné orientace, kde vnitřní strana stěny směřuje ven, dochází k problému při tisku, kde se vnitřní strana jeví jako prázdná a slicer tak neregistruje uzavřený objekt po všech stranách.

Obrázek 52 - Referenční model z programu SketchUp po importu do pracovního prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Režim zobrazení X-Ray ještě lépe zobrazuje problematické plochy vnitřního vybavení uvnitř rodinného domu (obr. 53). Okapní žlaby také stále zůstávají zobrazeny jako problémové části, pravděpodobně kvůli velmi slabé tloušťce žlabu, kterou tiskárna nezvládne správně vytisknout.



Obrázek 53 - X-Ray zobrazení modelu z programu SketchUp v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

V půdorysném řezu jsou vidět správně generované podpěry (obr. 54). Samotné výplně oken se však stále netisknou z důvodu velmi malé tloušťky skleněné výplně ve virtuálním modelu, kterou tiskárna nedokáže vytisknout. Tisk modelu dle výpočtu sliceru zabere přibližně 1 den a 20 hodin a dojde ke spotřebě 447 gramů materiálu při délce 56,52 m.

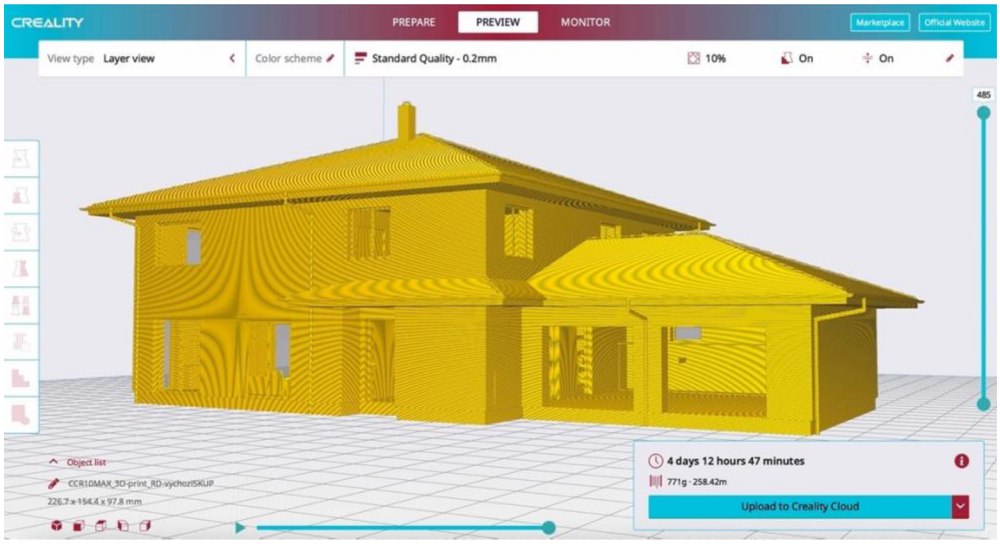
Obrázek 54 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Creality

Importovaný model do sliceru Creality opět zobrazuje problémové plochy vnitřního vybavení, stále se jedná o špatně orientované vnitřní a vnější strany hmoty (obr. 55). Ani ve sliceru Creality se nezobrazují problémová místa kolem oken, dveří a vrat.

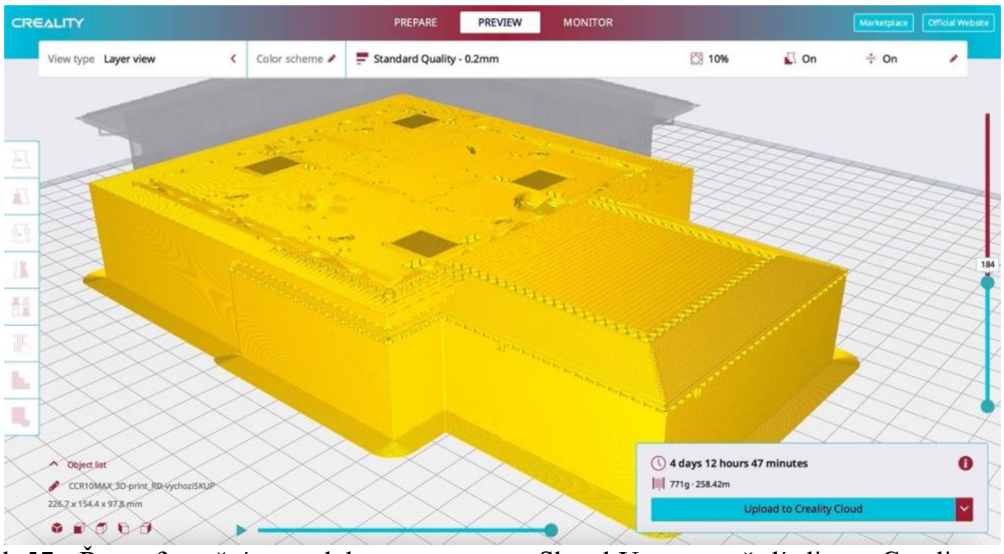
Obrázek 55 - Referenční model z programu SketchUp po importu do pracovního prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Po slicování modelu při vypnuté vrstvě podpěr je vidět problémy s nevytištěnou výplní oken, dveří a vrat (obr. 56). Ostatní části modelu se zdají být v pořádku. V náhledu garážovými vraty v pravé nižší části modelu je také vidět, že skříň u zadní stěny nemá čelní část. Je tomu tak z důvodu špatně orientované vnitřní a vnější strany hmoty.



Obrázek 56 - Referenční model z programu SketchUp po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

Z řezu půdorysem (obr. 57) druhého nadzemního podlaží jsou vidět na základě zběžné obhlídky drobné chyby či nedostatky. Nic však nenaznačuje celkovému kolapsu tisknutého modelu. Tisk samotný je slicerem odhadovaný na 4 dny a bezmála 13 hodin. Na tisk modelu bude spotřebováno přibližně 258,42 metrů filamentu vážícího 771 gramů.



Obrázek 57 - Řez referenčním modelem z programu SketchUp v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

4.9 Předtisková optimalizace modelu

Jelikož oficiálně zdroje k přípravě modelu od vývojářů jednotlivých softwarů existují pouze ve formě návodu k exportu do formátu stl, ale velmi málo řeší optimalizaci samotnou, bylo při předtiskové optimalizaci modelu bylo postupováno s pomocí odborných návodů dostupných na internetu či odborných fórech. Doporučené kroky byly následně ověřeny při optimalizaci modelu a pro diplomovou práci použity jen ty kroky, které ve skutečnosti fungovaly. Některé návody a zkušenosti odborníků totiž nebyly již aktuální z důvodu postupného vývoje, přípravy a doplňování nástrojů k převodu modelu do formátu stl.

4.9.1 Optimalizace modelu v programu Archicad

Duplikování souboru – Z důvodu velmi razantních zásahů do modelu, včetně některých destruktivních a nevratných, bylo provedeno duplikování pracovního souboru, aby původní soubor obsahující model a případnou výkresovou dokumentaci, zůstal netknutý. Následné úpravy byly prováděny v duplicitní kopii určené pro předtiskovou optimalizaci.

Odstranění drobných a nerelevantních prvků – Při optimalizaci pro tisk a prezentaci modelu z pohledu exteriéru došlo k odstranění všech objektů nacházejících se uvnitř modelu (nábytek, vnitřní stěny apod.). Prvky nerelevantní pro tisk je možné skrýt v nastavení příslušných vrstev v případě, že jsou prvky roztříděny správně a daná vrstva neobsahuje nějakou část prvků, které jsou pro tisk podstatné. Z důvodu případných komplikací při tisku byly odstraněny drobné prvky v části exteriéru jako například okapní žlaby a venkovní žaluzie (obr. 58). Tyto drobné prvky by při zmenšení a exportu do měřítka 1:100 zanikly nebo způsobovaly značné obtíže při tisku.

Obrázek 58 - Referenční model před a po úpravě drobných detailů
Zdroj: Vlastní zpracování

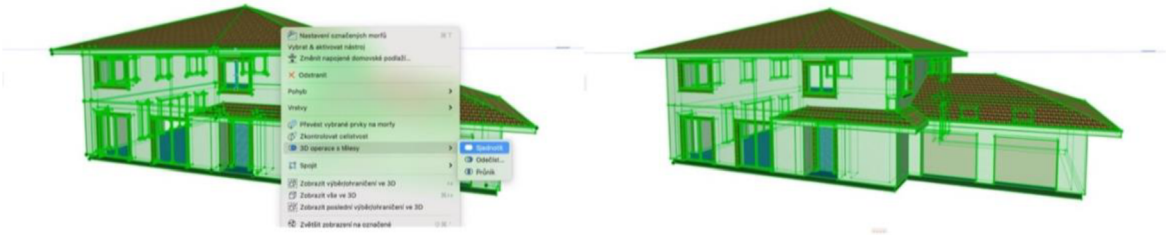
Zjednodušení a úprava tloušťky prvků – Některé prvky s drobným vzorem, jako je třeba dekor garážových vrat či dveří, bylo před tiskem potřeba zjednodušit. Jiné prvky, kterými jsou například rámy oken, bylo nutné zvětšit (obr. 59), aby při samotném tisku nezanikly a fyzický tištěný model domu nepůsobil jako by neměl žádné výplně okenních a dveřních otvorů. Při zjednodušování a zvětšování drobných detailů bylo vždy uváženo, zdali je daný detail pro finální tištěný model přínosem a jeho viditelnost je nutná, nebo se jedná pouze o dekorativní prvek, který by narušoval model nebo působil jeho nekorektní vytištění.

Obrázek 59 - Detaily modelu před zjednodušením
Zdroj: Vlastní zpracování

Převedení objektů na morfy – Kvůli tomuto zákroku byla před zahájením optimalizace modelu pro 3D tisk vytvořena kopie původního souboru. Jedná se totiž o krok nevratný, který zpřetrhá veškeré vazby mezi jednotlivými objekty v modelu a zanechá pouze velký počet jednotlivých ploch, z kterých se objekty doposud skládaly (obr. 60). Po převedení na morfy model ztrácí primární charakteristiky BIM modelování a jednotlivé objekty nesoucí informace již neexistují.

Obrázek 60 - Ukázka převedení objektů na morfy
Zdroj: Vlastní zpracování

Sjednocení – Všechny samostatné plochy, které zůstaly po převedení na morfy byly následně sjednoceny pomocí operace sjednocení (obr. 61). Po provedení sjednocení existuje model jako jedna velká spojená hmota.



Obrázek 61 - Proces sjednocení
Zdroj: Vlastní zpracování

Rozdělení modelu – Pro jednodušší tisk bez nutnosti podpěr byl model rozdělen na tři díly tak, aby jednotlivé části střech bylo vždy možno umístit na tiskovou podložku bez podpěr (obr. 62). Rozdělení bylo provedeno pomocí dvou nových kopií ke stávajícímu modelu (jedna kopie modelu pro jeden díl tisku) a následně byla přebývající hmota jednotlivých dílů obalena prvkem morfu a odečtena od uvažovaného dílu pro tisk. První částí bylo zvoleno přízemí domu až po první přesah střechy nad garáží. Druhá část obsahovala střechu garáže a druhého nadzemního podlaží domu až po samotnou střechu nad druhým nadzemním podlažím. V třetí části zůstala samotná střecha nad druhým nadzemním podlažím.

Obrázek 62 - Logické rozdělení modelu na části dle převislých konstrukcí
Zdroj: Vlastní zpracování

Umístění na ose Z=0 – Všechny tři díly modelu po odečtení hmoty byly následně umístěny na absolutní nulu na ose Y, aby po exportu nedošlo ke zdánlivé levitaci částí na tiskové podložce. Jednotlivé díly byly následně postupně selektovány ve 3D náhledu a exportovány do formátu stl, který je vhodný pro 3D tisk.

Oprava vodotěsnosti – Jelikož formát stl může obsahovat chyby v těsnosti hmoty, které nejsou na první pohled vidět, byly jednotlivé díly pro tisk opraveny pomocí automatického online nástroje 3D tools společnosti Microsoft. Preventivně tak bylo zabráněno chybám v jednotlivých slicerech, které by se projevovaly jako vynechání části hmoty modelu, zhroucení se, či předčasné ukončení tisku.

4.9.2 Optimalizace modelu v programu Revit

Duplikování souboru – Z důvodu bezpečnosti originálního souboru, který při plném využití BIM softwaru obsahuje celou dokumentaci výstavby, byl soubor duplikován a předtisková optimalizace dál probíhala v duplikátu originálního souboru.

Odstranění drobných detailů – Podobně jako u Archicadu byly odstraněny drobné detaily a nerelevantní prvky obsažené uvnitř modelu, které ve finálním výtisku nebudou vidět. Tyto

prvky je též dle příslušného roztřídění dle BIM koncepce možno skrýt v příslušných vrstvách. Dále došlo k odstranění drobných prvků na exteriéru modelu, jako jsou okapní žlaby a svody, venkovní okenní žaluzie, hřebenáče. V případě tisku by tyto prvky byly původem případných chyb a nutnosti podpěr, které by se nakonec špatně likvidovaly.

Úprava prvků s minimální tloušťkou – Takové prvky byly v případě důležitosti tisku zvětšeny, co se tloušťky týče, aby při zmenšení do měřítka nezanikly. Některé detailní prvky byly zjednodušeny, obecně ale tomuto problému pomáhá nově implementovaný nástroj exportu do stl, kde lze před exportováním zvolit rozlišení modelu od jemného přes střední po hrubé.

Sjednocení – Celý model byl následně spojen do jednoho celistvého bloku.

Rozdělení na části – 3D model byl v rámci optimalizace stejně jako v případě programu Archicad rozdělen na tři části podle přesahů střešní konstrukce, aby došlo k co nejmenší nutnosti užití podpěr modelu při tisku. Tím se razantně zredukuje spotřeba materiálu a potřebný čas k tisku.

Umístění na Z=0 – Jednotlivé části modelu byly umístěny výškově na hodnotu ±0,000, aby nedošlo k případný potížím s umístěním modelu v prostoru při tisku. Pro ujištění, že nedojde k chybě ve výškovém umístění kvůli jinému osamocenému prvku v pracovním prostoru, který nesouvisí s řešeným modelem, byl export do stl formátu prováděn pouze na označeném výběru částí modelu.

Oprava vodotěsnosti – Model by po sjednocení měl být vodotěsný a neměly by se vyskytovat chyby. Nicméně i přesto byl užit cloudový nástroj opravy vodotěsnosti 3D tools od společnosti Microsoft.

4.9.3 Optimalizace modelu v programu SketchUp

Duplikování souboru – Předtiskovou optimalizaci je vždy bezpečnější provádět v duplicitním souboru originálního modelu. Lze tím zamezit náhodným a nechtěným omylům při optimalizaci.

Odstranění drobných detailů – Takové detaily, které nejsou relevantní pro tisk nebo by znamenaly zbytečné komplikace, byly z modelu odstraněny. V programu SketchUp je též možné jednotlivé objekty skrýt, nicméně zde nefunguje kategorizace do vrstev, a tak je třeba jednotlivé objekty skrývat postupně.

Úprava prvků s minimální tloušťkou – Prvky, které byly příliš tenké, jako třeba výplně oken, byly upraveny na silnější, aby nedošlo k jejich vynechání slicovacím programem příslušné tiskárny.

Oprava orientace stran – Pro software SketchUp je specifické rozdělování stran prvků na rubovou a lícovou stranu. Pro korektní vytištění hmoty je důležité, aby všechny vnitřní strany jednotlivých části hmoty směřovaly dovnitř. Vnitřní strany byly zkontrolovány a opraveny tak, aby směřovaly vždy dovnitř hmoty daného objektu.

Sjednocení – Cely 3D model byl v rámci optimalizace pro tisk sjednocen do celistvé hmoty, aby nedocházelo k chybám při tisku. V případě celistvosti hmoty bylo staženo rozšíření Solid Inspector[2] od vývojáře Thomase Thomassena. Tímto rozšiřujícím nástrojem byla celistvost hmoty zkontrolována a opravena.

Rozdělení na části – Model byl při optimalizaci rozdělen na části tak, aby se minimalizovala potřeba podpěr, a tak snížila spotřeba filamentu a redukovala doba tisku.

Umístění na Z=0 – Všechny části modelu byly umístěny na nulovou souřadnici ve směru osy Z, aby případně nevznikly chyby tisku s umístěním modelu lehce nad tiskovou podložkou.

Oprava vodotěsnosti – I přestože pomocí Solid Inspector[2] byla provedena kontrola a opravy hmoty modelu, byl model preventivně opraven opět v cloudovém nástroji Microsoftu 3D tools.

4.10 Druhý zkušební tisk

Před druhým zkušebním tiskem byly provedeny všechny potřebné úpravy modelu tak, aby tisk proběhl co nejsnadněji.

Virtuální modely byly importovány opět do slicerů pro kontrolu výskytu chyb. Po bezchybné kontrole v jednotlivých slicerech byly modely vytisknuty při výše definovaném nastavení u externích tiskařů a byla zhodnocena zdařilost tisku při definovaném nastavení.

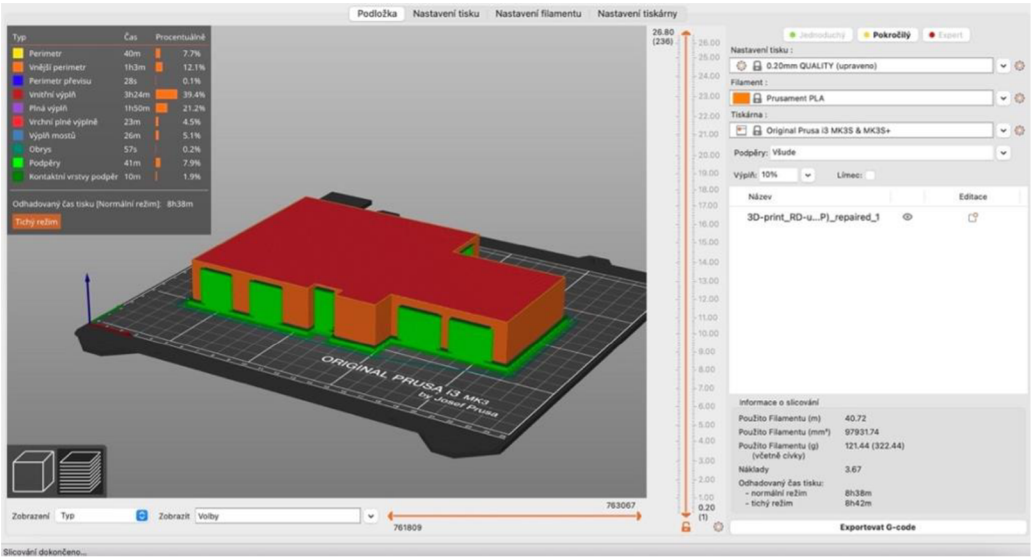
Vytištěné modely z druhého zkušebního tisku jsou dále podkladem pro senzorickou část v semistrukturovaných rozhovorech s odborníky z praxe, kteří je budou hodnotit z hledisek stanovených v návodu pro rozhovor.

Jelikož optimalizovaný model po odstranění chyb byl vždy z každého 3D modelovacího programu stejný, nebyly při kontrole ve slicerech rozlišovány jednotlivé programy. Celá kontrola byla zejména zaměřena na problematická místa identifikována při prvním zkušebním tisku.

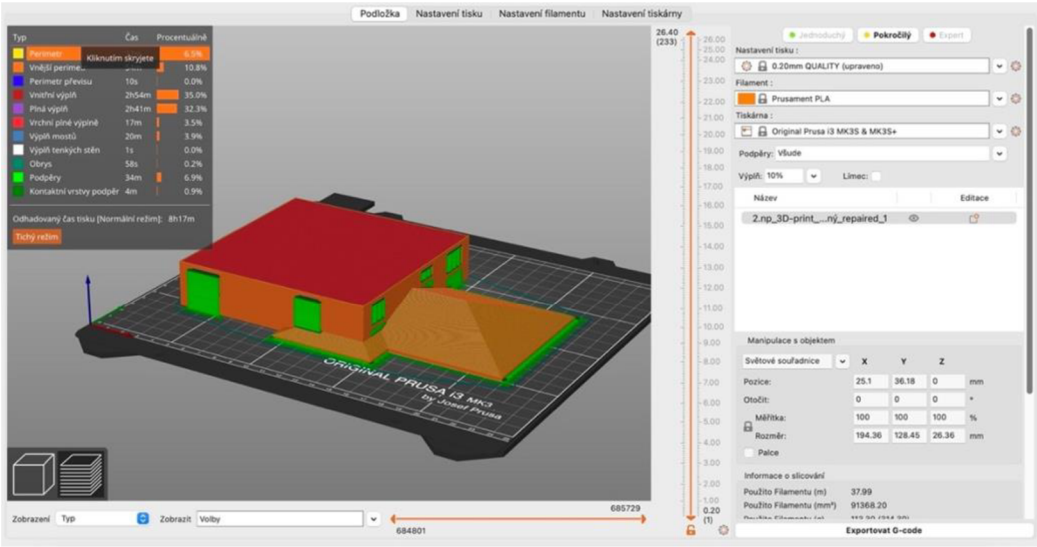
P-slicer

Všechny tři importované jednotlivé části architektonického modelu do sliceru tiskárny Průša i3 MK3S+ nenaznačují jakékoliv problémy s tiskem (obr. 63, 64, 65). Optimalizací došlo k velké úspoře podpor a není vidět žádné chyby v jejich generování. Z obrázků níže je patrné, že podpěry nyní nezabírají dominantní část tiskového času.

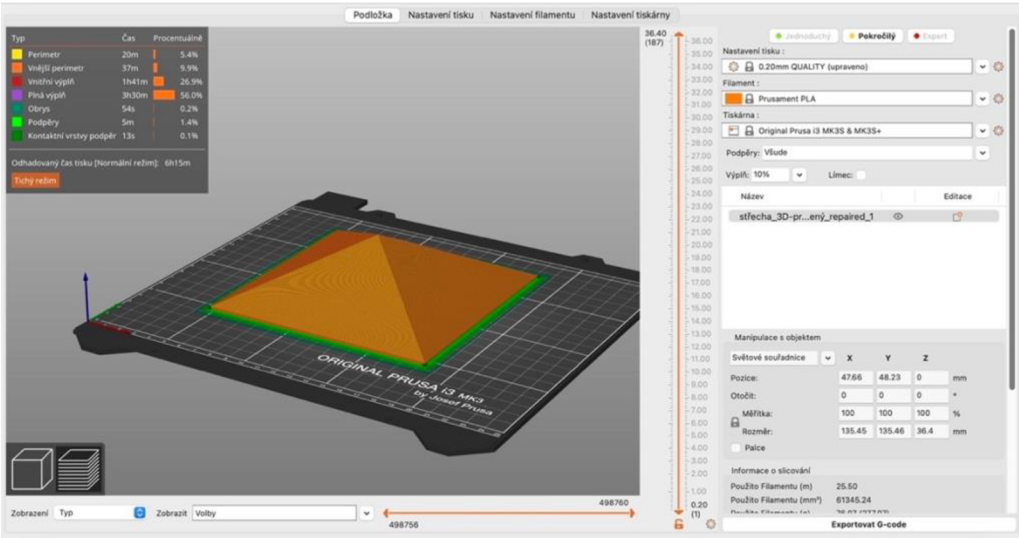
Na daný tisk po optimalizaci bude dohromady spotřebováno 104,21 metrů filamentu, což je přibližně 311,14 gramů s celkovou dobou tisku v normálním režimu 23 hodin a 8 minut.



Obrázek 63 – Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 64 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

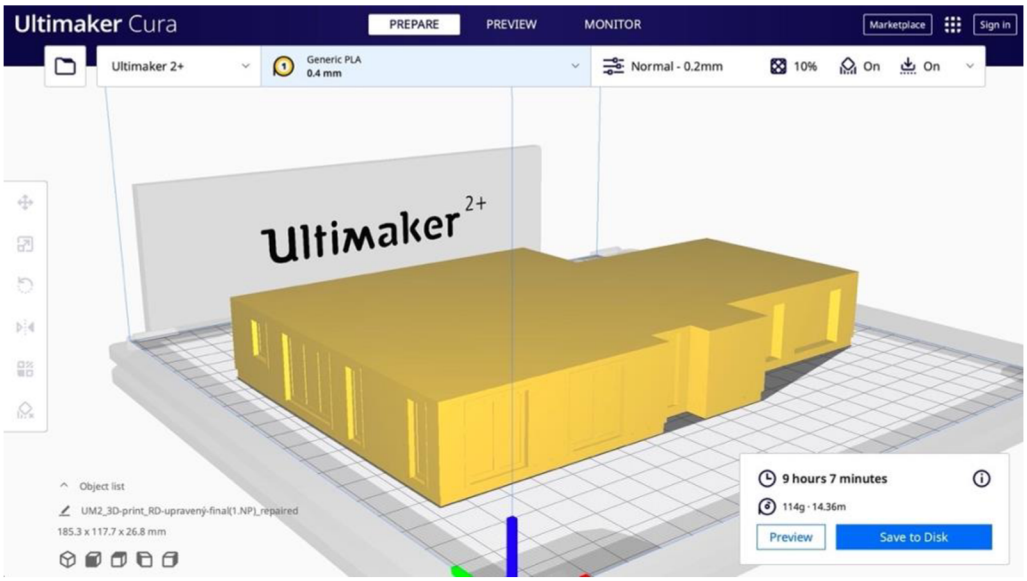


Obrázek 65 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí Prusa sliceru
Zdroj: Vlastní zpracování

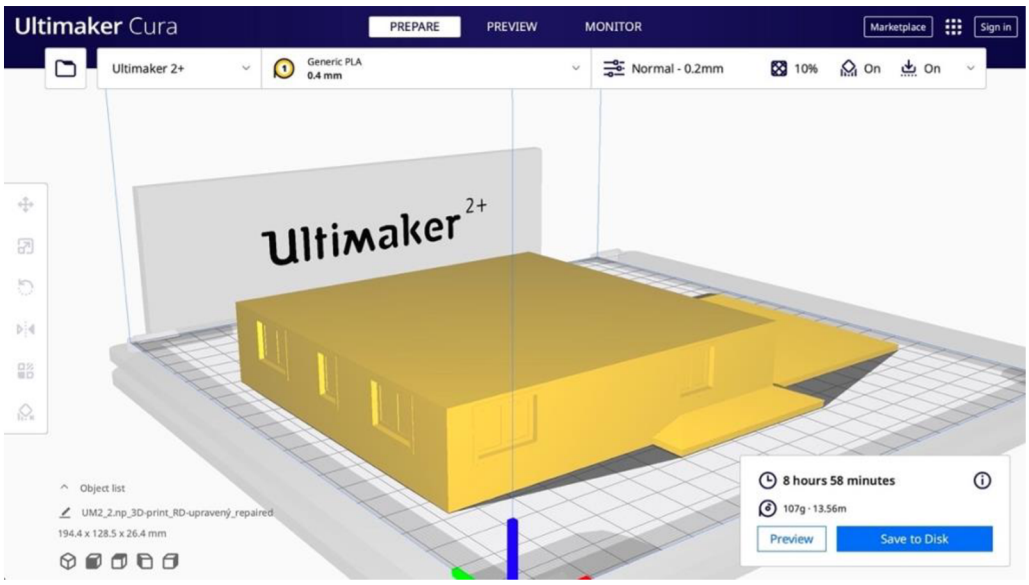
Cura

Na obrázcích níže (obr. 66, 67, 68) je vidět, že po importu modelu do slicovacího programu tiskárny Ultimaker 2+ nedochází k označení žádných částí modelu, které by mohly způsobit při tisku chyby, či přerušení celého tisku.

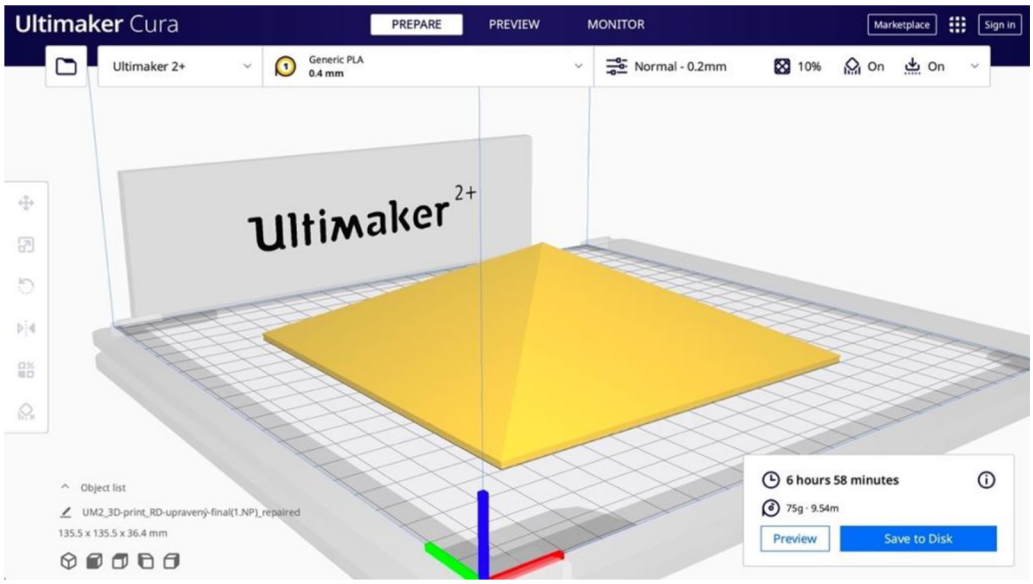
Tisk modelu celkem zabere 25 hodin a 3 minuty. Dále se spotřebuje 37,46 metrů filamentu, což je přibližně 296 gramů.



Obrázek 66 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

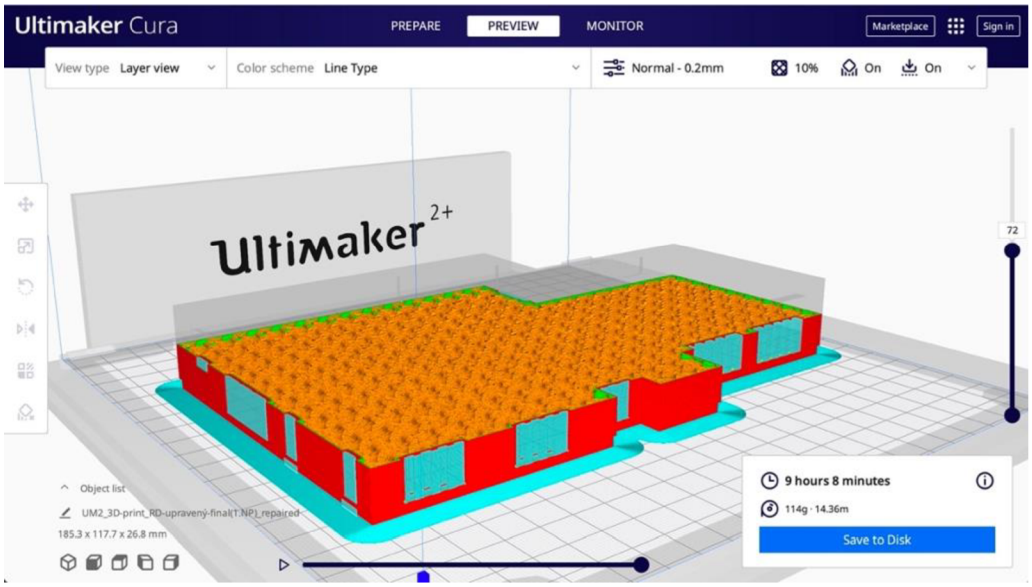


Obrázek 67 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování



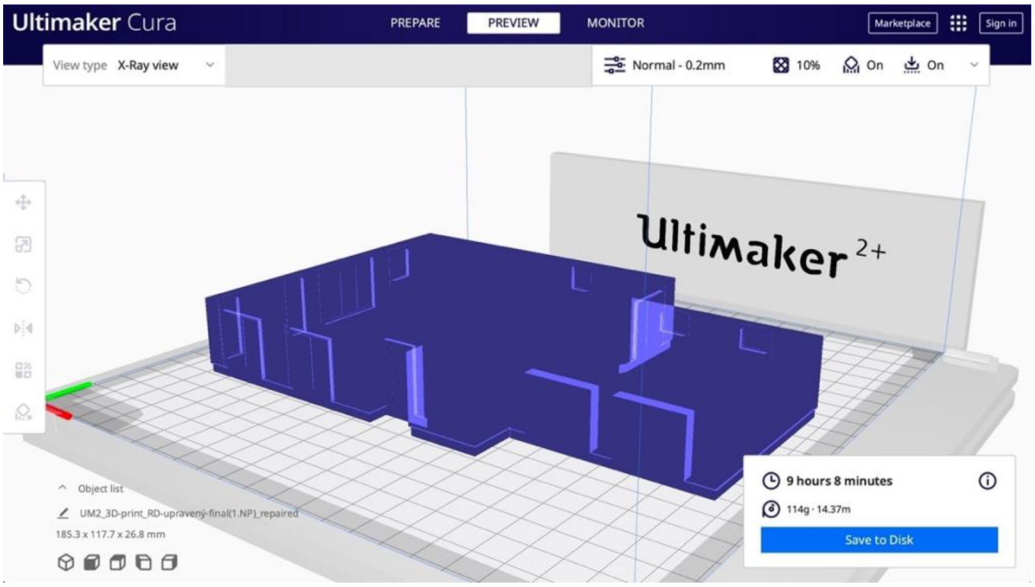
Obrázek 68 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí sliceru Cura
Zdroj: Vlastní zpracování

Půdorysný řez přízemím (obr. 69) ukazuje, že po optimalizaci došlo k nahrazení podpěr vnitřních prostorů vnitřní výplní, která v modelu již zůstane. Je také vidět, že zde nevznikají žádné problémy s chybějící vnitřní výplní oken, dveří a vrat. Generované podpěry vypadají na první pohled korektně a nic nenasvědčuje tomu, že by mělo dojít k jakémukoliv problému s podepřením tisknuté hmoty.



Obrázek 69 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura se zobrazení vnitřní výplně
Zdroj: Vlastní zpracování

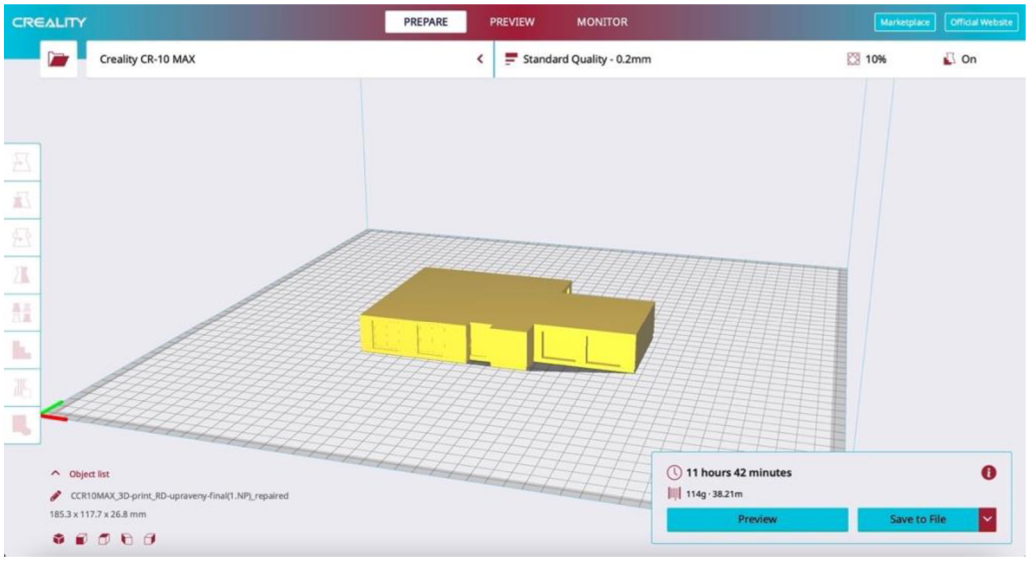
Stejně tak při přepnutí do režimu X-Ray (obr. 70) je patrné, že v modelu nedochází k žádným problémovým místům či špatně orientovaným plochám a špatnému spojení hmoty.



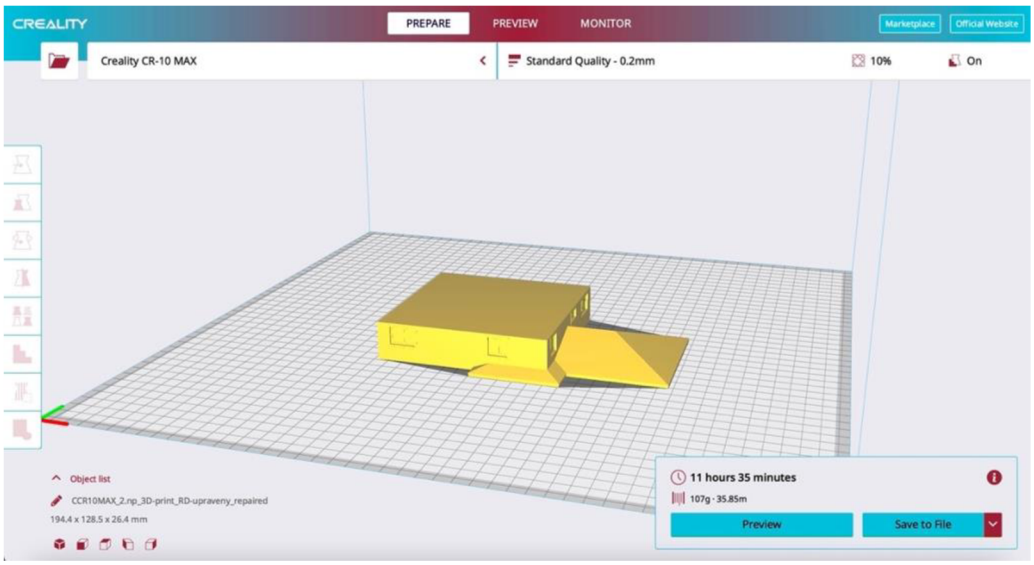
Obrázek 70 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Cura v X-Ray zobrazení
Zdroj: Vlastní zpracování

Creality

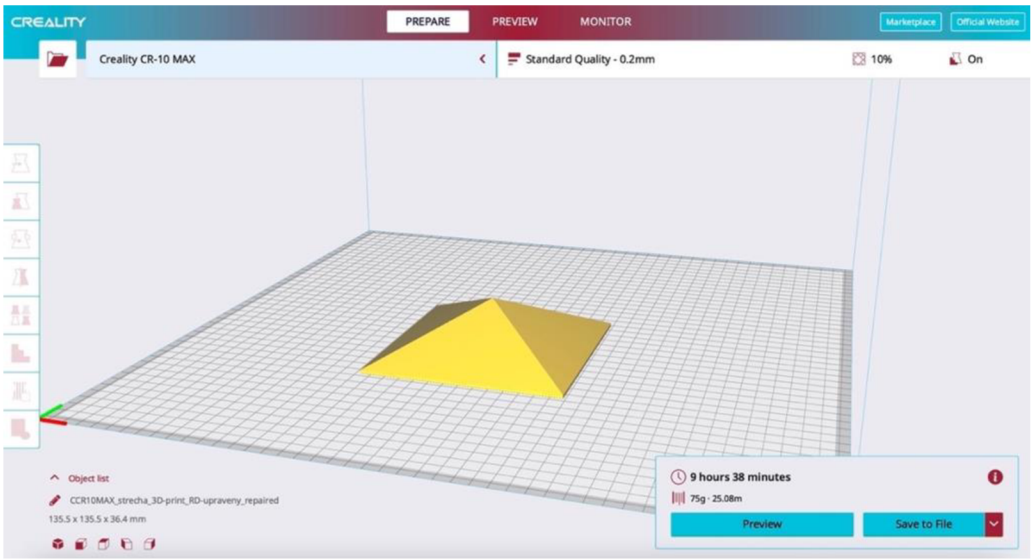
Na následujících obrázcích (obr. 71, 72, 73) ze sliceru Creality je vidět, že software nevaruje před žádnými problémy s těsností hmoty apod. Po provedeném slicování modelu jsou vidět jednotlivé statistiky tisku, ze kterých plyne, že tento druhý zkušební tisk bude trvat celkem 32 hodin a 55 minut, což je oproti ostatním tiskárnám poměrně velký rozdíl. Při tisku dojde ke spotřebě 296 gramů materiálu o délce 99,14 metrů.



Obrázek 71 - Optimalizovaný referenční model (1.NP) po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 72 - Optimalizovaný referenční model (2.NP) po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 73 - Optimalizovaný referenční model (střecha) po slicování v prostředí sliceru Creality
Zdroj: Vlastní zpracování

4.11 Návod polostrukturovaného rozhovoru

Součástí diplomové práce jsou rozhovory s odborníky z praxe za účelem ověření získaných poznatků z části vlastního výzkumu. Rozhovory slouží také pro získání dodatečných informací o předtiskové přípravě v ostatních modelovacích programech užívaných v praxi.

Pro řízený rozhovor s odborníky z praxe byla zvolena na základě teoretických poznatků forma polostrukturovaného (semistrukturovaného) rozhovoru. Strukturálně tato forma nejlépe vyhovuje pohovorům, jelikož se oproti strukturované formě nedrží pevně v okruhu připravených otázek, ale umožňuje některá témata dle potřeby více rozvinout. Semistrukturovaná forma rozhovoru též umožňuje pokládání otázek v pořadí dle úvahy tazatele, a tak navazovat otázkami smysluplně na předchozí dle vývoje konverzace. Ostatní formy rozhovoru byly shledány pro tuto vědeckou práci nevyhovujícími z důvodu již příliš volné formy. Hrozilo by tak, že by při rozhovorech nebyly od všech účastníků získány požadované informace v daných tématech, či kvalitativně stejné informace pro vyvození objektivních závěrů pohovorů.

Odpovědi všech odborníků byly zaznamenány pomocí diktafonu se souhlasem účastníků rozhovoru. Dotazovaní odborníci byli předem informování o účelu poskytnutí rozhovoru a následném využití nahrávek pro výzkumné účely výhradně této diplomové práce. Přepis všech rozhovorů je součástí přílohy práce.

Osnovou je polostrukturovaný rozhovor tematicky rozdělen na pět částí. Jedná se o:

- Úvod
- Modelování
- 3D tisk
- Senzorika
- Závěr

V rozhovoru jsou využity čtyři typy otázek:

- Jednorázové – slouží k vybudování vztahu a prolomení ledů v úvodu rozhovoru mezi tázaným a tazatelem. Otázky byly zvoleny tak, aby se tázaný na začátku stručně uvedl. Odpovědi na tyto otázky nebudou hrát žádnou roli pro výsledky výzkumu a nebudou tak zohledněny.
- Základní – jsou kladeny k tématu výzkumu a jsou cílem zkoumání, tudíž jejich forma je volena co nejsrozumitelněji a jednoznačná, aby nedocházelo k nepochopení, a tak případnému zkreslení odpovědi. Zároveň byl kladen důraz na to, aby otázky nebyly takzvaně dvouhlavňové, u kterých je následně nejednoznačné na co tázaný odpovídá, či na ně vůbec nedokáže jednoznačně odpovědět.
- Dodatečné – mají za cíl alternativní vyjádření základních otázek pro případ, že by tázaný nepochopil jádro otázky základní. Slouží tak k ověření odpovědi a zajištění spolehlivosti odpovědi.
- Zkoumavé – figurují v rozhovoru pro povzbuzení dotazovaného účastníka k většímu rozvedení odpovědi. Mohou být použity kdykoliv tazatel uzná za vhodné, že je potřeba odpověď vyjádřit více komplexně a zároveň tázaného ujišťují, že ho osoba vedoucí rozhovor opravdu poslouchá a o daném tématu chce vědět maximum.

Hlavním cílem semistrukturovaných rozhovorů je zjistit jaké jsou dle odborníků z praxe kladeny požadavky na architektonické modely pomocí 3D tisku. Dále s jakými problémy se setkali při tisku a modelování. Zkoumáno bude také zda používají nějakou formu postprocessingu a s jakými tiskárnami při jakém nastavení pracují nejčastěji.

4.11.1 Vybrané otázky

S ohledem na informační cíle rozhovorů byly kladeny tyto otázky:

1. Vzpomínáte si na moment, kdy jste se rozhodl/a věnovat architektuře?
2. Kdy jste se prvně dozvěděl/a o možnosti využití 3D tisku pro architektonické modely?
3. Jaké jsou podle Vás nejčastěji kladené požadavky na fyzické architektonické modely?
4. Jak často, odhadem v procentech, využíváte k prezentaci fyzické modely?
5. O jaké projekty se většinou jedná? Veřejné/soukromé, malé/velké?
6. Nabízíte službu 3D tisku aktivně?
7. Jaká jsou podle vás hlavní kritéria na 3D tisknuté architektonické modely?
8. Jaké programy používáte pro modelování modelů pro 3D tisk? A proč?
9. Jak je pro vás časově náročná příprava modelu pro samotný tisk?
10. S jakými problémy se setkáváte při modelování modelů pro 3D tisk?
11. Co vám na těchto programech nevyhovuje z pohledu 3D tisku?
12. Jaké používáte 3D tiskárny?
13. S jakými problémy se setkáváte při samotném 3D tisku architektonických modelů?
14. Jaké nejčastěji používáte nastavení 3D tisku pro tištěné architektonické modely? Myšleno velikost trysky, výška vrstvy, případně materiál atd.
15. Využíváte nějakých forem postprocessingu po vytištění na 3D tiskárně?
16. Mohl/a byste na předložených výtiscích zhodnotit na stupnici výborný – nedostačující následující vlastnosti výtisku?
    - Přesnost tisku.
    - Kvalitu tisku detailů.
    - Četnost defektů vzniklých tiskem.
    - Vhodnost výšky vrstvy pro dané měřítko.
    - Celkový dojem modelů.
17. Kam očekáváte, že se v budoucnu užití 3D tisku v architektuře posune?

5 Výsledky a diskuse

Teoretická část práce obsahuje úvod do problematiky 3D tisku a představuje různé druhy tiskových technologií. Dále obsahuje nejen populární dostupné modelovací programy užívané v praxi, které spadají do kategorie BIM, ale také klasický modelovací software, který si našel své uplatnění v architektuře. Závěr teoretické části obsahuje shrnutí předcházející bakalářské práce, na kterou tato diplomová práce navazuje, a tak obě práce propojuje. Výsledky bakalářské práce slouží jako východiska pro volbu tiskové technologie a vysvětlují ekonomické výhody 3D tisku. Hlavním cílem práce bylo optimalizovat architektonické modely pro 3D tisk. Toho bylo docíleno na referenčním modelu pomocí souboru jednotlivých úprav ověřených následně samotným finálním tiskem fyzických modelů na přiložených fotografiích v kapitole 5.4 „Druhý zkušební tisk“.

5.1 Vybrané slicery

Všechny tři zkoumané slicery příslušných tiskáren jsou dostačující pro tisk architektonických modelů a všechny slicovací programy nabízí prohlížení tisku jednotlivých vrstev.

Pozitivně je hodnocena funkce detekce chyb se zobrazením problematických míst u sliceru Cura a Creality, které si jsou velmi podobné, co se týče principu fungování i vzhledu uživatelského rozhraní. Funkce X-Ray u slicerů Cura a Creality je užitečná funkce, nicméně pro práci s architektonickými modely není funkcí nezbytnou, jelikož postačí již zmíněná detekce chyb v běžném zobrazení.

U Prusa sliceru je však negativně hodnoceno automatické generování podpěr, které byly ve většině případů generovány chybně, a tak byla některá místa během prvního zkušebního tisku nepodepřena a hrozilo zhroucení modelu.

Obecně lze říct, že všechny slicery nabízejí již předdefinovaná nastavení pro jednoduchý tisk, která lze uživatelsky alternovat.

5.2 První zkušební tisk

Během prvního zkušebního tisku bez předtiskové optimalizace bylo zjištěno mnoho problémů u všech tří zvolených modelovacích programů. Chyby souvisejí s typem softwaru, z kterého je model pro tisk exportován, a prokazatelně se tak dá určit jaké chyby z vybraných programů plynou.

U modelovacích nástrojů typu BIM je patrné, že nejproblematičtější místa vznikají kolem napojení prvků oken, dveří, vrat a jiných výplní otvorů ve zdivu. To je pravděpodobně způsobeno tím, že v programech typu BIM se model staví pomocí knihovních prvků, a tak při takovém spojení dochází k neúplné vodotěsnosti hmoty v místě spojů. Oproti tomu je v programu SketchUp hlavním problémem orientace vnitřních a vnějších stran plochy. V případě, že je plocha hmoty špatně orientována a vnitřní strana směřuje ven, dochází při slicování k chybám. Slicer v takovém případě vyhodnotí vnitřní stranu jako prázdnou (otevřenou) plochu a při tisku by například u jednoduché krychle došlo k vytištění bez výplně s jednou prázdnou stěnou hmoty.

Dále bylo zjištěno, že nejčastější problémy neoptimalizovaných modelů způsobují drobné detaily, jako je například vnitřní vybavení modelu a tenké konstrukce, které slicer není schopen tak tenké vytisknout, a dojde k jejich vynechání. Výsledkem tak jsou například prázdné výplně oken.

5.3 Optimalizace

V průběhu optimalizace vzorového modelu pro 3D tisk byly použity úpravy za cílem odstranění identifikovaných chyb z prvního zkušebního tisku. Z toho následně plyne soubor doporučení, který usnadňuje předtiskovou optimalizaci architektonických modelů. Pro jednotlivé modelovací softwary jsou doporučení následující:

BIM (Archicad a Revit)

- Duplikovat pracovní soubor.
- Odstranit drobné a nerelevantní prvky.
- Zjednodušit detaily a upravit minimální tloušťky.
- Převést na morfy (pouze v Archicadu).
- Sjednotit model.
- Logicky rozdělit model na části (volitelné, avšak doporučeno).
- Umístit na osu Z=0.
- Opravit vodotěsnost.

Klasický modelovací software (SketchUp)

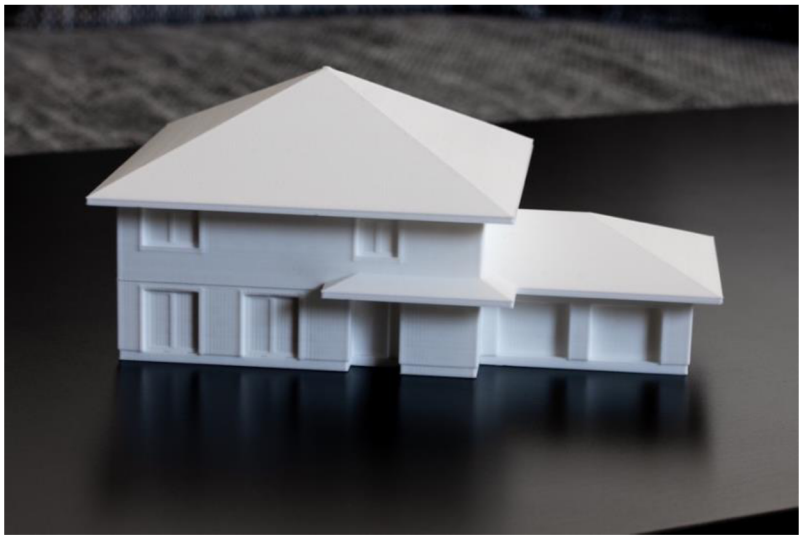
- Duplikovat pracovní soubor.
- Odstranit drobné a nerelevantní prvky.
- Upravit minimální tloušťky modelu.
- Zkontrolovat a opravit orientaci vnitřních a vnějších povrchů hmot.

- Sjednotit model.
- Logicky rozdělit model na části (volitelné, avšak doporučeno).
- Umístit na osu Z=0.
- Opravit vodotěsnosti.

5.4 Druhý zkušební tisk

Druhý zkušební tisk proběhl již bez notifikace chyb slicery a při kontrole slicovaných modelů nebyly nalezeny žádné chyby, které by bránily korektnímu tisku. Na základě připravených dat byl optimalizovaný model úspěšně vytištěn na všech třech vybraných tiskárnách (obr. 74, 75, 76).

Obrázek 74 - Vytištěný referenční model na tiskárně Creality CR-10 MAX
Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 75 - Vytištěný referenční model na tiskárně Ultimaker 2+
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 76 - Vytištěný referenční model na tiskárně Průša i3 MK3S+
Zdroj: Vlastní zpracování

Tiskové statistiky ze slicerů z prvního a druhého zkušebního tisku byly zaneseny do tabulky pro porovnání (tab. 2). Mimo úspěšně vytištěný architektonický model referenčního domu jsou tak patrné další aspekty optimalizace, jako je zejména úspora času a materiálu. Data z prvního zkušebního tisku v tabulce jsou tvořena průměrem hodnot slicovaných exportů ze všech tří testovaných modelovacích programů. Data druhého zkušebního tisku nebylo třeba průměrovat, jelikož optimalizovaný model je po exportu ze všech tří zkoumaných modelovacích softwarů identický, a tak by průměrné hodnoty vyšly totožné s jednotlivými zadanými hodnotami.

	První zkušební tisk			Druhý zkušební tisk		
slicer/tiskárna	Creality / CR-10 MAX	Cura / Ultimaker 2+	P-slicer / i3 MK3S+	Creality / CR-10 MAX	Cura / Ultimaker 2+	P-Slicer / i3 MK3S+
čas	4d 12h 26m	1d 20h 7m	2d 2h 26m	1d 8h 55m	1d 1h 3m	23h 10m
Hmotnost [g]	771	446,7	538,89	296	296	310,81
délka filamentu [m]	258,53	56,46	180,23	99,14	37,46	104,21

Tabulka 2 - Porovnání statistik prvního a druhého zkušebního tisku
Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky výše (tab. 2) je vidět markantní rozdíl mezi prvním a druhým zkušebním tiskem. Tisk neoptimalizovaného modelu by trval na tiskárně CR-10 Max 4 dny 12 hodin a 26 minut, zatímco po optimalizaci jeho reálný tisk trval 1 den 8 hodin a 55 minut. Po optimalizaci vychází tisk na 3D tiskárně značky Průša i3 MK3S+ nejkratší, ovšem spotřeba materiálu je oproti tiskárně značky Creality a Ultimaker lehce vyšší. Spotřeba délky filamentu u tiskárny Creality CR-10 MAX a Ultimaker 2+ může být vzhledem k váze

matoucí. Nicméně je důležité brát v potaz, že originální filament Tough PLA značky Ultimaker je oproti běžným PLA filamentům většího průměru, konkrétně 2,85 mm. Větší průměr filamentu značky Ultimaker tak způsobuje stejnou spotřebu filamentu, co se váhy týče, avšak dochází k menšímu odvinu špulky s filamentem.

	První zkušební tisk			Druhý zkušební tisk		
slicer/tiskárna	Creality / CR-10 MAX	Cura / Ultimaker 2+	P-slicer / i3 MK3S+	Creality / CR-10 MAX	Cura / Ultimaker 2+	P-Slicer / i3 MK3S+
náklady na materiál [Kč]	461,83	615,55	360,52	177,30	407,89	207,93

Tabulka 3 - Porovnání nákladů vynaložených na tiskový materiál při prvním a druhém zkušebním tisku
Zdroj: Vlastní zpracování

V předcházející tabulce (tab. 3) lze vidět vypočtené náklady na tiskový materiál před optimalizací architektonického model a následně po optimalizaci modelu. U tiskárny CR-10 Max se po optimalizaci jedná o úsporu 284,53 Kč na filamentu. U dražšího originálního filamentu pro tiskárnu Ultimaker 2+ se jedná o úsporu 207,66 Kč a 152,59 Kč bylo uspořeno optimalizací na tiskárně Průša i3 MK3S+.

5.5 Výsledky rozhovorů

Semistrukturované rozhovory byly navrženy tak, aby posloužily jako ověření získaných poznatků z této diplomové práce. Z výsledků rozhovorů plyne, že většina respondentů se o možnosti využití technologie 3D tisku dozvěděla na vysoké škole v průběhu vlastního studia. Mezi hlavní kritéria a požadavky na 3D tištěné modely dle dotazovaných patří důraz na přijatelnou cenu, přesnost tisku, správnou míru detailů a mechanickou odolnost. Bylo zjištěno, že v běžné praxi se architektonické modely nevyužívají tak často, jak by si architekti sami přáli. Tři čtvrtiny architektů využívají fyzické modely k prezentaci přibližně do 10 % svých zakázek, zbylá jedna čtvrtina využívá modely k prezentaci zhruba 30 % všech svých zakázek. Přičemž z rozhovorů plyne, že architektonické modely architekti využili zejména u veřejných zakázek nebo velkých soukromých projektů. Nikdy však u malých soukromých zakázek.

V rozhovorech bylo též zjištěno, že architekti možnost vytisknutí architektonického modelu k dané zakázce nenabízí aktivně, spíše ji nabízí při konkrétním dotazu na službu. Avšak pro veřejné zakázky je podle jednoho respondenta použití architektonických modelů nutné z důvodu zapůsobení na investory projektu. Architekti v praxi k tvorbě modelů

primárně využívají program Archicad, dále SketchUp a někteří freeware Blender. Použití Archicadu a SketchUpu v praxi tak potvrzuje výběr modelovacích programů pro tuto diplomovou práci na základě dat z rešerše. Přípravu dat pro samotný tisk pak odhadují maximálně do jednoho pracovního dne v případě nejpoužívanějšího Archicadu, zatímco v řádu pár hodin v programu SketchUp. Je tomu tak z důvodu povahy BIM a běžného modelovacího softwaru, kde BIM model nese podstatně větší množství detailů a informací, které je potřeba při úpravě odstranit či jinak zjednodušit. V případě BIM softwaru se pak architekti setkávají nejvíce s chybami typu špatného propojení hmoty modelu, což byl též hlavní problém při prvním zkušebním tisku neoptimalizovaných modelů. V případě klasických modelovacích softwarů se jedná o špatné spojení bodů modelu či chybné orientace vnitřní a vnější strany hmoty.

Na modelovacích programech v praxi odborníkům je nejvíce na obtíž absence nástroje pro automatickou optimalizaci modelu pro 3D tisk, kde by si zvolili případně jen úroveň detailů a velikost měřítka modelu. V praxi je pak dle architektů největší problém průběh tisku prvních vrstev, kdy nejčastěji dochází ke zvednutí rohů výtisku a někdy k odlepení celého modelu. Jeden z architektů také zmiňuje problém s částečným roztavením již vytisknutého modelu v momentě, kdy tisková hlava tiskne dlouho na jednom místě, a tak znovu ohřívá zatvrdlý filament pod ní. Respondenti nejčastěji tisknou z PLA případně PETG filamentu, či rezinu v případně rezinové tiskárny, při nastavení výšky vrstvy od 0,16 do 0,25 mm dle velikosti a účelu modelu. Výplň modelu používají co nejnižší, většinou 10% s defaultní tryskou o průměru 0,4 mm.

Výsledky senzorického hodnocení architektonických modelů vytisknutých při druhém zkušebním tisku byly z důvodu hodnocení na stupnici 1-5 (1 – nejlepší, 5 – nejhorší) zprůměrovány a zaneseny do tabulky níže (tab. 4). Jednotlivá hodnocení od architektů jsou přiložena spolu s přepisem rozhovorů v příloze této diplomové práce.

	Přesnost tisku	Kvalita detailů	Četnost defektů	Vhodnost výšky	Celkový dojem	$\sum\bar{x}$
Creality CR-10 Max	2,5	2,25	2,75	3	2,5	2,6
Průša i3 MK3S+	1,5	2,5	2,75	1	2,25	2
Ultimaker 2+	2,5	4	3,25	2,75	4	3,3

Tabulka 4 - Srovnání průměrů hodnocení senzorického testování architekty
Zdroj: Vlastní zpracování

Z průměrovaných hodnot senzorického testování v tabulce výše (tab. 4) je patrné, že model vytištěný na tiskárně CR-10 Max značky Creality v celkovém dojmu skončil se známkou 2,5 na druhém místě. Nejhůře působila vhodnost výšky vrstvy, která se na kalibrované tiskárně jevila při testování jako vyšší než výška vrstev ostatních modelů. Hodnocení vhodnosti výšky vrstvy je však zatíženo silnou subjektivitou cítění architektů.

Tiskárna od Průši i3 MK3S+ se umístila v celkovém dojmu na prvním místě s mírným náskokem před tiskárnou CR-10 Max. Excelovala však v přesnosti tisku s průměrnou známkou 1,5 a ve vhodnosti výšky vrstvy pro dané měřítko. Kvalitu detailů však dle hodnocení nabízí o trochu horší než tiskárna značky Creality.

V případě hodnocení architektonického modelu z tiskárny Ultimaker 2+ je v tabulce vidět, že tiskárna dopadla nejhůře v podání kvality detailů, četnosti defektů při tisku a celkovém dojmu. Vzhledem k tomu, že se jedná o tiskárnu ve vyšší cenovém relaci, je tento výsledek překvapující a poloprofesionální tiskárna značky Ultimaker není na základě výsledků senzorického testování nejvhodnější volbou pro tisk architektonických modelů.

Na základě průměru všech hodnocených aspektů vytištěného modelu na zvolených 3D tiskárnách lze říct, že tiskárna i3 MK3S+ je pro architektonické modely vhodnou volbou. Tiskárna CR-10 Max s druhým místem by však v některých případech mohla pro určité architektonické kanceláře mít silnou výhodu nad tiskárnou od Průši díky své tiskové ploše, která je aktuálně největší na trhu.

6 Závěr

Hlavní cílem diplomové práce bylo optimalizovat architektonické modely pro 3D tisk. Tento proces byl úspěšně demonstrován na referenčním domu v programech zastupující odvětví BIM, ale též softwaru zastupujícím běžné programy určené pro modelování. Z úspěšné optimalizace architektonického modelu ověřeného korektním vytištěním modelu na 3D tiskárně plyne soubor doporučení pro předtiskovou optimalizaci virtuálního 3D modelu. Informace pro dosažení hlavního cíle byly čerpány z literárních zdrojů a bakalářské práce autora.

Mezi hlavními problémy tisku architektonických modelů byly identifikovány problémy s nespojením hmoty kolem výplní otvorů zdiva jako jsou okna, dveře, vrata aj. Tyto problémy jsou specifické pro modelovací software typu BIM. U zástupce klasických modelovacích programů byly identifikovány problémy s orientací vnitřní a vnější strany hmoty, která způsobuje při tisku vytištění prázdné obálky s otevřenou stranou tělesa. Mezi obecné problémy tisku u všech testovaných programů patří neschopnost tisku velmi tenkých konstrukcí jako jsou například skleněné výplně oken a vysoká spotřeba filamentu při tisku podpěr kolem modelu z důvodu neoptimalizace modelu pro 3D tisk.

Proces 3D tisku a tvorba architektonického modelu byl charakterizován z části analýzou teoretických východisek a z části průběhem vlastní práce, kde došlo k optimalizaci modelů pro 3D tisk a došlo k popsání a zhodnocení slicovacích softwarů zvolených tiskáren.
Z průběhu rozhovorů s odborníky z praxe byly identifikovány a navrženy požadavky a kritéria na 3D tisknuté architektonické modely. Patří mezi ně zejména důraz na přijatelnou cenu, aby byl investor ochotný tvorbu architektonického modelu financovat. Dále mezi navržená kritéria a požadavky patří přesnost tisku, správná míra detailů a mechanická odolnost modelu pro bezpečnou manipulaci s modelem.

Na základě průměrů výsledků senzorického testování vytištěných architektonických modelů architekty, byla výsledná celková hodnocení výtisků určena aritmetickým průměrem. Z výsledků plyne, že nejvhodnější tiskárnou pro architektonické modely dle hodnocení samotnými architekty je tiskárna značky Průša model i3 MK3S+.

7 Seznam použitých zdrojů

3DERS, c2011-2019. FLX.ARM:: Low-cost SCARA robotic arm for 3D printing, milling & dispensing, now on Kickstarter. In: *3ders: 3D printer and 3D printing news* [online]. 17 Sep 2014 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.3ders.org/articles/20140917-flx-arm-low-cost-scara-robotic-arm-for-3d-printing.html

ABS, c2022. *MATERIALPRO 3D* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovnik/abs/

ADDITIVE-X, [2021]. What is Slicing Software, and what does it do?. In: *Additive-X* [online]. Ripon, 16 September 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.additive-x.com/blog/what-is-slicing-software-and-what-does-it-do/

ADDITIVELY, c2019. Binder Jetting (BJ). In: *Additively* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting

ALL3DP, [2022]. All 10 Types of 3D Printing Technology in 2022. In: *All3DP* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/

ALLPLAN, 2021. Tiny house – rychlá a snadná architektura v 10 krocích. In: *ALLPLAN: A NEMETSCHEK COMPANY* [online]. ALLPLAN, 30. srpna 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://blog.allplan.com/cz/tiny-house-rychlá-a-snadná-architektura-v-10-kroc%C3%ADch

ALLPLAN, b. r. NOVINKY ALLPLAN ARCHITECTURE 2021: ALLPLAN PRO ARCHITEKTY. In: *ALLPLAN: A NEMETSCHEK COMPANY* [online]. ALLPLAN [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.allplan.com/cz/produkty/allplan-architecture-2021-features/

ARCHISTAR ACADEMY, c2018. Top Ten Design Software for Architects: Which Pieces of Software Will Make Your Designs Stand Out?. In: *Archistar Academy* [online]. Sydney: ArchiStar Office, 20 Jan 2020 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://academy.archistar.ai/top-ten-design-software-for-architects

ARIANA, 2016. From Paper to Parametric Vectors: Gehry's Transformation of Architectural Modeling. In: *TECHNOLOGY AND OPERATIONS MANAGEMENT: MBA STUDENT PERSPECTIVES* [online]. Harvard, 17 Nov 2016 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/from-paper-to-parametric-vectors-gehrys-transformation-of-architectural-modeling/

ARKANCE SYSTEMS, c2022. Autodesk Revit. In: *Arkance Systems* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.arkance-systems.cz/produkty/stavebnictvi-a-architektura/autodesk-revit

ARQUINÉTPOLIS, b.r. Most used programs in Architecture to develop 3D Models. In: *Arquinétpolis: Arquitectura, diseño y más.* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://arquinetpolis.com/programs-in-architecture-84/

AUTODESK, c2022. Revit: Víceoborový software BIM pro kvalitnější koordinované návrhy. In: *Autodesk* [online]. Autodesk [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.autodesk.cz/products/revit/

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to Material Jetting 3D Printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing/

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to metal 3D printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-metal-3d-printing

BOURNIAS VAROTSIS, Alkaios, c2019. Introduction to SLA 3D Printing. In: *3dhubs* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/

CADFÓRUM, c2022. CAD tip # 11459:. In: *CADfórum* [online]. Arkance Systems, 4. 6. 2017 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.cadforum.cz/cz/v-3ds-max-2018-mi-chybi-renderer-mental-ray-i-arnold-tip11459

CADSYS, [2019]. Novinky SketchUp 2019. In: *CADSYS* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://sketchup.cadsys.cz/sketchup_novinky2019.php

CAROLO, Lucas, [2020]. What Is a 3D Slicer? – Simply Explained: Slice It Up. In: *All3DP* [online]. 13 Apr 2020 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://all3dp.com/2/what-is-a-3d-slicer-simply-explained/

CEGRA, b. r. ARCHICAD: Archicad je CAD/BIM pro architekty a projektanty. In: *Cegra: Centrum pro podporu počítačové grafiky s.r.o.* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.cegra.cz/produkty/software/archicad/

CIAT, c2020. 10th Annual BIM Report 2020. In: *CIAT: Chartered Institute of Architectural Technologists* [online]. Newcastle upon Tyne: NBS [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://architecturaltechnology.com/static/3f388415-32f9-408d-85cc2c1adf13d012/TheNBSBIMReport2020.pdf

FOYR, c2020. 9 Different Types of 3D Modeling for Designers. In: *Foyr* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://foyr.com/learn/types-of-3d-modeling/

FREELANCINGEU, c2005-2022. Parametric structure designed in Rhino 3D CAD software with Grasshopper. In: *FREELANCINGeu* [online]. Vlach [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://freelancing.eu/jaroslavbaron/gallery/87/

GRAPHISOFT ARCHICAD, c2022. Archicad 25 Help: Tab Bar. In: *GRAPHISOFT Archicad* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://help.graphisoft.com/AC/25/INT/_AC25_Help/020_Configuration/020_Configuration-19.htm

HOMOLA, Jan, c2019. ENCYKLOPEDIE 3D TISKU: Stereolitografie. *3D-tisk.cz: vše o 3D tisku a aditivní výrobě* [online]. Nová média, 26. 2. 2013 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/

HORÁLEK, Ondřej, 2020. *Využití 3D tisku v architektuře*. Praha. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Industrial Materials and Methods, 2016. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media, s. 97-100. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI, 2016. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

KOVÁČIK, Miroslav, c2018. Historie 3D tisku…. In: *3dfactory.cz: malá továrna na velké věci...* [online]. 27.10.2017 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://3dfactory.cz/2017/10/27/historie/

LOCKER, Anatol, [2021]. The Best 3D Printer Slicer Software of 2021: Get Professional 3D Printing Results. In: *All3DP* [online]. 6 Jan 2021 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/

LOREK, Sarah, c2022. What is BIM (Building Information Modeling). In: *Constructible* [online]. Trimble, 6 January 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-bim-building-information-modeling

PINSHAPE, c2017. How Do 3D Printers Work?: The 4 3D Technologies You Should Know. In: *Pinshape* [online]. 30. 6. 2016 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: https://pinshape.com/blog/how-do-3d-printers-work-sla-fdm-sls/

Plastics for 3D Printing, 2016. KLOSKI, Liza Wallach a Nick KLOSKI. *Getting started with 3D printing: a hands-on guide to the hardware, software, and services behind the new manufacturing revolution*. San Francisco: Maker Media, s. 93-96. Make: (Maker Media): (Maker Media). ISBN 978-1-680-45020-0.

POLAR, [2016]. Industry review:: watch the polar 3D printer in action (video). In: *Polar3d* [online]. 20. 1. 2016 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: http://about.polar3d.com/blog/review-watch-polar-3d-video-work

PRUDHVI, Reddy, c2014-2019. Digital Light Processing (DLP). In: *Think3D* [online]. 24. 8. 2016 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.think3d.in/digital-light-processing-dlp-3d-printing-service-india/

PRUSA RESEARCH, [2021]. Original Prusa i3 MK3S+. In: *PRUSA RESEARCH* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/kategorie/original-prusa-i3-mk3s/

REDAKCE SHW, c1998-2020. 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?. In: *Svět hardware: Konstrukce 3D tiskáren* [online]. 21.2.2019 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2

REDWOOD, Ben, Filemon SCHÖFFER a Brian GARRET, 2017. *The 3D printing handbook: technologies, design and applications*. Amsterdam: 3D Hubs. ISBN 978-9082748505.

REVIZTO, c2012-2022. Top 27 3D Architecture Software. Best Architect Software Programs. In: *Revizto* [online]. Vizerra, 25 September 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://revizto.com/en/best-3d-architecture-software/

ROHRINGER, Sean, [2021]. 3D Printer Filament Guide – The Ultimate Guide. In: *All3DP* [online]. 27. Dec 2021 [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/

SCULPTEO, c2009-2022. Top 16 of the best 3D modeling software for architecture in 2022. In: *Sculpteo* [online]. Sculpteo [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-software/best-architecture-design-software/

SHAM, Adrin, [2017]. TronXY X5S: In-Depth Review. In: *The drone files* [online]. 19. 11. 2017 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.thedronefiles.net/2017/11/19/tronxy-x5s-in-depth-review/

SOFTWARE ADVICE, c2006-2022. VectorWorks Architect Software. In: *Software Advice* [online]. Software Advice [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.softwareadvice.com/construction/vectorworks-architect-profile/

SOLIDSCAPEINC, 2011. Solidscape 3D Printing Process. In: *YouTube* [online]. 21. 11. 2011 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?time_continue=18&v=gM86qxW7vP8

STŘÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH, 2019. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/

ŠKARKA, Václav, c2012-2020. Který software pro 3D BIM navrhování je nejpoužívanější?. In: *Revit blog* [online]. Adeon, 13. 9. 2019 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.revit3dblog.cz/nejpouzivanejsi-bim-sw/

VECTORWORKS, c2022. THE ULTIMATE SOFTWARE FROM SKETCH TO BIM: SKETCH, DRAW, AND MODEL IN A FULLY INTEGRATED BIM WORKFLOW. In: *VECTORWORKS: A NEMETSCHEK COMPANY* [online]. Vectorworks [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.vectorworks.net/en-GB/architect

WHITECLOUDS, c2019. Electron Beam Melting (EBM). In: *Whiteclouds* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: http://ss.whiteclouds.com/3dpedia-index/electron-beam-melting-ebm

XYZPRINT, c2019. 3D tlačiareň Anycubic Kossel Linear Plus. In: *XYZprint* [online]. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: https://xyzprint.eu/stavebnice-kit/23-3d-tlaciaren-anycubic-kossel-delta.html

8 Přílohy

Příloha A Přepis rozhovorů s architekty

Příloha A Přepis rozhovorů s architekty

Ing. arch. Jana Havlíčková

1. *Vzpomínáte si na moment, kdy jste se rozhodla věnovat architektuře?*
   Vzpomínám. Já jsem se tedy úplně nerozhodla hned na poprvé. Bylo to tak, že na gymplu jsem objevila letáček na přípravné kurzy na architekturu s kurzy kreslení a malování a já si řekla, že tam půjdu, protože mě kreslení bavilo. Profesor Dudek, který kurzy vedl, mě do toho tak zapálil, až jsem si řekla, že tu architekturu asi zkusím. A jelikož nás tam (na kurzech) učil různé techniky kreslení a perspektivu, tak to byla výborná průprava na architekturu a já jsem za to ráda, že jsem díky tomu kurzu architekturu jako takovou vlastně objevila. Takže to nebylo tak, že bych si odmala říkala, že budu architektkou.
2. *Kdy jste se prvně dozvěděla o možnosti využití 3D tisku pro architektonické modely?*
   O možnosti 3D tisku jsem se dozvěděla asi až ve třeťáku na vysoké škole kvůli mé bakalářce.
   Takže se jednalo o 3D tisk modelu k bakalářské práci?
   Ano, přesně tak.
3. *Jaké jsou podle Vás nejčastěji kladené požadavky na fyzické architektonické modely?*
   Oproti škole se s fyzickými modely v praxi tak moc nesetkávám, i když myslím, že jsou důležité. V praxi jsme dělali model párkrát a jde hlavně o to, aby si to investor byl ochotný zaplatit, což ne každý je ochotný si za model připlatit.
   Kdybyste měla říct tedy hlavní požadavky na fyzické modely, které by to byly?
   Asi ekonomické požadavky na minimalizaci nákladů. U modelů, které jsme dělali, se jednalo totiž o bohatší investory, kteří si nebyli jistí svou představivostí a chtěli daný návrh vidět ve formě modelu, což je podle mě nejlepší způsob, jak to investorovi ukázat.
4. *Jak často, odhadem v procentech, využíváte k prezentaci fyzické modely?*
   Asi přibližně 30 % všech zakázek si tak myslím.

5. *O jaké projekty se většinou jedná? Veřejné/soukromé, malé/velké?*

   Obecně spíš o ty velké, ať už pro soukromý nebo veřejný sektor. Jeden z takových projektů byl bytový dům v Praze a tam chtěl investor vidět model kvůli kontextu, jelikož na jedné straně byl les, na druhé paneláky a na třetí straně rodinné domky. Takže pro jeho představu to pro něj bylo důležité vidět. Jindy to zase byl model například u galerie umění, takže veřejná zakázka, ale to se nejednalo o 3D tisknutý model.

6. *Nabízíte službu 3D tisku aktivně?*

   Aktivně, to se říct nedá úplně. Primárně investory zajímá projekt samotný a neptají se na model. To je takový bonus. Ale co v práci kolegové dělali modely, tak se jednalo o větší veřejné zakázky a soutěže a tam je to potřeba.

   Proč je to pro veřejné zakázky a soutěže potřeba?

   Aby projekt investory zaujal při prezentaci.

7. *Jaká jsou podle vás hlavní kritéria na 3D tisknuté architektonické modely?*

   Myslím si, že pro investora je hlavní kritérium to, aby to správně sedělo, aby si to vše dokázal představit, jak jsou například výšky pater a podobně, protože to je to, co ho zajímá. Pokud jde například o nějaká větší měřítka, tak tam investora budou zajímat například pozice oken, jak to na sebe sedí a jaký to má celkový dojem. Bude ho tedy zajímat hmota jako taková, ne úplně věci jako že někde na modelu je malý defekt vzniklý tiskem.

8. *Jaké programy používáte pro modelování modelů pro 3D tisk? A proč?*

   V práci používáme primárně program Archicad. K obsluze tiskárny používáme program přímo od Průši, jelikož máme v kanceláři jeho tiskárnu. Archicad ale používáme všeobecně, nejen pro modelování před 3D tiskem. Musím říct, že co se týče Archicadu, tak jsem se nesetkala s lepším. Mám zkušenost s Rhinem, SketchUpem, AutoCADem a jinými a Archicad je za mě nejlepší.

9. *Jak je pro vás časově náročná příprava modelu pro samotný tisk?*

   Záleží, jak moc je model detailní. Osobně mi to zabralo nejvíc den práce, a to se jednalo zrovna o před chvíli zmiňovaný bytový dům v Praze, kde samotný byťák byl přibližně 15 x 15 cm a k tomu se dělalo pár domků kolem pro kontext. Myslím, že když člověk používá Archicad, tak ta příprava na tisk není tak dlouhá, a když to člověk dělá častěji, může být ještě rychlejší.

Takže obecně se dají středně velké projekty stihnout do jednoho dne?

Ano, určitě. Já se v Archicadu před dvěma lety začala teprve učit, takže si myslím, že to mě asi trochu brzdilo tehdy a šlo by to o trochu rychleji.

10. *S jakými problémy se setkáváte při modelování modelů pro 3D tisk?*

    V Archicadu úplně ne, ale například v Rhinu byl problém s nespojením bodů a před tiskem to hlásilo stále nějaké chyby, takže chybovost v Rhinu je určitě větší než v Archicadu, tam se případné chyby nespojení hmoty dají vyřešit jednoduchými příkazy a funkcemi. Asi tak k mé zkušenosti s chybami.

11. *Co vám na těchto programech nevyhovuje z pohledu 3D tisku?*

    Že se ty 3D modely nedají jednoduše na pár kliknutí zjednodušit pro 3D tiskárnu. Když si u stavby vymodeluji různé římsy a jiné drobnosti a detaily, tak s tím 3D tiskárna už má problém. Pak je potřeba to upravit do nějakého jednoduššího modelu, a to už ty programy moc samy neumí.

    Takže vám nevyhovuje optimalizace detailů u těchto programů?

    Ano. Detaily jsou v modelu potřeba, jelikož z toho potom děláme v práci výkresovou 2D dokumentaci, ale 3D tiskárna s nimi má problém. Takže by bylo nejlepší, kdyby to ten program uměl nějak zjednodušit sám natolik, aby to prošlo tiskárnou bez problémů.

12. *Jaké používáte 3D tiskárny?*

    Máme jenom Průšu. Ostatní jsme ani nezkoušeli. Líbí se nám jeho servis, reaguje pohotově, reklamace probíhají taky rychle a cokoliv hned vymění.

13. *S jakými problémy se setkáváte při samotném 3D tisku architektonických modelů?*

    Asi vychytat nastavení tisku, aby tisk proběhl bez chyb. Nejčastěji se mi stává, že se mi model odchlípne od tiskové podložky a třeba se lehce posune, a tisk pak pokračuje mimo již vytištěný model. Dále asi správné nastavení výplně modelu.

14. *Jaké nejčastěji používáte nastavení 3D tisku pro tištěné architektonické modely? Myšleno velikost trysky, výška vrstvy, případně materiál atd.*

    To si opravdu nepamatuji. Mám v práci nějaká doporučená nastavení od kolegů a s těmi pracuji. Ale přesná data z hlavy nevím.

    A třeba typ filamentu byste věděla? Zdali se jedná třeba o PLA, PETG nebo ABS?

    Myslím, že PLA a ABS, ale toho ABS je tam zbytek a nepoužíváme ho, protože s ním byly nějaké problémy a nevyhovovalo nám pro náš tisk.

15. *Využíváte nějakých forem postprocessingu po vytištění na 3D tiskárně?*

Když tisknu já, tak to víceméně rovnou předáváme, protože to nešlo na žádnou soutěž nebo tak. Většinou jen drobné úpravy jako začištění. To jsem dělala i u své bakalářky, když jsem tiskla poprvé. Tam jsem začišťovala hrany, aby to vypadalo dobře. Ale jinak v práci obecně kromě začištění modelu nic nevyužíváme.

16. *Mohla byste na předložených výtiscích zhodnotit na stupnici výborný – nedostačující následující vlastnosti výtisku?*

- *Přesnost tisku*
- *Kvalitu tisku detailů*
- *Četnost defektů vzniklých tiskem*
- *Vhodnost výšky vrstvy pro dané měřítko*
- *Celkový dojem modelů*

	Přesnost tisku	Kvalita detailů	Četnost defektů	Vhodnost výšky	Celkový dojem
Creality CR-10 Max	1	1	2	2	1
Průša i3 MK3S+	3	4	5	1	3
Ultimaker 2+	4	4	3	3	4

17. *Kam očekáváte, že se v budoucnu užití 3D tisku v architektuře posune?*

Tak skutečné domy už se nějaké tisknou, takže se s pomocí 3D tisku možná i jednou bude stavět, hlavně ale půjde o materiál. Beton jde momentálně cenou nahoru, takže těžko říct. Ale jsem asi víc skeptická, myslím, že se to nebude v budoucnu běžně používat pro stavby. Větší budoucnost vidím v lékařství, tam se to už teď hodně používá. A co se týče tisknutí architektonických modelů, tak tiskárny jsou aktuálně dost omezené velikostí tiskové plochy, tak snad se v rámci vývoje dostaneme k větším tiskárnám.

Ing. arch. Vít Hryzák

1. *Vzpomínáte si na moment, kdy jste se rozhodl věnovat architektuře?*
   Já jsem byl nerozhodný kam na střední, takže jsem si to prodloužil gymplem a tam jsem nějak došel k tomu, že by se mi líbil tenhle obor. Dělat něco co po mě zůstane, nějak pomoct mému okolí k lepšímu. Začal jsem na tom tedy pracovat, abych se dostal na školu, a to se úspěšně povedlo.
2. *Kdy jste se prvně dozvěděl o možnosti využití 3D tisku pro architektonické modely?*
   Na vysoké škole, sám jsem tehdy ještě netiskl, ale viděl jsem používat 3D tisk pro architektonické modely vyšší ročníky anebo někoho, kdo pracoval v modelu s organickou hmotou. Tam mi došlo, že vlastně klasické modelování má v organice poměrně silné limity a 3D tisk je rozhodně řešením.
3. *Jaké jsou podle Vás nejčastěji kladené požadavky na fyzické architektonické modely?*
   Podle mě to jsou mechanické vlastnosti, protože když ten model budu převážet na prezentační schůzku nebo soutěž, potřebuji ho dovézt celý v jednom kuse.
4. *Jak často, odhadem v procentech, využíváte k prezentaci fyzické modely?*
   Hodně málo. Většinou totiž danou fázi, ve které bych model využil, jsem nucený z časových důvodů odbýt co nejrychleji a na nějaký model není pak čas. Takže tak do 10 %.
5. *O jaké projekty se většinou jedná? Veřejné/soukromé, malé/velké?*
   Spíš to využívám pro veřejné a větší projekty do architektonických soutěží. Případně na nějaké výstavy na úřadech, kde se to nechá pro prezentaci širší veřejnosti.
6. *Nabízíte službu 3D tisku aktivně?*
   Popravdě ani ne. Pokud by investor model požadoval, seznámím ho s 3D tiskem. Ale pro běžné malé soukromé zakázky není model úplně potřeba. Spíš se lidé ptají, jestli by byla možnost vidět návrh interiéru ve virtuální realitě.
7. *Jaká jsou podle vás hlavní kritéria na 3D tisknuté architektonické modely?*
   Myslím si, že to je čistota modelu, aby tisk byl přesný, a na výtisku bylo minimum defektů.
8. *Jaké programy používáte pro modelování modelů pro 3D tisk? A proč?*
   Primárně modeluji v Archicadu, jelikož v něm přímo projektuji a využívám ho pro výkresovou dokumentaci. Nějaké drobné věci jinak v Blenderu.

9. *Jak je pro vás časově náročná příprava modelu pro samotný tisk?*

   V Archicadu je to podstatně složitější než v Blenderu, protože tam narážím na problém, že kvůli dokumentaci je ten model až moc detailní a pro 3D tisk je to na škodu a zbytečné. Takže samotná úprava v Archicadu tak do jednoho pracovního dne. V Blenderu podstatně menší dobu.

10. *S jakými problémy se setkáváte při modelování modelů pro 3D tisk?*

    Pravděpodobně špatné propojení hmoty v Archicadu. To není na první pohled vidět a až při tisku se ukáže, že tam ta chyba je.

11. *Co vám na těchto programech nevyhovuje z pohledu 3D tisku?*

    Že ty programy nepočítají úplně s 3D tiskem. Vadí mi, že není nějaká možnost, jak model exportovat pro 3D tisk a při tom zároveň zvolit třeba takovou úroveň detailů, aby to tiskárna zvládla bez problému.

12. *Jaké používáte 3D tiskárny?*

    Vzhledem k tomu, že modely tisknu spíše pro sebe a nemám na to místo v rozpočtu, tak používám čínské levnější tiskárny. První je obyčejná Creality Ender a druhá tiskárna je resinová Creality.

13. *S jakými problémy se setkáváte při samotném 3D tisku architektonických modelů?*

    Asi odlepování z podložky, že výtisk pak nedrží pevně na podložce a v průběhu tisku to skončí přerušením, protože se rozhodí poloha modelu. Často se mi stává, že když se tiskne něco tenkého a tisková hlava tiskne dlouho na jednom místě, tak ten extrudovaný filament pod tiskovou hlavou začíná znovu měknout a model se deformuje.

14. *Jaké nejčastěji používáte nastavení 3D tisku pro tištěné architektonické modely? Myšleno velikost trysky, výška vrstvy, případně materiál atd.*

    Asi 0,16 mm výšku vrstvy, aby to bylo na pohled příjemné. Ale občas i víc. Trysku mám 0,4 mm, ta byla u tiskárny defaultně a zatím mi stačí. Výplň dávám většinou co nejnižší, aby se to vytisklo rychle a vzhledem k tomu, že model není mechanicky namáhaný, tak to stačí. Z filamentů používám PLA a pro resinovou tiskárnu ten jejich doporučený resin.

15. *Využíváte nějakých forem postprocessingu po vytištění na 3D tiskárně?*

    Kromě běžných úprav, jako očištění od podpěr či zahlazení hran, nic.

16. *Mohl byste na předložených výtiscích zhodnotit na stupnici výborný – nedostačující následující vlastnosti výtisku?*
    - *Přesnost tisku*
    - *Kvalitu tisku detailů*
    - *Četnost defektů vzniklých tiskem*
    - *Vhodnost výšky vrstvy pro dané měřítko*
    - *Celkový dojem modelů*

	Přesnost tisku	Kvalita detailů	Četnost defektů	Vhodnost výšky	Celkový dojem
Creality CR-10 Max	3	2	3	3	3
Průša i3 MK3S+	1	2	2	1	2
Ultimaker 2+	2	4	3	2	4

17. *Kam očekáváte, že se v budoucnu užití 3D tisku v architektuře posune?*

    Doufám, že do fáze, kdy budeme moct navrhnutý model vytisknout na místě stavby. Celý proces ve stavebnictví mi teď přijde totiž zvrácený, protože stavební firmy neumí používat BIM, projektanti a architekti už se s ním naučili, ale stavební firmy ne. Takže my teď obecně absolvujeme proces, kdy něco navrhneme ve 3D, abychom z toho udělali 2D a na stavbě z 2D udělali znova to 3D v měřítku 1:1. 3D tisk by tenhle proces mohl urychlit a já to očekávám.

Ing. arch. David Hladík

1. *Vzpomínáte si na moment, kdy jste se rozhodl věnovat architektuře?*

   Vzpomínám si, že už na základní škole mě bavilo si hrát s prostorem kolem sebe, nějak s ním pracovat. Pak jsem si u nás na půdě před rekonstrukcí, ještě na základní škole, celý ten prostor nějak upravil, jak bych chtěl a už jsem si z toho de facto udělal svoje podkroví. Při rekonstrukci jsem pak koukal řemeslníkům pod ruku a zajímalo mě to. Jako střední školu jsem si zvolil technické lyceum se zaměřením na architekturu. Tam mě hodně ovlivnil náš učitel Vladimír Bulant, který vyučoval architekturu a dějiny umění, a to mě pro architekturu hodně nadchlo. Tehdy jsem zjistil, že když něco navrhnu dobře, ovlivním tím pozitivně život mnoha lidem, to mě zaujalo. Takže z architektury na střední jsem automaticky šel na architekturu na vysokou školu.
2. *Kdy jste se prvně dozvěděl o možnosti využití 3D tisku pro architektonické modely?*

   Já jsem od mala velký fanoušek kosmonautiky. Takže jsem všechno ohledně objevování kosmu sledoval a vlastně i samotný vývoj technologií. No a pak přišel 3D tisk a nějak podvědomě jsem o něm věděl, že tu je a že se dá využít pro ledacos, právě i architektonické modely například.
3. *Jaké jsou podle Vás nejčastěji kladené požadavky na fyzické architektonické modely?*

   Myslím si, že je to správná úroveň detailů. Takže je třeba na začátku správně definovat za jakým účelem ten model vzniká, jestli je to na výstavu, do soutěže nebo jen do ateliéru.

   Co je tedy podle vás těmi hlavními požadavky?

   Uvědomit si, co tím modelem chci vlastně říct nebo prezentovat. Takže ta volba detailů a určitě mechanické vlastnosti.
4. *Jak často, odhadem v procentech, využíváte k prezentaci fyzické modely?*

   Většinou na to není rozpočet, takže do 10 % odhaduji.
5. *O jaké projekty se většinou jedná? Veřejné/soukromé, malé/velké?*

   Většinou o ty veřejné. Tam v tom vidím i smysl to prezentovat široké veřejnosti a modelu tam rozumí pak každý.
6. *Nabízíte službu 3D tisku aktivně?*

   Řeknu investorovi pouze že tu ta možnost je, ale aktivně tisk modelu nijak neprosazuji.

7. *Jaká jsou podle vás hlavní kritéria na 3D tisknuté architektonické modely?*

   Asi bych řekl přesnost s čistotou toho modelu, aby to dobře působilo na investory.

8. *Jaké programy používáte pro modelování modelů pro 3D tisk? A proč?*

   Projektuji v Archicadu, takže používám model z něj a občasně používám SketchUp, protože jsem v něm pracoval už na škole.

9. *Jak je pro vás časově náročná příprava modelu pro samotný tisk?*

   Jedna věc je vymodelovat ten objekt samotný, ale to je součástí samotného navrhování projektu. Druhá věc je upravit ten model pro tisk, takže to dostat vlastně třeba z toho Archicadu do sliceru. V tu chvíli je to přibližně půl dne.

10. *S jakými problémy se setkáváte při modelování modelů pro 3D tisk?*

    U Archicadu je problém, když se všechno dělá pomocí zdí, tak ne vždy na sebe opravdu navazují a pro 3D tisk je to pak složité k přechroupání, což u SketchUpu zase problém takový není. Tam je problém, když si nevšimnu špatné orientace vnitřní vnější strany. Když pak vnitřní strana hmoty je otočená ven, je to pro 3D tisk problém.

11. *Co vám na těchto programech nevyhovuje z pohledu 3D tisku?*

    Absence plugin, který by to na pár kliknutí uměl zjednodušit pro 3D tisk.

12. *Jaké používáte 3D tiskárny?*

    Používám Creality Ender V2, protože je to cenově dostupná tiskárna s dobrým poměrem cena/výkon. Časem bych chtěl ale pořídit Průšu.

13. *S jakými problémy se setkáváte při samotném 3D tisku architektonických modelů?*

    Často se mi stává, že se zvedají rohy výtisku ještě během tisku samotného. To pak skončí slavnými „špagetami“ namotanými kolem tiskové hlavy.

14. *Jaké nejčastěji používáte nastavení 3D tisku pro tištěné architektonické modely? Myšleno velikost trysky, výška vrstvy, případně materiál atd.*

    Podle toho, jaký detail potřebuji. Když mi jde o nějaké větší měřítko modelu a potřebuji ukázat detail, tak od 0,16 do 0,20 mm výšky vrstvy. Když chci vytisknout jen objemovou hmotu, tak asi 0,25 mm, aby to bylo rychlé. Výplň kolem 10%, u modelů není víc potřeba.

    A co tryska a filament?

    Trysku mám základní, což je myslím 0,4 mm a filament klasické PLA.

15. *Využíváte nějakých forem postprocessingu po vytištění na 3D tiskárně?*

    Ne ne, jako architekta mě zajímá hmota především, a ne jestli je střecha červená nebo bílá. Dokonce preferuji celé modely v bílé.

16. *Mohl byste na předložených výtiscích zhodnotit na stupnici výborný – nedostačující následující vlastnosti výtisku?*
    - *Přesnost tisku*
    - *Kvalitu tisku detailů*
    - *Četnost defektů vzniklých tiskem*
    - *Vhodnost výšky vrstvy pro dané měřítko*
    - *Celkový dojem modelů*

	Přesnost tisku	Kvalita detailů	Četnost defektů	Vhodnost výšky	Celkový dojem
Creality CR-10 Max	3	3	3	4	3
Průša i3 MK3S+	1	2	2	1	2
Ultimaker 2+	2	4	3	3	4

17. *Kam očekáváte, že se v budoucnu užití 3D tisku v architektuře posune?*

    Myslím si, že daleko.

    Jako v praxi nebo modelování?

    Oboje. Očekávám, že to půjde v ruku v ruce a že se bude v budoucích desetiletích stavět pomocí 3D tisku víc a víc. Hlavně protože všechna odvětví v posledních letech udělala velký pokrok, jediné stavitelství ne, takže 3D tisk by mohl být ten důvod k tomu dohnání všech okolních odvětví.

Ing. arch. Martin Hořešovský

1. *Vzpomínáte si na moment, kdy jste se rozhodl věnovat architektuře?*

   První myšlenka byla na střední škole ve třeťáku, když jsme do soutěže navrhovali střední školu architektury a umění. Tu jsme měli navrhnout a udělat model. Celé to bylo sponzorované svazem vlnitých lepenek, který dodal materiál na modely. Tam jsem si poprvé uvědomil, že by mě to bavilo, a naše třídní učitelka, architektka, mi k tomu taky dala impuls. Nakonec mě k architektuře přesvědčila akce od Vallo Sadovsky architects, když jsme procházeli Kladno, a oni vysvětlovali ve veřejném prostoru, co je tam špatně a jak by to šlo zlepšit. Tehdy jsem si uvědomil, že architektura není jen klikání za počítačem, ale můžu být i mezičlánek mezi městem a veřejností, nebo být kritik, mít vlastní studio nebo se uplatnit jinak.

2. *Kdy jste se prvně dozvěděl o možnosti využití 3D tisku pro architektonické modely?*

   Nevzpomenu si kdy přesně to bylo, ale věděl jsem o něm docela dlouho, že existuje, asi i díky filmům. Pak vím, že přišel v té době nějaký Průša s tiskárnou, která najednou nestála 200 tisíc nebo víc, ale přibližně 20 tisíc. O samotném využití pro architektonické modely až na vysoké škole, kde byla tiskárna v modelárně k dispozici, a i pan Chalupa, který měl ve správě modelárnu, o tom uměl hezky mluvit a vysvětlit principy 3D tisku, že jsem už v prváku vlastně svůj první model na ateliérovou tvorbu chtěl tisknout. Takže vlastně o využití pro architektonické modely až na vysoké škole.

3. *Jaké jsou podle Vás nejčastěji kladené požadavky na fyzické architektonické modely?*

   Myslím si, že důležitá je cena. Protože pokud budu dělat studie za částky, které jsou na hraně toho, aby se mi to vyplatilo, budu koukat na cenu modelu a jestli se mi vlastně vyplatí ho pro ten projekt dělat. Pokud se bude jednat o studii za velké peníze, tak se tam nějaká tisícovka na model pro lepší prezentaci ztratí.

4. *Jak často, odhadem v procentech, využíváte k prezentaci fyzické modely?*

   Poměrně málo, aspoň při samotné tvorbě projektu. Když je projekt hotový, tak si sám pro sebe model vytisknu, abych ho měl pro prezentaci na příště někomu novému a mohl mu ukázat, co jsem dělal. S dostupností VR jsem vlastně tuto fázi přeskočil a rozpracovaný projekt prezentuji investorům právě rovnou ve VR.

   A kdybyste to měl vyjádřit procenty?

   Takových 5–10 % projektů. Víc ne.

5. *O jaké projekty se většinou jedná? Veřejné/soukromé, malé/velké?*

   Většinou to jsou veřejné zakázky. Tam je potřeba investory zaujmout, protože se většinou jedná o nějakou soutěž a něco navíc se vždy hodí.

6. *Nabízíte službu 3D tisku aktivně?*

   Moc ne. Když se investor sám zeptá na model, tak ano. Ale jinak ne, protože momentálně nedokážu zaručit s mou tiskárnou, že výstup tisku bude takový, jak potřebuji, že se nic nepokazí a já aktuálně nemám čas přemýšlet půl dne nad tím, kde se stala chyba a řešit opravu.

7. *Jaká jsou podle vás hlavní kritéria na 3D tisknuté architektonické modely?*

   Líbilo by se mi, kdyby to šlo tisknout rychleji. Nicméně je pro mě důležité, aby to bylo vytištěné přesně.

8. *Jaké programy používáte pro modelování modelů pro 3D tisk? A proč?*

   Dokumentaci dělám v Archicadu, takže proto ten. Tvorba dokumentace v BIM je jednoduchá a zároveň s tím vzniká 3D model, takže ho rovnou použiji. Jinak dále používám SketchUp, protože je jednoduchý, a občas zkouším i Blender, ale to jen na malé jednoduché hmoty.

9. *Jak je pro vás časově náročná příprava modelu pro samotný tisk?*

   Co se týče SketchUpu a Blenderu, je to otázka pár hodin. U Archicadu je to kolem půl dne až jednoho dne, protože celý soubor si musím duplikovat, abych nepoškodil originální dokumentaci, a v duplicitním souboru pak model zjednodušuji a mažu nepotřebné věci.

10. *S jakými problémy se setkáváte při modelování modelů pro 3D tisk?*

    Ve SketchUpu mám problém, když si nevšimnu, jak mám nastavené strany plochy, když mi například vnitřní strana plochy směřuje ven, a ne dovnitř, je z toho při tisku chyba, kdy si s tím už slicer neumí poradit. Archicad má občas problém se spojením hmoty a velkým počtem detailů.

11. *Co vám na těchto programech nevyhovuje z pohledu 3D tisku?*

    Řeknu to spíš opačně. Líbilo by se mi, kdyby třeba v Archicadu bylo tlačítko přímo pro tisk, kde by se volilo jen měřítko a podle toho se upravily detaily. Takže vlastně by pak bylo i možné tisknout 1:1 v budoucnu.

12. *Jaké používáte 3D tiskárny?*

    Creality Ender a pak Qidi, obě to jsou čínské značky, ale Creality je už poměrně kvalitní a rozšířená značka. Nicméně ta Qidi mi vyhovuje, protože je to uzavřený box a je bezdrátová, takže o poznání tišší provoz a nesmrdí.

13. *S jakými problémy se setkáváte při samotném 3D tisku architektonických modelů?*

    Pravděpodobně průběh prvních vrstev. Stává se mi často, že se model odlepí, nebo někde nadzvedne, a celý tisk je potom k ničemu. Jak proběhne tisk prvních vrstev správně, už se není víceméně čeho bát.

14. *Jaké nejčastěji používáte nastavení 3D tisku pro tištěné architektonické modely? Myšleno velikost trysky, výška vrstvy, případně materiál atd.*

    Často volím takový ten přednastavený poměr kvality a rychlosti. Takže výška vrstvy 0,20 mm a trysky základní 0,4 mm. Filament pak běžné PLA nebo ještě PETG. Výplň běžně co nejmíň, tak 5–10 %.

15. *Využíváte nějakých forem postprocessingu po vytištění na 3D tiskárně?*

    Nevyužívám, ve škole jsem zkoušel nějaké nátěry kdysi na zahlazení modelu, ale aktuálně nic. Není to potřeba pro moje účely a je to pracné.

16. *Mohl byste na předložených výtiscích zhodnotit na stupnici výborný – nedostačující následující vlastnosti výtisku?*
    - *Přesnost tisku*
    - *Kvalitu tisku detailů*
    - *Četnost defektů vzniklých tiskem*
    - *Vhodnost výšky vrstvy pro dané měřítko*
    - *Celkový dojem modelů*

	Přesnost tisku	Kvalita detailů	Četnost defektů	Vhodnost výšky	Celkový dojem
Creality CR-10 Max	3	3	3	3	3
Průša i3 MK3S+	1	2	2	1	2
Ultimaker 2+	2	4	3	3	4

17. Kam očekáváte, že se v budoucnu užití 3D tisku v architektuře posune?

Očekávám, že se posune k běžnému tisku budov v praxi. Dělal jsem na to nedávno prezentaci a myslím si, že je to opravdu zajímavé téma. Hlavně se mi líbí tisk z materiálů, které jsou na místě, a z ekologicky obnovitelných zdrojů. Viděl jsem, jak ve Španělsku tuším zkoušeli tisknout z hlíny, kterou míchali jen s pojivem, a jako izolant využívali odpad z rýžových slupek. To mi přišlo zajímavé právě pro využití v rozvojových zemích.