

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

Srovnání programů pro 3D tisk

Jiří Chalupský

© 2025 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jiří Chalupský

Informatika

Název práce

Srovnání programů pro 3D tisk

Název anglicky

Comparison of 3D printing programs

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je hodnocení dostupných programů a výběr optimálního programu pro 3D modelování a pro přípravu 3D tisku (Slicer).

Dílní cíle:

- Zmapování nabídky programů pro 3D modelování a pro přípravu 3D tisku
- Porovnání nabídky programů pro 3D modelování a slicerů
- Testování vybraných (optimálních) programů
- Vyhodnocení výsledků, formulace doporučení a závěrů

Metodika

Teoretická část práce je založena na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. V teoretické části budou představeny programy pro 3D tisk. V praktické části budou porovnány a poté charakterizovány a testovány nejlépe vyhodnocené programy, které budou použity k vytvoření modelu a jeho přípravě k tisku. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry a doporučení práce.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

3D tisk, FDM, Slicer, 3D modelování, program pro 3D zpracování

Doporučené zdroje informací

BAÑÓN, C, & RASPALL, F 2020, 3D Printing Architecture : Workflows, Applications, and Trends, Springer Singapore Pte. Limited, Singapore. Available from: ProQuest Ebook Central.

Dow, C 2022, Simplifying 3D Printing with OpenSCAD : Design, Build, and Test OpenSCAD Programs to Bring Your Ideas to Life Using 3D Printers, Packt Publishing, Limited, Birmingham. Available from: ProQuest Ebook Central.

Hoeck, CR 2018, Solving a 3D Structural Puzzle, Springer International Publishing AG, Cham. Available from: ProQuest Ebook Central.

Horvath, J, & Cameron, R 2020, Mastering 3D Printing : A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping, Apress L. P., Berkeley, CA. Available from: ProQuest Ebook Central.

Muralidhara, HB, & Banerjee, S (eds) 2021, 3D Printing Technology and Its Diverse Applications, Apple Academic Press, Incorporated, Milton. Available from: ProQuest Ebook Central.

Noorani, R 2017, 3D Printing : Technology, Applications, and Selection, Taylor & Francis Group, Milton. Available from: ProQuest Ebook Central.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 25. 06. 2023

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 03. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 17. 02. 2025

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Srovnání programů pro 3D tisk" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.3.2025

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za trpělivost a cenné rady při vedení práce.

Srovnání programů pro 3D tisk

Abstrakt

S rychlým rozvojem 3D tisku dochází k rozvoji softwarových nástrojů pro tvorbu modelů a přípravu k tisku. I když tyto programy slouží stejnému účelu, liší se svými funkcemi, možnostmi a uživatelským komfortem. Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu a porovnání vybraných softwarových řešení, přičemž cílem je identifikovat optimální nástroje pro hobby uživatele.

V teoretické části jsou vysvětleny klíčové termíny, charakterizovány nejrozšířenější technologie 3D tisku a proveden přehled dostupného softwaru. Dále jsou stanovena kritéria pro hodnocení programů. Praktická část práce se zaměřuje na porovnání jednotlivých variant pomocí metody vícekritériální analýzy variant (VAV) a následné testování vybraných aplikací. Zkoumány jsou zejména rozdíly v nabízených edicích, uživatelském prostředí a dostupných funkcích.

Závěry práce poskytují přehled výhod a nevýhod jednotlivých řešení a formulují doporučení pro výběr vhodného softwaru pro hobby uživatele.

Klíčová slova: 3D tisk, FDM, Slicer, 3D modelování, program pro 3D zpracování

3D Printing Software Comparison

Abstract

With the rapid development of 3D printing, software tools for creating models and preparing for printing are being developed. Although these programs serve the same purpose they differ in their features, capabilities and user experience. This bachelor thesis therefore focuses on the analysis and comparison of selected software solutions, with the aim of identifying the optimal tools for hobby users.

In the theoretical part, key terms are explained, the most common 3D printing technologies are characterized and an overview of the available software is made. Criteria for evaluating the software are also set out. The practical part of the thesis focuses on the comparison of different variants using the method of multi-criteria analysis of variance (VAV) and subsequent testing of selected applications. In particular, the differences in the offered editions, user environment and available features are examined.

The conclusions of the paper provide an overview of the advantages and disadvantages of each solution and formulate recommendations for the selection of suitable software for hobby user.

Keywords: 3D printing, FDM, Slicer, 3D modelling, 3D processing software

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce a metodika	11
2.1 Cíle práce	11
2.2 Metodika	11
3 Teoretická východiska	12
3.1 3D tisk	13
3.1.1 Technologie 3D tisku.....	13
3.1.2 Využití 3D tiskárny.....	19
3.2 Programy pro 3D modelování.....	21
3.2.1 Definice.....	21
3.2.2 Přehled trhu.....	21
3.3 Slicer	26
3.3.1 Definice.....	26
3.3.2 Přehled trhu.....	29
3.4 Výběr optimálního softwaru	30
3.4.1 Stanovení kritérií.....	31
4 Vlastní práce	33
4.1 Vícekritériální analýza variant	33
4.1.1 Stanovení vah kritérií.....	35
4.1.2 Stanovení kompromisní varianty	36
4.2 Výběr kompromisní varianty pro 3D modelování	36
4.2.1 Programy pro 3D modelování včetně kritérií	37
4.2.2 Stanovení vah kritérií.....	37
4.2.3 Převod kritérií na stejný druh a určení ideální a bazální varianty	38
4.2.4 Standardizovaná kritériální matice	39
4.3 Výběr kompromisní varianty pro Slicer.....	39
4.3.1 Slicer včetně kritérií.....	40
4.3.2 Stanovení vah kritérií.....	40
4.3.3 Převod kritérií na stejný druh a určení ideální a bazální varianty	40
4.3.4 Standardizovaná kritériální matice	41
4.4 Představení optimálních možností	41
4.4.1 Tvorba 3D předlohy	43
4.4.2 Příprava k tisku	54
5 Výsledky a diskuse	57
6 Závěr.....	59

7	Seznam použitých zdrojů	61
8	Seznam obrázků a tabulek	67
8.1	Seznam obrázků	67
8.2	Seznam tabulek	67
9	Přílohy	69

1 Úvod

S rozvojem 3D tisku dochází i k rozvoji softwaru pro tvorbu předloh a přípravy tisku v počítači. Na trhu je dostupných čím dál více programů, které je možné pro tvorbu v tomto odvětví využít, ale nelze říct, že jsou všechny stejné a lze v nich dosáhnout stejných výsledků. Tato bakalářská práce má za cíl porovnat výhody, nevýhody a vlastnosti vybraných z nich, zhodnotit možnosti použití a zformulovat závěry a doporučení.

Nejprve budou uvedeny a vysvětleny relevantní odborné termíny problematiky 3D tisku, které se vyskytují v samotném textu práce, jelikož některé termíny nejsou obecně známé. Další část práce pojednává o samotné technologii 3D tisku a vymezuje rozdíly mezi nejrozšířenějšími technologiemi, jaké jsou pro tento druh výroby využívány. Také jsou nastíněny rozdíly v oblasti využití.

Dále je součástí teoretických východisek charakteristika modelovacího softwaru a programů pro přípravu tisku, aby ve vlastní práci bylo možné na tyto informace navázat. Součástí teoretické části je průzkum trhu u obou typů programů. Na závěr části s teoretickými východisky jsou uvedeny klíčové charakteristiky pro výběr softwaru, který bude předmětem vlastní práce.

V části vlastní práce bude provedeno porovnání jednotlivých variant podle vícekritériální analýzy variant a poté bude pojednáno o fungování v uživatelském rozhraní optimálních programů. Bude postupováno dle logické posloupnosti metody výroby, tedy nejprve bude navržena předloha zvoleného objektu v softwaru pro 3D modelování a poté dojde k přípravě k tisku. Během tohoto procesu bude poukazováno na případné rozdíly ve funkcích a dopadu na výsledek.

Nakonec dojde k vyhodnocení celého procesu a formulaci doporučení a závěrů.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je hodnocení dostupných programů a výběr optimálního programu pro 3D modelování a pro přípravu 3D tisku (Slicer) tak, aby vyhovovaly co nejvíce potřebám hobby uživatele.

Dílčí cíle:

- Zmapování nabídky programů pro 3D modelování a pro přípravu 3D tisku
- Porovnání nabídky programů pro 3D modelování a slicerů
- Testování vybraných (optimálních) programů
- Vyhodnocení výsledků, formulace doporučení a závěrů

2.2 Metodika

Teoretická část práce je založena na studiu a analýze odborných a vědeckých informačních zdrojů. V teoretické části budou nejprve vysvětleny základní pojmy z prostředí 3D tisku, následně představeny programy pro 3D tisk a také bude vysvětlen jejich účel, a nakonec stanovena kritéria pro výběr optimálního softwaru.

V praktické části budou porovnána v teoretické části stanovená kritéria metodou VAV a poté charakterizovány a testovány nejlépe vyhodnocené programy, které budou použity k vytvoření modelu a jeho přípravě k tisku.

Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry a doporučení práce.

3 Teoretická východiska

Protože téma 3D tisku a související problematika jenž se s ním pojí obsahuje mnoho odborných termínů, budou pro začátek vysvětleny nejdůležitější z nich pro lepší pochopení a orientaci v obsahu samotné práce. Pro začátek bude vysvětleno fungování samotné 3D tiskárny následně pojmy z prostředí programů pro 3D modelování, a nakonec termíny související s přípravou samotného tisku.

3D tisk je technologie aditivní metody výroby. Proces tisku je následující: vymyšlení návrhu a jeho následná vizualizace do 3D prostředí (viz Kapitola Programy pro 3D modelování), příprava tisku (viz Kapitola Slicer) a nakonec samotný tisk.

3D tiskárna zařízení/stroj schopné vytvářet trojrozměrné objekty. Při tvorbě postupuje po vrstvách, ve kterých nanáší materiál. Všechna tato zařízení mají některé součástky společné, a to tiskovou hlavu a pracovní plochu. Tisková hlava zajišťuje hlavně nanášení materiálu na pracovní plochu.

Materiál je pro každou technologii tisku jiný. Hlavními materiály jsou plastové struny (filamenty), tekuté pryskyřice (resin), a kovové prášky. Materiál a práce s ním je rozdílná, z hlediska konzistence a teploty pod jakou je zpracováván, podle technologie výroby, jenž zařízení používá se také liší název. Technologií výroby je myšlen pracovní postup stroje a potřebné technické náležitosti.

Program/aplikace pro 3D modelování slouží pro tvoření trojrozměrných digitálních reprezentací objektů z reálného světa. Pro 3D tisk jakožto druh výroby jsou vhodné CAD aplikace.

CAD znamená Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování) a je záštitou pro odvětví softwaru určenému primárně pro technické kreslení ve všech odvětvích průmyslu. Jedním z nejznámějších zástupců těchto programů je AutoCAD od společnosti Autodesk.

Vektorová grafika je druhem interpretace obrazové informace, interpretované pomocí matematicky definovaných křivek (vektorů). Každá nakreslená "čára" je pro software uložena jako matematický zápis obsahující souřadnice vrcholů a hran vektoru. Také bude obsahovat doplňující hodnoty jako tloušťku "čáry" a její barvu. (Kotek, c2024; Hartinger, 2019)

Program pro přípravu tisku jinak také Slicer je používán na nastavení průběhu výroby a vygenerování souboru s instrukcemi pro tiskárnu. Jedním z nejznámějších Slicerů je PrusaSlicer vyvíjený českou firmou PrusaResearch.

Infill v překladu výplň. V kontextu 3D tisku je infill brán jako vnitřní výplň tisknutého modelu. Důležitými parametry je hustota a vzor výplně, jelikož ty velice ovlivňují konečný výsledek tisku a kvalitu výrobku.

3.1 3D tisk

3D tisk je technologie aditivní metody výroby. U té se při výrobě různým způsobem nejprve taví materiál. Tento materiál je pak nanášen vrstvou po vrstvě na sebe na pracovní desku zařízení, tak dlouho dokud není zadaný 3D výrobek hotový. (Jak funguje 3D tiskárna, c2022) Na rozdíl od tradičních metody výroby obráběním jako je soustružení a frézování je po 3D tisku méně odpadního materiálu, a neplýtvá se tolik zdroji. (Hogan, 2022)

Existuje mnoho druhů 3D tisku. Pro větší přehlednost je možné je rozdělit do následujících skupin. Zprvė podle architektury samotného zařízení. Tím je myšlena konstrukce potažmo samotná technologie, kterou dané zařízení při výrobě používá a zadruhé podle toho, jaký materiál dokážou zpracovat a poté použít při výrobě. Většinou jsou používány hlavně plasty a také slitiny kovů (viz kapitola Tisk kovem). Existují však také tiskárny na beton, ale ty však nejsou zatím příliš rozšířené. Dále je možné použít rozdělení na hobby a profesionální stroje. (Kennedy, 2021)

První pokusy o prosazení technologie jsou datované do 80. let minulého století a první 3D tiskárna, která se objevila byla typu SLA (Stereolitografie). (viz kapitola SLA)

Dnes jsou 3D tiskárny používány téměř ve všech odvětvích, kde je třeba vyrábět menší série různých výrobků, které jsou zrovna potřeba. Nechají se použít například na prototypování výrobků nebo díly do strojů až po protézy. Jak bylo zmíněno výše, je možné tisknout i betonem a začínají se objevovat celé vytisknuté domy. (Bryden, 2014; Kennedy, 2021)

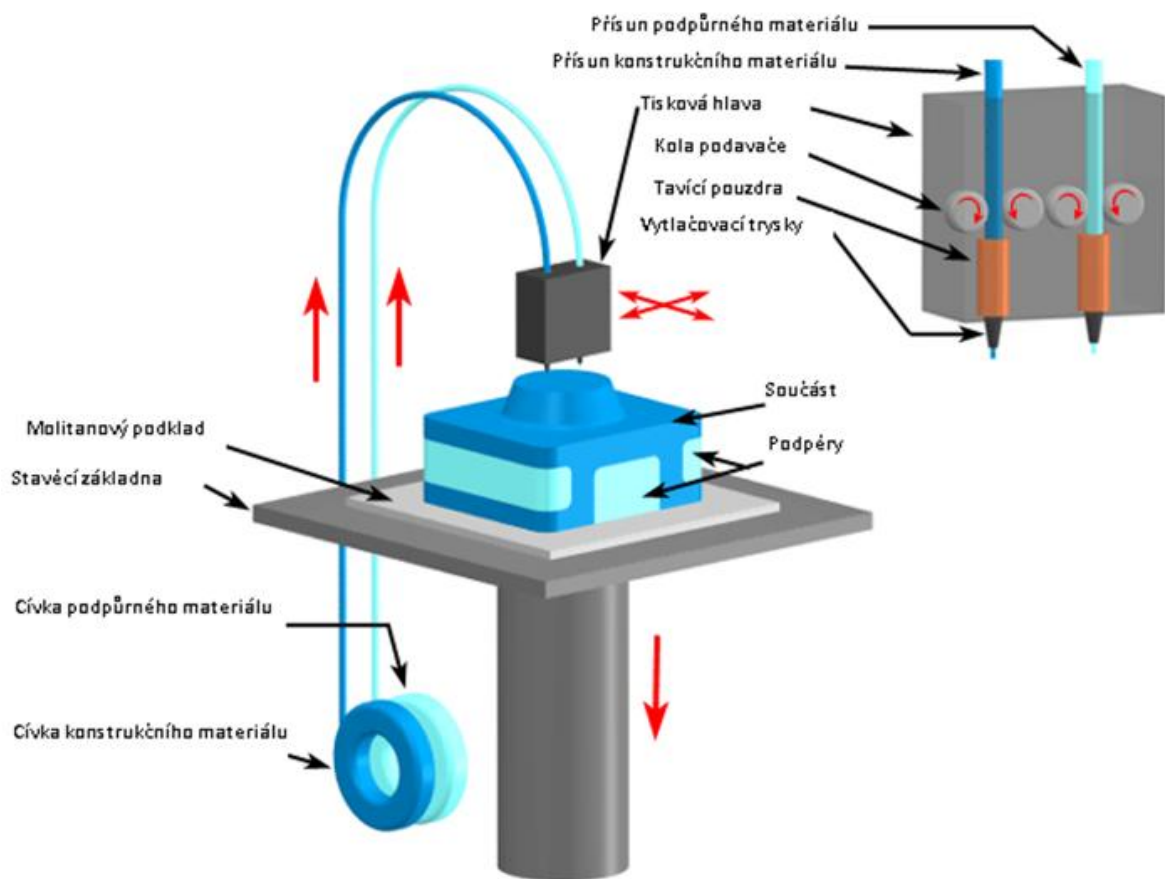
3.1.1 Technologie 3D tisku

V následující části budou vysvětleny některé z mnoha technologií 3D tisku. FDM technologie byla vybrána z důvodu své vysoké popularity a uživatelské přívětivosti. SLA pro svou rychlost a vysokou vizuální kvalitu výrobků. Pokud má být výrobek primárně

vizuálně zdařilý je vhodné použít technologii SLA. Poslední část pojednává o tisku kovem, jejíž cílem je ukázat odlišnost od tisku ostatními materiály.

FDM (Fused Deposition Modeling) Jedná se o nejnámější druh 3D tiskárny a také nejdostupnější. Nová FDM 3D tiskárna jde koupit zhruba od 5000 Kč. (Jak funguje 3D tiskárna, c2022) K FDM tiskárně také není třeba žádné další speciální vybavení a zařízení a jsou snadno udržovatelné a modifikovatelné.

Vytisknout na těchto tiskárnách jde prakticky vše, jak designovou věc, tak mechanickou součástku nebo nástroj. Při správném nastavení může být výrobek velice pevný a detailně vytisknutý zároveň, nicméně kvůli pohybu extruderu po rameni tiskárny je proces výroby časově náročnější, a proto není zcela vhodný pro sériovou výrobu. (FDM, 2014 - 2024)



Obrázek 1 princip FDM 3D tisku (FDM, 2014 - 2024)

Jako materiál jsou používány filamenty, což jsou plastové struny většinou o průměru 1.75 mm. Materiál je natahován z cívky, na které je z výroby namotán, přes podavač do extruderu, kde je v hot end roztaven a pak protlačen přes trysku na nahřátou pracovní plochu (takzvaný hotbed). Vrstvy filamentu jsou na sebe nanášeny jedna po druhé, dokud

není výrobek hotový. Obecně platí, že čím menší výšku jedna vrstva má, tím je výrobek detailnější, ale tisk trvá o to déle. (O'Neill, c2024) Pokud je někde převis, je pod ním vytištěna podpora, kterou lze po vytisknutí odloupnout či odříznout. (FDM, 2014 - 2024)

Extruder zaručuje přísun materiálu tiskárně během doby tisku. Podávání materiálu je ovládáno krokovým motorem osazeným kolem, které přítlakem posouvá materiál směrem tam i zpět. Dále dochází v teplé části extruderu takzvanému hot end k natavování filamentu před vytlačení na hotbed (Horvath, 2020). Teploty na hot end se pohybují mezi 205-280 °C podle použitého materiálu. Natavování materiálu zajišťují topná tělesa v těle extruderu, přes ně je natavený materiál protlačen do trysky, které mohou mít různé průměry. Nejčastější průměr je 0,4 mm a dále jsou časté průměry 0,25 mm pak 0,6 mm a 0,8 mm. Na to, jaký je průměr trysky je nutné pamatovat při přípravě tisku, protože na tom závisí maximální možná výška vrstvy (Zuza, 2018). Při špatně nastaveném průměru by si 3D tiskárna špatně podávala materiál a výrobek by se nepodařilo vytisknout. Proti přehřátí a regulaci teploty je na extruderu umístěn ventilátor o průměru zhruba dva centimetry, jenž si 3D tiskárna během výroby ovládá sama. Celé tělo extruderu je umístěno na rameni, které se pohybuje po osách X a Y. Pohyb je většinou zajištěn tenkými rozvodovými klínovými řemínky.

Hotbed se skládá ze dvou částí. Plochy, kam je nanášen materiál a podstavy, díky které se může hotbed při tisku pohybovat po ose Z. Pro lepší přilnutí materiálu je plocha nahřívána, standardně na 60-70 °C, natápění zajišťuje kovová podstava s topnou spirálou uvnitř. U samotné tiskové podložky je výhodné, pokud je lehce zdrsněna pro lepší přilnutí prvních pár vrstev. Základní hotbed jsou skleněné a jen s mírným zdrsněním. V těch se snadno usazuje prach, a tím pádem jsou za chvíli téměř nepoužitelné, poté je nutné použít buď isopropylalkohol na vyčištění nebo speciální přípravky na zvýšení lepivosti podložky. Většinou je možné dokoupit podložku magnetickou. Samotný magnet je přilepen k podstavě a podložka je odnímatelná. Lépe se chrání před prachem a vytisknuté výrobky se lépe sundávají.

K pohonu se používají krokové motory, což jsou bezkartáčové stejnosměrné elektrické motory. Zjednodušeně lze říci, že motor pracuje na bázi otáčejícího se elektromagnetu. Pro každou osu pohybu čili X, Y a Z je jeden krokový motor. Tyto motory se nepohybují plynule, ale provádějí pohyby o kroky. Celá otočka motoru o 360 stupňů je rozdělena většinou na 200 kroků, takže jeden krok připadá na 1,8 stupně. Nicméně jsou dostupné i motory s kroky po 2; 2,5; 5 a 15 stupňů. Samotné kroky se nechají púlit nebo jinak modifikovat, takže jsou krokové motory schopné velice přesných pohybů, a právě díky tomu,

jednoduchosti a spolehlivosti jsou používány nejen ve 3D tiskárnách, ale i CNC strojích. (Krokový motor – druhy a příklady aplikací krokových motorů, 2020)

Materiály pro FDM 3D tiskárny jsou struny různých plastů navinutých na cívce. Samotná struna je většinou průměru 1,75 mm. (Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi, 2013)

Existuje více materiálů a každý má unikátní vlastnosti a oblast použití, ovšem také vyžadují jiný přístup k tisku.

Základní materiál je PLA (polylactic acid – kyselina polymléčná). Je vyrobený z kukuřičného nebo bramborového škrobu díky čemuž je plně biologicky odbouratelný. Je vhodný na tisk čehokoliv, ale nemá žádné speciální vlastnosti, takže je málo odolný proti teplotě, vlhkosti a pevnost také není nějak významná. Teplota při tisku na hot end je v rozmezí 150-210 °C a na hotbed 60 °C. (Materialpro3d.cz, 2016)

Pokud je potřeba aby byl výrobek vysoce pevný a odolnější vůči teplotě je vhodné ABS (Akrylonitrilbutadienstyren). Jeho vysoká pevnost je však vykoupena obtížným tiskem. ABS nesnáší dobře změny teplot při tisku a zároveň při natavování zle páchne, a tak je doporučeno během tisku v místnosti větrat. Teplota hot end je zde 220-275 °C a na hotbed 100-130 °C. (Materialpro3d.cz, 2018)

Pro pružné výrobky jsou doporučovány materiály typu TPU (termoplastický polyuretan). TPU skvěle poslouží všude tam, kde je žádoucí, aby výrobek snesl nějaké stlačení a ohyby, nicméně není kvůli tomu možné očekávat tak detailní tisk jako u PLA nebo ABS, jelikož TPU je náchylnější k deformacím při vystavení teplotě. (TPU tisková struna, c2024; Pružné filamenty pro 3D tisk TPU, TPE, c2024; Kouzlo flexibilních materiálů a Shore stupnice, 2023)

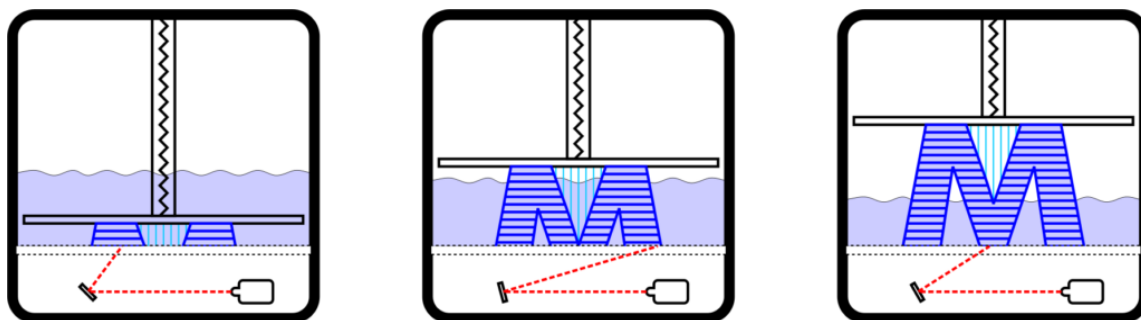
Stupnice tvrdosti flexi filamentů podle Shore

	měkké				středně tvrdé		tvrdé		
A	65	70	75	80	85	90	95	100	
D	19	22	25	29	33	39	46	58	60
		70 A Recreus	75 A Herz	30 D Fiberlogy	85 A Verbatim	90 A Fillamentum Spectrum	95 A Polymaker	98 A Fillamentum Spectrum	
				82 A Recreus		88 A Filament PM	93 A Smartfil	96 A Fillamentum	
				32 D Filament PM			92 A Fillamentum	55 D Devil design Colorfabb	
							40 D Fiberlogy		

Obrázek 2 stupnice tvrdosti filamentů (Pružné filamenty pro 3D tisk TPU, TPE, c2024)

Na bázi PLA jsou dostupné také filamenty, které vypadají jako přírodní materiály jako je dřevo, železo a kámen. Nijak se neliší v mechanických vlastnostech od standardního PLA jen mají speciální vzhled a dodávají tak výrobku vzezření jako by vznikly z jednoho kusu.

SLA (StereoLitografie) Jak bylo zmíněno výše byl to první typ 3D tisku, který se dostal do povědomí. V nádobě je tekutá světlocitlivá pryskyřice (resin) a v té je zcela ponořena tisková hlava. (Jak funguje 3D tiskárna, c2022) Resin je postupně osvětlován po celých vrstvách a po dokončení vrstvy se tisková hlava vždy o výšku vrstvy vynoří i s doposud dokončeným výrobkem. Takto se postup opakuje, dokud není výrobek hotový. Stejně jako FDM i zde jsou používány tištěné podpory. (Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing, c2024; Schwaar, 2024)



Obrázek 3 postup tisku technologií SLA (TECHNOLOGIE 3D TISKU, c2024)

Tiskové ústrojí funguje na bázi nasvícování (ozařování) tekutého resinu UV zářením bodovým lasem. Laser vyše paprsek ten je nejprve usměrněn galvanometrem a následně ještě natočen do potřebného místa pomocí oscilujících zrcadel. (TECHNOLOGIE 3D TISKU, c2024)

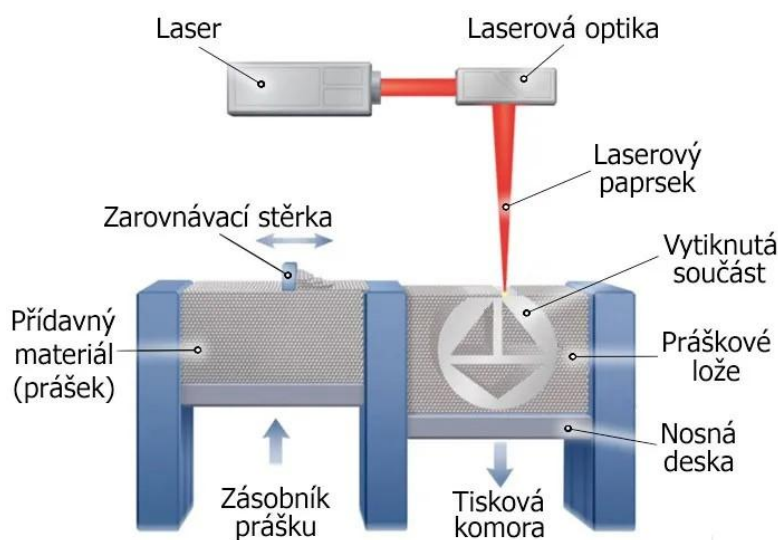
Resin je nutné nejprve nalít do tiskové nádoby. Rameno s tiskovou plochou poté sjede do nulové polohy na dno nádoby a tisk začne. Tiskové ústrojí je upevněno na závitové tyči s velmi strmým závitem a toto ústrojí je poháněno krokovým motorem.

Největší předností je rychlost. Tisk jedné vrstvy probíhá v řádu vteřin, jmenovitě zhruba 2-3 vteřiny, takže je SLA o mnoho rychlejší než FDM. Modely jsou také o mnoho detailnější a lépe zpracované, protože nejsou vidět jednotlivé vrstvy jako při tisku FDM. Hodí se proto na věci, které mají hlavně dobře vypadat. (Original Prusa SL1S SPEED 3D tiskárna, 2013; What is Stereolithography (SLA) 3D Printing: Applications, Materials and Cost, c2024)

Hlavní nevýhodou je větší složitost celého tisku. Samotná tiskárna nestačí, protože po vytisknutí je nejdříve nutné výrobek dát vyprat v isopropylalkoholu a poté dát vytvrdit do speciálního zařízení. „K úplnému vytvrzení dílů SLA je nutné následné vytvrzení pomocí UV světla. Tento proces probíhá na samostatném stroji a jeho doba závisí na velikosti dílu (Čas potřebný k dodatečnému vytvrzení je nevýhodou procesu SLA).“ (Bryden, 2014)

Poslední dva procesy jsou většinou dostupné v rámci jednoho zařízení. Díky větší složitosti samotné tiskárny a nutnosti použít více zařízení jsou nákupní a provozní náklady vyšší než u FDM. Resin je také toxický, takže pro člověka nebezpečný a musí se proto uchovávat nejlépe v originálních nádobách a mimo dosah neznalých osob. (Materialpro3d.cz, c2025; Tisk s resinem, b. r.)

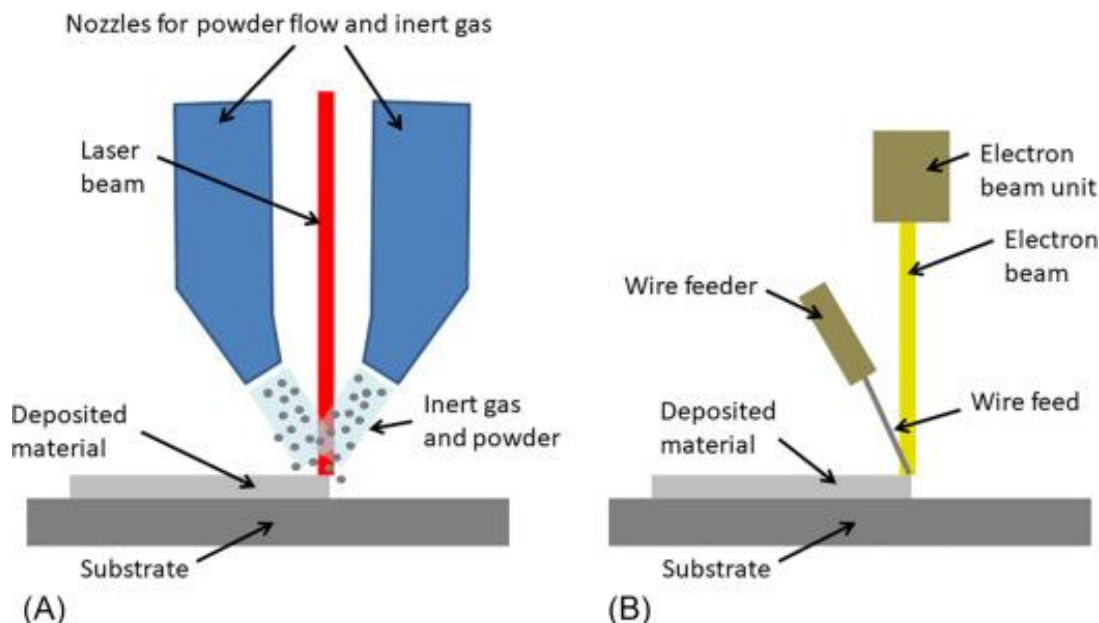
Tisknutí kovem nelze ani zdaleka považovat za dostupné pro hobby využití jako je tomu u tiskáren na plasty. Stroje na tisk kovu jsou stále velice drahé a jejich obsluha vyžaduje kvalitní školení a cena samotného stroje také není zrovna nízká. Ceny začínají na jednotkách mil. korun a vyšplhají se rozhodně výš za opravdu použitelný stroj. Materiály bývají kovové prášky, nejčastěji se tiskne titanem, hliníkem nerezovou ocelí anebo mědí. I tvorba modelů vyžaduje více odborný přístup, aby výrobek byl použitelný a vůbec vyrobitelný. Přestože jsou kovy pevnější materiál než plasty, stále je nutné používat při tisku podpory, aby rozežhřátý materiál udržel požadovaný tvar. Tiskárny na kov používají nejčastěji technologii SLM (Selective laser melting) a DMLS (Direct metal laser sintering). Princip je u obou podobný jako u SLA jen musí být stroj dimenzovaný na práci s kovem. (Messer Technogas s.r.o., 2020; Homola, 2022; Is 3D Printed Metal Strong?, 29 July 2022)



Obrázek 4 princip tisku kovem technologií SLM (Messer Technogas s.r.o., 2020)

Další zajímavá technologie je DED (Directed energy deposition). Postup při výrobě je principiálně podobný jako u FDM. Tiskárna si podává prášek nebo kovovou strunu, ten je

poté vyfouknut ven tryskou a navařen laserem na potřebné místo. Celý tento proces probíhá pod ochranou atmosférou z plynu např. argonu. (Svetlizky, 2021)



Obrázek 5 princip tisku kovem technologií DED (Hogan, 2022)

3.1.2 Využití 3D tiskárny

Hobby využití ocení především domácí kutilové a obecně lidé, kteří si rádi sami opravují věci, rozvoj 3D tiskáren uvítali zdaleka nejvíce oproti ostatním lidem. Zmíněné skupině lidí to umožňuje vytvořit si prakticky cokoliv pro své projekty za minimální náklady. Možnost navrhnout si téměř cokoliv vlastníka tiskárny napadne, dává uživateli velkou svobodu při realizaci projektů, jenž ho napadnou. I tiskárna z nižší cenové vrstvy je stále schopná vyrobit co bude potřeba, nicméně rozdíl bude patrný hlavně v kvalitě výrobků. (De Lio, 24 March 2023)

Ovlivňuje to hlavně kvalita základní desky, jelikož ta ovládá chod celé tiskárny, a s ní spojené parametry, jak bylo zmíněno výše. (The Anatomy of a 3D Printer: Controller Boards, c2024)

Nicméně hobby 3D tiskárny jsou menší a kompaktnější oproti svým profesionálním/industriálním protějškům. Z průzkumu trhu vyplývá, že hobby zařízení bude mít tiskovou plochu do 40 cm maximálně ve všech osách, nicméně je to nadprůměrné, a tak i samotný stroj bude větší než standardní hobby stroj.

Profesionální Protože 3D tiskárna je velice variabilní zařízení, je na místě, aby bylo využíváno i v profesionální sféře v továrnách nebo výzkumných ústavech. Nelze jasně říct od jaké cenové hladiny se profesionální stroje pohybují, jelikož jejich cena není většinou

veřejně dostupná náhodnému zákazníkovi, a proto je nutné kontaktovat prodejce a nechat si vytvořit cenovou nabídku. U těchto strojů je podstatně náročnější obsluha a údržba na úkor co největší přesnosti, rychlosti a efektivity při tisku výrobku. V komerční sféře se dostávají ke slovu také tiskárny na kov, poněvadž jsou samy o sobě kvůli použitým technologiím dražší na pořízení. Na trhu je mnoho firem s tímto zaměřením, které nabízí své služby, jako například návrh a následná realizace výrobku podle požadavků zákazníka nebo jen samotná výroba v případě, že zákazník má předlohu již vytvořenou. Ceny u těchto služeb jsou různé a velice záleží na vybrané firmě, ale je možné říci, že vytisknutí výrobku z plastu je dostupné pro kohokoliv, zatímco u kovu při složitějším výrobku bude cena vyšší. (Homola, 2022)

Takové firmy vlastní celou řadu různě velkých a výkonných tiskáren, a tím se snaží docílit co nejkratší čekací doby zákazníků na objednané výrobky a co nejefektivnější a rentabilní výrobu. Podle průzkumu trhu vychází, že jedna firma zpravidla nebude nabízet jak tisk kovem, tak tisk plastem z důvodu příliš velkých nákladů na údržbu a školení personálu.



Obrázek 6 příklad farmy 3D tiskáren (Goodman, January 30 2020)

Na obrázku je detail komerčního využití FDM 3D tiskáren. Tato farma by byla schopna produkovat více různorodých výrobků naráz anebo více stejných zároveň, a tak částečně nahradit sériovou výrobu. (Proces 3D tisku, b. r.)

3.2 Programy pro 3D modelování

První krok v postupu při výrobě na 3D tiskárně je vytvoření patřičné předlohy. Pro tento účel již existuje na trhu celá řada programů/aplikací z nichž každý má své místo na trhu. Všechny mají účel pro konkrétní odvětví průmyslu jako například strojírenství a stavebnictví, včetně 3D tisku, a proto disponují speciálními funkcemi a podporou. Pro uživatele jsou tyto programy virtuálním rýsovacím prknem, kde mohou realizovat své návrhy a poté je libovolně upravovat bez ztráty předchozího postupu a nutnosti začínat od úplného začátku jako při rýsování na papír. (Bryden, 2014) V následující části práce budou představeny přednosti jednotlivých programů a přibliženo obecně jakým způsobem jsou aplikace děleny a jak fungují. Hlavní pozornost bude věnována CAD programům.

3.2.1 Definice

Základní rozdíly v počítačovém modelování spočívají v typu modelování, které je použito v daném prostředí, což ovlivňuje konečný výsledek. Je možné vytvářet organicky vypadající modely postav v programech jako Blender nebo technické modely v CAD programech. (Marcel, c2024) Tento typ aplikací je náročný hlavně na výpočetní výkon procesoru, také má vysoké nároky na operační paměť počítače a pro plynulý chod grafického rozhraní a vykreslování prováděných změn je třeba i výkonná grafická karta. (Michl, 2021; Doran, 5/21/2022; Prior, January 11 2024)

Uživatel se v těchto aplikacích pohybuje v 3D prostředí, kde ze základních tvarů jako například koule, kvádr, jehlan, jsou tvořeny objekty složitější a pomocí funkcí jsou následně upravovány do finální požadované podoby se kterou lze v procesu výroby pracovat dále. Pohled na vznikající model lze libovolně natáčet ve všech osách případně sledovat pouze ve 2D pohledu.

Po dosažení kýženého výsledku je možné, exportovat model do vhodného formátu. Slicery pracují nejčastěji se soubory ve formátu .stl, .obj, .3mf, a proto je vhodné využívat tyto, nicméně je možné provést export i do jiných formátů. (Gharge, 23 March 2023)

3.2.2 Přehled trhu

V následující části bude rozebrán přehled trhu s programy pro 3D modelování. Možností je mnoho, a nelze je obsáhnout všechny. Proto pro svou vysokou oblíbenost, dlouhodobou podporu a profesionální funkce byly zvoleny pro charakterizování zavedené možnosti AutoCAD a SolidWorks. Dalšími vybranými jsou dva jednodušší zástupci

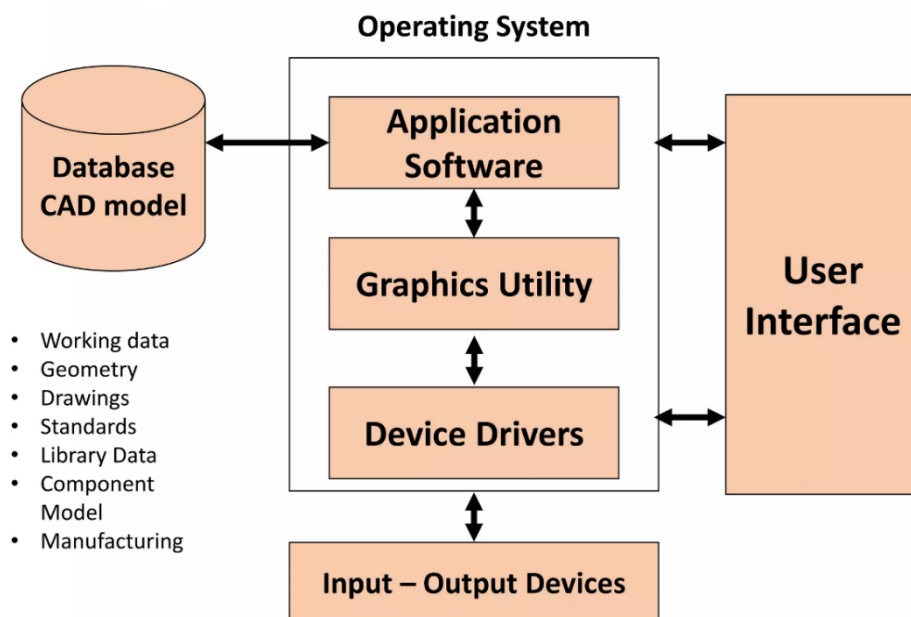
CAD programů, a to Fusion360 a TinkerCAD. Nakonec budou představeni dva zástupci neCAD softwaru Blender a SketchUp. Každý z nich je použitelný pro potřeby 3D tisku, nicméně žádný z uvedených nelze zcela nahradit jiným.

Protože CAD programy tvoří velkou část nabídky na trhu a jsou i více spjaty s 3D tiskem, bude stručně představena historie jejich vývoje. První náznaky programů pro modelování vznikly na MIT již na konci padesátých let 20.století na popud armády spojených států. Kvůli nedostatečně výkonnému hardwaru se pracovalo pouze ve dvourozměrném rozhraní. Nicméně v 90. letech 20.století, kdy už výkon dosahoval dostatečných hodnot, mohlo tím pádem dojít k zavedení trojrozměrného grafického rozhraní a CAD programy došly do podoby jakou mají dnes. Prvním plnohodnotným zástupcem 3D modelovacího softwaru byl SolidWorks od společnosti francouzské Dassault Systèmes, který vyšel v roce 1995 a zastává jednu z hlavních pozic na trhu dodnes. (Cohn, 1 December 2010; Barnhorn, c2024; Barnhorn, c2024)

Pro zajímavost i v České republice byla vyvinuta aplikace tohoto typu s názvem VariCAD. Ten vznikl ke konci 80. let 20. století modifikováním 2D verze AutoCAD pro potřeby strojírenství a postupně byl také vyvinut do aplikace s trojrozměrným grafickým rozhraním. (VariCAD – ryze český CAD systém, 2006)

Bylo by vhodné alespoň zběžně přiblížit princip fungování takové aplikace. Na následujícím obrázku je zjednodušeně vyobrazena architektura CAD programů, aby byla přiblížena funkcionalita takového druhu aplikace.

CAD SYSTEM ARCHITECTURE



ME 8691 COMPUTER AIDED DESIGN & MANUFACTURING S.BALAMURUGAN, AP/MECHANICAL, AACET
Obrázek 7 architektura CAD programů (Subburaj, 2020)

Podobným způsobem budou postaveny i jiné aplikace pro 3D modelování ovšem budou se lišit specifické části aplikace. CAD programy jsou naprogramovány v jazyce C++. Samotné vykreslování modelování v grafickém uživatelském rozhraní je programováno v OpenGL API a realizováno/kódováno pomocí hlavně vektorové grafiky, rastrová je používána v určitých funkcích. Hlavně je využívána vektorová grafika tím, že je postavena na matematických rovnicích, a tak je možné snadno a přesně měnit rozměry projektovaného objektu, aniž by docházelo, vlivem změn velikosti čáry, k deformacím a tím pádem i změně kvality ta zůstává stále stejná. (Hartinger, 2019; Lutkevich, c1999-2024)

TinkerCAD je nejjednodušší z vybraných programů. Na rozdíl od ostatních nevyžaduje instalaci do počítače uživatele, ale funguje v internetovém prohlížeči, a proto má velmi nízké systémové požadavky. Vznikl, proto aby nějaký CAD program byl dostupný všem a odkudkoliv. Nabízí pouze základní funkce, nicméně je kompletně zdarma bez omezení, a tak je vhodný pro začátečníky anebo pro výukové účely. Uživatel si pouze musí založit účet u společnosti Autodesk a okamžitě má dostupný celý program z jakéhokoliv zařízení včetně tabletů a chytrých telefonů. (Giencke, c2024; Horvath, 2020)

Fusion360 byl vydán v roce 2013 také společností Autodesk. Jedná se o moderní plnohodnotný CAD program s moderním grafickým rozhraním. Jeho hlavní výhodou oproti ostatním zástupcům tohoto odvětví aplikací je integrovaný modul CAM (Computer Aided Machining), který dle (CAM řešení, b. r.) slouží pro programování CNC strojů. A hlavně podpora cloudového uložení projektů, kdy ukládání je rozděleno na milníky. Ty jsou užitečné v případech, kdy došlo k chybě nebo nepochopení v zadání a uživatel při předělávání projektu nemusí začínat od začátku, v případě neexistujících průběžných záloh. Díky ukládání na cloud je rozpracovaný projekt z jakéhokoliv místa, kde je Fusion360 nainstalovaný, bez nutnosti používat pro přenos software třetích stran nebo fyzické nosiče. Společnost Autodesk provozuje pro své produkty webový “obchod“ s rozšířeními. Zde mohou nabízet svá rozšíření uživatelé z celého světa ostatním. Jsou zde dostupné dodatečné funkce například právě pro 3D tisk, ale lze zde nalézt i doplňky pro jiná odvětví tvorby. Rozšíření mohou být zdarma, ale i zpoplatněná. Na oficiálních stránkách firmy Autodesk je dostupná hobby verze zadarmo, ovšem ta nemá dostupné veškeré funkce a je omezený počet projektů, které lze mít uložené na cloudu. Roční licence plné verze stojí 13 994 Kč. (Compare Autodesk Fusion for personal use vs. Autodesk Fusion, c2024; Horvath, 2020)

AutoCAD je jedním z nejlépe využívaných programů pro 3D modelování, pro svou univerzálnost použití. Základní edice nabízí totéž, co jakýkoliv jiný CAD program, nicméně

společnost Autodesk, která AutoCAD vyvíjí, nabízí rozšíření pro různá odvětví průmyslu, jmenovitě architektura, geografie, elektrotechnika, strojírenství, vzduchotechnika, instalatérství. Zmíněná rozšíření obsahují dodatečné funkce a celou řadu před vytvořených součástek z daného odvětví průmyslu. První verze byla vydána již v roce 1982 jako 2D aplikace a od té doby prodělal vývoj do jednoho z nejlepších CAD programů. Jedná se o aplikaci určenou profesionálům a tomu odpovídají i obsažené funkce. Stejně jako v případě předchozího programu i AutoCAD podporuje obchod s rozšířeními, ovšem není tak obsáhlý jako v případě Fusion360 a neobsahuje záložku s doplňky pro 3D tisk. Cena edice se všemi rozšířeními na jeden rok pro jednoho uživatele činí 56 350 Kč. AutoCAD není nabízen za zvýhodněnou cenu, jelikož společnost Autodesk nabízí zdarma svůj produkt Fusion360. (Autodesk AutoCAD: software pro navrhování a kreslení, kterému důvěřují miliony uživatelů, c2024; AutoCAD information, c2001-2024)

SolidWorks je dalším matadorem na trhu modelovacího softwaru. Nabízenými funkcemi jako ukládání na cloud a je přímým konkurentem pro Autocad a Fusion360. Ovšem navíc Hlavním zaměřením Solidworks je strojní inženýrství, a tak již v základu obsahuje rozsáhlou knihovnu před vytvořených strojních součástek, aby uživatel neztrácel čas modelováním standardních objektů a mohl se věnovat rovnou aktuálnímu projektu. Cena jednotlivých edicí není zcela jednotná, cena uvedená u edice pro studenty byla v dobu vytváření práce za zvýhodněnou cenu 1 536 Kč za rok pro plnohodnotnou studentskou verzi nainstalovanou na počítači místo standardních 3 103 Kč/rok včetně DPH a 58 €/rok včetně odhadované daně za sadu cloudových aplikací na bázi SOLIDWORKS běžících v prohlížeči. Lze tedy předpokládat, že by i v budoucnu mohlo dojít k podobnému cenovému zvýhodnění. Dále je dostupná verze „for Makers“ pro kutily také za 58 €/rok což dělá 1 468 Kč ročně. Standardně je možné dostat studentskou verzi za cenu 99 dolarů na rok, v přepočtu 2 311 Kč na rok s DPH. Standardní plná verze začíná s cenou na 2 820 dolarech za rok, to je v přepočtu zhruba 65 805 Kč za roční licenci pro jednoho uživatele. (SOLIDWORKS for Students, c2002-2024; Pricing Guide for Solidworks Packages, c2024; 3DEXPERIENCE SOLIDWORKS for Makers, c2002-2024; Horvath, 2020)

Blender je open-source aplikace neboli aplikace s otevřeným zdrojovým kódem, a tak je vyvíjen programátory dobrovolníky. I tak se jedná o kvalitní program, oblíbený u menších herních studií a firem zabývajících se multimédií. Oproti CAD programům jejichž zaměřením jsou technické výkresy, Blender je vhodný pro vytváření organicky vypadajících objektů jako jsou postavy, stromy nebo zvířata. Plná verze je kompletně zdarma s garancí

stálé podpory a možnosti dostávat nové aktualizace, a proto je oblíbený u menších firem, které si nemohou dovolit placený software. I pro tuto aplikaci jsou dostupné dodatečné doplňky vytvořené komunitou. (Paterson, 2 June 2022; About Blender, c2024)

SketchUp není ani CAD ani program pro “umělecké“ modelování jako je Blender. Jedná se o poloprofesionální software s jednoduchým uživatelským rozhraním, tak aby uživatel mohl okamžitě sám začít pracovat a nemusel absolvovat zdlouhavá školení jako v případě profesionálních CAD aplikací. Sami výrobci, americká firma Trimble, razí filozofii intuitivního a univerzálního nástroje pro modelování. Nejvhodnější je pro tvoření designů interiérů a exteriérů budov, jelikož obsahuje obsáhlou knihovnu právě s prvky budov a pokud nevyhovují základní je možné stáhnout z oficiální webové stránky 3D SketchUp warehouse modely vytvořené komunitou. (Horvath, 2020) Je tedy oblíbený u architektů a návrhářů dispozic obytných prostor. Zároveň obsahuje některé funkce pro 3D tisk. Opět je dostupných několik typů edic v cenovém rozmezí 3520 Kč až 22 020 Kč za rok. Nejlevnější edice obsahuje pouze modelování ve webovém rozhraní. Dražší edice SketchUp Pro s cenou 10 320 Kč už je plnohodnotný modelář nainstalovaný na PC uživatele. Nejdražší verze SketchUp Studio je profesionálním nástrojem pro výše zmíněné uživatele. (SketchUp pro Web, c2023; InspirationTuts, c2024; SketchUp, c2023)

Na závěr je nutné zmínit, že u studentských licencí je nutné se prokázat jako student školy a využívat tyto licence pro soukromé účely lze pouze po dobu studia. Také uvedené ceny se mohou ve výsledku lišit, protože výrobci rádi vytvářejí personalizované cenové nabídky a produktové balíčky přímo pro zákazníky na míru. V ceně často bývají odborná zaškolení pro práci v nových prostředích.

Pro přepočítání z amerického dolaru na korunu byl použit ČNB průměrný kurz pro červenec 2024 23,335 Kč za 1 \$ a pro přepočítání z eura na korunu byl použit ČNB průměrný kurz pro červenec 2024 25,305 Kč za 1 €. (ČNB, 2024)

Ceny jsou uvedeny včetně předpokládané DPH nebo bylo DPH dodatečně připočteno, pokud uvedená cena byla v cizí měně. Vydavatelé svůj produkt často nabízejí v podobě předplatného trvajícím určité časové období. Během této doby je uživateli k dispozici kompletní objednaná verze a čím delší doba, tím výhodnější cena.

Systémové požadavky jsou požadavky programu na hardwarový výkon počítače, na kterém je program nainstalován a spouštěn. Existují požadavky minimální, které pokud stroj splňuje bude možné v programu pracovat, nicméně může docházet při složitějších operacích

k zasekávání obrazu a tím i ke zpomalování práce. Doporučené požadavky jsou udávány tak, aby při jejich splnění byla práce bez problémů.

Ceny i systémové požadavky se mohou měnit podle vývoje softwaru, stavu trhu nebo aktuální politiky firmy, nicméně tyto změny zpravidla nejsou zásadní.

Tabulka 1 minimální systémové požadavky 3D modelování

	Výkon Procesoru	Paměť RAM	Požadované místo na disku
TinkerCAD	1,6 GHz	4 GB	0 GB (běží v prohlížeči)
Fusion360	3 GHz	8 GB	8,5 GB
AutoCAD	2,5 GHz	8 GB	10 GB
SolidWorks	3,3+ GHz	16 GB	20+ GB
Blender	2 GHz	8 GB	1 GB
SketchUp	2,1+ GHz	4 GB	700 MB

Zdroje: (SketchUp Hardware and Software Requirements, c2022; Autodesk Support, 8 Aug 2024; Johns, 2021; SOLIDWORKS and SW Data Management System Requirements, b. r.; What are Tinkercad's Browser, Platform, and Hardware requirements?, c2025; Blender foudation, b. r.; Glawion, 2019; Autodesk Support, Feb 26 2025; Sirois, August 2 2024); Příloha B

3.3 Slicer

Poté co je nakreslen model nastává čas pro použití sliceru. Budou zde uvedeny primárně možnosti slicerů FDM a z části SLA tiskáren, protože jsou nejbližší standardnímu uživateli, ovšem příprava tisku pro zbytek technologií 3D tisku bude fungovat obdobně a bude se lišit pouze použitý software.

3.3.1 Definice

Tento typ programů slouží k nastavení průběhu tisku, kdy podle nadefinovaných hodnot, které budou rozebrány níže, vypočítá dobu tisku a množství použitého materiálu a model „rozkrájí“ (z anglického slova slice-krájet) na jednotlivé vrstvy, tak jak bude následná výroba probíhat. Podle nastavení také vygeneruje potřebné podpory. (Šljivić, c2019)

„Při integraci s 3D tiskárnou je dobrý 3D slicer software velmi důležitý. Pokud se použije dobrý nástroj pro přípravu tisku, jistě se dosáhne lepších výsledků i z průměrné 3D tiskárny.“ (Šljivić, c2019)

Důležitá je orientace a pozice, protože velmi záleží na tom, s jakým modelem je pracováno. Pokud má být výrobek co nejdetajnější tak je primárním zájmem uživatele dostat model do takové pozice, aby byl tisk co nejrychlejší s co nejméně podpěrami a převisy, kde

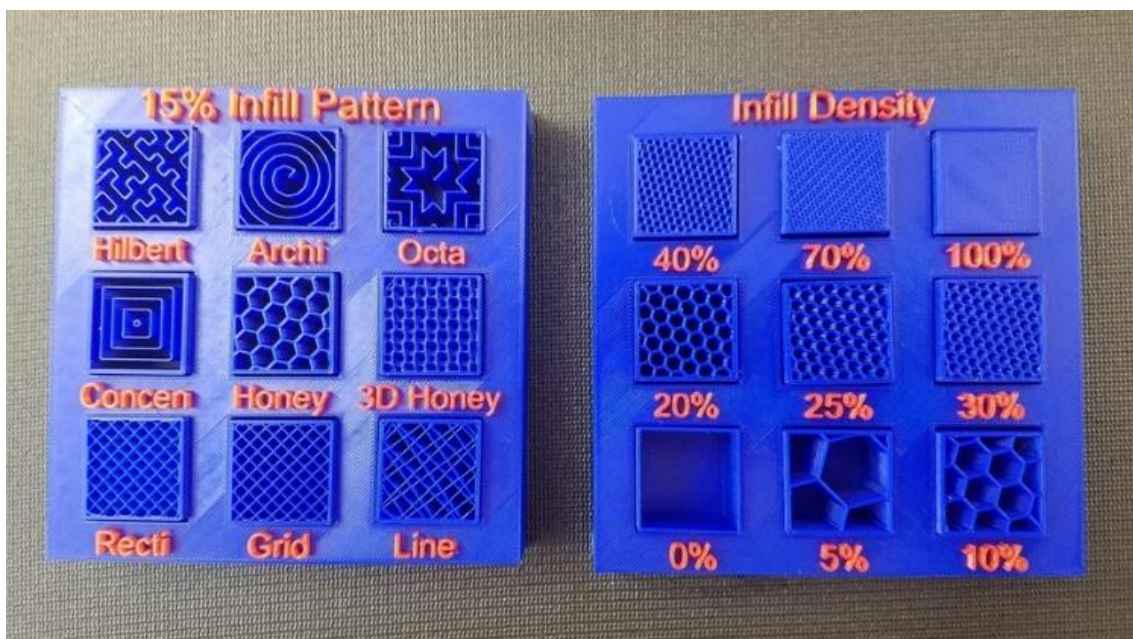
by model mohl být tiskem deformován. Jestliže má být výrobek co nejpevnější je vhodné model ve sliceru natočit, tak aby byl směr namáhání ve směru kladení vrstev.

Další důležitý parametr je hustota a vzor vnitřní struktury modelu takzvaného „infill“. Hustota vnitřní struktury, standardně 20-30 %, pokud není důraz na pevnost výrobku ovlivňuje pevnost ovšem také délku tisku, čím hustší vnitřní struktura je tím delší je tisk, ale i pevnější výrobek. (Akhouri, 2021) Nicméně je doporučováno pro maximální pevnost držet hustotu vnitřního vzoru mezi 40-60 %. Menší hustota než 40 % snižuje pevnost a vyšší než 80 % u většiny vzorů zase nezajistí žádné výrazné vylepšení pevnosti. (Gharge, c2017-2024) Nejen hustota vnitřní výplně ovlivňuje pevnost výrobku, významný podíl má i její vzor.

Za nejrychlejší vzor je považován nově vydaný „lightning“ v překladu blesk. Z názvu je patrné, že tento typ vnitřní struktury nemá žádný pevný vzor a spojuje stěny, pouze tak aby nedošlo k propadu, vypadá jako blesk. Tento typ výplně ovšem poskytuje pouze minimální pevnost.

„Vzor honeycomb „včelí plástev (voština)“ skládající se z trojrozměrné šestiúhelníkové struktury, dodává vzoru pevnost, jelikož zatížení je rozloženo rovnoměrně do všech šesti stran útvaru.“ (Gharge, c2017-2024)

„Vzor voštiny vykazoval největší celkovou pevnost v tahu a modul pružnosti ve srovnání s ostatními vzory výplně.“ (Guan, 2020)



Obrázek 8 vzor a hustota infillu (Knoor, August 30 2016)

Při přípravě jdou editovat výšky vrstev a jak bylo zmíněno výše čím menší výška vrstvy tím lépe výrobek po vizuální stránce vypadá. Každému modelu jdou nastavit plné vrstvy, které je možné nastavit na vrchol i spodní část výrobku.

Při přípravě průběhu tisku je opět možné nastavit hustotu podpěr a vzor podpěr. Zajímavější je úprava stupňů, které už jsou považovány za převis dostatečně velký, aby pod ním byla vygenerována podpora. V základu jsou podpory generovány automaticky, ale pokud uživatel chce může je vytvořit sám.

Je užitečné zkontrolovat, zda sedí teploty pro materiál, který se při nejbližším tisku chystá uživatel použít. Například PrusaSlicer obsahuje celou řadu předvoleb pro materiály, které se nejvíce prodávají a po vybrání se teploty nastaví samy.

U SLA je slicing obdobný jako u FDM, také je vhodné nelézt správnou orientaci modelu, jelikož u SLA je možná ještě o něco důležitější. Také umístění podpěr je důležité, jelikož podpory jsou v základu plné tyčky. (Stromové podpěry, 2013)


Ovšem místo řešení vzoru a hustoty vnitřní struktury se u SLA řeší, kde je možné ušetřit resin vydutěním. (Vydutit a vyvrtat, 2013)

Po nastavení všech potřebných hodnot a údajů je možné provést samotné rozkrájení a pokud vše vyhovuje tak soubor exportovat na SD kartu nebo rovnou přes USB kabel anebo Wi-Fi rovnou do tiskárny. (Horvath, 2020)

Instrukce slicer exportuje do skriptu ve formátu GCODE a tím se pak 3D tiskárna řídí. Programovací jazyk G-CODE pochází už z pozdních 50. let minulého století. Příkazy jsou seřazeny, tak jak se postupně budou plnit. Protože se firmware každé 3D tiskárny mírně liší je nutné dát pozor na to, aby slicer podporoval tiskánu, na které uživatel hodlá tisknout, aby dokázala přečíst všechny instrukce ze skriptu. (Hermann, 2021; Šljivić, c2019)

```
G-code Sample

M190 S60 ; wait for bed temp
M109 S215 ; wait for extruder temp
G29 ; mesh bed leveling
G1 X10 Y-3.0 Z0.5 F6000.0
G92 E0.0
G1 X60.0 E9.0 F1000.0 ; intro line
G1 X100.0 E12.5 F1000.0 ; intro line
G92 E0.0
```



Obrázek 9 ukázka G-CODE skriptu (Hermann, 2021)

3.3.2 Přehled trhu

V následující kapitole budou představeni přední zástupci trhu jako tomu bylo u programů pro 3D modelování. Budou uvedeny rozdíly mezi možnostmi nastavení průběhu tisku a samotným výstupem z tisku.

Prusa Slicer je český open-source program, tzn. s otevřeným zdrojovým kódem, na bázi původního programu Sli3er. Vývoj má na starosti firma Prusa Research. Mohou ho používat jak mírně pokročilí uživatelé, tak profesionálové, proto je velice oblíbený. Možnosti jsou rozděleny do tří kategorií: Simple, Advanced, Expert. Platí zde že čím více odborná vrstva tím více je dostupných funkcí. Ovšem i v základní vrstvě Simple lze připravit kvalitní průběh tisku. Pokročilejší vrstvy umožňují větší optimalizaci z hlediska času tisku, spotřeby materiálu, ještě větší kvalitu a úpravu nastavení tiskárny. Výhodou Prusa Slicer je podpora přípravy tisku SLA tiskáren. Také obsahuje řadu předvoleb pro jednotlivé tiskárny nejen značky Prusa, a to samé v případě materiálů. Po vybrání příslušné předvolby se automaticky přenastaví hodnoty jako teplota v případě materiálů a výsledný script bude odlišný u tiskáren různých značek. Je také kompletně zdarma a stále vychází nové aktualizace s optimalizacemi funkcí a opravami chyb. (Zuza, b. r.; Dwamena, 26 April 2022; Locker, c2024)

Cura je velice podobný funkcemi výše zmíněnému PrusaSlicer. Nicméně nepodporuje přípravu tisku SLA tiskáren. Na druhou stranu pro tiskárny, které taví při tisku filament čili technologie FDM, nabízí detailnější práci při přípravě než PrusaSlicer a více možností jako například více typů podpor. Jestliže nestačí základní funkce lze získat další na oficiálních stránkách Ultimaker Marketplace. Ty spravuje firma Ultimaker zodpovědná za vývoj tohoto softwaru. Cura je v plné verzi zdarma a veškerá rozšíření na Marketplace také. (Dwamena, 26 April 2022; Knowledge, b. r.; MANUFACTUR3D, 14 January 2023; Locker, c2024)

Simplify 3D je možné zhodnotit jako placenou alternativu Ultimaker Cura. Simplify 3D má podobné funkce jako dva výše uvedené programy, ale je placený, a tak lze očekávat větší propracovanost. Cena pro jednoho uživatele na jeden rok činí 199 \$ čili 4 644 Kč a 5 619 Kč včetně DPH. (Simplify3D Technical Specifications, c2024; MANUFACTUR3D, 20 July 2022; Better 3D prints are just a few clicks away, c2024)

Netfabb od společnosti Autodesk je profesionální nástroj pro přípravu 3D tisku. Kromě podobných funkcí, jako má zbytek zmíněných, je zde možné nalézt některé pokročilejší. Například možnost simulace tisku pro tiskárny schopné tisknout kovem. To je velice užitečné, protože opakovat tisk na profesionální tiskárně by bylo zbytečně nákladné.

Také umožňuje opravovat chyby v modelech jako nespojené stěny nebo odhalí, zda nejsou příliš tenké. (All3DP, c2024; Redakce, 2016) Je prodáván společně s Fusion360 jako nadstavba. Tento celek vyjde na 147 203 Kč na rok pro jednoho uživatele. (Redakce, 2016; Nákup softwaru Autodesk Fusion with Netfabb, c2024)

Pro přepočty cen byly použity stejné kurzy viz předešlá kapitola.

Tabulka 2 minimální systémové požadavky Slicer

	Výkon Procesoru	Paměť RAM (GB)	Požadované místo na disku
Prusa Slicer	2 GHz	4 GB	0,2 GB
Cura	2 GHz	4 GB	0,6 GB
Simplify 3D	1,7 GHz	4 GB	1 GB
Netfabb	2,8 GHz	16 GB	64 GB

Zdroje: (Knowledge, b. r.; Zuza, b. r.; Simplify3D Technical Specifications, c2024; Autodesk Support, c2024; Microprocessor Quick Reference Guide, b. r.; AMD Athlon 64 X2 processor comparison chart, c2003-2024), Příloha A

U variant Prusa Slicer a Ultimaker Cura není výrobcí přímo uváděn požadavek na minimální rychlost, ale je doporučena série a vícejádrový typ procesoru. Na základě analýzy dalších dostupných variant a dokumentace doporučených procesorů, byla stanovena možná minimální frekvence procesoru na přibližně 2,0 GHz. (Knowledge, b. r.; Zuza, b. r.; Simplify3D Technical Specifications, c2024; Autodesk Support, Feb 26 2025; Microprocessor Quick Reference Guide, b. r.; AMD Athlon 64 X2 processor comparison chart, c2003-2024)

3.4 Výběr optimálního softwaru

Výběr bude proveden pomocí metody VAV tedy vícekriteriální analýzy variant. Metoda VAV byla vybrána, jelikož dokáže pracovat s více kritérii najednou a schopnosti pojmout i informace zadané kvalitativně (slovně) např. preference vlastnosti nebo určitého dojmu, tedy informace nečíselné.

Kritéria budou stanovována pro modelového hobby uživatele, který se chce 3D tisku začít více věnovat a prohloubit své zkušenosti ze začátečníka na pokročilého. Není tedy příliš zběhlý ani v modelování na počítači ani v práci s 3D tiskárnami. Veškerá kritéria platí jak pro programy pro 3D modelování, tak pro programy pro přípravy 3D tisku.

3.4.1 Stanovení kritérií

Nyní budou přiblížena kritéria nutná pro výběr. Jsou to následující čtyři: cena softwaru, určení, výkon procesoru, velikost paměti RAM, potřebné místo na disku počítače a česká lokalizace programu.

Cena je zde jedním z nejdůležitějších faktorů, protože modelový uživatel nechce investovat mnoho finančních prostředků, a proto uvítá, pokud bude program zdarma. Nebo bude dostupná alespoň osekaná verze pro hobby využití. Licence dostupné pouze po omezenou dobu jako demoverze nebo studentské licence nebudou brány v potaz. Proto má cena silnou preferenci před ostatními.

Kritérium „Úroveň uživatele“ slouží pro vyjádření zkušeností jaké by měl uživatel mít, aby mohl program obsluhovat a mohl naplno využít veškeré funkce, které daný program nabízí a díky tomu dosáhnout v programu dobrých výsledků. Pokud by nezkušený uživatel začal pracovat v aplikaci určené expertům byl by zavalen velkým množstvím funkcí a většinu z nich by ani nemusel využít. Naopak pokud expert použije aplikaci pro začátečníky, velice rychle se zorientuje a nebude mít problém program ovládat, ale narazí na absenci pokročilých funkcí, na které je zvyklý a nemusel by proto dosáhnout takového výsledku jakého by bylo třeba.

Jelikož se uživatel bude 3D tisku věnovat ve svém volném čase, nechce, aby mu potřebný software zabíral příliš mnoho místa v počítači. Rychlost a typ disku v dnešní době již není zcela relevantním kritériem, protože většina stolních počítačů nebo notebooků je vybavena polovodičovými disky typu SSD (Solid-state drive), které mají dostatečnou rychlost čtení a zápisu. Je tedy kritériem, které má také vysokou prioritu.

Také výkon procesoru a velikost paměti RAM jsou důležitá kritéria, jelikož uživatel nemá k dispozici extrémně výkonný počítač. Proto když nároky na procesor i RAM budou nižší bude to ku prospěchu. Pokud by měl program příliš velké systémové požadavky a počítač uživatele by je nesplňoval nebylo by možné v takovém programu kvalitně pracovat, jelikož by docházelo k zasekávání obrazu nebo příliš dlouhému zpracování provedených změn. Více bude záviset na potřebném výkonu procesoru než na velikosti RAM. A tak je výkon CPU, upřednostňován před potřebnou velikostí operační paměti.

Aby při práci v novém typu softwaru, nemusela být řešena jazyková bariéra v případě odborných termínů, upřednostňuje uživatel, aby byla dostupná česká lokalizace. Je rozdíl mezi originálním překladem programu do českého jazyka a případným komunitním překladem, jelikož by nemusel být tak kvalitní jako překlad provedený výrobcem. Nicméně

pokud by český jazyk nebyl pro program dostupný není automaticky pro uživatele nepoužitelný. A čeština proto nemá silnou preferenci.

4 Vlastní práce

Část vlastní práce bude zaměřena na praktické aplikování teoretických poznatků nabytých z první části.

Na začátek bude vysvětleno, jakým způsobem byly vybrány edice jednotlivých programů a co dané edice nabízí a jak vyhovují preferencím modelového uživatele. Poté budou provedeny oba výpočty včetně vysvětlení postupu.

Následovat bude krátké představení optimálních možností a započne postup tvorby předlohy vybraného objektu. Při tomto postupu budou demonstrovány možnosti optimálních variant. Po vytvoření předlohy dojde k přípravě k tisku, i zde budou probrány možnosti vybraného programu a jejich promítnutí do průběhu a výsledku samotného procesu výroby.

4.1 Vícekriteriální analýza variant

Model vícekriteriální analýzy se zaměřuje na řešení objektivního výběru nejlepší varianty z množiny možných variant na základě více kritérií. Analytik, který není osobně zainteresován na výsledku, může často přinést objektivnější rozhodnutí. Ale pokud nezná všechny detaily úlohy z důvodu složitého zadání, může být výsledek nepřesný. Výsledkem je doporučení "nejlepší" varianty, což však může být komplikované, zejména při malých rozdílech mezi možnostmi. Tento model umožňuje seřadit varianty od nejlepší po nejhorší nebo eliminovat neefektivní možnosti. V praxi by to znamenalo vybrání objektivně optimálnější varianty, i když by reálně největší užitek přinesla až druhá nejlépe vycházející varianta. (Šubrt, 2011)

V části teoretických východisek byla představena jednotlivá kritéria pro výběr. Výše bylo zmíněno, že je program často nabízen ve více edicích. Ty se většinou liší svými funkcemi a cenou. Edice proto byly vybírány tak, aby samy o sobě co nejvíce reflektovaly preference modelového uživatele tzn. Pokud byla dostupná verze zadarmo byla zvolena tato viz kapitola stanovení kritérií.

Nyní bude přistoupeno k specifikaci edic jednotlivých variant, které jsou následující:

- TinkerCAD – má jen jednu edici;
- Fusion360 Personal – zde byla zvolena verze hobby, jelikož je dostupná zdarma pro nekomerční účely. Oproti své placené variantě je ochuzen např. o funkci simulace namáhání modelu, je omezený počet rozpracovaných

projektů uložených na cloudu na 10 a chybí pokročilé modelovací funkce. Nicméně základní a nejdůležitější jsou přítomny k použití bez omezení. (Compare Autodesk Fusion for personal use vs. Autodesk Fusion, c2024);

- AutoCAD je také dostupný pouze v jedné edici, jelikož AutoCAD LT je pouze 2D nástroj. (AutoCAD vs AutoCAD LT, c2024);
- SolidWorks for Makers nabízí plnohodnotný 3D CAD nástroj a další širokou paletu nástrojů. Nejzajímavější z nich jsou: nástroj pro sculpting a přístup do 3DEXPERIENCE Marketplace, kde je možné získat mnoho uživatelských výtvarů. (3DEXPERIENCE SOLIDWORKS for Makers, c2002-2024);
- Blender je vydáván opět pouze v jedné variantě;
- SketchUp for web je základním grafickým modelářem, jenž je spouštěn buď v prohlížeči nebo je možné nainstalovat jej do PC. Jednoduchost je omezena menším množstvím funkcí, a tak je vhodný spíše pro začátečníky. Pro běh aplikace je nutné připojení k internetu. Projekty jsou průběžně ukládány na cloud s neomezeným uložištěm, a tak je možné v rozdělané práci pokračovat odkudkoliv, kde se uživatel přihlásí ke svému účtu. Také je přístupná velká knihovna již hotových komponent. (SketchUp pro Web, c2023; InspirationTuts, c2024; SketchUp, c2023).

Ve výpočtu je pracováno s dvěma typy kritérií, a to kritérii kvalitativními a kvantitativními, které nabývají hodnot objektivně měřitelných tzn. tyto hodnoty znamenají vždy to stejné a mají stejnou váhu, nazývají se proto „objektivní“. Kvalitativní kritéria oproti tomu nejsou objektivně měřitelná a jsou velmi často odhadnuta subjektivně uživatelem. Pokud tento stav nastane je nutné tyto kritéria převést na kvantitativní formát. Pro převod je možné použít různé bodovací stupnice, kdy jedna varianta je ohodnocena jako základ a ostatní podle toho nabývají hodnot vyšších nebo nižších. (Šubrt, 2011)

Během výpočtu je pracováno s několika pojmy jejichž význam bude pro lepší přehlednost vysvětlen na následujících řádcích.

Maximalizační kritérium je kritérium, které vyhodnocuje jako nejlepší výsledek nejvyšší hodnotu.

Minimalizační kritérium je kritérium, které vyhodnocuje jako nejlepší výsledek nejnižší hodnotu.

Ideální varianta je ta varianta jejíž ohodnocení je ze všech možností v matici tou nejlépe ohodnocenou.

Bazální varianta je opakem Ideální, a tak má vždy nejhorší možné ohodnocení. Při výběru může nastat situace, kdy jsou jsi jednotlivé varianty podobné proto se posuzuje výskyt „Dominance řešení“. Pokud libovolná z možností podle preference kritérií převyšuje ostatní nazývá se tato varianta **Dominující**. Ostatní varianty s horším ohodnocením jsou tedy **dominovány**. Tento jev může a nemusí nastat. (Kopa, c2013)

Výsledek výpočtu je zapisován do **Standardizované kritériální matice** formálně označené písmenem R. Data v této tabulce mohou nabývat hodnot z intervalu $R \in \langle 0;1 \rangle$, přičemž hodnota 0 označuje hodnotu bazální a hodnota 1 ideální varianty. (Šubrt, 2011) Výpočet těchto hodnot je následující: (hodnota kritéria dané varianty – hodnota bazální varianty) / (hodnota ideální varianty – hodnota bazální varianty).

Agregovaný užitek je mírou přínosu dané varianty a je vypočítán jako skalární součin všech hodnot z daného řádku Standardizované kritériální matice a vektoru vah.

4.1.1 Stanovení vah kritérií

Existuje více metod pro stanovení vah kritérií např. bodovací metoda a metoda Fullerova trojúhelníku. Jako nejvhodnější metoda pro výběr kompromisní varianty a pro práci s kvalitativním typem informací byla použita Saatyho metoda. Pro ohodnocení kritérií bude použita 9-ti bodová stupnice, kde je možné používat i mezistupně hodnot 2,4,6,8. (Šubrt, 2011)

Touto metodou je párově porovnávána každá varianta s každou kdy matice je čtvercového formátu a data jsou symetrická, tedy každé porovnání má svůj převrácený ekvivalent.

- 1 – rovnocenná kritéria i a j;
- 3 – slabě preferované kritérium i před j;
- 5 – silně preferované kritérium i před j;
- 7 – velmi silně preferované kritérium i před j;
- 9 – absolutně preferované kritérium i před j.

Kde i je kritérium z řádku a j porovnávaným kritériem sloupce. (Zmeškal, 9. – 10. září 2009; Kopa, c2013)

Na diagonále Saatyho matice je vždy hodnota 1, protože každé kritérium je vůči sobě zcela ekvivalentní. (Šubrt, 2011)

Pokud se v matici objeví převrácená hodnota (zlomek) znamená to, že kritérium není preferováno před porovnávaným kritériem.

Pokud je matice sestavena je nutné dopočítat pro každý řádek (variantu) geometrický průměr. Pro zjednodušení výpočtu byl použit vzorec v MS Excel „GEOMEAN“. Výsledné váhy jsou poté znormalizovány pomocí vzorce (geometrický průměr daného řádku / součet všech geometrických průměrů)

Součet všech normalizovaných vah musí být přesně 1, pokud je hodnota nižší nebo vyšší, byl výpočet proveden špatně.

4.1.2 Stanovení kompromisní varianty

Pro stanovení kompromisní varianty byla použita metoda váženého součtu, na rozdíl od metody bodovací, která je jednodušší, je výhodné ji použít, pokud jsou známy preference kritérií, a to maximalizační nebo minimalizační.

Metoda váženého součtu, se používá k rozhodování mezi variantami na základě několika kritérií. Tato metoda vyžaduje kardinální informace a vytváří celkové hodnocení každé varianty pomocí váženého součtu hodnot jednotlivých kritérií. Prvním krokem je stanovení ideální a bazální varianty, což umožňuje vytvoření standardizované kritériální matice. Následně se pomocí transformovaných hodnot kritérií počítá agregovaná funkce užítku pro každou variantu. Varianta s nejvyšší hodnotou užítku se považuje za nejlepší řešení problému. Přičemž agregovaný užitek u ostatních variant poukazuje na rozdíl v jejich užítku oproti nejlepší variantě. (Šubrt, 2011)

4.2 Výběr kompromisní varianty pro 3D modelování

V teoretické části byly vybrány jednotlivé varianty a nyní bude přistoupeno k jejich porovnání.

Pro usnadnění práce s tabulkami byly názvy jednotlivých programů označeny písmenem P a pořadovým číslem.

Tabulka 3 seznam zkratk a názvů 3D modelování

Varianty	Název programů
P1	TinkerCAD
P2	Fusion360 Personal
P3	AutoCAD
P4	SolidWorks for makers
P5	Blender
P6	SketchUp Free

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.1 Programy pro 3D modelování včetně kritérií

V následující tabulce jsou uvedené veškeré hodnoty, které budou předmětem výběru programu pro 3D modelování.

Tabulka 4 základní matice kritérií 3D modelování

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	Začátečník	1.6	4	0	ano
P2	0	Pokročilý	3	8	8.5	ano komunitní
P3	56350	Expert	2.5	8	10	ano komunitní
P4	1468	Expert	3.3	16	20	ne
P5	0	Pokročilý	2	8	1	ne
P6	0	Začátečník	2.1	4	0.7	ne

Zdroj: vlastní zpracování

Jelikož dvě kritéria jsou zadána slovně, tedy jsou to kardinální informace, je nutné převést je na číselný formát (kvantifikovat je). U kritéria „Úroveň uživatele“ byly hodnoty obodovány následovně: hodnota „Pokročilý“ je nejvíce příhodný, a proto má hodnotu 1, hodnotu 2 má „Začátečník“ a nejméně příhodná úroveň „Expert“ dostala hodnotu 3. Stejný proces proběhl u kritéria „Česká lokalizace“ kdy: hodnota „ano“ je nedůležitější, a tak má hodnotu 1, „ano komunitní“ je méně příznivá a proto 2, pokud překlad není hodnota 3.

Tabulka 5 převod údajů na stejný formát u 3D modelování

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	2	1.6	4	0	1
P2	0	1	3	8	8.5	2
P3	56350	3	2.5	8	10	2
P4	1468	3	3.3	16	20	3
P5	0	1	2	8	1	3
P6	0	2	2.1	4	0.7	3

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.2 Stanovení vah kritérií

Při stanovení vah kritérií pomocí Saatyho metody párových porovnání, je nutné přiblížit proč byly hodnoty zapsány právě takto. Hodnoty pod diagonálou, kde jsou rovné preference (hodnota 1), jsou převrácené hodnoty svých odpovídajících porovnání nad diagonálou.

- Cena je absolutně preferována před ostatními kritérii kromě místa na disku. To je dáno tím, že ostatní kritéria neomezují uživatele mimo dobu používání programu. Pokud by byl program příliš objemný nemusel by uživatel mít dostatek prostoru pro jiná třeba i důležitější data, proto hodnota „7“ velmi silná preference;
- Úroveň uživatele má menší preferenci než cena ale stále velmi velkou oproti ostatním, proto hodnota „7“ ve všech porovnáních;

- Výkon CPU je silně preferován před pamětí RAM „5“, protože v případě potřeby lze RAM rozšířit a nejedná se o tak velkou finanční investici jako v případě upgradu CPU, který by nemusel být možný, pokud by uživatel vlastnil notebook. Naopak potřebný výkon procesoru je silně nepreferován „1/5“ před potřebným místem na disku, z důvodu možného aktivního omezení uživatele a problémů s přidáním dodatečného disku do notebooku případně do základní desky počítače. Dalším argumentem pro menší potřebné místo může být rychlejší instalace a snadnější přenos mezi zařízeními. Výkon procesoru je také silně preferovaný před českým překladem aplikace;
- Paměť RAM je silně nepreferována „1/5“ před potřebným místem na disku ze stejných důvodů, které byly uvedeny v předešlém odstavci. Naproti tomu je operační paměť preferována „3“ před českou lokalizací programu;
- I u porovnání místa na disku s českou lokalizací je místo na disku silně preferováno „5“ před českou lokalizací.

Pro stanovení vah byl nejprve dopočítán geometrický průměr. Samotné váhy jsou výsledkem výpočtu: (geometrický průměr kritéria / suma geometrických průměrů), který byl také proveden v MS Excel.

Tabulka 6 stanovení vah kritérií u 3D modelování

	Cena	Úroveň uživatele	Výkon CPU	Paměť RAM	Místo na disku	Česká lokalizace	geom. průměr	váha
Cena	1	9	9	9	7	9	5.98427	0.54285
Úroveň uživatele	1/7	1	7	7	7	7	2.64575	0.24000
Výkon CPU	1/9	1/9	1	5	1/5	5	0.62866	0.05703
Paměť RAM	1/9	1/7	1/5	1	1/5	3	0.35208	0.03194
Místo na disku	1/7	1/7	5	5	1	5	1.16892	0.10604
Česká lokalizace	1/9	1/7	1/5	1/3	1/5	1	0.24412	0.02214
						součet	11.02380	1

Zdroj: (vlastní zpracování)

4.2.3 Převod kritérií na stejný druh a určení ideální a bazální varianty

Při zběžném pohledu na matici je patrné, že varianta P1 dominuje ve většině kritérií kromě důležitého kritéria Úroveň uživatele. Zde narážíme na nevýhodu procesu Vícekritériální analýzy variant, kdy varianta P1 by sice byla objektivně vhodná, ale reálně by nemusela přinést tolik užítku, proto byla z dalšího výběru vyřazena.

Tabulka 7 zběžný pohled na údaje variant u 3D modelování

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	2	1.6	4	0	1
P2	0	1	3	8	8.5	2
P3	56350	3	2.5	8	10	2
P4	1468	3	3.3	16	20	3
P5	0	1	2	8	1	3
P6	0	2	2.1	4	0.7	3

Zdroj: vlastní zpracování

Veškerá kritéria jsou minimalizačního charakteru, a proto není nutné dělat jejich převod na maximalizační formu. Váhy byly převzaty z tabulky Saatyho matice.

Ideální a bazální varianty jsou určeny podle klíče, který byl zmíněn výše. V MS Excelu byly tyto výpočty provedeny za pomoci vzorce MAX v případě ideální varianty a MIN u bazální varianty.

Tabulka 8 určení ideální a bazální varianty u 3D modelování

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P2	0	1	3	8	8.5	2
P3	56350	3	2.5	8	10	2
P4	1468	3	3.3	16	20	3
P5	0	1	2	8	1	3
P6	0	2	2.1	4	0.7	3
Charakter kritéria	min	min	min	min	min	min
Váhy	0.543	0.240	0.057	0.032	0.106	0.022
Ideální varianta - H	56350	3	3.3	16	20	3
Bazální varianta - D	0	1	2	4	0.7	2

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.4 Standardizovaná kritériální matice

Pro přepis standardní matice kritérií bylo nutné použít vzorec pro převod na Standardizovanou kritériální matici. Ten byl zmíněn již výše, ale pro větší přehlednost bude uveden i zde.

- vzorec: (hodnota kritéria dané varianty – hodnota bazální varianty) / (hodnota ideální varianty – hodnota bazální varianty);
- dosazení do vzorce pro cenu varianty P2: $(0 - 0) / (56350 - 0) = 0 / 56350 = 0$.

Pro výpočet agregovaného užítku byl použit vzorec SOUČIN.SKALÁRNÍ z MS Excel.

Tabulka 9 standardizovaná kritériální matice u 3D modelování

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace	Agregovaný užitek
P2	0	0	0.769	0.333	0.404	0	0.09737
P3	1	1	0.385	0.333333333	0.5	0	0.86653
P4	0	1	1	1	1	1	0.47129
P5	0	0	0	0.333	0.016	1	0.03444
P6	0	0.5	0.077	0	0	1	0.14653

Zdroj: vlastní zpracování

Největšího užítku podle výpočtu dosáhla varianta P5 tedy program Blender. Další variantou v pořadí je P2 Fusion360. Agregovaný užitek obou programů je velice blízký ideální variantě, která má hodnotu 0.

4.3 Výběr kompromisní varianty pro Slicer

Následující část bude věnována výběru optimálního programu pro přípravu tisku. Pro usnadnění práce s tabulkami byly programy opět označeny zkratkou ve formátu písmena P a pořadového čísla.

Tabulka 10 seznam zkratk a názvů Slicer

Varianta	Název slicer
P1	Prusa Slicer
P2	Cura
P3	Simplify 3D
P4	Netfabb

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.1 Slicer včetně kritérií

I zde proběhla kvantifikace na stejný formát jako u minulého výpočtu. Samotný převod proběhl podle stejného klíče.

Tabulka 11 základní matice kritérií u Slicer

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	Začátečník	2	4	0.2	ano
P2	0	Pokročilý	2	4	0.6	ano
P3	5619	Expert	1.7	4	1	ne
P4	147203	Expert	2.8	16	64	ano komunitní

Zdroj: vlastní zpracování

Tedy úroveň uživatele „Pokročilý“ je nejdůležitější a „Expert“ nejméně důležité. Stejně tak u kritéria Česká lokalizace. Pokud je dostupná originální česká lokalizace bylo to ohodnoceno nejlépe a pokud čeština není dostupná jako nejméně důležité.

Tabulka 12 převod údajů na stejný formát u Slicer

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	2	2	4	0.2	1
P2	0	1	2	4	0.6	1
P3	5619	3	1.7	4	1	3
P4	147203	3	2.8	16	64	2

Zdroj: vlastní zpracování

4.3.2 Stanovení vah kritérií

Váhy kritérií byly určeny stejně jako v případě programů pro 3D modelování, a proto vyšel stejný součet geometrických průměrů i stejné váhy.

Tabulka 13 stanovení vah kritérií u Slicer

	Cena	Úroveň uživatele	Výkon CPU	Paměť RAM	Místo na disku	Česká lokalizace	geom. průměr	váha
Cena	1	9	9	9	7	9	5.98427	0.54285
Úroveň uživatele	1/7	1	7	7	7	7	2.64575	0.24000
Výkon CPU	1/9	1/9	1	5	1/5	5	0.62866	0.05703
Paměť RAM	1/9	1/7	1/5	1	1/5	3	0.35208	0.03194
Místo na disku	1/7	1/7	5	5	1	5	1.16892	0.10604
Česká lokalizace	1/9	1/7	1/5	1/3	1/5	1	0.24412	0.02214
	součet						11.02380	1

Zdroj: (vlastní zpracování)

4.3.3 Převod kritérií na stejný druh a určení ideální a bazální varianty

Zde nedošlo k vyškrtnutí žádné varianty z výběru, jelikož žádná není na první pohled dominantní, pouze P1 a P2 jsou velice podobné.

Stejně jako v minulém výpočtu mají všechna kritéria minimalizační charakter, a tak nebylo nutné provést převod na maximalizační charakter. Váhy jsou transpozicí vektoru vah z tabulky Saatyho matice párových porovnání.

Tabulka 14 určení ideální a bazální varianty u Slicer

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace
P1	0	2	2	4	0.2	1
P2	0	1	2	4	0.6	1
P3	5619	3	1.7	4	1	3
P4	147203	3	2.8	16	64	2
Charakter kritéria	min	min	min	min	min	min
Váhy	0.543	0.240	0.057	0.032	0.106	0.022
Ideální varianta - H	147203	3	2.8	16	64	3
Bazální varianta - D	0	1	1.7	4	0.2	1

Zdroj: vlastní zpracování

Pro transpozici byla použita funkce z MS Excel TRANSPOZICE. Přičemž Ideální a bazální varianta byla opět určena jako maximální a minimální hodnota ze sloupce kritéria.

4.3.4 Standardizovaná kritériální matice

Pro přepis standardní matice kritérií byl použit vzorec pro převod na standardizovanou kritériální matici, který již byl aplikován u minulého výpočtu.

- vzorec: (hodnota kritéria dané varianty – hodnota bazální varianty) / (hodnota ideální varianty – hodnota bazální varianty);
- dosazení do vzorce pro úroveň uživatele P1:

$$(2 - 1) / (3 - 1) = 1 / 2 = 0.5.$$

Pro výpočet agregovaného užítku byl opět pro zjednodušení použit vzorec SOUČIN.SKALÁRNÍ z MS Excel.

Tabulka 15 standardizovaná kritériální matice u Slicer

Varianta	Cena (Kč)	Úroveň uživatele	Výkon CPU (GHz)	Paměť RAM (GB)	Místo na disku (GB)	Česká lokalizace	Agregovaný užitek
P1	0	0.5	0	0	0	0	0.13555
P2	0	0	0	0	0.006	0	0.01622
P3	0.038	1	0.000	0	0.013	1	0.28420
P4	1	1	1	1	1	0.5	0.98893

Zdroj: vlastní zpracování

Zde vyšla jako optimální varianta P2 tedy Cura. S větším odstupem v agregovaném užítku v pořadí druhý vyšel Program PrusaSlicer. Tyto varianty by měly uživateli co nejvíce vyhovovat podle stanovených kritérií.

4.4 Představení optimálních možností

V této části vlastní práce dojde k představení výsledků výpočtu vícekritériální analýzy variant, která byla provedena za účelem výběru optimálního řešení v oblasti 3D modelování a 3D slicerů. Podle provedených výpočtů a ohodnocení jednotlivých kritérií byla zvolena

varianta, která nejlépe odpovídá stanoveným požadavkům. V následující části bude vybrán konkrétní předmět, pro který bude nejprve vytvořena předloha a poté provedena příprava pro tisk. Na příkladu podstavce pro notebook budou demonstrovány možnosti zvolené optimální varianty.

Hobby uživatel 3D tiskárny se velmi často může věnovat tvorbě domácích doplňků, které by jinak musel nakupovat. V mnoha případech by nabídka na trhu nemusela naplnit jeho očekávání, pokud by byl takovýto doplněk vůbec na trhu nabízen.

Jakmile se tedy objeví potřeba tvorby takového doplňku, nastává čas pro tvorbu digitální předlohy. Pro začátek je vhodné si zaznamenat alespoň základní údaje o tvořeném objektu, jako jsou základní rozměry a nároky na základní vizualizaci tzn. pokud by měl být doplněk spojen s jiným předmětem šroubem nebo vrutem, zaznamenání si průměru spojovacího materiálu může ušetřit případné nepříjemnosti. Pokud představa uživatele není jasná, je možné získat inspiraci na některé z komunitních stránek např. Thingiverse nebo Printables.com, kam ostatní tvůrci umísťují své výtvořky a nabízejí je bezplatně ke stažení, při dodržení stanovených autorských práv.

Pro demonstraci možností optimálních programů byl jako objekt z reálného světa zvolen „podstavec pod notebook“. Tento doplněk by měl primárně sloužit pro zlepšení chlazení, jelikož se notebook nebude celým tělem přímo dotýkat desky pracovního stolu, a naklopení těla stroje přispěje k tomu, aby bylo psaní na klávesnici příjemnější. Dalším požadavkem je stabilita umístění notebooku na podstavci a originální vzhled.

Pro zaznamenání údajů o rozměrech budou použity vhodné jednotky pro 3D tiskárny a těmi jsou milimetry (mm).

Základní údaje o podstavci jsou:

- 52 mm na výšku, tato výška by měla zajistit dostatečný sklon stroje a chlazení;
- 350 mm celkové šířky podstavce, což koresponduje se šířkou notebooku uživatele;
- minimálně 25 mm šířky bude rozměr samotné podpěry.

Tyto údaje jsou z větší části orientační a nemusí být v tomto případě zcela dodrženy, slouží jako rámcová představa o rozměrech objektu.

Ve chvíli, kdy dojde k vytvoření předlohy je nutné připravit doplněk pro tisk ve slicer, u kterého je vhodné zvážit jeho vlastnosti. V tomto případě se jedná o první prototyp, a tak je důležitá především rychlost tisku, jelikož není jasné, zda bude výrobek bez chyby. Další

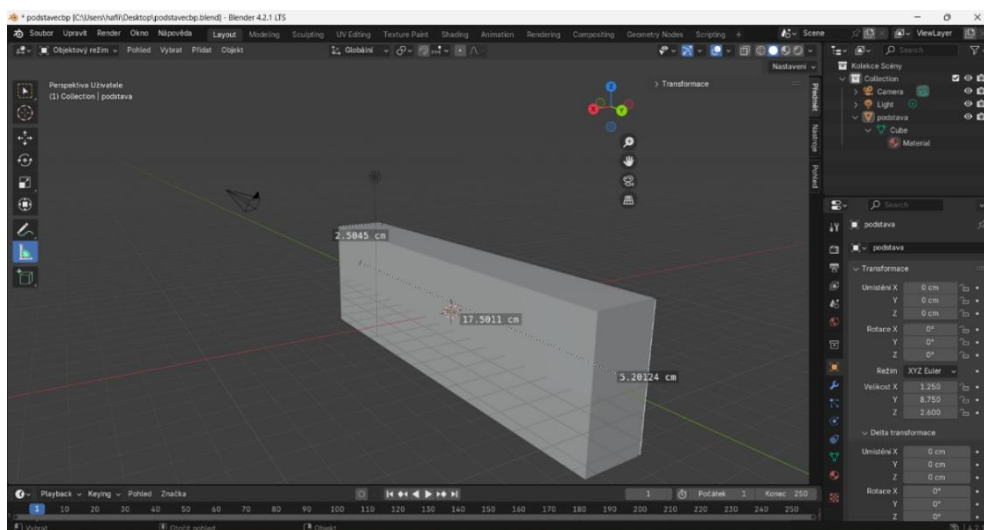
důležitou vlastností je dostatečná pevnost, aby výrobek bez problémů snesl zatížení notebookem s váhou 2,3 kg.

4.4.1 Tvorba 3D předlohy

Program Blender vyšel jako optimální varianta, proto bude primárně použit pro tvorbu modelu, a model bude paralelně tvořen ve Fusion360 pro srovnání. Následující kapitola demonstruje schopnost jednotlivých programů a rozdíly mezi nimi. Postup tvorby tedy není vždy stejný, ale jsou využívány nástroje, tak aby tvorba byla co nejsnadnější za dosažení co možná nejvíce podobného výsledku.

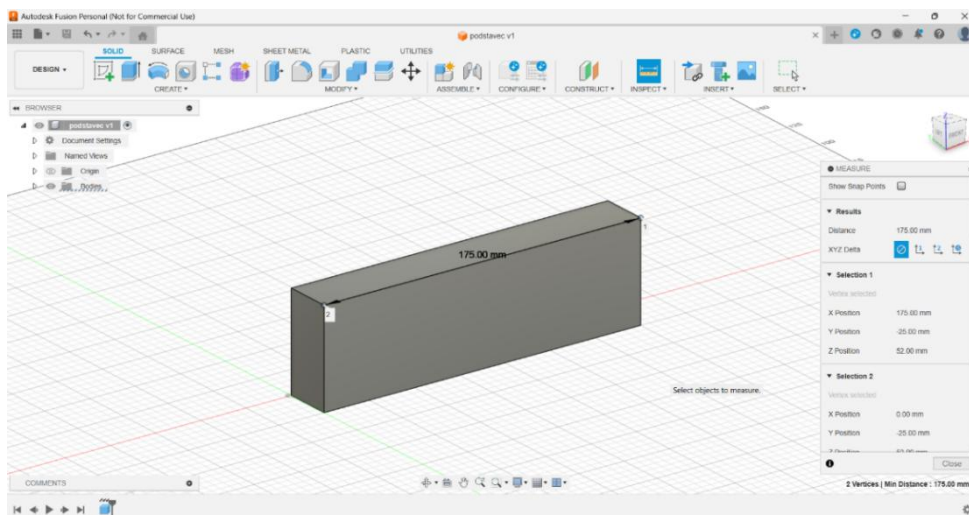
Tvorba základních tvarů

Pro základní stavební prvek byla použita krychle s výchozími rozměry 1;1;1 mm. Aby byla uživatel usnadněna práce, je ve většině aplikací pro 3D modelování možnost zrcadlit objekt. Díky tomu při tvorbě složitějšího modelu není nutné provádět úpravy dvakrát, jelikož program sám úpravy „opíše“. Z tohoto důvodu byla délka nastavena na polovinu celkové délky, tedy 175 mm (17,5 cm). Blender při transformaci rozměrů přidává stejně do obou stran transformované osy, a proto jsou na obrázku výše v bočním panelu uživatelského rozhraní poloviční rozměry (87,5 mm) oproti stanoveným. Pro ověření rozměrů byl využit nástroj „Změřit“, který umožňuje tahem kurzoru myši zjistit délku od bodu k bodu a případně i úhel mezi měřenými body. Výhodou je možnost mít zaznamenané více měření naráz, která zde zůstávají, dokud je uživatel sám neodstraní nebo nepřepne na jiný nástroj.



Obrázek 10 tvorba základního tvaru Blender (vlastní zpracování)

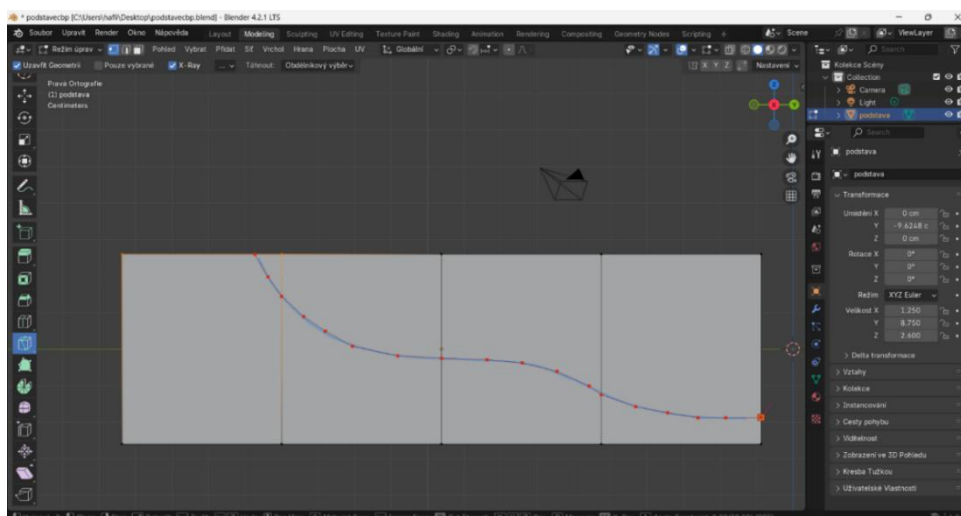
Stejný proces proběhl i ve Fusion360 včetně přípravy pro zrcadlení. Jelikož je tento program z kategorie CAD, samotné vytvoření základního tvaru proběhlo přímým zadáním požadovaných parametrů, ze kterých byl následně objekt typu „Box“ vytvořen. Výsledné rozměry bylo možné ověřit pomocí funkce „INSPECT“.



Obrázek 11 tvorba základního tvaru Fusion360 (vlastní zpracování)

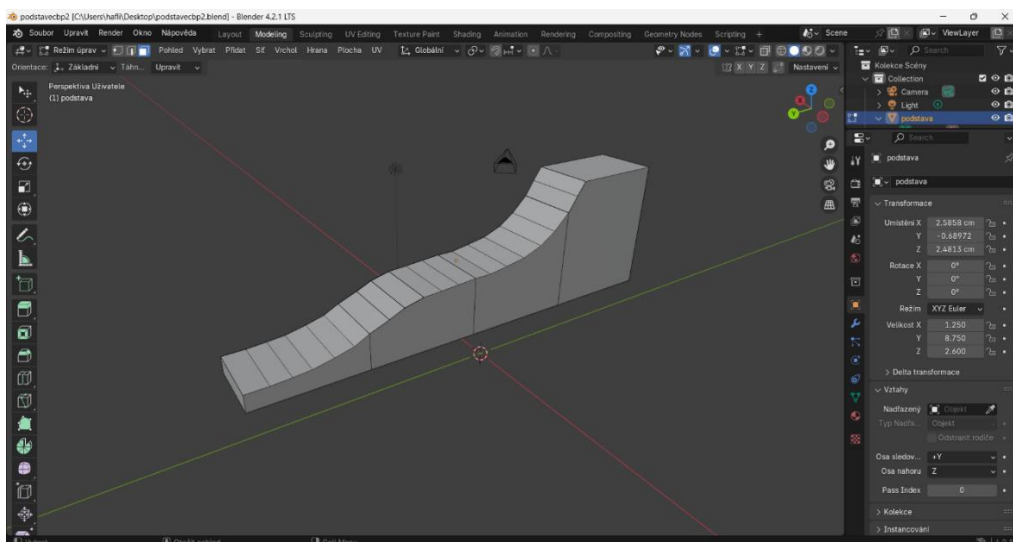
Oproti Blender není možné manuálně měřit více rozměrů najednou, avšak tento nedostatek je kompenzován tím, že program sám v doplňkové tabulce, která je vidět na obrázku výše v pravé části, vypisuje veškeré rozměry měřeného objektu. Tyto údaje zmizí bezprostředně poté co uživatel provede jakoukoliv akci.

Zúžení profilu podstavce bylo provedeno tak, aby nebyl výrobek zbytečně masivní, tím pádem nespotřeboval takové množství materiálu a začal získávat svou výslednou podobu. Úpravy nemají nutně jednotný postup a uživatel zde má plnou svobodu ve svém počínání.



Obrázek 12 řezání profilu Blender (vlastní zpracování)

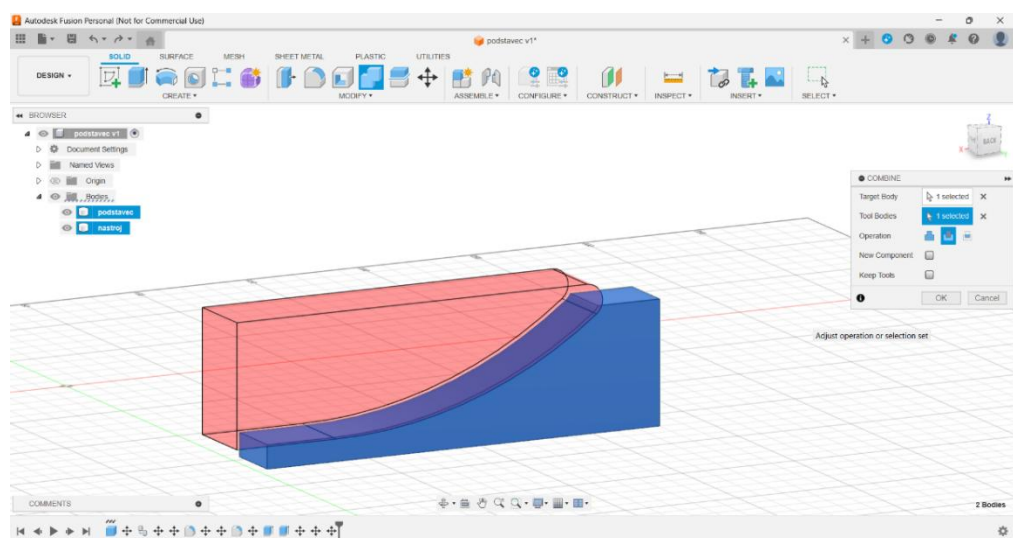
V aplikaci Blender je dostupný nástroj „Nůž“, který je vhodný pro libovolné dělení ploch objektů. V tomto případě byl použit pro rozdělení základního tvaru podle načrtnuté linky.



Obrázek 13 základní profil Blender (vlastní zpracování)

Nástroj je schopen rozdělit plochy buď pouze na viditelné straně nebo dojde k rozdělení podle načrtnuté linky skrz celý model. Tento nástroj není limitován žádnými záchytnými body v modelu, a tak uživateli poskytuje volnost v návrhu různých nepravidelných tvarů. Po odstranění přebytečných ploch vznikl následující základ zaznamenaný na obrázku č.13.

Pro srovnání úprava profilu ve Fusion360 byla využita funkce „Combine“, která stejně jako v případě programu Blender provádí množinové operace s objekty, v tomto případě operaci „Cut“ v překladu řezat. Nejprve bylo nutné vytvořit objekt, který bude při operaci sloužit jako nástroj pro úpravu, podobně jako tomu bylo v programu Blender.



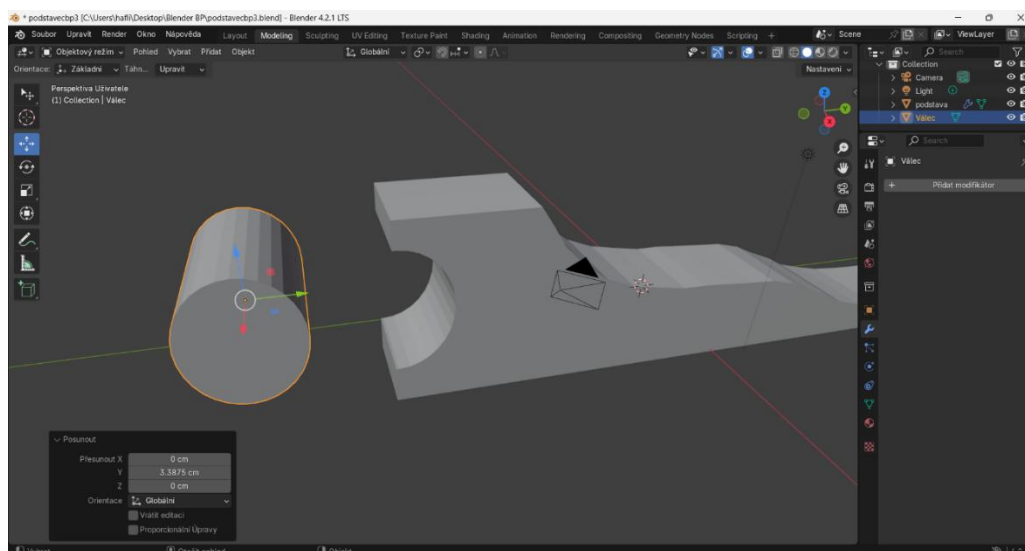
Obrázek 14 úprava podstavce Fusion360 (vlastní zpracování)

Na obrázku č.14 je zobrazena příprava na úpravy a je vidět, jak průhledný objekt, zvýrazněný červeně, působí na podstavec. Pokud by úprava nebyla vyhovující, uživatel má díky tomuto náhledu možnost provést opravu ihned, aniž by se musel vracet k předchozímu kroku. Pokud by tento objekt měl jakýkoliv jiný tvar i výsledná úprava profilu podstavce by se lišila.

Toto jednoduché hyperbolické zakřivení bylo zvoleno kvůli částečné podobnosti s úpravou provedenou v Blender. Zcela stejného výsledku by bylo možné dosáhnout složitějším postupem za použití objektu „Polyline“, v tomto případě Blender dává uživateli větší komfort při návrhu tvaru tvořeného modelu.

Úprava vzhledu

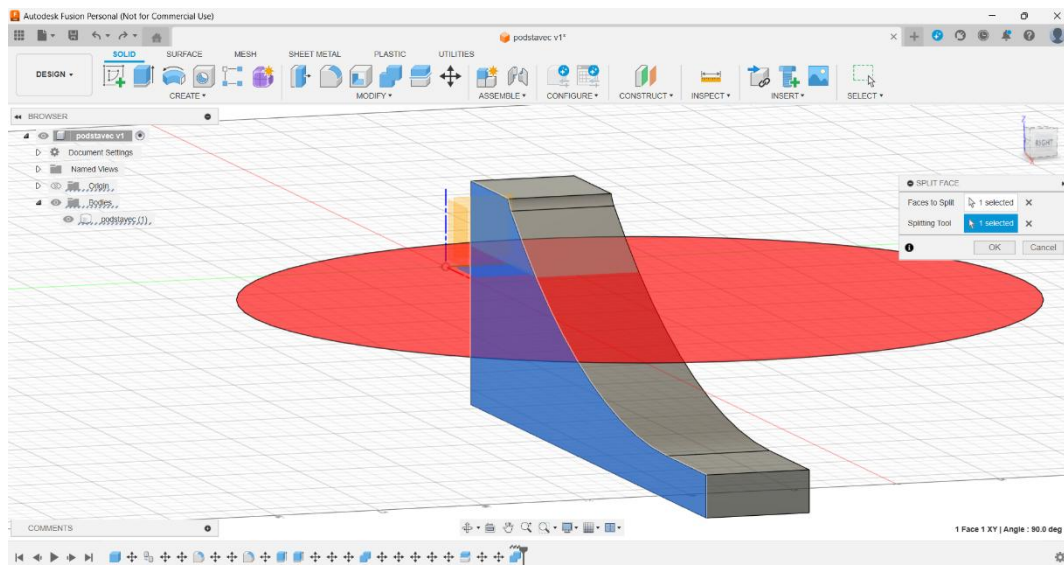
Model byl dále upravován s cílem zlepšit jeho vzhled a zároveň snížit jeho masivnost. Tímto způsobem by mohlo být dosaženo lehčího a elegantnějšího designu, který by měl být vizuálně zajímavější a méně robustní.



Obrázek 15 proces úpravy Blender (vlastní zpracování)

Pro tvorbu děr nebo prohlubní do modelu není třeba v případě programu Blender instalovat žádná dodatečná rozšíření. Na tento typ úpravy byl použit modifikátor typu Boolean, který provádí na objektech množinové operace. Výsledkem použití možnosti „Rozdíl“ je prohlubeň do modifikovaného objektu (podstava) o rozměrech modifikátoru (označený válec). Objekt modifikátoru by mohl být jakéhokoliv tvaru, pouze v tomto případě byl zvolen válec.

Pro správné nadimenzování rozměrů opěrné hlavy podstavce a přípravu modelu pro finální úpravy ve Fusion360 byly využity nástroje jako rozdělení plochy pomocí funkce „SPLIT FACE“.

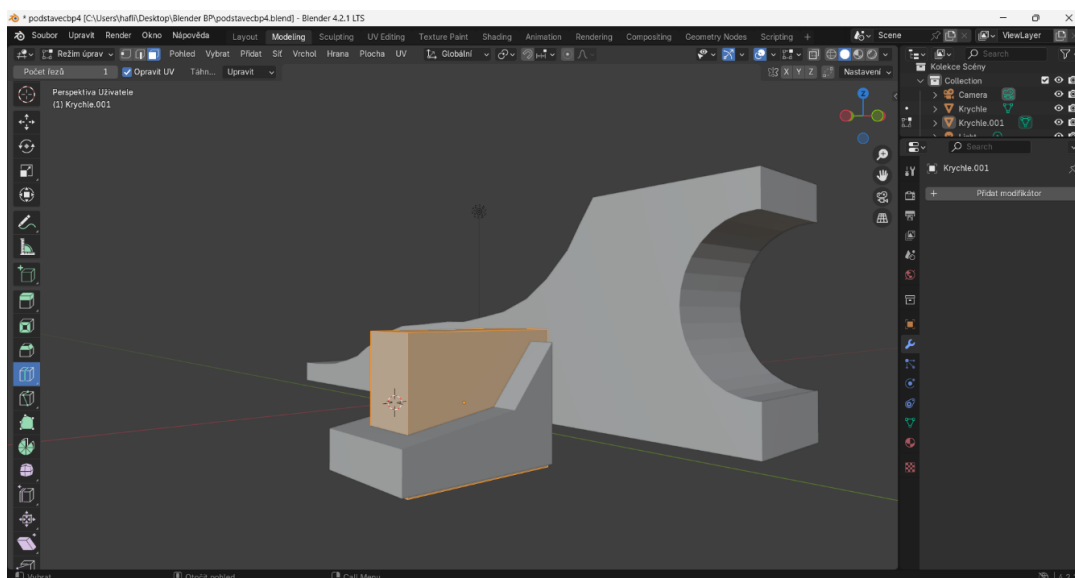


Obrázek 16 úprava vzhledu Fusion360 (vlastní zpracování)

Operace probíhá podle uživatelem nastavené osy a objekt je předělen skrz celý profil modelu. Samotný nástroj je snadno použitelný a intuitivní na nastavení nicméně nevýhodou je, nutnost pohybovat celým modelem, jelikož nástroj je statický, a tak dělení probíhá v bodě se souřadnicemi 0,0,0.

Tvorba opor

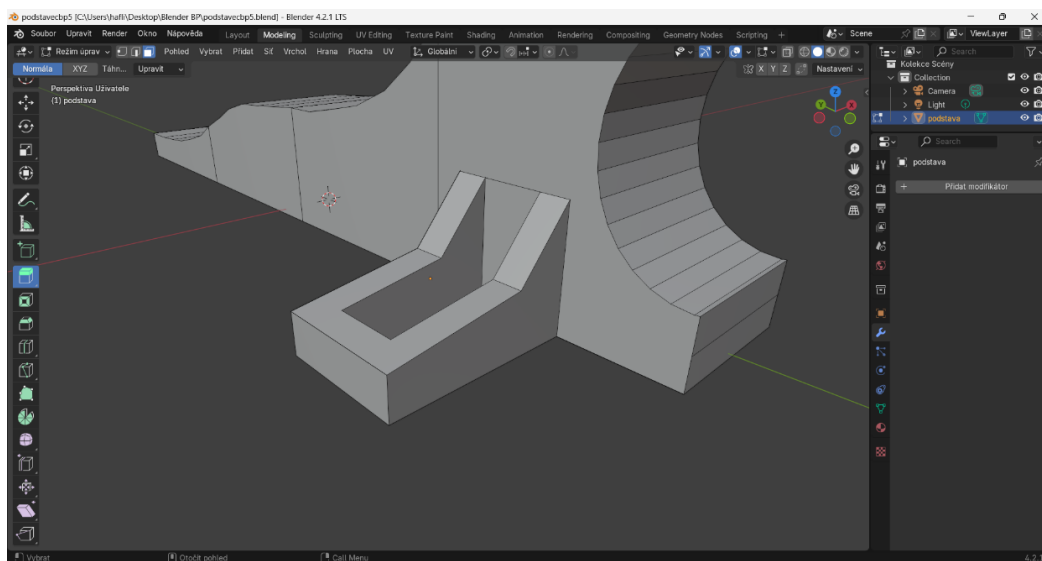
Kvůli hmotnosti notebooku a úhlu zatížení byla vytvořena opora, ta poskytne podstavci dodatečnou stabilitu proti převržení, a tak by měl být podstavec stabilní i během manipulace s notebookem po pracovní desce.



Obrázek 17 tvorba opory Blender (vlastní zpracování)

Rozpracovaná opora, zaznamenaná na obrázku č.17, vznikla z nové krychle vyřezáním pomocí výše zmíněného nástroje „Nůž“. Pro vylepšení vzhledu a odlehčení bylo opět

využito modifikátoru „Boolean“ a operace „Rozdíl“, kdy kombinací podpory a pomocného objektu dostala opora výsledný tvar písmene „U“.



Obrázek 18 tvorba opory Blender (vlastní zpracování)

Spojení opory a podstavy, zaznamenané na obrázku č.18, umožňuje stejný modifikátor při použití operace „Spojení“. Za předpokladu, že se objekty fyzicky protínají, se stanou po potvrzení operace jedním objektem a nově vytvořená opora se stane součástí podstavce.

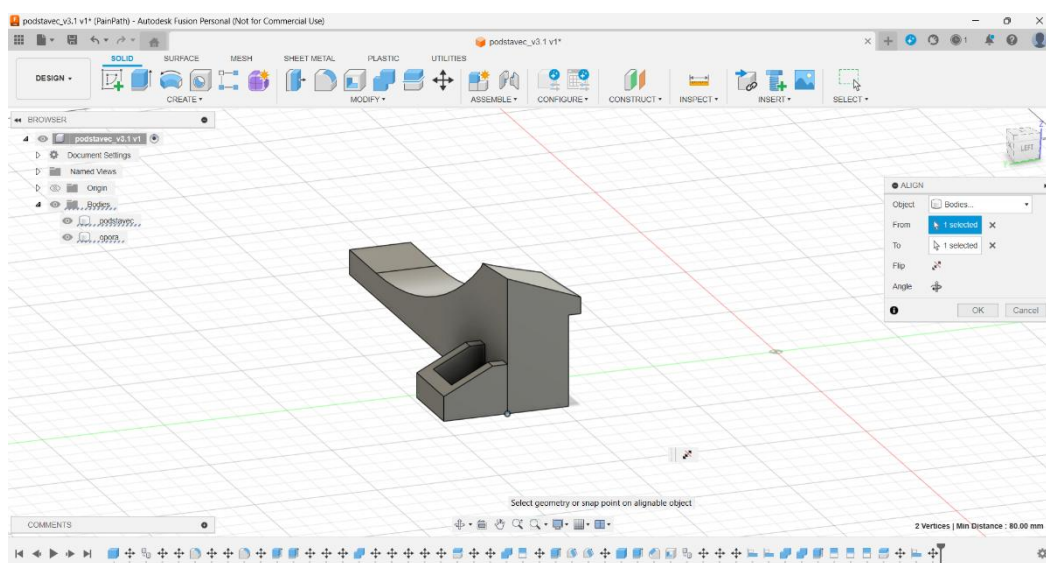


Obrázek 19 zpracování tvaru opory Fusion360 (vlastní zpracování)

Proces tvorby opory ve druhém sledovaném programu, Fusion 360, se od Blenderu výrazně lišil. Místo užívání modifikačních nástrojů, a navíc přídavných objektů pro dosažení chtěných úprav, ve Fusion360 stačilo provést zešíkmení objektu krychle, ze které byla opora tvořena. Pro zúžení profilu byl vhodný nástroj „SHELL“, který do jakékoliv označené plochy vytvoří dutinu. Výsledku, zaznamenaném na obrázku č.19, došlo označením více ploch objektu najednou a aplikováním nástroje. Zde se projevil výhody CAD programu

Fusion360, jelikož obě úpravy bylo možné provést rychleji a s větší přesností, než tomu bylo u Blender.

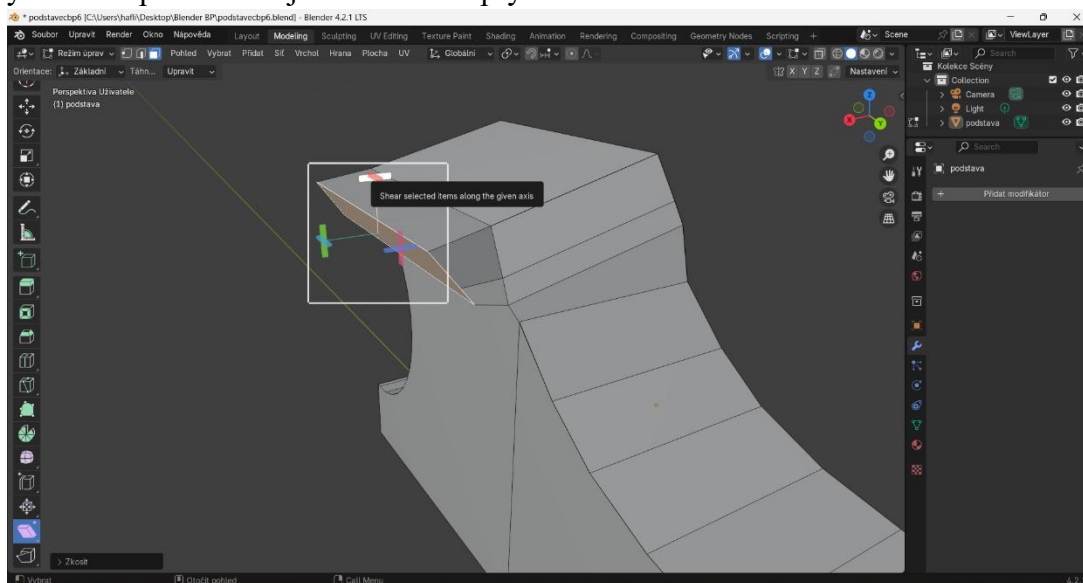
Připojení objektu proběhlo na podobné bázi jako u prvního sledovaného. S tím rozdílem, že Fusion360 umožňuje zachytit jeden objekt na hranu druhého za použití nástroje „ALIGN“ což znamená v překladu „zarovnat“. To je možné opět považovat za výhodu, jelikož není nutné přesně umísťovat objekty k sobě, aby spojení proběhlo správně. Na obrázku č.20 je možné vidět výsledek takového spojení dvou objektů.



Obrázek 20 spojení objektů Fusion360 (vlastní zpracování)

Tvorba hlavy

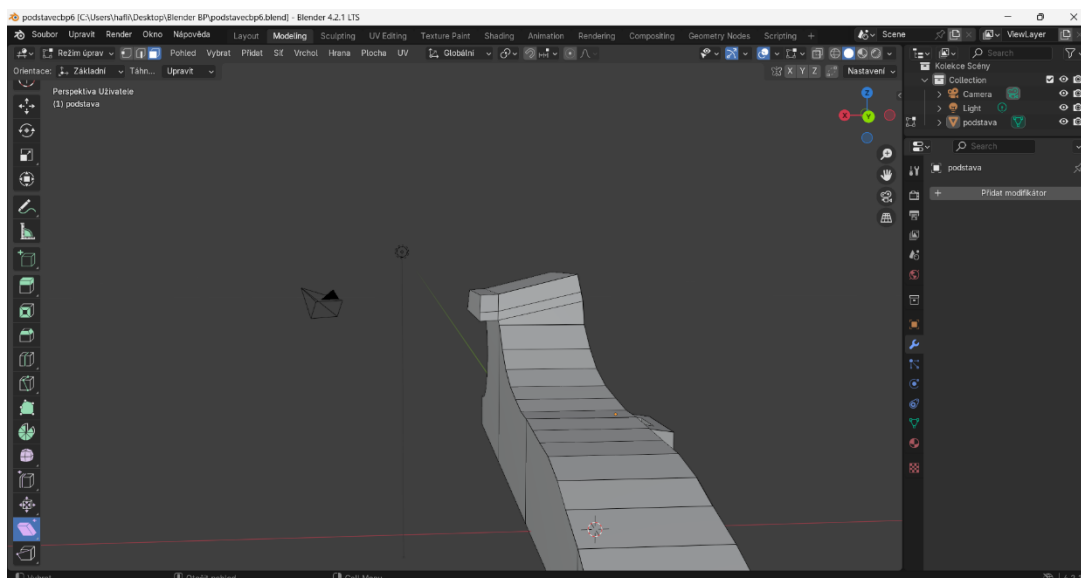
Poslední provedenou úpravou bylo vytvarování opěrné hlavy, na které bude ve výsledku notebook opřený. Cílem byl takový tvar, aby gumové plošky na spodní straně stroje byly dobře zapřené a stroj nesklouzával pryč.



Obrázek 21 úprava opěrné hlavy modelu Blender (vlastní zpracování)

První úkon tohoto kroku bylo vysunutí boční stěny podél osy X do prostoru nástrojem „Vysunutí Oblasti“. Finální úprava byla provedena primárně nástrojem „Zkosit“. Tento nástroj umožňuje uživateli ohýbat plochy nebo hrany do všech stran podle každé z os. Je nutné dát důraz na to jaké plochy uživatel označil a na kterých úpravu provádí, aby nedošlo k celkové deformaci tvaru modelu.

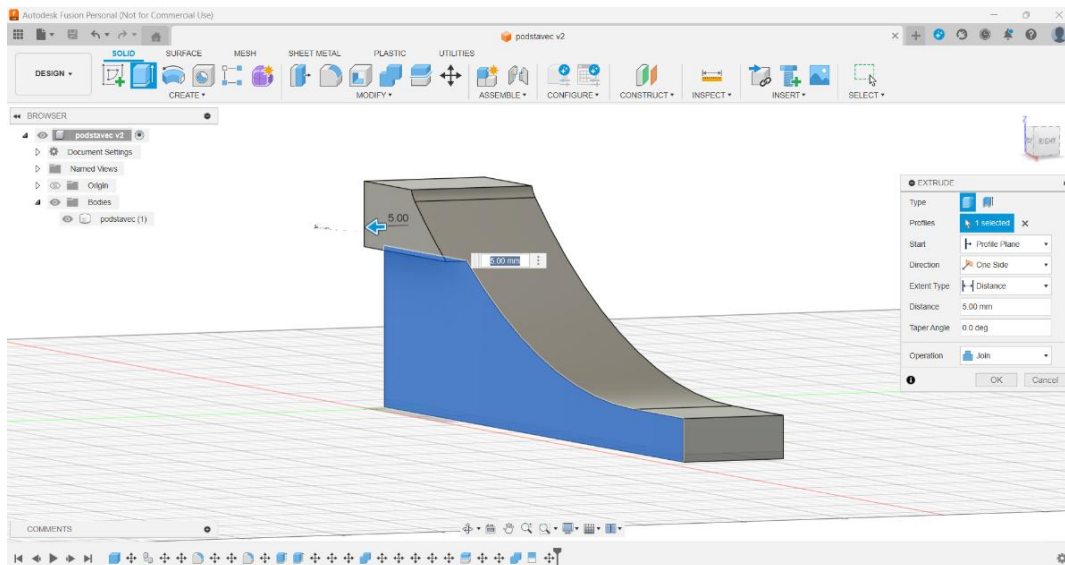
Na obrázku č.22 je zaznamenána druhá část této úpravy, kdy došlo k vyrovnání zkosené části, které by měla sloužit jako zarážka proti sjetí stroje z podstavce při manipulaci po pracovní desce stolu. Tento nástroj by byl velmi užitečný pro další vývoj v případě, že by se ukázalo, že některé rozměry nebo sklony hlavy podstavce nejsou správné, neboť umožňuje rychlé úpravy jednotlivých ploch.



Obrázek 22 výsledná podoba opěrné hlavy Blender (vlastní zpracování)

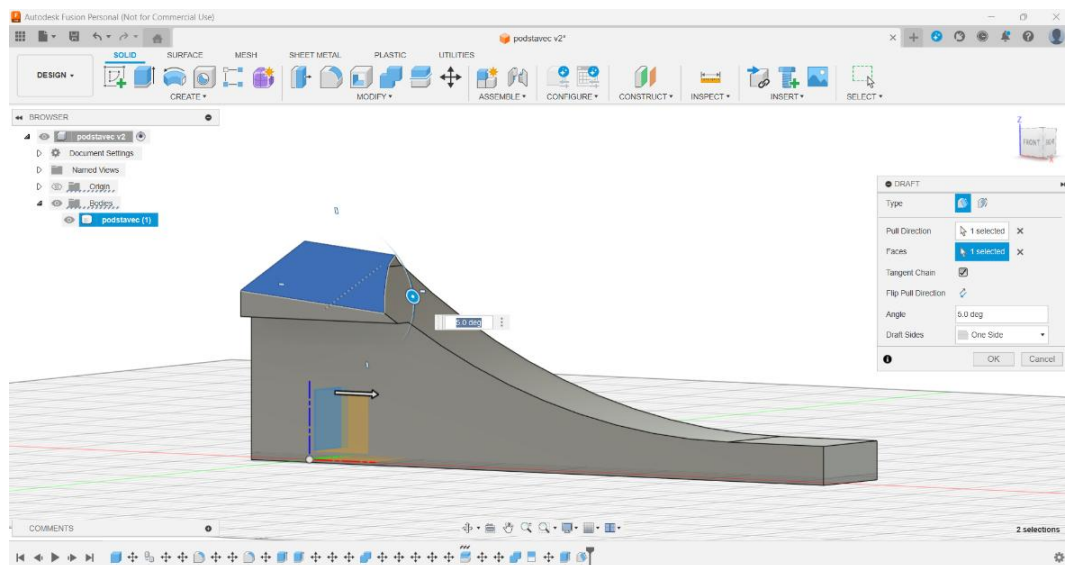
Výsledkem je tedy model vyhodnocený jako hotový a určený pro přípravu k tisku, která bude znázorněna v další kapitole. Na obrázku č.22 je možné vidět podstavec s připojenou oporou a dotvarovanou opěrnou hlavou. Pro demonstrování jedné z hlavních předností programu Blender byla provedena ještě následná úprava povrchu modelu.

Tvorba opěrné hlavy v případě Fusion360 začala už v části základních úprav vzhledu. Vytažení dalšího materiálu proběhlo prakticky stejným způsobem jako v případě první varianty. Výhodou je jednoduché přesné přidávání, takže v případě přísných rozměrových omezení by byl Fusion360 lepší volbou. Nástroj „EXTRUDE“ je možné využít i pro odebrání materiálu, ku příkladu při zužování profilu podstavce by bylo možné pouze označit boční plochu a aplikovat nástroj.



Obrázek 23 úprava opěrné hlavy modelu Fusion360 (vlastní zpracování)

Zkosení bylo navrženo tak, aby notebook byl pevně zapřen a nemohl při manipulaci sklouznout mimo podstavec, proto je zkosení orientováno směrem dolů k ose podstavce. Ve Fusion 360 bylo pro dosažení tohoto zkosení nutné operaci provést dvakrát, jelikož jedním krokem lze zkosit pouze podle jedné osy. I když jsou možnosti obou variant (Fusion 360 a Blender) v tomto případě srovnatelné, Fusion 360 se ukázal jako uživatelsky přívětivější. Nabízí totiž uživateli přehledné zobrazení o velikosti zkosení v úhlech a také vyžaduje potvrzení operace v dialogovém okně, jak je znázorněno na obrázku č.24, čímž minimalizuje riziko nechtěných úprav. Blender naopak potvrzení nevyžaduje, takže při každé nechtěné úpravě musí uživatel změnu ručně vracet zpět.



Obrázek 24 výsledná podoba opěrné hlavy modelu Fusion360 (vlastní zpracování)

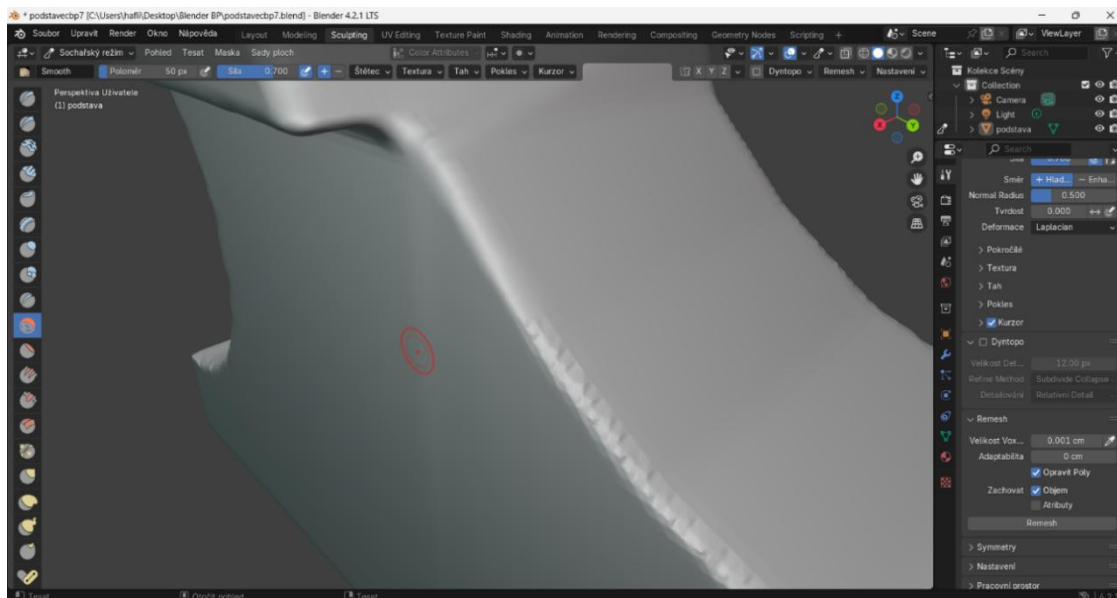
Finální úpravy

Konečné úpravy byly provedeny v duchu účelu obou porovnávaných variant. U programu Blender byl na model aplikován sculpting a u Fusion360 byl podstavec dotvořen pomocí nástrojů na úpravu objektů.

Sculpting

Jedná se o pokročilou techniku, která simuluje pomocí tahů myši po tvořeném modelu, tvorbu organických tvarů a detailních struktur. Nástroje buď přidávají nebo naopak ubírají materiál či různými způsoby deformují plochu modelu. Tato technika vyžaduje určitý cvik a není jednoduché s ní okamžitě dosahovat kvalitních výsledků.

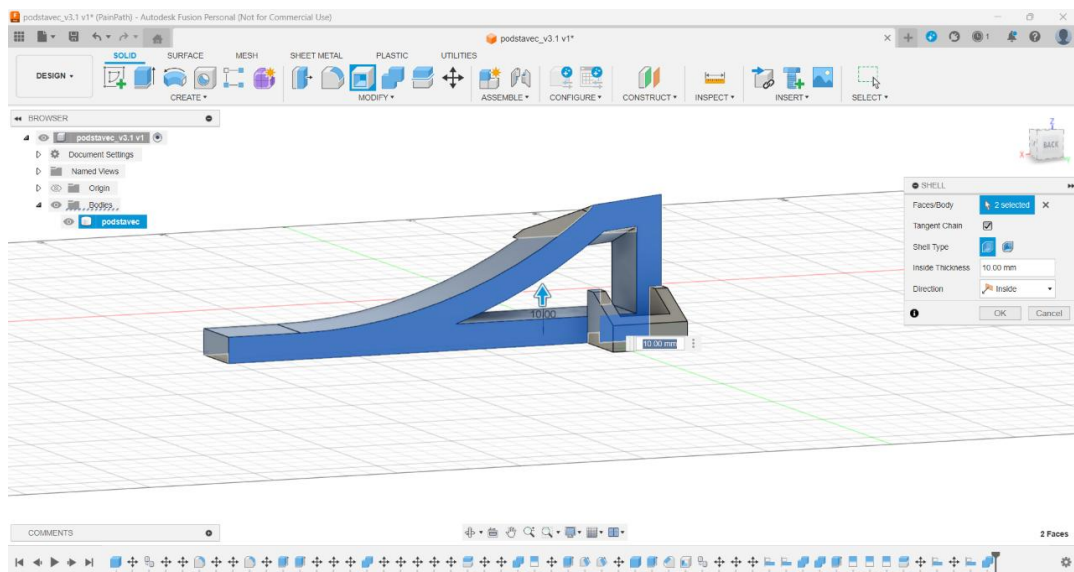
Pomocí této techniky byly na modelu nástroji „Hladké“ a „Zploštit“ uhlazeny nerovnosti, po modelování ploch a hran vzniklé v předešlých krocích. Dále byly zaobleny hrany po celém obvodu a díky tomu model získal nádech jako kdyby byl vytvořen ručně.



Obrázek 25 sculpting Blender (vlastní zpracování)

Vydutění

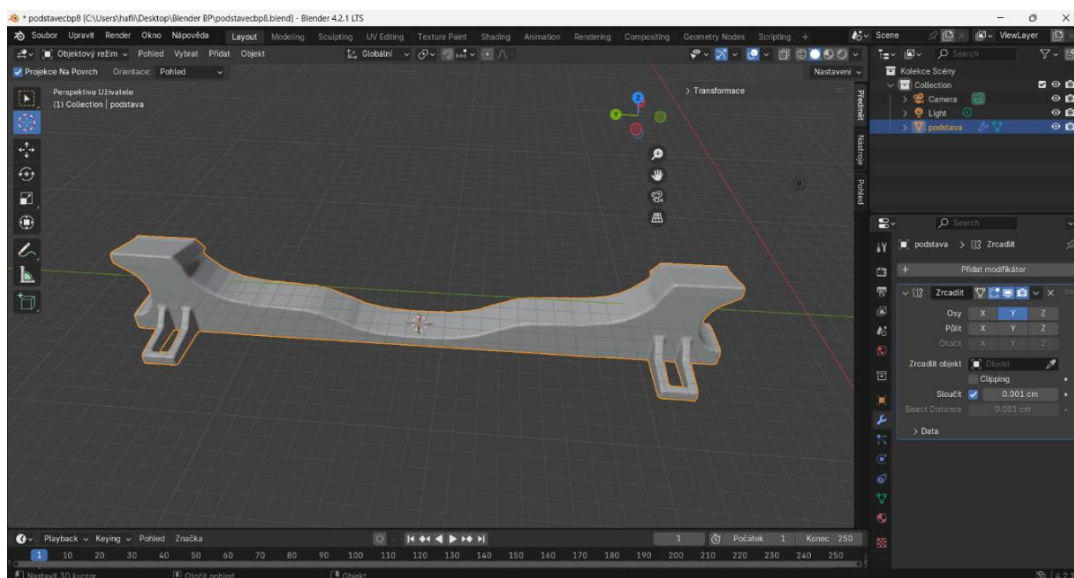
Na obě boční stěny modelu byl aplikován již výše zmíněný nástroj „SHELL“. Dutina byla odhadnuta tak aby ušetřila co možná největší množství materiálu a zároveň nenarušila pevnost podstavce. Pokud ovšem uživatel chce, má možnost zvětšit skořepinu až na 1 mm tloušťky vnější stěny.



Obrázek 26 vydutění modelu Fusion360 (vlastní zpracování)

Výsledný model

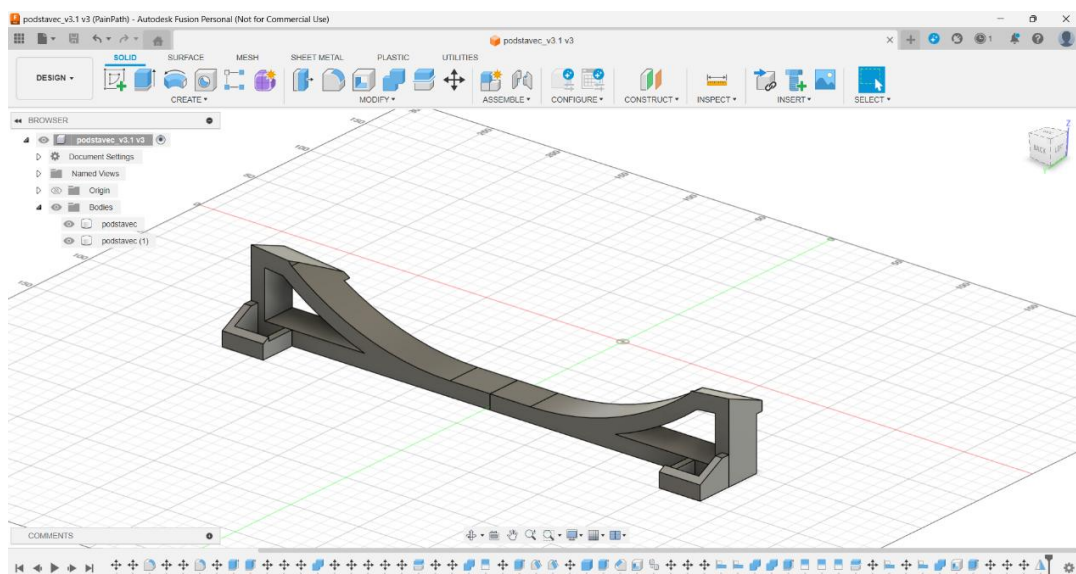
Po dokončení všech potřebných úprav modelu bylo použito zrcadlení pomocí modifikátoru „Zrcadlit“. Tento modifikátor umožňuje zrcadlit objekt buď podle zadané osy a středu, který lze volně přesouvat, nebo při použití jiného objektu jako referenčního bodu. V takovém případě bude původní objekt i jeho zrcadlená kopie umístěna symetricky kolem tohoto objektu ve stejné vzdálenosti podél zvolené osy.



Obrázek 27 výsledný model – Blender (vlastní zpracování)

Zrcadlení v programu Fusion360 je podobné zrcadlení v programu Blender, také vyžaduje přesné umístění modelu tak, aby na sebe objekty navazovaly a byly při zrcadlení přímo zkombinovány do jednoho celku. Pokud má být zrcadlený model přímo spojen s původním modelem a objekty se nedotýkají, Blender tuto operaci přesto provede

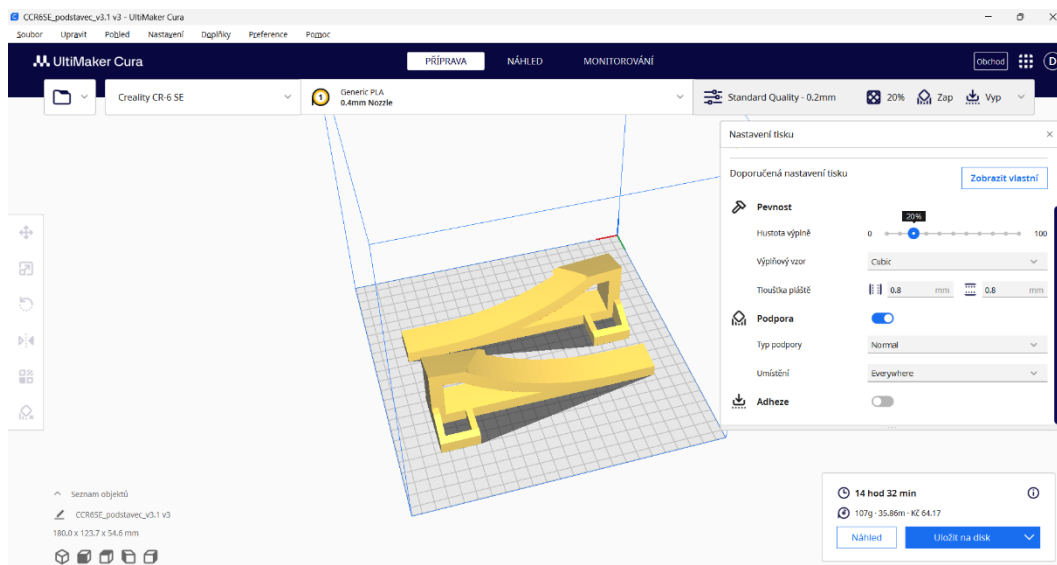
a výsledné objekty se chovají jako jeden celek. Na rozdíl od toho Fusion360 v případě absence kontaktu mezi objekty zobrazí upozornění, objekty nesloučí a zrcadlený objekt vystupuje jako samostatný prvek.



Obrázek 28 výsledný model Fusion360 (vlastní zpracování)

4.4.2 Příprava k tisku

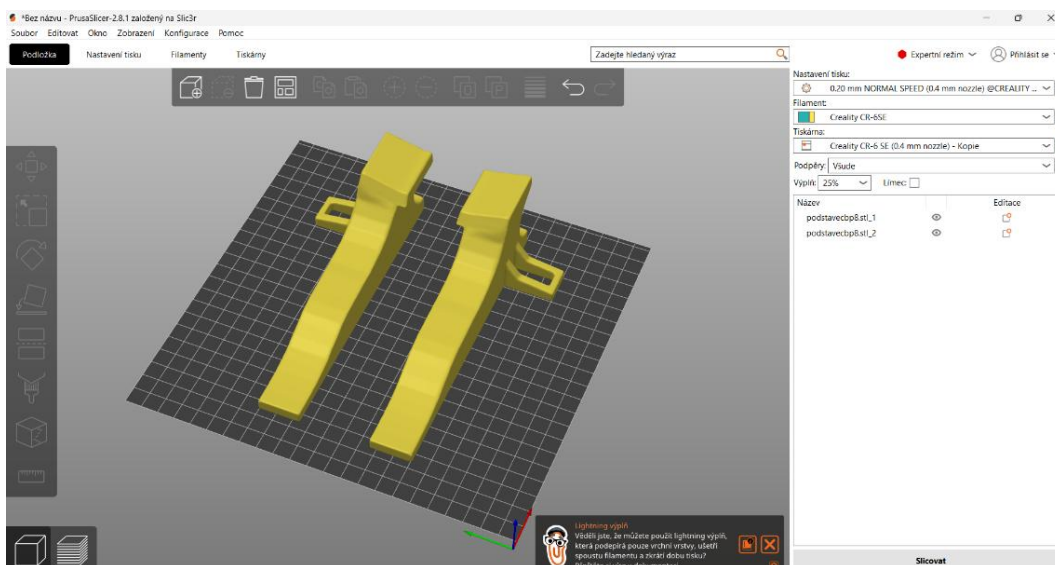
Stejně jako u programů pro 3D modelování i u slicerů byla otestována optimální varianta (UltiMaker Cura) a pro porovnání, příprava pro tisk probíhala i v PrusaSlicer. Pro otestování byly použity oba modely vytvořené v předešlé kapitole a tento přístup umožnil přímé porovnání efektivity přípravy tisku a časové náročnosti.



Obrázek 29 rozložení podstavce Fusion360 na tiskové ploše CURA (vlastní zpracování)

Na obrázku č. 29 je znázorněno umístění modelu na virtuální tiskovou podložku s rozměry skutečné 3D tiskárny uživatele. Pokud rozměry modelu překračují rozměry

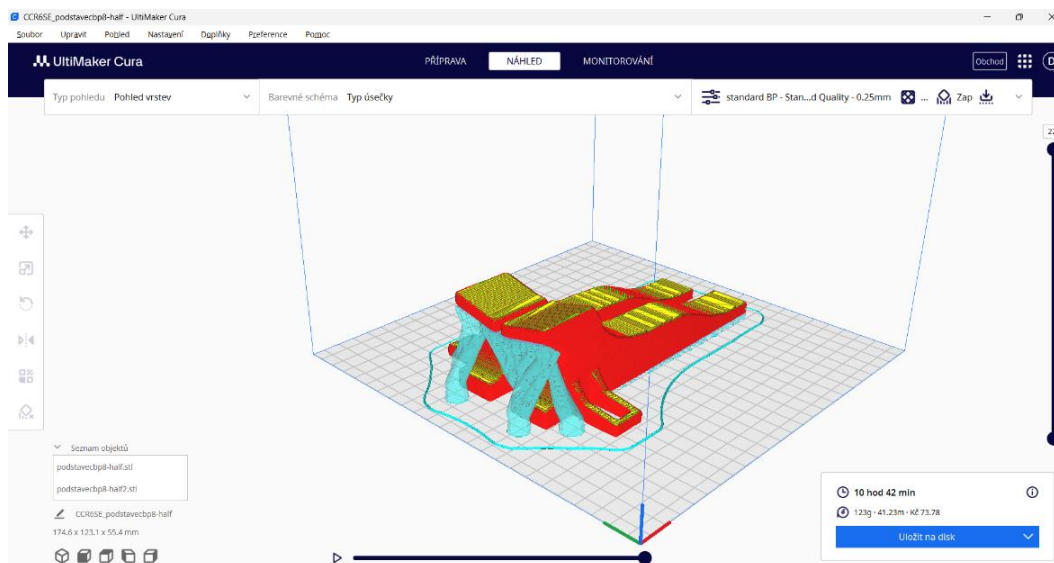
fyzické podložky, obě testované varianty umožňují rozpůlení objektu na jednotlivé části. Při testování aplikace Cura s modelem vytvořeným v programu Blender došlo při půlení modelu k objevení chybové hlášky s tvrzením, že model nelze rozdělit na jednotlivé části. Naproti tomu rozdělení modelu podstavce vytvořeném ve Fusion360 proběhlo v pořádku. Pro srovnání PrusaSlicer, dle obrázku č. 30, zvládl rozdělit i model vytvořený v Blender bez jakýchkoliv problémů, a tak bylo možné dále pokračovat v práci na přípravě k tisku.



Obrázek 30 rozložení podstavce na tiskové ploše PrusaSlicer (vlastní zpracování)

S nastavenými hodnotami je možné zadat programu pokyn pro „Slicing“ tedy rozkrájení modelu na jednotlivé vrstvy. V obou variantách je možný náhled na rozkrájený model včetně vygenerovaných podpor a barevně zvýrazněných jednotlivých typů povrchů jako například vnitřní výplň, vrchní vrstva nebo vnější povrch. Další užitečnou vlastností obou programů je možnost přesouvat se mezi rozkrájenými vrstvami a nahlédnout do vnitřní struktury tištěného modelu. UltiMaker Cura navíc poskytuje animovaný průběh tisku sledované vrstvy, kdy je možné pozorovat pohyby trysky po tvořeném modelu.

Hlavním srovnáním v případě slicerů je doba a množství materiálu, potřebné podle Sliceru pro vytištění podstavce. U obou porovnávaných programů byly shodně nastaveny tyto hodnoty: výška vrstvy (0,25 mm), výška první vrstvy (0,35 mm), počet plných spodních vrstev (5), počet plných vrchních vrstev (6), vzor vnitřní výplně (Kubický/Krychle), hustota vnitřní výplně (25 %), rychlost tisku (60 mm/s). Ostatní možnosti zůstaly nastaveny na výchozí hodnoty nebo byly ponechány na hodnotách, které programy doporučily a korespondují s limity tiskárny, kterou uživatel používá. Teplota na trysce nebo tiskové podložce, nebyla brána v potaz, jelikož přímo neovlivňuje slicing.



Obrázek 31 náhled průběhu tisku Cura (vlastní zpracování)

S tímto nastavením Cura nabízí tisk podstavce z Blender za 10 hodin 21 minut při 122 g filamentu a PrusaSlicer 9 hodin 8 minut se spotřebou 128,12 g, nicméně počet vrstev je stejný u obou porovnávaných a to 220. Při stejně nastavených hodnotách Cura nabídla tisk podstavce vytvořeném ve Fusion360 za 11 hodin 48 minut se spotřebovanými 117 g filamentu. PrusaSlicer odhadl čas tisku na 10 hodin 24 minut za využití 124,27 g tiskového materiálu.

5 Výsledky a diskuse

Práce dosáhla vytyčených cílů, což bylo především porovnat programy pro 3D tisk, přičemž zvolený postup umožnil porovnání vybraných softwarových nástrojů pro tvorbu 3D modelů a přípravu na 3D tisk. Analýza ukázala, že na trhu existuje široká škála nástrojů, které se liší nejen svou funkcionalitou, ale také nároky na hardware, uživatelskou přívětivostí a vhodností pro různé typy uživatelů.

Při přípravě Vícekriteriální analýzy variant bylo nutné ujasnit si preference uživatele, a tak proběhl při podrobné analýze trhu prvotní výběr toho jaké edice jednotlivých programů použít pro srovnání ve VAV.

Porovnání provedené pomocí Vícekriteriální analýzy variant prokázalo, že při kritériích stanovených modelovým uživatelem (cena, úroveň uživatele, paměť RAM, výkon CPU, místo na disku, česká lokalizace), je optimální program pro 3D modelování Blender a v případě přípravy pro 3D tisk Ultimaker Cura. Ostatní varianty neměly při výběru tak silné preference buď z důvodů vyšších systémových požadavků nebo svého určení.

Blender byl identifikován jako vynikající nástroj pro organické modelování díky široké škále dostupných funkcí, ale jeho vyšší nároky na operační paměť při režimu Sculpting mohou být limitující. Fusion 360 se ukázal jako velmi vhodný pro technické modelování, přičemž nabízí stabilní výkon a efektivní pracovní postupy. Jak Fusion360, tak SolidWorks obsahují základní nástroje pro organické modelování čili v případě potřeby mohou zastoupit Blender. Pro úplné začátečníky by byl nejvhodnější TinkerCAD, který zaujme jednoduchým ovládáním a intuitivním rozhraním.

Co se týče softwaru pro přípravu 3D tisku, dvě nejlépe vycházející varianty (Ultimaker Cura, PrusaSlicer) nabídly srovnatelnou uživatelskou přívětivost a funkce. Rozdíly byly patrné hlavně ve výstupní kvalitě (zde vede Cura) a tiskovém čase (PrusaSlicer nabízí zpravidla rychlejší tisk) a také v přístupu k práci s nimi. Ultimaker Cura více spoléhá na přiřazení hodnot konkrétní funkci, kterých nabízí mnoho. PrusaSlicer nabízí interaktivní nástroje například pro nastavení variabilní výšky vrstvy. Tyto rozdíly poskytují uživatelům možnost volby dle jejich individuálních potřeb.

Pokud by uživatel lehce slevil ze svých preferencí na systémové nároky, ztratil by Blender své prvenství a optimální variantou by se stal Fusion360. Ten by dokázal částečně zastoupit Blender v případě modelování organických tvarů a obecně jej lze považovat za

všestrannější nástroj pro 3D tisk, jelikož i hobby verze obsahuje základní nástroje pro přípravu tisku.

Jestliže by uživatel snížil své požadavky na co nejnižší systémové nároky, pořadí u programů pro přípravu 3D tisku by se zásadně nezměnilo, jelikož mezi Cura a PrusaSlicer není výraznější rozdíl. Pokud by se uživatel opravdu plně věnoval práci v Cura a obohatil ho o některé z mnoha dostupných rozšíření, získal by pro sebe kvalitní nástroj odpovídající přesně jeho potřebám. Na druhou stranu PrusaSlicer se svým rozložením karet nastavení je přehlednější a nabízí v základu více nástrojů, navíc vyvíjených přímo vydavatelem softwaru a není nutné se tedy spoléhat na aktivitu komunity v otázce udržování modifikací.

Výsledky porovnání při práci v testovaných programech potvrdily, že každý má své specifické silné stránky a oblasti, kde může excelovat, avšak žádný z nich není univerzálním řešením pro všechny případy. To podtrhuje význam volby softwaru na základě konkrétního zamýšleného použití a preferencí uživatele.

6 Závěr

S rozvojem 3D tisku roste také potřeba kvalitních softwarových nástrojů pro tvorbu předloh a přípravu tisku. Tato práce přinesla detailní porovnání vybraných programů v obou těchto kategoriích, přičemž byly zohledněny jak technické, tak uživatelské aspekty. Analýza ukázala, že na trhu existuje široká škála nástrojů, které se liší svou funkcionalitou, nároky na hardware, uživatelskou přívětivostí a vhodností pro různé typy uživatelů.

Pro porovnání byl použit postup založený na Vícekriteriální analýze variant, která zohledňovala kritéria definovaná modelovým uživatelem a praktickém testování optimálních variant. Výsledky ukázaly, že žádný zkoumaný program nelze označit za univerzální, protože jejich vhodnost závisí na konkrétních požadavcích uživatele. Blender byl identifikován jako optimální nástroj pro organické modelování díky široké škále dostupných funkcí, ačkoli jeho vyšší nároky na operační paměť při režimu Sculpting mohou být limitující. Fusion 360 exceluje v technickém modelování, přičemž nabízí efektivní pracovní postupy a stabilní výkon. Alternativně může zastoupit Blender při základních požadavcích na organické modelování. Pro začátečníky by byl vhodnější TinkerCAD, který zaujme jednoduchým ovládním a intuitivním rozhraním.

Pokud jde o software pro přípravu 3D tisku, nejlépe hodnocené varianty byly Ultimaker Cura a PrusaSlicer. Oba programy nabízejí vysokou uživatelskou přívětivost a širokou škálu funkcí, ale liší se v přístupu k ovládním. Ultimaker Cura více spoléhá na explicitní přiřazení hodnot ke konkrétním parametrům, zatímco PrusaSlicer obsahuje interaktivní nástroje, například možnost snadno nastavitelné variabilní výšky vrstvy. Tyto rozdíly umožňují uživatelům volbu dle jejich individuálních potřeb. Obě varianty rovněž kladou důraz na dokumentaci funkcí, přičemž veškeré nastavitelné hodnoty jsou doplněny vysvětlivkami přímo v aplikaci. V případě Ultimaker Cura jsou navíc vysvětlivky obohaceny o grafické znázornění, které ilustruje dopady změn nastavení.

Práce poskytuje užitečný přehled o možnostech softwaru pro 3D modelování a přípravu na tisk s ohledem na různé úrovně uživatelské zkušenosti a technické požadavky. Do budoucna by bylo vhodné provést detailnější analýzu specifických funkcí, například simulace nebo optimalizace modelů, které by mohly ještě více zdokonalit proces modelování a tisku. Zároveň rozšíření analýzy o další varianty z obou kategorií programů by vneslo do porovnání nové poznatky.

Závěrem lze říci, že volba softwaru pro 3D modelování a přípravu na 3D tisk je vždy kompromisem mezi funkcionalitou, uživatelskou přívětivostí a hardwarovými nároky. Výsledné řešení odpovídá preferencím cílového uživatele, který hledal efektivní nástroje s co nejnižší cenou, přijatelnými systémovými požadavky a intuitivním ovládním.

7 Seznam použitých zdrojů

- 3DEXPERIENCE SOLIDWORKS for Makers, c2002-2024. *SolidWorks* [online]. [cit. 2024-08-22]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com/solution/3dexperience-solidworks-makers>
- About Blender, c2024. *Blender 4.2 Reference Manual* [online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné z: https://docs.blender.org/manual/en/4.3/getting_started/about/index.html
- AKHOURI, Deobrat a kol., 2021. *Various Infill Patterns and their Effect in 3D Printable Materials* [online]. 6.9. International Journal of Innovative Science and Research Technology [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://ijisrt.com/assets/upload/files/IJISRT21SEP499.pdf>
- ALL3DP, c2024. Autodesk Netfabb 2023: All You Need to Know. *All3DP* [online]. 30 Nov 2022 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/autodesk-netfabb-simply-explained/>
- AMD Athlon 64 X2 processor comparison chart, c2003-2024. *CPU-World: Microprocessor news, benchmarks, information and pictures* [online]. 20 Mar 2023 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: https://www.cpu-world.com/info/AMD/AMD_Athlon_64_X2.html
- AutoCAD information, c2001-2024. *JTB World* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://jtbworld.com/autocad-information>
- AutoCAD vs AutoCAD LT, c2024. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-22]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/autocad/compare>
- Autodesk AutoCAD: software pro navrhování a kreslení, kterému důvěřují miliony uživatelů, c2024. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/cz/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST>
- AUTODESK SUPPORT, 8 Aug 2024. System requirements for Autodesk Fusion. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Fusion-360.html>
- AUTODESK SUPPORT, c2024. System requirements for Autodesk Netfabb 2023. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-Netfabb-2023.html>
- AUTODESK SUPPORT, Feb 26 2025. System requirements for AutoCAD 2025 including Specialized Toolsets. *AUTODESK* [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-AutoCAD-2025-including-Specialized-Toolsets.html>
- BARNHORN, Alexis, Laura CAUDILL a Kelly OBBIE, c2024. 60 Years of CAD Infographic: The History of CAD since 1957. *CADENAS USA* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://partsolutions.com/60-years-of-cad-infographic-the-history-of-cad-since-1957/>
- Better 3D prints are just a few clicks away, c2024. *SIMPLIFY3D* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/buy-now/>
- BLENDER FOUNDATION, b. r. System Requirements for Blender. *https://www.blender.org/* [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.blender.org/download/requirements/>

BRYDEN, Douglas, 2014. *CAD and Rapid Prototyping for Product Design* [online]. Laurence King Publishing [cit. 2024-08-14]. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/czup/detail.action?docID=1876182>

CAM řešení, b. r. *SOLIDVISION* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/cam-reseni>

COHN, David, 1 December 2010. Evolution of Computer-Aided Design. *DE247 Digital Engineering* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.digitalengineering247.com/article/evolution-of-computer-aided-design/>

Compare Autodesk Fusion for personal use vs. Autodesk Fusion, c2024. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-22]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/personal/compare>

ČNB, 2024. Kurzy devizového trhu – měsíční průměry rok 2024. *Česká Národní Banka* [online]. [cit. 2024-08-13]. Dostupné z: https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/prumerne_rok.html?rok=2024

DE LIO, Mario, 24 March 2023. Industrial vs Hobby 3D Printer. *TRIMECH* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://store.trimech.com/blog/industrial-vs-hobby-3d-printers>

DORAN, Evan, 5/21/2022. CAD/CAM System Requirements: An Overview. *Metalworking's leading information resource | Modern Machine Shop* [online]. [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/cadcam-system-requirements-an-overview>

DWAMENA, Michael, 26 April 2022. Cura Vs PrusaSlicer – Which is Better for 3D Printing? *3DPRINTERLY* [online]. 28 November 2023 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://3dprinterly.com/cura-vs-prusaslicer-which-is-better-for-3d-printing/>

FDM, 2014 - 2024. In: *FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/ostatni/sekce-3dtisk/3dtisk/moznosti-3dtisk/rozdeleni-technologie-3dtisk/fdm-3dtisk/>

GHARGE, Pranav, 23 March 2023. 3D Printing Slicer Software - How to Choose the Best. *Obico* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.obico.io/blog/best-3d-printing-slicers/>

GHARGE, Pranav, c2017-2024. The Strongest Infill Pattern: 5 Options for the Ultimate Strength. In: *Clever Creations | Your Hub for 3D Printing, Laser Cutting, and More* [online]. [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: <https://clevercreations.org/what-is-strongest-infill-pattern-cura-prusa/>

GIENCKE, Andreas a Guilherme SCHENDEL, c2024. What Is Tinkercad? – All You Need to Know. *All3DP* [online]. 21 Jul 2024 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/what-is-tinkercad-simply-explained/>

GLAWION, Alex, 2019. Blender System Requirements & PC Recommendations. *CGDIRECTOR* [online]. March 1 2022 [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.cgdirector.com/blender-system-requirements/>

GOODMAN, Luke, January 30 2020. Prusa 3D Print Farm for Nerf Mods. *OUT OF DARTS* [online]. [cit. 2025-03-11]. Dostupné z: <https://outofdarts.com/blogs/news/prusa-3d-print-farm-for-nerf-mods>

GUAN, Rachel a Damon SMITH, 2020. *Influence of Infill Parameters on the Tensile Mechanical Properties of 3D Printed Parts* [online]. 2. Journal of Emerging Investigators [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: <https://emerginginvestigators.org/articles/20-052/pdf>

Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing, c2024. In: *Formlabs* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://formlabs.com/eu/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>

HARTINGER, David, 2019. Lekce 1 - Úvod do počítačové grafiky - Rastr vs. vektor. *Itnetwork.cz* [online]. 23.2.2019 [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/grafika/uvod/uvod-do-pocitacove-grafiky-rastr-vs-vektor>

HERMANN, Stefan, 2021. G-code Basics for 3D Printing. *CNC Kitchen* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.cnckitchen.com/blog/g-code-basics-for-3d-printing>

HOGAN, Madeline, 2022. What is Additive Manufacturing? The Complete Definition. *Nexa3D: Industrial 3D Printers for Additive Manufacturing* [online]. 2022-12-29 [cit. 2025-03-11]. Dostupné z: <https://nexa3d.com/blog/additive-manufacturing/>

HOMOLA, Jan, 2022. Kolik stojí 3D tisk z kovů? In: *3D-tisk.cz* [online]. 27.1.2022 [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/kolik-stoji-3d-tisk-z-kovu/>

HORVATH, John a Rich CAMERON, 2020. *Mastering 3D Printing: A Guide to Modeling, Printing, and Prototyping*. 2. Apress. ISBN 9781484258422.

INSPIRATIONTUTS, c2024. What is Sketchup? | Full Software Review & Use Cases. *Inspirationtuts* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://inspirationtuts.com/what-is-sketchup-software-review-and-use-cases/>

Is 3D Printed Metal Strong?, 29 July 2022. *SPEED3D* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.spee3d.com/is-3d-printed-metal-strong/>

Jak funguje 3D tiskárna, c2022. *PREMO* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.premocz.eu/jak-funguje-3d-tiskarna>

JOHNS, Sebin, 2021. SOLIDWORKS System Requirements. *Conceptia Konnect* [online]. 19.10.2021, 21.04.2022 [cit. 2025-03-08]. Dostupné z: <https://ckonnect.in/solidworks/solidworks-system-requirements/>

KENNEDY, Eileen, 2021. A Brief History of 3D Printing. *Open Press at the University of Galway* [online]. 2021-04-12 [cit. 2024-08-19]. Dostupné z: <https://openpress.universityofgalway.ie/designingthedigitalworld/chapter/brief-history-3d-printing/>

KNONR, August 30 2016. Display Tray for Infill Pattern and Infill Density. *Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects* [online]. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:1742515>

KNOWLEDGE, b. r. UltiMaker Cura system requirements. *UltiMaker* [online]. 29 Sep 2023 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://support.makerbot.com/s/article/1667410778209>

KOPA, Miloš, c2013. VÍCEKRITERIÁLNÍ ROZHODOVÁNÍ. *Miloš Kopa* [online]. [cit. 2024-08-25]. Dostupné z: <https://www.karlin.mff.cuni.cz/~kopa/VRfinal.pdf>

KOTEK, Michal, c2024. Lekce 4 - Vektorová grafika v C# .NET WPF - Úvod. *Itnetwork.cz* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/csharp/wpf/grafika/vektorova-grafika-v-csharp-net-wpf-uvod>

Kouzlo flexibilních materiálů a Shore stupnice, 2023. In: *Sharplayers* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: https://eshop.sharplayers.cz/a/podle-ceho-vybrat-flexibilni-filament?gclid=CjwKCAjwoIqhBhAGEiwArXT7K9z41pmhVBdcPEaw_GdjbbE_n9JTIVytZuDdwDkqkyJSM0K1812BohoCDIMQAvD_BwE

Krokový motor – druhy a příklady aplikací krokových motorů, 2020. In: *Tme* [online]. 9.8.2020 [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/41861/krokovy-motor-druhy-a-priklady-aplikaci-krokovych-motoru/>

LOCKER, Anatol a Shawn FREY, c2024. Best Slicer Software for 3D Printing: 10 Tools, Most are Free. *All3DP* [online]. April 5 2024 [cit. 2024-10-08]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/#simplify3d>

LUTKEVICH, Ben, c1999-2024. Vector graphics. *TechTarget* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/vector-graphics>

MANUFACTUR3D, 14 January 2023. What is Cura Software and who should use it? *MANUFACTUR3D* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: https://manufactur3dmag.com/what-is-cura-software-and-who-should-use-it/#Who_should_use_Cura

MANUFACTUR3D, 20 July 2022. Simplify3D vs. Cura: Which is a better 3D Printing Slicer? *MANUFACTUR3D* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://manufactur3dmag.com/simplify3d-vs-cura-better-3d-printing-slicer/>

MARCEL, c2024. Jak vytvořit model pro 3d tisk? Naše tipy na nejlepší 3d programy zdarma. In: *3dplay* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://3dplay.cz/jak-vytvorit-3d-model-pro-3d-tisk-tipy-na-3d-programy-zdarma/>

MATERIALPRO3D.CZ, 2016. PLA filamenty FDM tisk - Materialpro3d.cz. In: *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. 1.10.2016 [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>

MATERIALPRO3D.CZ, 2018. ABS tiskový materiál a jeho další varianty - Materialpro3d.cz. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. 17.7.2018 [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dokument/qPd8G7ssLXucY1gU?kontrola=1>

MATERIALPRO3D.CZ, c2025. Příslušenství k SLA 3D tisku. *Materiály a doplňky pro 3D tisk - filamenty - Materialpro3d.cz* [online]. [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/prislusenstvi-k-sla-3d-tisku/>

MESSER TECHNOLOGAS S.R.O., 2020. *3D tisk kovových materiálů* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/3d-tisk-kovovych-materialu/>

Microprocessor Quick Reference Guide, b. r. *Simplify Your AI Journey – Intel* [online]. [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.intel.com/pressroom/kits/quickreffam.htm#core2>

MICHL, Vladimír, 2021. Jak vybrat počítač pro AutoCAD, Fusion 360, Revit, Inventor či 3ds Max? *CAD Studio blog* [online]. 5. PROSINCE 2021 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://blog.cadstudio.cz/2021/12/jak-vybrat-pocitac-pro-autocad-fusion.html>

Nákup softwaru Autodesk Fusion with Netfabb, c2024. *Autodesk* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/cz/products/netfabb/overview?term=1-YEAR&plc=F360NFP&tab=subscription>

Original Prusa SL1S SPEED 3D tiskárna, 2013. *PRUSA RESEARCH by Josef Prusa* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-sl1s-speed-3d-tiskarna/#reviews>

PATERSON, Damian, 2 June 2022. Is Blender a CAD software? *ARTISTIC RENDER* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://artisticrender.com/is-blender-a-cad-software/>

Pricing Guide for Solidworks Packages, c2024. *Geoengineer* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.goengineer.com/guide-to-buying-solidworks>

PRIOR, Madeleine, January 11 2024. How to Choose the Best Computer for 3D Modeling and CAD. *3Dnatives your source for 3D printing* [online]. [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/choose-best-computer-3d-modeling-cad-110120245/#!>

Proces 3D tisku, b. r. *3Dees* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.3dees.cz/3d-tisk>

Pružné filamenty pro 3D tisk TPU, TPE, c2024. In: *MATERIALPRO3D* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/flexibilni-material/>

REDAKCE, 2016. Netfabb 7: Příprava modelů na 3D tisk pro náročné uživatele (recenze). *3D-tisk.cz* [online]. 22. 3. 2016 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/netfabb-7-priprava-modelu-na-3d-tisk-pro-narocne-uzivatele-recenze/>

SCHWAAR, Carolyn, 2024. Quick Start Guide to Resin 3D Printing. *All3DP* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/sla-resin-3d-printing-guide/>

Simplify3D Technical Specifications, c2024. *SIMPLIFY3D* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.simplify3d.com/products/simplify3d-software/technical-specifications/>

SIROIS, Sophie, August 2 2024. Understanding CPU Speed: What Makes a Good Processor for Your Computer. *Laptop Computers, Desktops, Printers, Ink & Toner | HP® Official Site* [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-processor-speed>

SketchUp Hardware and Software Requirements, c2022. *SketchUp Help center* [online]. [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: <https://test-aws-help.sketchup.com/en/sketchup/system-requirements>

SketchUp pro Web, c2023. *SketchUp* [online]. [cit. 2024-08-22]. Dostupné z: <https://sketchup.cz/sketchup-web/>

SketchUp [online], c2023. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://sketchup.cz/>

SOLIDWORKS and SW Data Management System Requirements, b. r. *SOLIDWORKS* [online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com/sw/support/systemrequirements.html?kui=thhQr3zfIOEbCcNkctBOXA>

SOLIDWORKS for Students, c2002-2024. *SolidWorks* [online]. [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: <https://www.solidworks.com/product/students>

Stromové podpěry, 2013. In: *PRUSA RESEARCH by Josef Prusa* [online]. 2022 [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/stromove-podpery_1515

SVETLIZKY, David a A KOL., 2021. Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications. *Materials Today* [online]. (49), 271-295 [cit. 2024-08-17]. ISSN 1369-7021. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369702121001139>

ŠLJIVIĆ, Milan a et al, c2019. Comparing the accuracy of 3D slicer software in printed enduse parts. *IOPscience* [online]. s. 9 [cit. 2024-08-13]. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/659/1/012082

ŠUBRT, Tomáš a A KOL., 2011. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380345-2.

TECHNOLOGIE 3D TISKU, c2024. *3D tisk-Online - 3D tisk pro každého* [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: <https://www.3dtisk-online.cz/3d-tisk-brno-technologie-3d-tisku/>

The Anatomy of a 3D Printer: Controller Boards, c2024. *MatterHackers | 3D Printers & Filament | 3D Printing Guides & More* [online]. [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: https://www.matterhackers.com/articles/3d-printer-anatomy-controller-boards?srsltid=AfmBOopM5Fy7_IhTmY0DIEvTyFMq_zJrhWJ1nRuJcfty-FW45Df-QNt

Tisk s resinem, b. r. *3D tiskárny Original Prusa přímo od Josefa Průši* [online]. [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/kategorie/tisk-s-resinem/>

TPU tisková struna, c2024. In: *MATERIALPRO3D* [online]. [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/tpu/>

Typy tiskáren a rozdíly mezi nimi, 2013. In: *PRUSA RESEARCH by Josef Prusa* [online]. 2022 [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/typy-tiskaren-a-rozdily-mezi-nimi_112464

VariCAD – ryze český CAD systém, 2006. <https://www.technickytydenik.cz/> [online]. 1. leden 2006 [cit. 2024-08-26]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/varicad-ryze-cesky-cad-system_18305.html

Vydutit a vyvrtat, 2013. In: *PRUSA RESEARCH* by Josef Prusa [online]. [cit. 2024-08-17]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/vydutit-a-vyvrtat_117285

What are Tinkercad's Browser, Platform, and Hardware requirements?, c2025. *AUTODESK Tinkercad* [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné z: <https://www.tinkercad.com/help/faq/browser-platform-and-hardware-requirements>

What is Stereolithography (SLA) 3D Printing: Applications, Materials and Cost, c2024. *RAISE3D* [online]. [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: <https://www.raise3d.com/academy/sla-3d-printing/>

ZMEŠKAL, Zdeněk, 9. – 10. září 2009. Vícekriteriální hodnocení variant a analýza citlivosti při výběru produktů finančních institucí. In: *VŠB - Technická univerzita Ostrava - VŠB-TUO* [online]. [cit. 2024-08-25]. Dostupné z: https://www.ekf.vsb.cz/share/static/ekf/www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/frpfi-history/cs/2009/prispevky/dokumenty/Zmeskal.Zdenek_1.pdf

ZUZA, Mikolas, 2018. Vše o tryskách s různým průměrem. In: *PRUSA RESEARCH* by Josef Prusa [online]. 7. června 2018 [cit. 2024-08-18]. Dostupné z: https://blog.prusa3d.com/cs/vse-o-tryskach-s-ruzny-m-prumerem_8344/

ZUZA, Mikolas, b. r. Minimum system requirements. *PRUSA RESEARCH* by Josef Prusa [online]. 2022 [cit. 2024-08-28]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/article/minimum-system-requirements_305250

8 Seznam obrázků a tabulek

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 princip FDM 3D tisku (FDM, 2014 - 2024).....	14
Obrázek 2 stupnice tvrdosti filamentů (Pružné filameny pro 3D tisk TPU, TPE, c2024) .	16
Obrázek 3 postup tisku technologií SLA (TECHNOLOGIE 3D TISKU, c2024).....	17
Obrázek 4 princip tisku kovem technologií SLM (Messer Technogas s.r.o., 2020)	18
Obrázek 5 princip tisku kovem technologií DED (Hogan, 2022)	19
Obrázek 6 příklad farmy 3D tiskáren (Goodman, January 30 2020).....	20
Obrázek 7 architektura CAD programů (Subburaj, 2020).....	22
Obrázek 8 vzor a hustota infillu (Knonr, August 30 2016)	27
Obrázek 9 ukázka G-CODE skriptu (Hermann, 2021).....	28
Obrázek 10 tvorba základního tvaru Blender (vlastní zpracování)	43
Obrázek 11 tvorba základního tvaru Fusion360 (vlastní zpracování)	44
Obrázek 12 řezání profilu Blender (vlastní zpracování).....	44
Obrázek 13 základní profil Blender (vlastní zpracování).....	45
Obrázek 14 úprava podstavce Fusion360 (vlastní zpracování)	45
Obrázek 15 proces úpravy Blender (vlastní zpracování).....	46
Obrázek 16 úprava vzhledu Fusion360 (vlastní zpracování).....	47
Obrázek 17 tvorba opory Blender (vlastní zpracování).....	47
Obrázek 18 tvorba opory Blender (vlastní zpracování).....	48
Obrázek 19 zpracování tvaru opory Fusion360 (vlastní zpracování)	48
Obrázek 20 spojení objektů Fusion360 (vlastní zpracování).....	49
Obrázek 21 úprava opěrné hlavy modelu Blender (vlastní zpracování).....	49
Obrázek 22 výsledná podoba opěrné hlavy Blender (vlastní zpracování).....	50
Obrázek 23 úprava opěrné hlavy modelu Fusion360 (vlastní zpracování)	51
Obrázek 24 výsledná podoba opěrné hlavy modelu Fusion360 (vlastní zpracování)	51
Obrázek 25 sculpting Blender (vlastní zpracování).....	52
Obrázek 26 vydutění modelu Fusion360 (vlastní zpracování)	53
Obrázek 27 výsledný model – Blender (vlastní zpracování).....	53
Obrázek 28 výsledný model Fusion360 (vlastní zpracování).....	54
Obrázek 29 rozložení podstavce Fusion360 na tiskové ploše CURA (vlastní zpracování)	54
Obrázek 30 rozložení podstavce na tiskové ploše PrusaSlicer (vlastní zpracování)	55
Obrázek 31 náhled průběhu tisku Cura (vlastní zpracování).....	56

8.2 Seznam tabulek

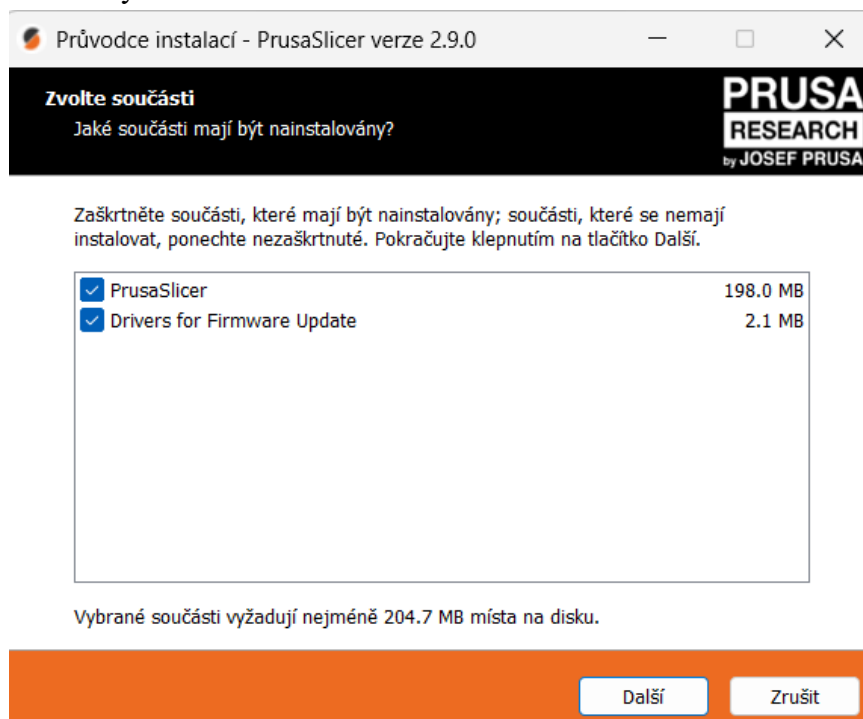
Tabulka 1 minimální systémové požadavky 3D modelování.....	26
Tabulka 2 minimální systémové požadavky Slicer	30
Tabulka 3 seznam zkratk a názvů 3D modelování	36
Tabulka 4 základní matice kritérií 3D modelování	37
Tabulka 5 převod údajů na stejný formát u 3D modelování.....	37
Tabulka 6 stanovení vah kritérií u 3D modelování.....	38
Tabulka 7 zběžný pohled na údaje variant u 3D modelování.....	38
Tabulka 8 určení ideální a bazální varianty u 3D modelování	39
Tabulka 9 standardizovaná kritériální matice u 3D modelování	39
Tabulka 10 seznam zkratk a názvů Slicer	40

Tabulka 11 základní matice kritérií u Slicer	40
Tabulka 12 převod údajů na stejný formát u Slicer	40
Tabulka 13 stanovení vah kritérií u Slicer	40
Tabulka 14 určení ideální a bazální varianty u Slicer	41
Tabulka 15 standardizovaná kritériální matice u Slicer.....	41

9 Přílohy

Příloha A Potřebné místo na disku zachycené během instalace PrusaSlicer

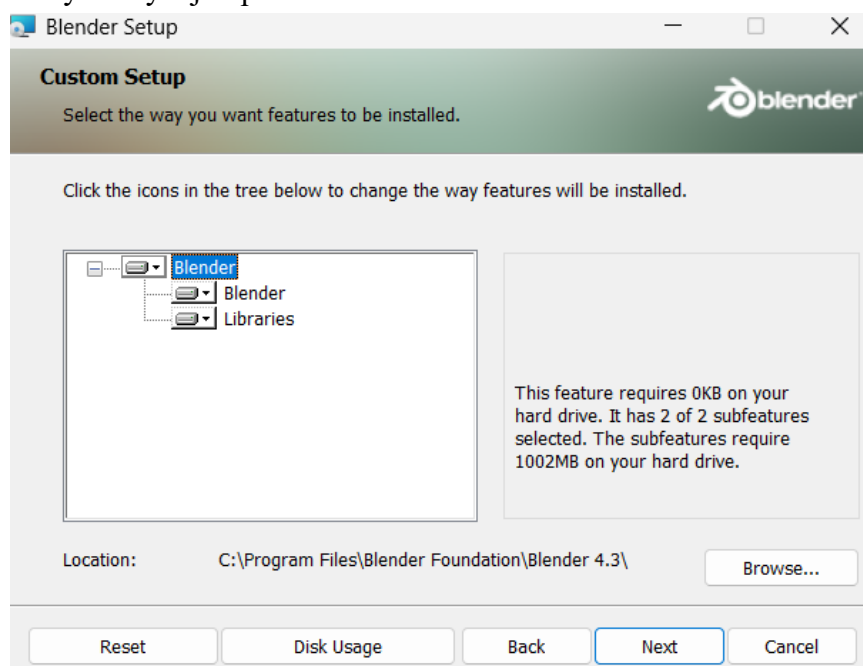
Snímek obrazovky zachycující průvodce instalací PrusaSlicer, kde se jedná o čistou instalaci bez dodatečných knihoven.



Zdroj: vlastní zpracování

Příloha B Potřebné místo na disku zachycené během instalace Blender

Snímek obrazovky zachycující průvodce instalací Blender. Jedná se o čistou instalaci.



Zdroj: vlastní zpracování