

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA VÝPOČETNÍ A DIDAKTICKÉ TECHNIKY

POROVNÁNÍ SLICERŮ PRO 3D TISK
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tomáš Zahradník
Informatika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Mgr. Filip Frank

Plzeň 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 30. června 2022

.....
vlastnoruční podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Mgr. Filipu Frankovi za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	3
ÚVOD	4
1 TEORETICKÁ ČÁST	5
1.1 TECHNOLOGIE 3D TISKU	5
1.1.1 FDM technologie	5
1.1.2 SLA technologie	7
1.2 HISTORIE 3D TISKU	8
1.3 ÚVOD DO 3D SLICERU	10
1.3.1 G-kód	10
1.3.2 Základní funkce a možnosti 3d sliceru	12
1.3.3 Běžně porovnávané vlastnosti sliceru	16
1.4 CURA	17
1.4.1 Popis	17
1.4.2 Funkce	18
1.4.3 Uživatelské prostředí	20
1.5 PRUSASLICER	21
1.5.1 Popis	21
1.5.2 Funkce	21
1.5.3 Uživatelské prostředí	23
1.6 SIMPLIFY3D	25
1.6.1 Popis	25
1.6.2 Funkce	25
1.6.3 Uživatelské prostředí	27
1.7 KISSLICER	28
1.7.1 Popis	28
1.7.2 Funkce	28
1.7.3 Uživatelské prostředí	29
2 PRAKTICKÁ ČÁST	30
2.1 ÚVOD	30
2.2 BENCHY	31
2.2.1 Délka střechy mostu	32
2.2.2 Rozměry komínu	33
2.2.3 Celková délka	33
2.2.4 Celková šířka	34
2.2.5 Celková výška	34
2.2.6 Velikost nákladního boxu	35
2.2.7 Průměr otvoru pro kotvu	35
2.2.8 Velikost předního okna	36
2.2.9 Velikost zadního okna	36
2.2.10 Sklon převisu lodní příďe	37
2.2.11 Štítek na zádi	37
2.3 VLASTNÍ MODEL	38
2.3.1 Základna	39
2.3.2 Duté válce	39
2.3.3 Test Převisů	40
2.3.4 Test Stringingu	40

2.3.5 Test přemostění.....	41
2.4 POROVNÁNÍ SLICERŮ	42
2.4.1 Prusaslicer.....	43
2.4.2 Cura.....	44
2.4.3 Simplify3D.....	45
2.4.4 KISSlicer	46
ZÁVĚR.....	47
RESUMÉ	48
SUMMARY	48
SEZNAM LITERATURY	49
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	51
PŘÍLOHY	I

SEZNAM ZKRATEK

- FDM/FFF Fused deposition modeling / Fused Filament Fabrication – technologie 3D tisku, která funguje na principu postupného nanášení roztaveného materiálu v tenkých vrstvách.
- SLA Stereolitografie – technologie tisku, která funguje na principu vytvrzování fotopolymerních pryskyřic
- PLA Kyselina polyléčná (polylactic acid) - termoplastický polyester
- ABS Akrylonitrilbutadienstyren – amorfni termoplastický průmyslový kopolymer
- PETG Polyethylentereftalátglykol – termoplastický polyester
- CNC Computer Numerical Control – stroje řízené počítačem (číslicové řízení)

Úvod

Tato bakalářská práce s názvem Porovnání slicerů pro 3D tisk se zabývá výzkumem a testováním 3D slicerů, které jsou využity při 3D tisku k přípravě modelů, nařezáním těchto modelů na vrstvy a následným exportem do kódu, který je pro tiskárnu již srozumitelný. Práce je rozdělena na dvě části.

Teoretická část se zaměřuje na uvedení čtenáře do 3D tisku, jsou zde vysvětleny jeho nejpoužívanější technologie, jejich výhody a nevýhody a historie tisku. Teoretická část také popisuje funkci G-kódu, jeho využití a základní příkazy. Jedna z kapitol bude věnována úvodu do slicerů, ve kterém bude vysvětlena jejich základní funkce, problematika správného nastavení a klíčové vlastnosti, kterými slicer disponuje. Slicery budou v teoretické části rozebrány od popisu softwaru, přes jeho charakteristické funkce a vlastnosti, až po uživatelské prostředí.

Praktická část bude věnována tisku testovacích modelů a určení sliceru s nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou. Jedna z kapitol bude věnována definování kritérií pro test slicerů. Bude popsána tvorba a tisk vlastního modelu. Po vytisknutí daných modelů porovnáme testované slicery vzhledem k přesnosti a kvalitě tisku u modelů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 TECHNOLOGIE 3D TISKU

3D tisk je způsob výroby známý jako „aditivní výroba“, protože namísto odstranění materiálu za účelem vytvoření součásti proces přidává materiál v postupných vzorech k vytvoření požadovaného tvaru. Protože se jedná o aditivní výrobu, klíčově se odlišuje od ostatních typů výroby jako jsou obrábění, odlévání, svařování a lisování, což jsou vše velmi složité procesy. Všechny tyto technologie však vyžadují obrábění materiálu z většího bloku ať už k dosažení samotného konečného produktu, nebo k výrobě nástroje pro procesy odlévání nebo lisování, což je vážné omezení v rámci celkového výrobního procesu. Kromě toho mohou mít ostatní procesy výroby až 90 % odpadního materiálu. (1)

Všechny díly vytvořené pomocí 3D tiskárny musí být navrženy pomocí nějakého CAD softwaru nebo vytvořeny použitím 3D scanneru. Tento typ výroby závisí především na kvalitě CAD návrhu, sliceru a jeho nastavení a také na preciznosti a možnostech tiskárny. Výroba poté vychází z trojrozměrného digitálního modelu obvykle položením mnoha po sobě jdoucích tenkých vrstev materiálu. (2)

Existuje několik různých technik 3D tisku objektu. Těm je věnována další kapitola.

1.1.1 FDM TECHNOLOGIE

FDM (Fused deposition modeling) je technologie 3D tisku, která se používá pro modelování, výrobu prototypů ale i finálních produktů. Funguje na principu postupného nanášení roztaveného materiálu na stavební platformu vrstvu po vrstvě, dokud tištěný díl není hotový. Mezi materiály pro FDM patří například polymery jako ABS, PLA a PETG, které stroj protlačuje jako strunu přes vyhřívanou trysku. (3)

Termoplastická struna namotaná na cívce se nejprve vloží do tiskárny. Jakmile tryska dosáhne požadované teploty pro daný materiál, tiskárna za pomoci mechanismu poháněného krokovým motorem podá filament přes vytlačovací hlavu (hotend) a trysku. Celý tento mechanismus pak nazýváme extruder. Hotend lze popsat jako část FDM 3D tiskárny, který nahřívá, taví a protlačuje materiál skrze trysku. Hotend je připojen k tříosému systému, který mu poté umožňuje pohybovat se napříč osami X, Y a Z. Tento systém je poháněn krokovými motory s velmi jemným rozlišením. Tiskárna vytlačuje roztavený materiál v tenkých pramenech a ukládá je vrstvu po vrstvě podél dráhy určené

návrhem vytvořeným v 3D sliceru. Po položení se materiál ochladí a ztuhne. K vytlačovací hlavě lze připojit ventilátory, které v některých případech urychlí chlazení. K vyplnění oblasti je zapotřebí více průchodů, podobně jako při vybarvování části obrázku fixem. Když tiskárna dokončí vrstvu, platforma se zvedne o zadanou hodnotu výšky vrstvy, a stroj začne pracovat na další vrstvě. Tento proces se opakuje, dokud není díl hotový. (3)

Pokud má tiskárna mechanismus podávacích koleček umístěný na rámu tiskárny, a ten se nepohybuje spolu s hotendem, mluvíme o bowdenové tiskové hlavě. Filament je poté dodáván do hotendu nejčastěji pomocí PTFE trubičky. Ve výsledku je tisková hlava lehčí. Pokud je ale mechanismus podávacích koleček umístěný na tiskové hlavě a pohybuje se spolu s hotendem, jedná se o tiskárnu s přímou tiskovou hlavou (tzv. direct). (4)

Výhody

- FDM je cenově dostupnější variantou 3D tisku.
- Disponuje možností recyklování filamentu při nepovedeném výtisku.
- Tato technologie je méně komplexní, nabízí větší tiskový objem, jednodušší obsluhu a manipulaci s tiskovým vláknem.
- FDM je vhodný k vytváření prototypů (cenová dostupnost filamentů a rychlost tisku).

Nevýhody

- Kvůli použití trysky se může vyskytnou ucpání hotendu.
- Je potřeba dočištění výtisku od podpěr k dosáhnutí hladkého povrchu.
- Jsou viditelné jednotlivé vrstvy tisku a může dojít k posunutí jedné vrstvy.
- Nutnost časté kalibrace podložky vůči tiskové hlavě.

1.1.2 SLA TECHNOLOGIE

SLA (Stereolitografie) je proces 3D tisku, který využívá tekuté fotopolymerní pryskyřice (resin), které lze vytvrdit UV světlem. Kapalný polymer je vystaven světlu UV laseru, který kreslí a vytvrzuje příčný řez modelu na desku tiskárny vrstvu po vrstvě. Stavební deska tiskárny je nejprve ponořena ve vaničce s fotopolymerem a za pomoci krokového motoru se v malých krocích vytahuje ven spolu s již vytvrzenými částmi modelu. Proces se opakuje, dokud není vytvořen kompletní model. (5)

Díly tištěné touto metodou mají vysoké rozlišení, ostré detaily a hladkou povrchovou úpravu, ale hlavní přínos stereolitografie spočívá v její přesnosti. (4)

Existují tři hlavní technologie 3D tisku spojené s polymerací: SLA, DLP a LCD. Všechny tři technologie využívají k vytvrzení fotopolymeru zdroj světla (5), ale s následujícími rozdíly:

- Stereolitografie (SLA) využívá UV lasery jako zdroj světla k selektivnímu vytvrzení polymerní pryskyřice vrstvu po vrstvě. Je také nejpoužívanější technologií.
- Digital light processing (DLP) využívá digitální projektor jako zdroj UV světla k vytvrzení vrstvy pryskyřice.
- Displej z tekutých krystalů (LCD) využívá modul LCD displeje k promítání specifických světelných vzorů.

Výhody

- Technologie SLA je schopna produkovat velmi přesné výrobky.
- Objekty vytvořené touto metodou disponují velmi hladkým povrchem bez viditelných přechodů vrstev.
- Jsou dostupné speciální materiály, které mohou mít velmi specifické vlastnosti jako je například keramický povrch, průhlednost, ohebnost, či zdravotní nezávadnost pro odlévání protéz. (5)

Nevýhody

- Výtisky vytvořené technologií SLA jsou většinou křehké a nevhodné pro funkční díly.
- Jejich mechanické vlastnosti se časem mění, pokud dojde k vystavení slunečním UV paprskům.
- Při tisku SLA metodou je nutné používat podpěry a po jejich odstranění jsou viditelné body dotyku a je nutno je začistit pro hladký povrch. (5)

1.2 HISTORIE 3D TISKU

Koncept 3D tisku byl představen již v 70. letech 20. století, ale první experimenty se poprvé objevily na konci 80. let 20. století. V roce 1981 se Hideo Kodama snažil o první pokusy s 3D tiskem a vývojem technologie rychlého prototypování. Byl první, kdo popsal aditivní výrobu 3D tisku za použití ukládání materiálu vrstvu po vrstvě za použití fotocitlivé pryskyřice, kterou polymerizoval UV světlem. Bohužel nepodal požadavek na patent před uplynutím lhůty. I když Hideo Kodama svojí technologii nepatentoval, je považován za prvního vynálezce tohoto výrobního procesu. Kvůli možnosti rychlého prototypování se nazývaly technologie Rapid Prototyping (RP). Procesy byly původně koncipovány jako rychlá a cenově výhodná metoda pro vytváření prototypů pro vývoj produktů v průmyslu. (6)

O tři roky později tři francouzští inženýři jménem Alain Le Méhauté, Olivier de Witte a Jean Claude André zkoumali 3D tisk využívající stereolitografický proces, ale kvůli nedostatku obchodní perspektivy jej opustili. Ve stejné době se o technologii zajímal i Charles Hull a v roce 1986 předložil první patent na stereolitografii (SLA). Založil společnost 3D Systems Corporation a v roce 1988 vydal jejich první komerční SLA tiskárnu SLA-1. (7)

V roce 1988 podal Carl Deckard na University of Texas patent na technologii Selective Laser Sintering (SLS). Namísto UV světla použil laserový paprsek k zapékání vrstev práškových polymerů. FDM technologie byla patentována přibližně ve stejnou dobu Scottem Crumpem. Technologie FDM se stala nejběžnější formou 3D tisku, kterou dnes vidíme. V této době se také staly dostupnějšími slicery a CAD nástroje, které uživatelům umožnily vytvářet 3D modely na svých počítačích. (7)

Poté, v roce 2005, Dr. Adrian Bowyer vytvořil RepRap, komunitní projekt open source 3D tiskárny, která se může replikovat, tedy vytisknout další 3D tiskárnu stejného typu. (8)

V roce 2008 byla vytištěna první protetická noha, čímž se 3D tisk dostal do centra pozornosti veřejnosti a představil tento termín milionům lidí po celém světě. (9)



Obrázek 1 – První vytištěná protetická noha (9)

V roce 2010 začaly ceny 3D tiskáren klesat a byly tak dostupné široké veřejnosti. Spolu se snižováním cen rostla i kvalita a snadnost tisku. Materiály, které tiskárny používají, se také vyvíjely. Nyní jsou široce dostupné různé plasty a vlákna.

1.3 ÚVOD DO 3D SLICERU

3D slicer je počítačový software používaný pro převod 3D modelu objektu na konkrétní pokyny pro tiskárnu. Vytvářejí se slicery, které umí ovládat více 3D tiskáren najednou, ty pak mohou spolupracovat na jedné tiskové úloze. (10) Do sliceru se nejprve importují modely — například ve formátu souboru STL, OBJ nebo 3mf vytvořené v programech pro 3D modelování (např. Fusion 360, TinkerCad, Blender, SolidWorks). „Soubor STL definuje prostorové body a propojuje tyto body do série trojúhelníků, které se dohromady nazývají „sít“ (angl. Mesh). Model si pak lze představit jako plášť s dutým vnitřkem. (11 str. 102)“ Tyto modely tvoří základ pro tisk a obsahují veškeré informace o objektu. Slicer poté horizontálně rozřeže objekt na vrstvy a popíše dráhu, kterou musí tisková hlava pro každou z nich při tisku vykonat. Této dráze říkáme G-kód a je následně exportována do souboru s příponou .gcode. (12)

1.3.1 G-KÓD

G-kód je programovací jazyk pro CNC stroje. G-kód znamená „Geometrický kód“. Tento jazyk používáme k tomu, abychom stroji zadali, co a jakým způsobem má něco dělat nebo jak něco dělat. Příkazy G-kódu nařizují stroji, kam se má pohybovat, jak rychle se má pohybovat a jakou dráhu má následovat. V případě obráběcího stroje jako je soustruh nebo fréza, je nástroj použitý k obrábění řízen těmito příkazy, aby sledoval specifickou dráhu a odřezával materiál, aby získal požadovaný tvar. Podobně je tomu i v případě aditivní výroby nebo 3D tiskáren. Příkazy G-kódu instruuji stroj, aby nanášel materiál vrstvu po vrstvě a vytvořil tak přesný geometrický tvar. (13)

V G-kódu pro 3D tiskárny nalezneme souřadnice kartézské soustavy (**x**, **y**, **z**). Spolu se souřadnicemi obsahuje G-kód informace o teplotě tisku, rychlosti podávání filamentu a rychlosti pohybu tiskové hlavy. (12)

Tato kapitola práce rozebere základní kódy a skripty pro chod 3D tiskárny. Základ G-kódu je rozdělen na dvě části, ty jsou tvořeny G a M-kódy, G-kódy mají na starost ovládání pohybů související s extruderem a podložkou, zatímco M-kódy pracují s jednotlivými součástmi tiskárny (např. ofuk, či signalizační prvky na LCD displeji). (14)

Příkaz **G1** se používá pro signalizaci lineárního pohybu.

G1 Z0.1 – lineární pohyb po ose Z o 0.1 mm (např. při přechodu na další vrstvu tisku)

- **G1 X2 E4** – lineární pohyb po ose X a vytlačení 4 mm filamentu z trysky za pomoci krokového motoru extruderu

Příkaz **G28** je využíván pro navrácení do původní domovské pozice dané osy. Někdy se používá výraz Homing.

- **G28 X** – domovská pozice pouze pro osu X

Příkaz **G29** slouží ke kalibraci tiskové podložky.

Dále je velmi důležité uvést rozdíly mezi jednotlivým vnímáním souřadnicového systému. G-kód využívá absolutního a relativního pozicování. Při **absolutní** pozici jsou souřadnice vnímány podle pozice na podložce. Nejčastěji se pozice se souřadnicemi **X0, Y0, Z0** vyskytuje v levém rohu na přední straně podložky. Při **relativním** pozicování se souřadnice počítají od aktuální pozice X, Y, Z. (14)

- Pro zapnutí absolutního pozicování se používá kód **G90**
- Pro zapnutí relativního pozicování se používá kód **G91**

Jedná se o **modální** kódy, tedy o kódy, které zůstávají v platnosti, dokud nejsou zrušeny nebo nahrazeny jiným kódem. (14)

Základní M kódy skládají z:

- M84 – Příkaz pro vypnutí motorů (nejčastěji po dokončení tisku)
- M104 – Nastavení teploty hotendu
- M140 – Nastavení teploty tiskové podložky
- M107 – Vypnutí ofuku tisku ventilátorem
- M117 – Příkaz pro zobrazení zprávy na LCD displeji pro uživatele

Ukázka G-kódu z PrusaSliceru:

G1 F1200.000

G1 X71.276 Y86.892 E0.02344

G1 X71.532 Y86.194 E0.02330

G1 X71.934 Y85.570 E0.02330

G1 X72.467 Y85.045 E0.02344

G1 X98.842 Y65.872 E1.02238

1.3.2 ZÁKLADNÍ FUNKCE A MOŽNOSTI 3D SLICERU

Pokud je použit vhodný slicer s velkým množstvím nastavení, lze dosáhnout lepších výsledků dokonce i na průměrném stroji. Pokud je slicer naopak nevhodný, či špatně nastavený, pravděpodobně vznikne tisková chyba, nebo se vyskytne jeden z běžných problémů s 3D tiskem jako je například nepřesnost rozměrů, špatná adheze první vrstvy k podložce nebo ucpání trysky. Někdy je také možné mít slicer v rámci ovladače tiskárny, to je ovšem případ především průmyslových strojů. (15)

Pro základní nastavení každého sliceru se využívají nastavení tisku uvedena v následujících podkapitolách.

Výška vrstvy

Tato hodnota udává výšku každé vrstvy v milimetrech. S většími hodnotami lze dosáhnout rychlejších výtisků s horší kvalitou, s nižšími hodnotami vznikají výtisky kvalitnější, ale tisknou se déle. (16)

Výška první vrstvy

Tato hodnota udává výšku první vrstvy v milimetrech. Toto nastavení přepisuje nastavení Výšky vrstvy v tom případě, pokud se jedná o první vrstvu tisku přiléhající k tiskové ploše. Nižší první vrstva zajistí lepší adhezi k tiskové ploše. (16)

Šířka vrstvy

Tato hodnota by měla obvykle korespondovat s šířkou trysky, protože šířka vrstvy tisku je dána touto hodnotou. Tato hodnota se ještě dále dělí na šířku vrstvy při tisku výplně a při tisku strany (perimetru). (16)

Teplota trysky

Funkce nastavuje teplotu trysky v závislosti na použitém filamentu a možnostech topného tělesa zabudovaného v tiskové hlavě. Používá se také **Teplota trysky při první vrstvě** pro zvýšení teploty a zlepšení adheze při prvním kontaktu filamentu s tiskovou podložkou. Maximální hodnota závisí na výkonu topného tělesa v hot-endu. (16)

Podpěry

Jedná se o jednu z nejdůležitějších funkcí sliceru, která generuje objekty (podpěry) pod převisy objektů. Bez podpěr by takové objekty spadly nebo se deformovaly během tisku. Na výběr jsou různé typy podpěr a některé slicery nabízejí i možnost vlastních podpěr. Takové podpěry jsou pak generovány pouze na místech, které určí uživatel. (16)

Teplota podložky

Hodnota se nastavuje, pokud tiskárna disponuje vyhřívanou podložkou. Používá se také **Teplota podložky při první vrstvě** pro zvýšení teploty a zlepšení adheze při prvním kontaktu filamentu s tiskovou podložkou. Maximální hodnota závisí na výkonu topného tělesa v podložce. (16)

Počet svislých stěn (perimetrů) a jejich tloušťka

Funkce nastaví počet svislých stěn pro každou vrstvu tisku. Hodnota tloušťky je pak nadále dělena touto hodnotou. U některých slicerů se svislé stěny nazývají „vnitřní perimetr“ a „vnější perimetr“. Vnější perimetry se většinou tisknou menší rychlostí (20 až 40 mm/s), vnitřní perimetry lze tisknout rychlostí vyšší (40-60 mm/s). Tímto se dosáhne hladkého povrchu výtisku. (12)

Hustota výplně

Hlavním účelem této funkce je poskytnout dostatečnou vnitřní podporu pro výtisk. Většinu modelů lze vytisknout s 10-15% výplní. Pro funkční a více namáhané výtisky je potřeba tuto hodnotu navýšit. S navýšením roste váha výtisku, spotřeba filamentu a s tím spojené náklady na tisk. Proto by se měla **Hustota výplně** zvolit vhodně pro požadavky konkrétního tisku. (16)

Vzor výplně

Slicery dávají na výběr velké množství typů vnitřní výplně tisku, proto je při výběru vzoru výplně třeba vzít v úvahu aspekty jako je rychlost tisku, možnost podpory horních vrstev, vizuálního zpracování tisku a použití flexibilních materiálů (výtisky z TPU nebo TPE).

V průmyslovém 3D tisku se objevuje použití úpravy vnitřní struktury výplně výtisku k označování (tzv. tagování) výrobků. Odpadá tak potřeba využití QR kódu. Využívá se malých dutých otvorů ve výplni a piezo senzorů. Poté lze výrobky rozlišit na základě akustického měření. (17)

Rychlost tisku

Rychlost tisku je hodnota uváděná v milimetrech za sekundu. Je velmi závislá na použité konstrukci tiskárny, ať už jde o celkový rám a pevnost, nebo o použitý hotend. Dělí se na rychlost při tisku a rychlost při přejíždění k tiskovému prostoru, v takovém případě se rychlost většinou až ztrojnásobuje. (16)

Akcelerace

Nastavení přikázaného zrychlení tiskové hlavy při tisku. Měří se v mm/s^2 . Čím vyšší je nastavení, tím rychleji se tisková hlava dostane na svou maximální rychlost, čím nižší je nastavení, tím pomaleji tisková hlava dosáhne své maximální rychlosti. Při 3D tisku často nedosáhne své maximální rychlosti, zejména menších objektů, protože k plnému zrychlení není ujetá dostatečná vzdálenost. (18)

Retrakce

Pokud je tato funkce povolena, slicer vloží do G-kódu část, která tiskárně přikáže vtáhnout roztavený filament zpět do trysky s přesně danou rychlostí a vzdáleností, což způsobí podtlak a zabrání vytékání. Když je čas začít znovu tisknout, vlákno bude zatlačeno zpět do trysky. Předejde se tak nežádoucímu neduhu 3D tisku, který je znám pod pojmem **Stringing**. Ke Stringingu dochází, když na 3D tištěném modelu zůstanou malé provázky filamentu. To je obvykle způsobeno vytékáním plastu z trysky, když se tisková hlava přesouvá na nové místo. (16)

Chlazení výtisku

Slicer za pomoci G-kódu zapne větráky ke chlazení výtisku na tiskárně. Lze nastavit výkon chlazení v procentech a vrstvu při které se bude chlazení výtisku spínat. Často se chlazení používá až od druhé vrstvy tisku. Razantně zlepšuje kvalitu při rychlém tisku, či při tištění mostů (části výtisku, kde nejsou podpěry, nebo předchozí vrstva – tiskárna tiskne „do prázdna“). (16)

Funkce pro zlepšení adheze

Jako další 3D slicer nabízí možnosti pro zlepšení adheze k povrchu tiskového plátu či podložky. Radíme sem funkce jako je obrys (skirt), límec (brim) a raft. Tato funkce je často použita ve spojení s tiskem velkých objektů a objektů z materiálů, které se po tisku smršťují. Ty se pak začnou od podložky odlepovat na krajích výtisku a hrozí odtržení od tiskového plátu či deformace tištěného objektu. (16)

Sekvence tisku

Funkce, která uživateli nabízí výběr mezi možnostmi tisku všech objektů na tiskové ploše slicerů najednou, či jeden po druhém. (16)

1.3.3 BĚŽNĚ POROVNÁVANÉ VLASTNOSTI SLICERU

Mezi běžně porovnávané vlastnosti sliceru patří vlastnosti uvedené níže.

- **Rychlost importu:** Slicer by měl ušetřit čas importováním souborů STL (nebo jakéhokoli jiného souboru 3D tiskárny) bez ohledu na to, jak velký nebo složitý je model. (19)
- **Opravné a varovné funkce:** Pokročilý slicer by měl upozornit, v případě, že soubor obsahuje chyby ve struktuře, které by mohly způsobit chyby v tisku, a v případě potřeby je opravit. To ušetří čas, jelikož lze předejít zbytečným neúspěšným výtiskům a zároveň plýtváním financí za filament. (19)
- **Snadné použití:** Rozhraní by mělo být jednoduché a snadné k pochopení, s vhodnými průvodci pro profesionální nástroje sliceru. (19)
- **Informace o 3D tisku:** Většina pokročilých slicerů během tisku informuje o očekávaném zbývajícím čase a o tom, kolik požadovaného filamentu zbývá (takže lze před tiskem vědět, zda zbývá dostatek materiálu nebo je potřeba vyměnit cívku filamentu za novou). (19)
- **Cena sliceru:** Mnoho nástrojů je zdarma, častokrát i open source, takže pokud je program placený, musí nabízet výrazné výhody oproti svým bezplatným konkurentům. (18)
- **Podpěry:** Jednou z hlavních funkcí sliceru by měly být automaticky generované podpěry, které zajistí, že hotový výtisk bude co nejpřesnější, zejména pokud se ve výtisku objeví přemostění. (18)
- **Možnosti prohlížeče:** Pokud uživatel nevlastní žádný CAD software, pravděpodobně soubor pro tisk vidí poprvé, když jej otevře v sliceru. Software by měl nabízet bezchybné zobrazení, otáčení, úpravy pozic a velikosti. Měl by být schopen přiblížit jakýkoli bod 3D modelu. (18)
- **Čas tisku:** Slicer poskytne odhady trvání tisku a použitého materiálu. Tyto informace by se samozřejmě neměly lišit od tisku samotného. (19)

Protože je na výběr mnoho slicerů, práce se bude blíže věnovat pouze těm nejpoužívanějším slicerům pro FDM technologii tisku (Fused Deposition Modeling), tedy technologii o nanášení roztaveného materiálu v tenké vrstvě. Tyto programy byly vybrány na základě hlasování na tiskařském fóru.

Software	Cílový uživatel	Cena
Cura	začátečník – expert	zdarma
PrusaSlicer	začátečník – pokročilý	zdarma
Simplify3D	pokročilý – expert	3200 Kč
Kiss	začátečník	zdarma

1.4 CURA

1.4.1 POPIS

Cura je software vyvinutý holandskou společností ULTIMAKER určený pro všechny uživatele od úplných nováčků ve světě 3D tisku až po profesionální uživatele. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších slicerů. Cura nabízí přes 200 různých nastavení a přednastavené profily pro mnoho 3D tiskáren. Obsahuje profily pro téměř všechny nejpoužívanější 3D tiskárny. (20)

Tento 3D slicer je open-source a je navržen tak, aby jej bylo možné integrovat CAD 3D nástroji jako jsou SolidWorks a Autodesk Inventor. Software má také českou lokalizaci a nastavení tisku je velmi jednoduché. Největší výhodou je, že na internetu existuje spousta návodů, jak s Curou pracovat. Vzhledem k tomu, že je Cura vyrobena společností Ultimaker, je perfektní pro majitele 3D tiskáren od této společnosti ale také nabízí specializovaná nastavení pro desítky dalších tiskáren. Disponuje i doporučeným nastavením pro začátečníky. (20)

1.4.2 FUNKCE

Marketplace

Cura nabízí skrze funkci Marketplace možnost přidat do programu další funkce a možnosti ve formě pluginů a přednastavení pro další materiály. Tato funkce je přímo dostupná z hlavního panelu aplikace. Uživatelé si mohou vytvořit pluginy vlastní nebo použít již pluginy vytvořené jinými uživateli. Takové pluginy neboli rozšíření mohou obsahovat návody pro expertní nastavení sliceru, automatické slicování, či přednastavení pro specifický filament. (21)

Zobrazení modelu

V softwaru Cura existují tři základní způsoby zobrazení modelu.

Solid: Výchozí zobrazení programu Cura umožní získat představu o tom, jak bude model vypadat při tisku. Ukáže reálně velikost i tvar objektu v pozici s tiskovou platformou.

X-Ray: Tato funkce, která se nachází v části Náhled, je vhodná pro případy, kdy je potřeba rychle zobrazit části vnitřní struktury tisku. Tím je umožněno včas odhalit chybu uvnitř modelu.

Layers: Pokud je potřeba zkontrolovat, zda je vygenerovaná tisková dráha objektu v pořádku, lze přepnout do zobrazení jednotlivých vrstev. Tuto funkci lze nalézt také v části Náhled, tedy až po naslicování modelu. Ve vrstvách daného modelu se dá pohybovat za pomoci šipek. Případně je k dispozici posuvník pro rychlé prohlížení všech vrstev, které tvoří tisk. Tato funkce je užitečná pro přesnou volbu vrstev, ve kterých chceme změnit jejich nastavení v G-kódu, jako je například navýšení rychlosti ventilátoru, výšky vrstvy nebo průtoku.

Filtrování funkcí na základě pokročilosti uživatele

Cura v režimu Custom (vlastní nastavení) umožňuje uživateli vybrat si z více různých možností nastavení. Kromě základních parametrů jako je přidání podpěr nebo množství potřebné výplně, lze snadno upravit další možnosti. Nabízí vyfiltrování jednotlivých nastavení 3D tisku na základě zkušenosti uživatele:

- **Basic:** Základní nastavení pro začínajícího uživatele bez předchozích zkušeností s nastavováním sliceru pro 3D tisk objektu. Objeví se pouze nutné funkce a možnosti nastavení.
- **Advanced:** Určeno pro pokročilé uživatele Cury. Nabízí všechna potřebná nastavení pro úspěšný tisk.
- **Expert:** Otevře celou řadu dalších nastavení a zároveň záložku s experimentálním nastavením sliceru.
- **All:** Otevře všechny dostupné možnosti nastavení programu.

Úprava G-kódu

Cura nabízí skrze post processing úpravy již vygenerovaného g-kódu. (16) Touto funkcí lze do g-kódu vložit možnost výměny filamentu na zadané vrstvě, zobrazení vlastního textu a formátování času tiskového pokroku nebo pauzu v tisku v určité výšce, či v dané vrstvě.

Automatické aktualizace a zálohy

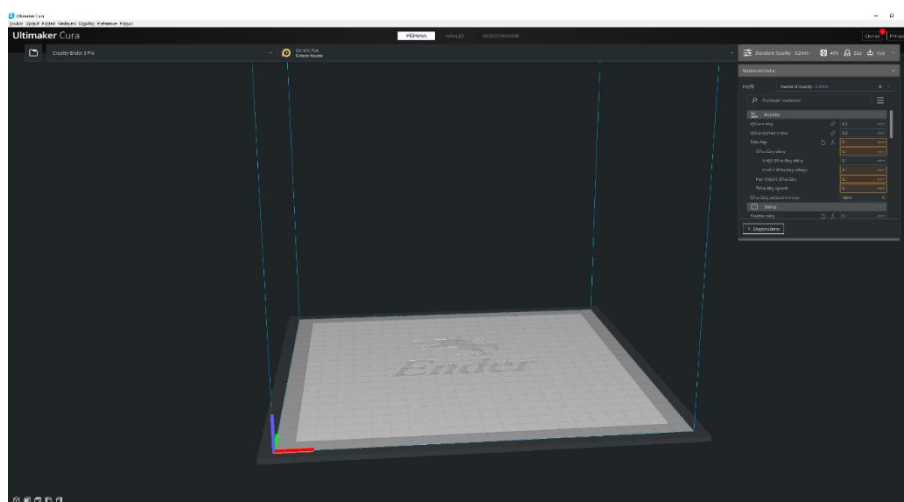
Software umí automaticky hledat aktualizace nabízené jeho výrobcem Ultimaker, poté vytvořit zálohu nastavení profilů a sám aktualizaci provést. (16)

Zobrazení fází procesu

Software umožňuje rozfázování procesu za pomoci rozdělení do tří sekcí:

- **Prepare:** V první sekci Příprava lze nainportovat a rozmístit objekty po tiskové ploše, zvolit tiskárnu k tisku, vytvořit podpěry a jiné pomocné objekty, zvolit filament, výplň a průměr trysky a v neposlední řadě zvolit nastavení pro tisk.
- **Preview:** Po stisknutí tlačítka Slice se lze dostat do sekce Náhled. Zde jsou barevně odlišeny jednotlivé části tisku modelu. Zároveň zde najdeme jednotlivé typy zobrazení zmíněné výše.
- **Monitor:** Tato sekce programu umožňuje výtisk sledovat v reálném čase.

1.4.3 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ



Obrázek 2 Cura – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)

Při prvním načtení Cury se otevře okno s výběrem používaných tiskáren. Je zde možnost přidat tiskárnu připojenou sítí nebo tiskárnu připojenou fyzicky. V základu je rozbaleno okno pro výběr tiskárny Ultimaker, avšak ostatní profily tiskáren nalezneme pod záložkou Custom.

Cura má jednoduché rozhraní, které umožňuje hned od začátku volit mezi dvěma nastaveními: doporučeným režimem (Recommended) a uživatelským režimem (Custom). Doporučené nastavení je vhodné pro dosažení nejlepšího výsledku několika kliknutími, a není tak potřeba provádět ruční změny nastavení. Software je schopen zvolit optimální orientaci dílu pro úsporu času pro uživatele ale také rychlost, tloušťku vrstvy tisku a generování optimalizovaných podpor pro minimalizaci následného zpracování spolu

se začištěním modelu. Uživatelé mohou získat představu o tom, jak Cura naslicuje model pomocí režimu náhledu. Před tiskem je také možné zvolit profil použitého filamentu, takže se parametry automaticky odpovídajícím způsobem změní podle volby materiálu.

1.5 PRUSASLICER

1.5.1 POPIS

Jedná se o slicer s českou lokalizací vytvořený přímo výrobcem tiskáren Josefem Průšou. Má v sobě vytvořené tiskové profily pro své tiskárny a materiály pro 3D tisk. Disponuje i profily jiných výrobců a je zde také možnost vytvořit si profil vlastní 3D tiskárny, pokud by se nenacházela na seznamu. Největší výhodou tohoto sliceru je možnost využití tiskových profilů, které jsou zde velmi dobře nastavené a kalibrované. Profily v sobě mají nastavené parametry přímo testované na tiskárnách od firmy Prusa Research. (20)

Samostatný program původně vyvíjený jako Slic3r Prusa edition je zcela open-source. Je velice snadný k použití a nastavení je možno přizpůsobit individuálním potřebám uživatele. Disponuje širokou komunitou uživatelů a v posledních verzích přinesl podporu pro SLA tiskárny. Další výhodou tohoto softwaru je možnost opravy importovaných modelů přes službu Netfabb přímo v programu. (20)

1.5.2 FUNKCE

Režimy

PrusaSlicer má tři různé režimy, ze kterých si lze vybrat v závislosti na úrovni zkušeností uživatele s 3D tiskem. Nastavení jsou poté barevně odlišena v závislosti na právě zvoleném režimu.

- **Jednoduchý režim**, označený zelenou barvou poskytuje základní ovládací prvky, které pomohou začít s tiskem.
- **Pokročilý režim**, zbarvený žlutě, umožňuje upravit některá složitější nastavení.
- **Expertní režim**, zbarvený červeně, odemyká všechna nastavení a je určen pro nejzkušenější uživatele.

Nastavení profilů

Nastavení je rozděleno na Nastavení tisku, Nastavení vlákna, Nastavení tiskárny, z nichž každá skupina má svojí vlastní kartu, profil a shromažďuje specifická nastavení do sekcí (např. „Podpůrný materiál“, „Rychlost“ atd.). Bez ohledu na to, jaký režim je zvolen, všechna nastavení zůstanou podle režimu barevně označena, aby byla patrná jejich složitost. V nastavení je možné zobrazit náhled s vysvětlením funkcí, takže obvykle není potřeba prohledávat návody. (4)

Jakmile je změněno výchozí nastavení, profil se změní na „upravený“ a je zde možnost uložit a znovu použít stejná nastavení. K výchozímu nastavení se lze kdykoli vrátit. Celý projekt s nastavením lze následně uložit jako 3MF soubor.

Modifikační objekty

Prusa Slicer má také řadu pokročilých funkcí nad rámec standardního nastavení slicing, které v mnohých slicerech nenajdeme. Jedním z nástrojů Prusa sliceru je schopnost používat modifikační objekty. Jedná se o tvary vytvořené v aplikaci, které se netisknou, ale ovlivňují nastavení tištěných dílů. Tyto modifikátory umožňují funkce jako blokování nebo vynucování podpor, úpravu výšky vrstev, změny vzorů nebo hustoty výplně a nastavení vnitřních a vnějších perimetrů. (4)

Proměnné výšky vrstvy

Proměnné výšky vrstvy mohou zkrátit dobu tisku, aniž by došlo ke snížení kvality tisku. Před implementací této funkce bylo možné vrstvy upravit pouze ručně, ale nyní si lze vybrat automatické možnosti, které analyzují model a použijí to nejlepší nastavení výšky vrstvy. Nástroj v podstatě funguje tak, že mění výšku vrstvy na základě tvaru modelu. (22)

Další funkcí související s vrstvou je adaptivní kompenzace takzvané sloní nohy. Sloní noha je boule, která se někdy vytvoří v první vrstvě. Když je tato funkce aktivována, lze upravit první vrstvu a její následné zmenšení, aby kompenzovala jakýkoli efekt sloní nohy.

Pauzy v G-KÓDU

Vložení pauzy nebo vlastního G-kódu v určité výšce je velmi užitečná funkce. Pozastavení na konkrétní vrstvě umožňuje uživateli například vložit magnet do otvoru nebo vyměnit barvu filamentu. S tím se váže funkce ColorPrint, která původně poskytovala možnost, jak pozastavit tisk, aby bylo možné ručně vyměnit vlákna v naprogramované výšce vrstvy a

zobrazit náhledy v editoru. Přestože je nyní k dispozici MMU2S (Multi-Materiální Upgrade), ColorPrint je stále velmi oblíbeným a užitečným nástrojem pro tiskárny s jedním extruderem bez MMU. Nejnovější verze PrusaSlicer umožňuje tiskárnám s MMU také přístup k ColorPrintu pro vylepšené funkce. (4)

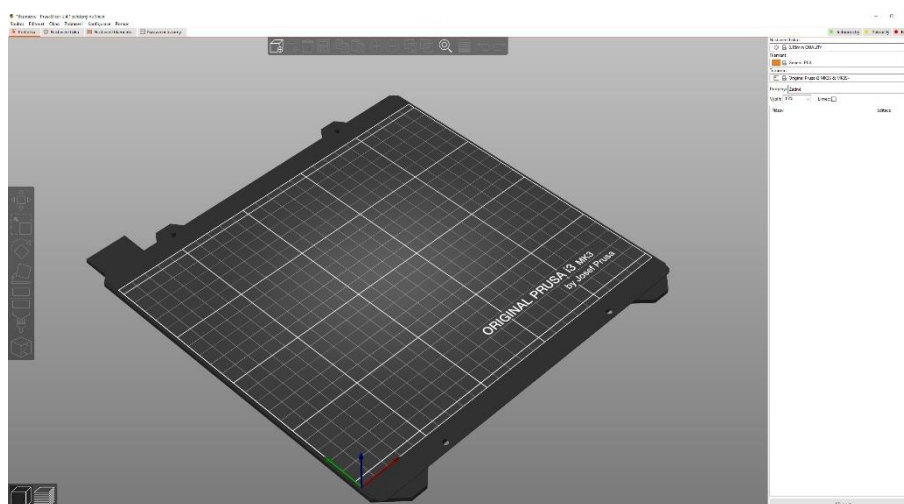
Přizpůsobitelné podpěry

Tato funkce, která byla před lety k nalezení pouze u Simplify3D, byla začleněna do nejnovější verze sliceru Prusa. Pomocí jednoduchého menu lze přidat podpěry „nakreslením“ na místa, které jsou uživatelem vybrány. To je užitečné zejména u modelů s obzvláště složitou geometrií, kde automatické podpory nejsou dostatečně přesné. (4)

G-code viewer

Tato aplikace, kterou lze použít k rychlému náhledu G-kódů z většiny známých slicerů, je instalována spolu s PrusaSlicerem. Její chování je shodné s náhledem v PrusaSlicer (je využit stejný kód), lze však načíst externí soubor s G-kódem. Podporuje import G-kódu z slicerů jako jsou PrusaSlicer, Slic3r and Slic3rPE, Cura, ideaMaker, Simplify3D, Craftware a KISSlicer. (23)

1.5.3 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ



Obrázek 3 - Prusaslicer – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)

Po spuštění PrusaSliceru program nabídne Průvodce nastavením pro výběr základního nastavení pro 3D tiskárnu spolu s výběrem zvolené trysky, typu a průměru filamentu. Není tak potřeba manuálního nastavení XYZ velikosti tiskové plochy tiskárny v milimetrech (v případě Ender 3 Pro 220 mm x 220 mm x 250 mm) a nastavení firmwaru tiskárny pro komunikaci přes G-kód. Některé příkazy G-kódu, včetně řízení teplot hotendy, nejsou

univerzální. Proto je nutné zadat typ firmwaru, který tiskárna používá pro dosažení kompatibilního výstupu. Nejznámějšími firmwary jsou RepRap, Marlin, Repetier, Klipper a Mach3 využívaný hlavně pro CNC.

Nabízí přednastavené profily nejen pro své tiskárny ale i pro tiskárny od osmi dalších výrobců. Program je schopný slicovat 3D modely i pro SLA tiskárny (UV resinové tiskárny). Na konci průvodce lze nalézt již zmiňovaný výběr režimu pro nováčka, pokročilého a experta. Tato funkce skryje nebo naopak zobrazí některá pokročilá nastavení pro zjednodušení a zpřehlednění záložek nastavení tisku, filamentu a tiskárny.

Po načtení základního nastavení (dokončení konfiguračního asistenta) se PrusaSlicer otevře v zobrazení 3D editoru. Zde se odehrává většina přípravných kroků pro slicing modelu. Po importu modelu se na levé straně obrazovky zobrazí přístup k nástrojům pro pohyb, otáčení, měřítko a řezy. V největším hlavním okně se nachází 3D vyobrazení tištěného objektu na tiskové podložce. Pozice objektu, velikost objektu a velikost podložky odpovídá skutečnosti.

Na horní liště je řada nástrojů, které umožňují duplikovat a rozdělovat objekty spolu s dalšími operacemi jako je například proměnná výška vrstvy. Na pravé straně se nachází hlavní výběr kvality tisku (popsaný výškou vrstvy), nastavení filamentu a modelu tiskárny. Lze změnit nastavení podpěr, nastavení výplně a okraje. Okno nacházející se pod zmiňovaným nastavením zobrazuje importované objekty spolu s případnými modifikátory.

V levém dolním rohu je možné kdykoli přepnout mezi jednoduchým 3D vyobrazením modelu a náhledu již naslicovaného modelu připraveného pro tisk. Pokud je tak učiněno, model se automaticky naslicuje a zobrazí se náhled hotového tisku. Zde lze nastavit, co se bude zobrazovat, pro získání vizuální reprezentace typů tiskových drah, jako jsou flow, retrakce, náhledy vícebarevného tisku a další. V pravém dolním rohu se nachází velmi užitečné okno, které ukazuje odhadované náklady, dobu tisku a množství použitého filamentu.

1.6 SIMPLIFY3D

1.6.1 POPIS

Simplify3D je jedním z nejrychlejších slicerů. Model, který ostatní softwary slicují minuty, zvládne Simplify3D v rámci pár vteřin. Podporuje většinu dostupných 3D tiskáren, lze si stáhnout a importovat více než 100 profilů 3D tiskáren. Nabízí také pokročilou tvorbu podpěr, nástroje pro tiskárny s více extrudery a disponuje širokou nabídkou pluginů. (20) Jedná se o profesionální slicer, ve kterém lze v podstatě nastavit a přizpůsobit úplně vše. Velkou nevýhodou tohoto programu je, že je placený. Aplikaci si uživatel se svou tiskárnou nemůže předem bezplatně vyzkoušet. Klasická demo verze neexistuje a plná verze stojí kolem 3500 Kč. (24)

1.6.2 FUNKCE

Nastavení pro každý objekt na ploše

Někdy je potřeba tisknout na tiskové ploše více objektů najednou. Pokud by pro každý díl na tiskové ploše bylo potřeba odlišné nastavení tisku, Simplify3D umožňuje přizpůsobit nastavení každého objektu zvlášť, bez potřeby tisknout díly samostatně, každý v jiném tisku. Od standardních nastavení jako je výška vrstvy a výplň, až po jakékoli složitější tiskové možnosti, lze každou část vytisknout jedinečně. Existuje možnost výběru, zda mají být díly vytištěny všechny najednou, vrstvu po vrstvě, nebo jednu po druhé. Tato funkce je vhodná zejména pro testování řady možností tisku a pro zjištění, co je optimálním nastavením pro novou tiskárnu nebo materiál. (25)

Analýza a oprava modelů

Pokud naimportujeme rozbitý 3D objekt, software dokáže rozpoznat, zda je mesh síť objektu nespojitá. Zatímco většina slicerů tuto možnost nenabízí, nebo importuje a používá na opravu software cizí společnosti, Simplify3D se dokáže postarat o jakékoli procesy, které budou pravděpodobně potřeba před tiskem, přidáním vlastních nástrojů pro analýzu a opravu mesh sítě a normál objektu. (25)

Dynamický tok

Při tisku věnuje Simplify3D pozornost zužujícím se a ostrým hranám a dynamicky upraví tok materiálu. Program upraví nastavení extrudování takovým způsobem, aby poskytl lepší kvalitu na místech, kde by dodržení jedné standardní šířky vrstvy způsobilo problémy s extrudováním. Software také obsahuje variabilní nastavení tisku pro objekt, ve kterém lze zadat určité nastavení pouze na vybraných vrstvách. (25)

Zákaznická podpora tisku

Simplify3D rozšiřuje program nad rámec pouhého používání softwaru a nabízí velmi propracovanou zákaznickou podporu. Simplify3D se zaměřuje na to, aby uživatelům pomohl dosáhnout nejlepších výtisků, nejen dodáním softwaru samotného, ale i možnosti využití podpory. (25)

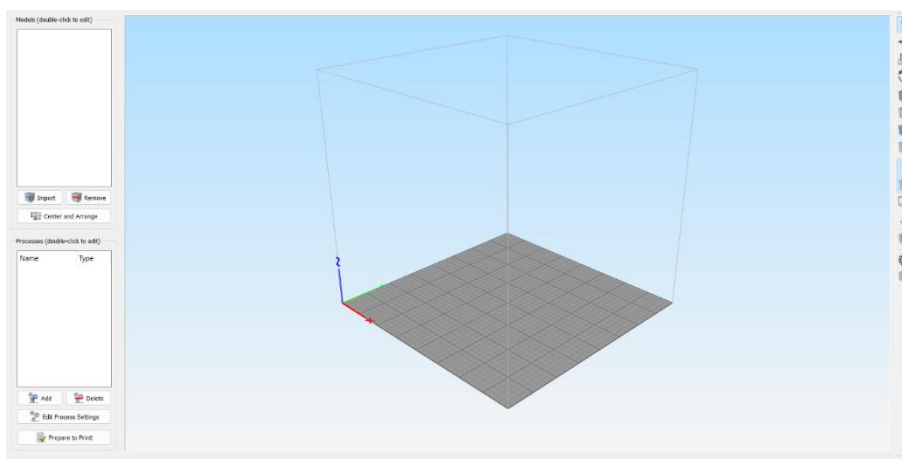
Editor G-kódu

Pokud uživatel plně rozumí G-kódu a potřebuje upravit již naslicovaný model v podobě kódu, Simplify3D nabízí svůj vlastní vestavěný skriptovací engine. Lze vkládat specifické příkazy na dané řádky G-kódu. Některé open-source slicery mají zdarma tuto funkci také, avšak Simplify3D má možnost, která přesahuje pouze jednoduché editory textu. Pokud má uživatel například nainstalovaný Notepad++, lze si ze Simplify3D exportovat soubor XML a zobrazit si zvýraznění syntaxe kódu za pomoci barev. (25)

Tvorba modelu z obrázku

Software disponuje funkcí, která dokáže převést 2D obrázek do STL pro použití pro tisk. Po zadání parametrů jako je například práh kontrastu, invertování obrázku a základní výšky platformy, je Simplify3D schopen rychle vygenerovat 3D objekt na základě těchto parametrů.

1.6.3 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ



Obrázek 4 – Simplify3D – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)

Design aplikace je jednoduchý, pouze s několika panely nástrojů na hlavní obrazovce, což přispívá uživatelské zkušenosti. Základní funkce ale i pokročilá nastavení tisku jsou logicky rozděleny do záložek, které urychlují pracovní postup uživatele.

Po definování nastavení tisku poskytuje režim náhledu simulaci 3D tisku. Díky tomu může uživatel zkontrolovat každý krok procesu, zkontrolovat chyby a potenciální vylepšení ještě před odesláním do tiskárny, či uložením na flash disk. Simplify3D má speciální rozhraní, které dokáže ovládat 3D tiskárnu přes USB kabel a živě sledovat tisk.

Na levé straně od velkého náhledového okna se nachází výběr naimportovaných modelů k tisku spolu s výběrem procesů. Celkové nastavení tisku se provádí právě přes zmíněné procesy, ke kterým je přístup po kliknutí na úpravu procesu a následně se otevře hlavní okno úpravy parametrů. Zde se nachází již nadefinované profily pro filameny, kvality tisku a výplně. Dále se okno rozděluje na jednotlivé záložky Extruder, Vrstva, Teploty, Výplň, Podpěry, G-kód, Rychlost, Chlazení a Skripty.

1.7 KISSLICER

1.7.1 POPIS

Zkratka KISS v názvu znamená Keep it simple slicer (v překladu ponechme to jednoduché). I přes jeho název se jedná o 3D slicer s integrací nových a složitějších experimentálních funkcí. V průběhu let komunita sliceru experimentovala s nastavením, materiály a 3D tiskárnami – všechny tyto znalosti se dostaly do KISSliceru. Jako jeden z prvních slicerů nabízel funkce více extruderů, brim, detekce mostu, slicing z příkazové řádky, variabilní výšky vrstev, sekvenční tisk (po jednom objektu), dělení objektů na části a další. (20)

Uživatelům, kteří tisknou pouze s jedním extruderem, je nabízena bezplatná verze, profi verze umožňuje tisk s více hlavami. Cena Pro verze se pohybuje okolo 820 korun. G-kód lze vygenerovat s minimálním množstvím nastavení. Pro pokročilá nastavení je nutné si zakoupit profesionální verzi. Tato verze také umožňuje kombinovat více souborů STL do jednoho tisku. (20)

1.7.2 FUNKCE

Funkce Preload

Funkce PRELOAD numericky modeluje, jak bude extruder vytlačovat filament, přizpůsobuje rychlost hlavy tak, aby přesně odpovídala objemu nanášeného plastu, přičemž dynamicky upravuje tlak filamentu v trysce během tisku. To minimalizuje stringování a vzduchové bubliny. Tato funkce je také velice vhodná pro tisk měkkých materiálů (např. TPU). Správně nastavené hodnoty PreloadVE minimalizují potřebnou délku retrakcí a znovuzavedení struny pro odstranění stringování. Umožňují také mnohem přesnější a rychlejší proces retrakce filamentu, a tak plast skrz trysku nebude příliš moc protlačován. (26)

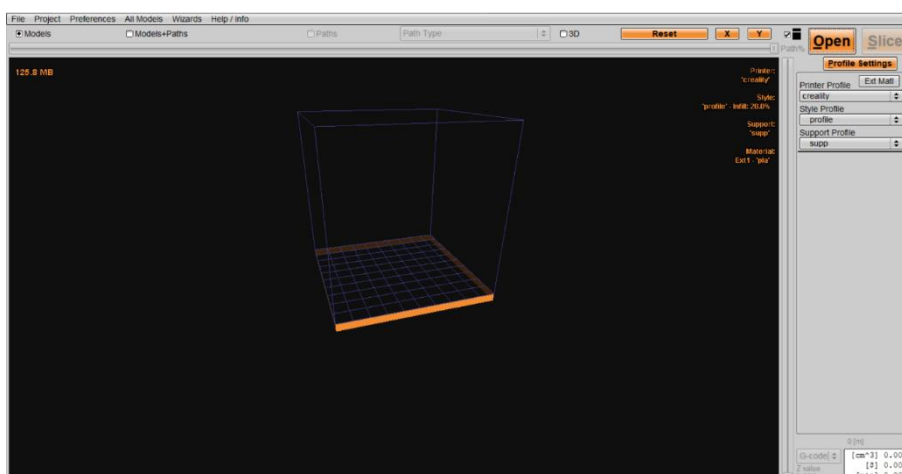
Zamknutí slicovaného modelu

Verze PRO nabízí naslicování modelu pomocí jednoho profilu, uzamčení tohoto již naslicovaného modelu, výběry nového profilu a slicování dalších modelů. Tato funkce umožní konfigurovat různé styly pro různé části v jednom tisku. (26)

Soubory projektu

Software dokáže zpětně načíst nastavení z dříve uloženého G-kódu. Dále umožňuje rychlé načtení sady referenčních profilů. Originální profily se nezmění, pokud v nich jsou provedeny změny uživatelem, ale vytvoří se jejich kopie, do které se změny aplikují. Vytváří tak způsob, kterým lze ladit profily pro optimalizaci individuálního tisku bez ztráty důležitých nastavení. (26)

1.7.3 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ



Obrázek 5 - KISSlicer Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)

Po prvním spuštění softwaru se automaticky spustí čtyři průvodci nastavení programu. Prvním z nich je průvodce nastavením tiskárny, ve kterém definujeme počet extruderů, průměr trysky, firmware a rozměry tiskové podložky. Druhý průvodce je pro nastavení materiálu, zadáváme typ filamentu, průměr filamentu a teplotu trysky a podložky. Další možností je nastavení stylu, který se bude zobrazovat jako vybraný pro tisk, a definujeme zde pouze výplň tisku a název stylu. Posledním je průvodce pro podpěry, ve kterém se podpěry aktivují a nastavují se jejich parametry. Tito průvodci pak se zadaným nastavením vytvoří jednotlivé profily.

V menu na pravé straně tyto profily zvolíme, importujeme objekty a spouštíme slicing. Na horní liště se nachází ovládání pohledu v náhledu objektu. Po stisku na tlačítko Slice software model naslicuje za použití vytvořených profilů a barevně rozliší jednotlivé typy tisku (například první vrstva, vnější stěna, výplň...).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 ÚVOD

Pro tisk modelů byla použita bowdenová tiskárna *Ender 3 Pro* od výrobce *Creality*. i když je tato tiskárna dobrým základem pro kvalitní 3D tisk, byla upravena pro dosažení lepších výsledků. Úpravy se týkaly nahrazení původní 8bitové desky za 32bitovou desku *SKR Mini E3 v2* od firmy *BigTreeTech*, dále je model vybaven plně metalickým extruderem a hot-endem od výrobce *MicroSwiss*, novou tryskou o průměru 0,4mm, tiskovou plochou ze skla a autoleveling sondou *BL-Touch*. Jako firmware tiskárny byla nahrána poslední dostupná aktualizace *Marlin*. Tiskárna byla po celou dobu tisku uvnitř uzavřeného boxu k udržení konstantní teploty vzduchu okolo tisku a tisku samotného.

Pro tisk modelů byl zvolen materiál *Prusament PLA Black*. Filament byl před tiskem přes noc vysušen pro odstranění možnosti vzniku bublin uvnitř tisku. Tímto je dosaženo co nejpřesnějšího měření.

Základní nastavení slicerů bylo nastaveno pro všechny modely stejné a to:

- Výška vrstvy - 0.2 mm
- Teplota trysky - 210 stupňů Celsia – optimální výsledky s použitým filamentem
- Teplota podložky (bedu) - 60 stupňů Celsia – optimální výsledky s použitým filamentem

Nastavení retrakce musí být změněno, kvůli použití celokovového extruderu s hot-endem

- Vzdálenost retrakce – 0,8mm
- Rychlost retrakce – 35 mm/s

Ostatní nastavení slicerů byla ponechána na importovaném profilu 3D tiskárny nebo průvodcích pro nastavení tisku daného sliceru.

2.2 BENCHY



Obrázek 6 - Model Benchy – zdroj: vlastní

Jako první testovací model byl použit model Benchy od *@Creative Tools*. Jedná se o 3D model speciálně navržený pro testování přesnosti a schopností 3D slicerů a 3D tiskáren. Model byl vydán (pouze STL) v dubnu 2015 spolu s vícedílným vícebarevným modelem vydaným v červenci 2015. i když je model zdarma ke stažení, autoři neuvolnili zdrojový kód a neumožňují úpravy. K datu 27.6.2022 je Benchy 3D model s největším počtem 3D tisků na serveru Thingiverse. Samotný model je konstrukce malého remorkéru a za správných nastavení tisku a podmínek skutečně plave na vodě. (27)

Benchy se často používá k testování, protože model obsahuje řadu obtížně tisknutelných prvků jako jsou symetrie, převislé zakřivené plochy, hladké povrchy, rovinné vodorovné plochy, velké, malé a šikmé otvory, povrchy s nízkým sklonem, detaily první vrstvy a drobné detaily povrchu. Model je navržen pro měření ze specifických bodů, aby byl zajištěn přesný tisk včetně rozměrové přesnosti, deformace, odchylek a tolerancí. Benchy má relativně krátkou dobu tisku kolem 1 hodiny. (27)

Multimateriální Benchy je vytvořena pro 3D tiskárny schopné tisknout ve více materiálech nebo barvách, model se skládá ze 17 jednotlivých souborů, z nichž každý může mít různá nastavení. Benchy je zdarma ke stažení a je k dispozici pod licencí „Attribution-NoDerivatives“ Creative Commons 4.0 License, což znamená, že může být volně sdílena. (28)

Je to tedy nástroj vhodný pro porovnávání výsledků mezi několika různými 3D tiskárnami a slicery za předpokladu, že jsou použita podobná nastavení tisku. Benchy bude vytištěna za pomoci G-kódu z jednotlivých slicerů, poté bude zkontrolován výsledek každého sliceru na rozměrovou přesnost, tolerance, deformace a odchylky související se změnami parametrů tisku.

Práce bude porovnávat výsledky slicerů s originálními rozměry 3DBenchy. K zjištění rozměrové přesnosti modelu při použití zvolených slicerů jsou využity prvky, na kterých se model Benchy běžně testuje. Mezi ně patří délka střechy mostu, rozměry komínu, celková délka modelu, celková šířka modelu, celková výška modelu, velikost nákladního boxu, průměr otvoru pro kotvu, velikost předního okna, velikost zadního okna, sklon převisu lodní příďe a rozměry drobného štítku na zádi modelu. Podrobnosti jednotlivých kritérií a výsledky slicerů jsou znázorněné v další kapitole. Na měření bude použito posuvné měřítko a úhломěr.

2.2.1 DÉLKA STŘECHY MOSTU

Přední a zadní plocha střechy jsou rovnoběžné ve vzdálenosti 23,00 mm.

- PrusaSlicer: 23,05 mm
- Cura: 23,00 mm
- Simplify3D: 23,11 mm
- KISSlicer: 23,20 mm



Obrázek 7 - Benchy – Délka střechy – zdroj: vlastní

2.2.2 ROZMĚRY KOMÍNU

Válcový otvor a vnější horní část komína mají průměr 3,00 a 7,00 mm. Hloubka slepého otvoru měří 11,00 mm. (válcový otvor x vnější část; hloubka)

- PrusaSlicer: 2,60 mm x 6,93 mm; 11,21 mm
- Cura: 2,80 mm x 6,95 mm; 11,13 mm
- Simplify3D: 2,76 mm x 7,08 mm; 11,16 mm
- KISSlicer: 2,66 mm x 6,93 mm; 11,52 mm



Obrázek 8 - Benchy – Komín – zdroj: vlastní

2.2.3 CELKOVÁ DÉLKA

Celková délka Benchy od přídě po zád' měří 60,00 mm.

- PrusaSlicer: 60,05 mm
- Cura: 59,95 mm
- Simplify3D: 60,14 mm
- KISSlicer: 59,94 mm



Obrázek 9 - Benchy – Celková délka – zdroj: vlastní

2.2.4 CELKOVÁ ŠÍŘKA

Celková šířka Benchy od levoboku po pravobok měří 31,00 mm.

- PrusaSlicer: 31,07 mm
- Cura: 31,05 mm
- Simplify3D: 31,10 mm
- KISSlicer: 31,10 mm

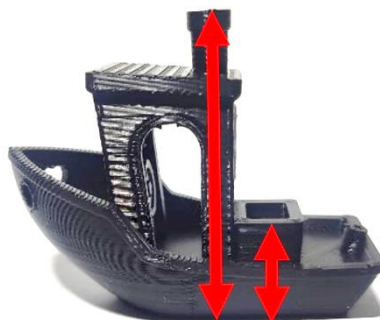


Obrázek 10 - Benchy – Celková šířka – zdroj: vlastní

2.2.5 CELKOVÁ VÝŠKA

Celková výška lodě odshora dolů je 48,00 mm. Vzdálenost horní části nákladního boxu od spodku lodi měří 15,50 mm nad spodní plochou. (výška – vzdálenost boxu od spodku)

- PrusaSlicer: 48,15 mm; 15,67 mm
- Cura: 48,18 mm; 15,57 mm
- Simplify3D: 48,23 mm; 15,80 mm
- KISSlicer: 48,38 mm; 15,74mm



Obrázek 11 - Benchy – Celková výška – zdroj: vlastní

2.2.6 VELIKOST NÁKLADNÍHO BOXU

Nákladní box na palubě Benchy měří 12,00 mm x 10,81 mm na vnější straně a 8,00 mm x 7,00 mm na vnitřní straně. Hloubka je 9,00 mm.

- PrusaSlicer: 11,96 mm x 10,58 mm; 7,82 mm x 6,84 mm; 9,12 mm
- Cura: 11,98 mm x 10,80 mm; 7,86 mm x 6,85 mm; 9,11 mm
- Simplify3D: 12,00 mm x 10,68 mm; 7,90 mm x 6,99 mm; 9,15 mm
- KISSlicer: 11,80 mm x 10,69 mm; 7,90 mm x 7,11 mm; 9,18 mm

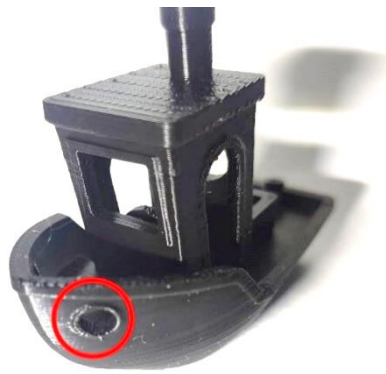


Obrázek 12 - Benchy – Velikost nákladního boxu – zdroj: vlastní

2.2.7 PRŮMĚR OTVORU PRO KOTVU

Vnitřní průměr otvoru pro kotvu Benchy měří 4,00 mm. Hloubka příruby vůči trupu je 0,30 mm.

- PrusaSlicer: 3,85 mm; 0,31 mm
- Cura: 3,82 mm; 0,37 mm
- Simplify3D: 3,83 mm; 0,28 mm
- KISSlicer: 3,81 mm; 0,47 mm

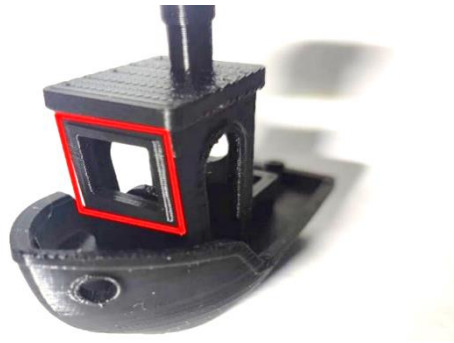


Obrázek 13 - Benchy – Otvor pro kotvu – zdroj: vlastní

2.2.8 VELIKOST PŘEDNÍHO OKNA

Obdélníkové přední okno má rozměry 10,50 x 9,50 mm. Jeho rovnoběžné vnitřní plochy jsou vodorovně vyříznuty.

- PrusaSlicer: 10,34 mm x 9,37 mm
- Cura: 10,49 mm x 9,40 mm
- Simplify3D: 10,24 mm x 9,55 mm
- KISSlicer: 9,50 mm x 9,45 mm (měření ovlivněno stringingem)



Obrázek 14 - Benchy – Přední okno – zdroj: vlastní

2.2.9 VELIKOST ZADNÍHO OKNA

Vnitřní průměr válcového zádového okénka měří 9,00 mm. Jeho vnější průměr měří 12,00 mm. Hloubka příruby je 0,30 mm.

- PrusaSlicer: 8,85 mm; 12,27 mm; 0,40 mm
- Cura: 8,93 mm; 12,11 mm; 0,27 mm
- Simplify3D: 8,89 mm; 12,15 mm; 0,32 mm
- KISSlicer: 8,87 mm; 12,25 mm; 0,40 mm

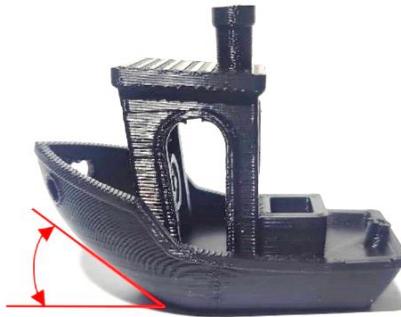


Obrázek 15 - Benchy – Zadní okno – zdroj: vlastní

2.2.10 SKLON PŘEVISU LODNÍ PŘÍDĚ

Lžícovitá lodní příď Benchy má úhel přesahu 40° k horizontální rovině.

- PrusaSlicer: Sklon měl úhel 40°.
- Cura: Sklon měl úhel 40°.
- Simplify3D: Sklon měl úhel 40°.
- KISSlicer: Sklon měl úhel 40°.



Obrázek 16 - Benchy – Sklon převisu lodní příďě – zdroj: vlastní

2.2.11 ŠTÍTEK NA ZÁDÍ

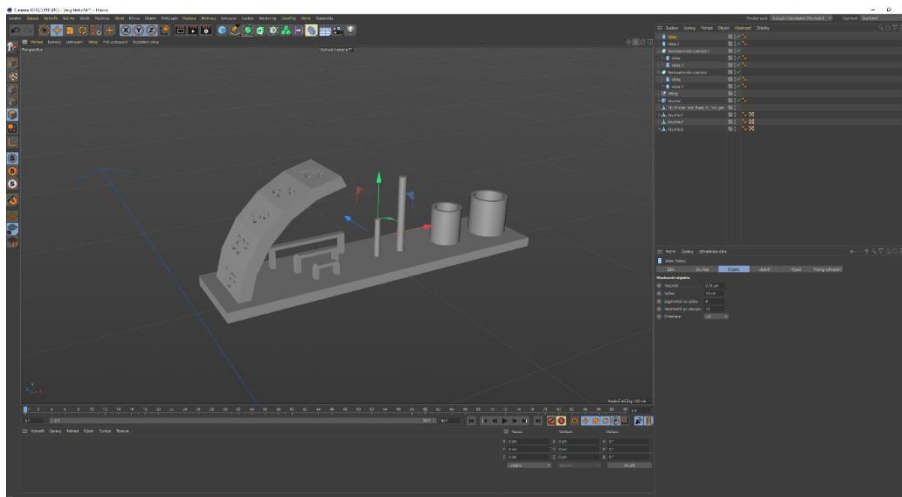
Štítek s malými písmeny na zádi by měl být čitelný.

- PrusaSlicer: Písmena na zádi jsou obtížně čitelná.
- Cura: Písmena na zádi jsou dobře čitelná.
- Simplify3D: Písmena na zádi jsou čitelná.
- KISSlicer: Písmena na zádi nelze přečíst.



Obrázek 17 - Benchy – Štítek na zádi – zdroj: vlastní

2.3 VLASTNÍ MODEL



Obrázek 18 - Tvorba vlastního modelu – zdroj: vlastní

Tvorba vlastního modelu probíhala v programu Cinema 4D s následným exportem do STL. Program byl zvolen kvůli předchozím zkušenostem a možnosti použití jednoduchých booleovských operací.

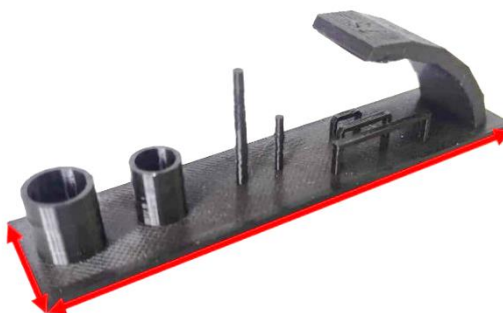
Nejprve byla vytvořena základna o velikosti 80 mm x 20 mm x 2,5 mm. Na její levou stranu byly umístěny dva duté válce o šířce strany 1 mm. První o poloměru 5 mm a druhý o poloměru 4 mm. Uprostřed se nacházejí dva tenké vysoké válce pro test tisku detailních úzkých objektů a stringingu. Na pravé straně je umístěn test převisů (pod jakým úhlem lze tisknout bez použití podpěr). Úhel se postupně zvětšuje od patnácti stupňů až po sedmdesát pět stupňů v patnácti stupňových krocích. Pod testem převisů se nachází test přemostění (schopnosti tiskárny vytvořit vodorovnou plochu bez použití podpěr).

K zjištění rozměrové přesnosti modelu při použití zvolených slicerů jsou využity prvky jako je velikost základny, rozměrová přesnost válců, test převisu a test stringingu. Podrobnosti jednotlivých kritérií a výsledky slicerů jsou znázorněné v další kapitole. Na měření bude použito posuvné měřítko.

2.3.1 ZÁKLADNA

Základna modelu měří 80 mm x 20 mm x 2,5 mm.

- PrusaSlicer: 80,06 mm x 20,06 mm x 2,71 mm
- Cura: 79,92 mm x 19,96 mm x 2,69 mm
- Simplify3D: 80,08 mm x 20,05 x 2,62 mm
- KISSlicer: 79,89 mm x 19,96 mm x 2,73 mm

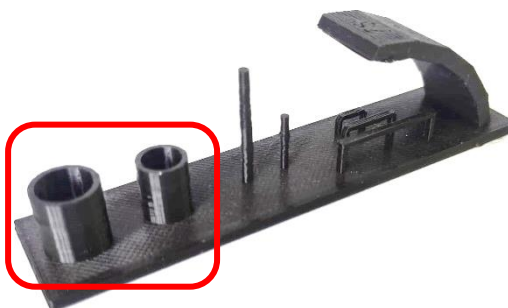


Obrázek 19 - Vlastní model – Rozměry základny – zdroj: vlastní

2.3.2 DUTÉ VÁLCE

První válec o průměru 10 mm a druhý válec o průměru 8 mm.

- PrusaSlicer: 9,94 mm; 8,01 mm
- Cura: 10,00 mm; 7,94 mm
- Simplify3D: 10,01 mm; 7,97 mm
- KISSlicer: 9,95 mm; 8,05 mm



Obrázek 20 - Vlastní model – Rozměry dutých válců – zdroj: vlastní

2.3.3 TEST PŘEVISŮ

Úhel jednotlivých bloků se postupně zvyšuje od patnácti stupňů až po sedmdesát pět stupňů v patnácti stupňových krocích. Na každém z bloků je napsán úhel převisu daného bloku.

- PrusaSlicer: Převisy byly vytištěny bez chyby a čísla na blocích jsou čitelná.
- Cura: Na bloku se sedmdesáti pěti stupni se převís ve spodní vrstvě vytisknout nepodařilo. Čísla na blocích jsou čitelná.
- Simplify3D: Převisy byly vytištěny bez chyby a čísla na blocích jsou čitelná.
- KISSlicer: Čísla jsou čitelná na prvních dvou blocích, zbytek převisů nikoliv. Objevuje se silný stringing vůči válcům umístěných uprostřed objektu.



Obrázek 21 - Vlastní model – Test převisů – zdroj: vlastní

2.3.4 TEST STRINGINGU

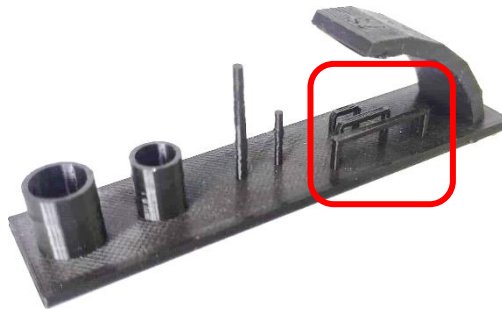
- PrusaSlicer: Na výtisku byl viditelný lehký stringing.
- Cura: Na výtisku nebyl viditelný žádný stringing.
- Simplify3D: Na výtisku nebyl viditelný žádný stringing.
- KISSlicer: Na výtisku byl viditelný velmi silný stringing.



Obrázek 22 - Vlastní model – Test stringingu – zdroj: vlastní

2.3.5 TEST PŘEMOSTĚNÍ

- PrusaSlicer: Na největším článku testu bylo viditelné lehké prohnutí.
- Cura: Na testu nebylo viditelné žádné prohnutí.
- Simplify3D: Na největším článku testu bylo viditelné lehké prohnutí.
- KISSlicer: I přes silný stringing na testu nebylo viditelné žádné prohnutí.



Obrázek 23 - Vlastní model – Test přemostění – zdroj: vlastní

2.4 POROVNÁNÍ SLICERŮ

Každý z programů má své výhody i nevýhody. V případě PrusaSlicer, Cura, Simplify3d a Kisslicer se toto tvrzení potvrdilo. Bylo možné odhalit rysy každého z nich na příkladu 3D modelu. Všechno hodnocení bylo vystaveno na základě kvality výtisků, zkušeností získaných během použití těchto programů v závislosti na jednoduchosti použití, času stráveném operacemi a úrovni implementací funkcí.

Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná procentuální odchylka daného kritéria. Tato odchylka každého sliceru u jednotlivých kritérií tisknutých objektů byla zanesena do tabulky. V tabulce nalezneme procentuální odchylky pro kritéria, která se dala změřit posuvným měřítkem. Zeleně podbarvená pole reprezentují nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou. Naopak červená pole značí rozměrovou odchylku největší.

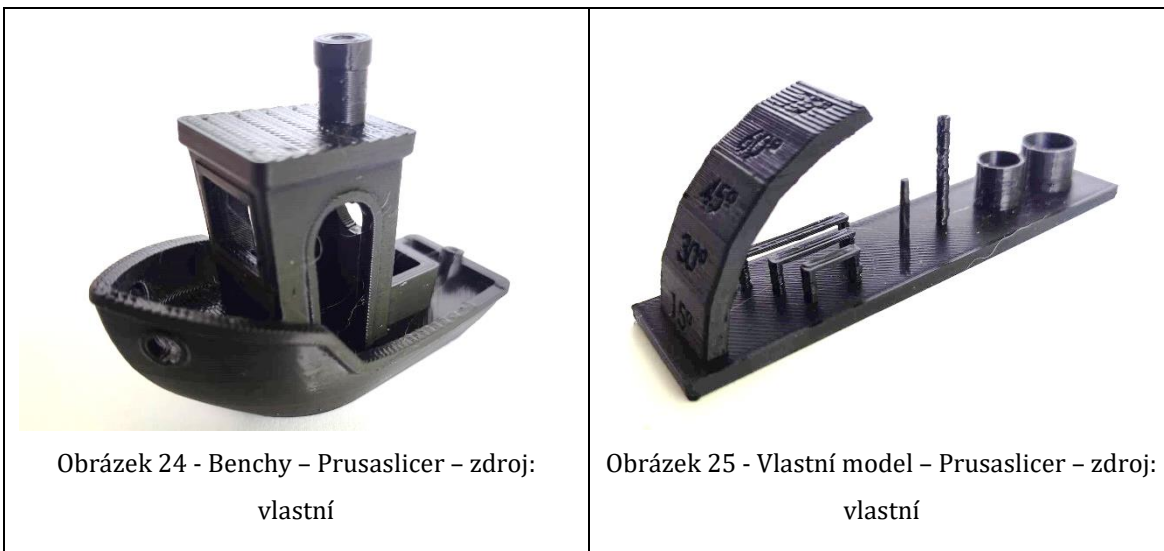
Čísla kritérií v tabulce korespondují s čísly nadpisů pro daná kritéria.

Kritéria	Benchy									Vlastní model	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2
Prusaslicer	0	5,3	0,1	0,23	0,65	1,6	3,5	1,45	12,3	2,9	0,36
Cura	0,2	2,8	0,1	0,16	0,45	1,1	13,8	0,55	3,9	2,6	0,35
Simplify3D	0,5	3,5	0,2	0,32	1,25	0,8	5,4	1,5	2,8	1,7	0,25
Kisslicer	0,9	6	0,1	0,32	1,17	1,5	30,6	5	12,1	3,2	0,55

Tabulka 1 - Procentuální odchylky porovnávaných slicerů

2.4.1 PRUSASLICER

Benchy i vlastní testovací model vytištěné za pomoci tohoto sliceru byli bez viditelných tiskových chyb. Podle testování je to slicer s třetí nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou. PrusaSlicer měl ve třech z jedenácti testovaných kritériích lepší výsledky než ostatní slicery.



Software vhodný pro tiskárny od firmy PrusaResearch ale disponuje profily i pro jiné tiskárny. Nabízí také zákaznickou podporou v češtině. Nastavení je logicky rozděleno do skupin podle zkušeností uživatele a je zde možnost změny základního profilu a uložení nové kopie jedním tlačítkem. Disponuje softwarem Gcode viewer, který slouží pro zobrazení již naslicovaných objektů. V expertním modu se otevírá velmi pokročilé nastavení tisku a experimentální funkce.

2.4.2 CURA

Slicer s nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou pro zadaná kritéria dvou modelů je software Cura. Slicer měl v pěti z jedenácti testovaných kritériích lepší výsledky než ostatní slicery. V základním profilu pro tiskárnu je vypnuto skrytí švu. To způsobí viditelnou linii na straně výtisku.



Cura představuje software, který je zaměřen na každého, kdo s 3D tiskem teprve začíná. Jeho přenastavené profily pro velký výběr tiskáren a filamentů umožňují začátečníkovi dostat se od prvotního spuštění tiskárny k hotovému výrobku velmi rychle. Zároveň nabízí expertní a experimentální funkce pro pokročilého uživatele. Uživatelské prostředí je velmi přehledné a na hlavní obrazovce lze nalézt pouze nutné nastavení a informace. Má zdařile rozdělené filtry pro uživatele na základě jejich zkušeností.

2.4.3 SIMPLIFY3D

Z testovaných slicerů měl Simplify3D druhou nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylku. Simplify3D měl ve čtyřech z jedenácti testovaných kritériích lepší výsledky než ostatní slicery. Slicer produkoval kvalitní výtisky, Benchy i vlastní testovací model byli bez viditelných tiskových chyb.



Jedná se o velmi rychlý slicer, co se týká rychlosti importu objektů, stejně tak jako rychlosti slicing. Software lze doporučit pokročilým uživatelům, kteří si slicer chtějí přesně nakonfigurovat pro svojí kombinaci použité tiskárny a filamentu. V programu se nachází velké množství nastavení, které je však dobře rozděleno. Jeho nevýhodou je vysoká cena.

2.4.4 KISSLICER

Kisslicer měl v testu rozměrovou a tiskovou odchylku největší. Výtisky nesly známky silného stringingu při použití nastavení zvoleného slicerem. Kisslicer měl v jednom z jedenácti testovaných kritériích lepší výsledky než ostatní slicery.



Kisslicer nedisponuje přednastavenými profily, a tak je tiskárnu nutno nastavovat ručně za pomoci čtyřech průvodců tiskem. V každém z průvodců nastavení je pak potřeba znovu zadávat průměr trysky. Jeho menu vypadá zastarale a rozdělení funkcí v něm je velmi matoucí. Disponuje funkcí pro načtení nastavení tisku z G-kódu a funkcí Preload, která by měla zamezit stringingu. V základním nastavení pro tiskárnu *Ender 3 Pro* byla vygenerovaná hodnota nevhodná.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce s názvem Porovnání slicerů pro 3D tisk bylo provést výzkum a získat poznatky o programech pro 3D slicing, analyzovat a popsat zvolené softwary pro přípravu 3D objektů pro tisk, porovnat uživatelské prostředí porovnávaných softwarů a také identifikovat výhody a nevýhody jednotlivých programů, vytvořit a převzít 3D model, který bude zpracován slicery, a poté analyzovat vytištěné objekty. Cíle bylo dosaženo.

V teoretické části se práce věnovala technologiím 3D tisku. Byly popsány technologie FDM a SLA, jejich klíčové vlastnosti a hlavní výhody a nevýhody. Práce se následně věnovala historii 3D tisku. Vysvětlili jsme, že pro tisk potřebujeme program pro přípravu a nařezání modelů na vrstvy, který je nazýván slicer. Popsán byl i strojový kód používaný pro práci s tiskárnami zvaný G-kód. Definovali jsme si jeho základní příkazy a vysvětlili si rozdíl mezi absolutním a relativním pozicováním. Poté jsme se věnovali definování základního nastavení pro každý slicer a popsali jsme běžně porovnávané vlastnosti slicerů. Další částí bylo seznámení s jednotlivými slicery, které se nejčastěji využívají pro 3D tisk.

V praktické části bakalářské práce jsme jeden model pro testování převzali a jeden navrhli. Na obou modelech jsme popsali jednotlivá kritéria a metody zkoumání. Tyto modely jsme dále vytiskli za pomoci testovaných slicerů a tiskárny s popsány vylepšeními. Po naměření modelů posuvným měřítkem jsme určili slicer s nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou. Jako slicer s nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou byl testem určen slicer Cura. Odchylky byly poté zaneseny do tabulky a výsledky slicerů popsány.

RESUMÉ

Tato bakalářská práce byla zaměřena na téma porovnání 3D slicerů. Jedním z cílů práce bylo analyzovat a popsat vybrané slicery, porovnat uživatelská prostředí a porovnat výhody a nevýhody jednotlivých slicerů. Dalším cílem bylo vytvořit a převzít 3D objekty, které budou naslicovány, vytištěny a analyzovány podle daných kritérií.

Práce je rozdělena do dvou částí. První část pojednává o teorii 3D tisku, potřebě programů jako je slicer a CAD software, hlavních technologiích tisku a jeho historii. Věnovali jsme se také základnímu nastavení pro 3D slicery a popisu G-kódu využívaného tiskárnami. Poté jsme popsali testované slicery. Práce se soustředila na popis jednotlivých funkcí sliceru a uživatelského prostředí každého z nich.

Druhá kapitola je věnována praktické části bakalářské práce. Byly vybrány dva modely na základě specifických vlastností. Poté jsme definovali jejich kritéria pro testování slicerů. Modely jsme následně vytiskli a porovnali odchylku u daných slicerů.

SUMMARY

This bachelor's thesis was focused on the theme of comparison of 3D slicing software known as slicers. One of the thesis goals was to analyse and describe the slicers that were chosen, compare the user interfaces of the software and to identify pros and cons of individual 3D slicers. The other one of goals was to create 3D object, which will be sliced by the slicers, printed and analysed.

The work is divided into two parts. The first part provides a theoretical knowledge about 3D printing itself, its two main technologies, used programs such as slicer and CAD software and its history. We also mentioned basic settings of the slicers and the description of code 3D printers use known as G-code. Then we described the slicers. We focused on the description of functions and user interface.

The second chapter is dedicated to the practical section of this bachelor's thesis. We selected two models for testing according to the specific needs. Then we defined the criteria for these models, printed them and compared the deviation between tested slicers.

SEZNAM LITERATURY

1. **education.gov.mt.** Introduction to 3D Printing. *education.gov.mt.* [Online] <https://education.gov.mt/en/resources/news/documents/youth%20guarantee/3d%20printing.pdf>.
2. **3D Printing Industry.** The Free Beginner's Guide. *3D Printing Industry.* [Online] <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/#01-basics>.
3. **Brijendra Pal.** FDM Printing Advantages & Disadvantages | Detailed. *themechninja.* [Online] <https://themechninja.com/07/fdm-printing-advantages-disadvantages-detailed/>.
4. **Prusa Research.** Jak vybrat 3D tiskárnu? *Prusa3D.* [Online] https://www.prusa3d.com/cs/stranka/jak-vybrat-3d-tiskarnu_229126/#choosing-an-fff-printer.
5. **Varotsis, Alkaios Bournias.** What is SLA 3D printing? *HUBS.* [Online] <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-sla-3d-printing/>.
6. **3DPI.** The Free Beginner's Guide. *3dprintingindustry.* [Online] <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/#02-history>.
7. **BCN 3D.** The History of 3D Printing in 3 Phases. *bcn3d.* [Online] <https://www.bcn3d.com/the-history-of-3d-printing-when-was-3d-printing-invented/>.
8. **Turney, Drew.** History of 3D Printing: It's Older Than You Think. *Redshift.* [Online] <https://redshift.autodesk.com/history-of-3d-printing/>.
9. **Yusuf, Bulent.** This is the First 3D Printed Prosthetic Leg in the UAE. *all3dp.* [Online] 1. 7 2017. <https://all3dp.com/3d-printed-prosthetic-leg-uae/>.
10. **McPherson, J. a Zhou, W.** A chunk-based slicer for cooperative 3D printing. *Rapid Prototyping Journal.* [Online] 2018. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2017-0150>. Vol. 24 No. 9, pp. 1436-1446..
11. **Lisa Wallach Klotski, Nick Klotsky.** *Začínáme s 3D tiskem.* Brno : Computer Press, 2017.
12. **3dk.** Slicer comparison. *3dk.berlin.* [Online] 3dk Trading GmbH. [Citace: 20. 1 2022.] <https://3dk.berlin/en/content/8-slicer-im-vergleich>.
13. **ThomasNet.** An Introduction to G-Code and CNC Programming. *ThomasNet.* [Online] [Citace: 17. 6 2022.] <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/introduction-gcode/>.
14. **Marlin.** G-code Index. *MarlinFW.* [Online] <https://marlinfw.org/meta/gcode/>.
15. **MakersLab.** Jaké máme typy Slicerů. *makerslab.* [Online] <https://makerslab.cz/slicer/>.
16. **Cura, Ultimaker.** [software]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>.
17. **AOKI, Ryosuke, Yuki KUBO, Kana EGUCHI.** 3DPrinted Object Identification Method using Inner Structure Patterns Configured by Slicer Software. *Web of science.* [Online] 2020. https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=D3mCAPtrrF86IJLkcx&page=1&doc=1.
18. **Dwamena, Michael.** How to Get the Perfect Jerk & Acceleration Setting. *3Dprinterly.* [Online] <https://3dprinterly.com/how-to-get-the-perfect-jerk-acceleration-setting/>.

19. **3DSourced.** The Top 10 Best 3D Slicers 2022. [Online] 3dsourced. [Citace: 20. 1 2022.] <https://www.3dsourced.com/3d-software/best-3d-slicer-printer-software/>.
20. **Locker, Anatol.** The Best 3D Printer Slicer Software of 2021. *All3DP*. [Online] 6. leden 2021. [Citace: 22. 1 2022.] <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>.
21. **Ultimaker.** Using the Ultimaker Marketplace. *Ultimaker Support*. [Online] 17. květen 2022. <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011968360-Using-the-Ultimaker-Marketplace>.
22. **Prusa Research.** Funkce variabilní výšky vrstvy. *Prusa Knowledge Base*. [Online] https://help.prusa3d.com/cs/article/funkce-variabilni-vysky-vrstvy_1750.
23. **PrusaResearch.** PrusaSlicer G-code viewer. *Prusa Research*. [Online] https://help.prusa3d.com/cs/article/standalone-g-code-viewer_193152.
24. **3Dtisk.** Simplify3D: Vyplatí se placená aplikace pro přípravu stolního 3D tisku? (recenze). *3Dtisk*. [Online] <https://www.3d-tisk.cz/simplify3d-vyplati-se-placena-aplikace-pro-pripravu-stolniho-3d-tisku-recenze/>.
25. **Frey, Shawn.** Simplify3D 2021: Free Download of the Full Version. *All3dp*. [Online] <https://all3dp.com/1/simplify3d-free-download-full-version/>.
26. **Kisslicer.** KISSlicer 1.6 is a major release. *Kisslicer*. [Online] <https://www.kisslicer.com/163-features.html>.
27. **Creative tools.** About #3DBenchy. *3DBenchy*. [Online] <https://www.3dbenchy.com/about/>.
28. **Creative Tools.** License. *3DBenchy*. [Online] <https://www.3dbenchy.com/license/>.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obrázek 1 – První vytištěná protetická noha (9)	9
Obrázek 2 Cura – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)	20
Obrázek 3 - Prusaslicer – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)	23
Obrázek 4 – Simplify3D – Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní)	27
Obrázek 5 - KISSlicer Uživatelské prostředí (zdroj: vlastní).....	29
Obrázek 6 - Model Benchy – zdroj: vlastní.....	31
Obrázek 7 - Benchy – Délka střechy – zdroj: vlastní	32
Obrázek 8 - Benchy – Komín – zdroj: vlastní	33
Obrázek 9 - Benchy – Celková délka – zdroj: vlastní	33
Obrázek 10 - Benchy – Celková šířka – zdroj: vlastní	34
Obrázek 11 - Benchy – Celková výška – zdroj: vlastní	34
Obrázek 12 - Benchy – Velikost nákladního boxu – zdroj: vlastní.....	35
Obrázek 13 - Benchy – Otvor pro kotvu – zdroj: vlastní	35
Obrázek 14 - Benchy – Přední okno – zdroj: vlastní.....	36
Obrázek 15 - Benchy – Zadní okno – zdroj: vlastní.....	36
Obrázek 16 - Benchy – Sklon převisu lodní přídě – zdroj: vlastní.....	37
Obrázek 17 - Benchy – Štítek na zádi – zdroj: vlastní	37
Obrázek 18 - Tvorba vlastního modelu – zdroj: vlastní	38
Obrázek 19 - Vlastní model – Rozměry základny – zdroj: vlastní.....	39
Obrázek 20 - Vlastní model – Rozměry dutých válců – zdroj: vlastní.....	39
Obrázek 21 - Vlastní model – Test převisů – zdroj: vlastní	40
Obrázek 22 - Vlastní model – Test stringingu – zdroj: vlastní.....	40
Obrázek 23 - Vlastní model – Test převisů – zdroj: vlastní	41
Obrázek 24 - Benchy – Prusaslicer – zdroj: vlastní.....	43
Obrázek 25 - Vlastní model – Prusaslicer – zdroj: vlastní	43
Obrázek 26 - Benchy – Cura – zdroj: vlastní	44
Obrázek 27 - Vlastní model – Cura – zdroj: vlastní	44
Obrázek 28 - Benchy – Simplify3D – zdroj: vlastní	45
Obrázek 29 - Vlastní model – Simplify3D – zdroj: vlastní.....	45
Obrázek 30 - Benchy – Kisslicer – zdroj: vlastní.....	46
Obrázek 31 - Vlastní model – Kisslicer – zdroj: vlastní	46
Tabulka 1 - Procentuální odchylky porovnávaných slicerů	42

PŘÍLOHY

-