

COMPARISON OF 3D PRINTING SOFTWARE

POROVNÁNÍ SLICERŮ PRO 3D TISK

Tomáš Zahradník, Filip Frank, Miroslav Zíka

Abstract

This article is focused on the theme of comparison of 3D slicing software used in FDM/FFF technology known as slicers. One of the authors goals was to describe the slicers that were chosen, identify pros and cons of individual 3D slicers and compare the slicers on a 3D object, which will be sliced by the slicers, printed and analysed.

Key words: *Slicer, 3D printing, 3D printer, Benchy, G-code, PrusaSlicer, Cura, Simplify3d, Kisslicer, FDM, FFF, SLA*

Abstrakt

Tento článek se zaměřuje na porovnání 3D slicerů použitých při tisku metodou FDM/FFF. Současně se také zaměřuje na vybrané slicery, *analyzuje jejich* výhody a nevýhody. Autor porovnává slicery na základě 3D modelů, které byly danými slicery připraveny pro 3D tisk, vytištěny a analyzovány podle daných kritérií.

Klíčová slova: *Slicer, 3D tisk, 3D tiskárna, Benchy, G-kód, PrusaSlicer, Cura, Simplify3d, Kisslicer, FDM, FFF, SLA*

ÚVOD DO 3D SLICERU

3D slicer je počítačový software používaný pro převod 3D modelu na konkrétní pokyny pro tiskárnu. Využívají se slicery, které umí ovládat více 3D tiskáren najednou, ty pak mohou spolupracovat na jedné tiskové úloze. (1) Do sliceru se nejprve importují modely — například ve formátu souboru *STL*, *OBJ* nebo *3mf*. Tyto soubory jsou 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.* (2 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*. (3)

G-kód

Jedná se o 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 pro získání požadovaného tvaru. Podobně je tomu i v případě aditivní výroby pomocí 3D tiskáren. Příkazy G-kódu instruují stroj, aby nanášel materiál vrstvu po vrstvě a vytvořil tak přesný geometrický tvar. (4)

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. (3)

Tato kapitola článku 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 pohybu související s extruderem a podložkou, zatímco M-kódy pracují s jednotlivými součástmi tiskárny (např. chazení či signalizační prvky na LCD displeji).

- 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.

- 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.

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.

(5)

Ukázka G-kódu:

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

1 METODIKA VÝZKUMU

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 zamezení 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 °C – optimální výsledky s použitým filamentem,
- teplota podložky (bedu): 60 °C – optimální výsledky s použitým filamentem.

Nastavení retrakce¹ bylo změněno kvůli použití celokovového extruderu s hot-endem.

- vzdálenost retrakce – 0,8mm,
- rychlost retrakce – 35 mm/s.

1.1 BENCHY



Obrázek 1 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. Autoři neuvolnili zdrojový kód a neumožňují úpravy. Má se za to, že jde o objekt s největším počtem 3D tisků na světě. Samotný model je konstrukce malého remorkéru a za správných nastavení tisku a podmínek skutečně plave na vodě. (6)

¹ Zatažení filamentu před přesunem trysky na novou pozici.

Benchy se často používá k testování, protože model obsahuje řadu obtížně tisknutelných prvků jako jsou symetrie, převísle 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 hodiny. (6)

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. (7)

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.

Článek 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 přídě a rozměry drobného štítku na zádi modelu.

1.1.1 Oblasti měření Benchy

Ilustrační obrázek	Popis požadovaných rozměrů
	Délka střechy: Přední a zadní plocha střechy jsou rovnoběžné ve vzdálenosti 23,00 mm.
	Rozměr komínu: Válcový otvor a vnější horní část komína mají průměr 3,00 a 7,00 mm. Hloubka slepého otvoru měří 11,00 mm.

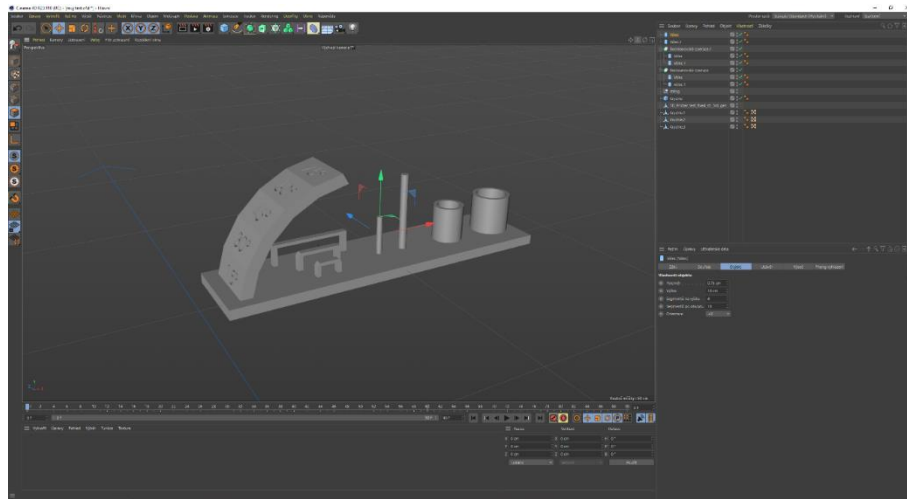
	<p>Celková délka: Celková délka Benchy od přídě po zád' měří 60,00 mm.</p>
	<p>Celková šířka: Celková šířka Benchy od levoboku po pravobok měří 31,00 mm.</p>
	<p>Celková výška: Celková výška lodě odshora dolů je 48,00 mm. Vzdálenost horní části nákladního boxu od spodku lodi měří 15,50 mm nad spodní plochou.</p>
	<p>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.</p>

	<p>Průměr otvoru pro kotvu:</p> <p>Vnitřní průměr otvoru pro kotvu Benchy měří 4,00 mm. Hloubka příruby vůči trupu je 0,30 mm.</p>
	<p>Velikost předního okna:</p> <p>Obdélníkové přední okno má rozměry 10,50 x 9,50 mm. Jeho rovnoběžné vnitřní plochy jsou vodorovně vyříznuty.</p>
	<p>Velikost zadního okna:</p> <p>Vnitřní průměr válcového zádového okénka měří 9,00 mm. Jeho vnější průměr měří 12,00 mm. Hloubka příruby je 0,30 mm.</p>
	<p>Sklon převisu lodní příď:</p> <p>Lžícovitá lodní příď Benchy má úhel přesahu 40° k horizontální rovině.</p>



Tabulka 2 Oblasti měření

1.2 VLASTNÍ MODEL



Obrázek 2 Tvorba vlastního modelu – zdroj: vlastní

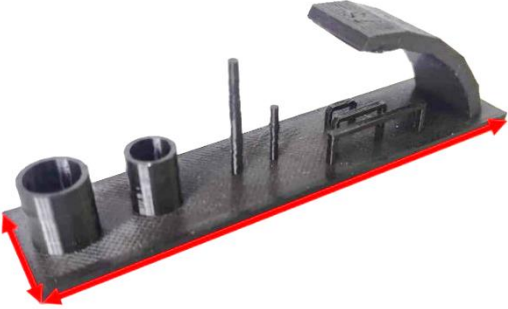



Tvorba vlastního modelu probíhala v programu *Cinema 4D* s následným exportem do STL. Program byl zvolen kvůli předchozím zkušenostem a možnosti použití jednoduchých booleovských operací.

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 stringování¹. Na pravé straně je umístěn test převisu (pod jakým úhlem lze tisknout bez použití podpěr). Úhel se postupně v patnácti stupňových krocích zvětšuje od patnácti stupňů až po sedmdesát pět stupňů. Pod testem převisu 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 stringování.

¹ Jev, při kterém na vytisknutém objektu zůstávají malé nitky filamentu.

1.2.1 Oblasti měření vlastního modelu

Ilustrační obrázek	Popis požadovaných rozměrů
	<p>Základna: Základna modelu měří 80 mm x 20 mm x 2,5 mm.</p>
	<p>Duté válce: První válec o průměru 10 mm a druhý válec o průměru 8 mm.</p>
	<p>Test Převisů: Úhel jednotlivých bloků se postupně zvyšuje v patnácti stupňových krocích od patnácti stupňů až po sedmdesát pět stupňů. Na každém z bloků je napsán úhel převisu daného bloku.</p>
	<p>Test Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. Mezi dvěma objekty mohou vznikat zbytkové pavučinky filamentu.</p>

Tabulka 2 Oblasti měření modelu

2 SHRnutí

Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná procentuální odchylka daného kritéria.

Odchylka každého sliceru v jednotlivých kritériích byla pro každý tisknutelný objekt zanesena do tabulky. V ní nalezneme procentuální odchylky pro kritéria, které se daly změřit posuvným měřítkem. Zeleně podbarvená pole reprezentují nejmenší rozměrovou a tiskovou odchylkou. Naopak červená pole značí rozměrovou odchylku největší.

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 3 Naměřené hodnoty

Literatura

1. 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.
2. Lisa Wallach Klotski, Nick Klotsky. Začínáme s 3D tiskem. Brno: Computer Press, 2017.
3. 3dk. Slicer comparison. 3dk.berlin. [Online] 3dk Trading GmbH. [Citace: 20. 1 2022.] <https://3dk.berlin/en/content/8-slicer-im-vergleich>.
4. 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/>.
5. Marlin. G-code Index. MarlinFW. [Online] <https://marlinfw.org/meta/gcode/>.
6. Creative tools. About #3DBenchy. 3DBenchy. [Online] <https://www.3dbenchy.com/about/>.
7. Creative Tools. License. 3DBenchy. [Online] <https://www.3dbenchy.com/license/>.

Kontakty

Mgr. Filip Frank
Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická
Klatovská tř. 51, 306 19 Plzeň
Tel: +420 377 636 463, E-mail: frankf@kvd.zcu.cz

Mgr. Miroslav Zíka
Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická
Klatovská tř. 51, 306 19 Plzeň
Tel: +420 377 636 130, E-mail: zikam@kvd.zcu.cz