



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**VYUŽITÍ PROSTŘEDKŮ ŘÍZENÝCH POČÍTAČEM VE
FABLAB BRNO PRO VÝUKU**

DESCRIPTION OF COMPUTER CONTROL EQUIPMENTS IN FABLAB BRNO FOR EDUCATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Lesnek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

BRNO 2018

ZADÁNÍ VŠKP 1

(tento list nahradíte oficiálním zadáním práce)

ABSTRAKT

Práce se zabývá tvorbou laboratorních úloh pro moderní digitalizovanou výrobu dostupnou v dílně FabLab Brno, na přístrojích pro 3D tisk, laserové řezání a gravírování. Úlohy jsou zaměřené pro seznámení studentů s nejnovějšími nástroji pro vývoj a výrobu.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with the construction of laboratory tasks for digitalized manufacture provided by FabLab Brno, on machines for 3D printing, laser cutting and engraving. Tasks are focused at getting acquainted students with modern machines for development and production.

KLÍČOVÁ SLOVA

FabLab, 3D tisk, laserové řezání, laserové gravírování, IoT dílna

KEYWORDS

FabLab, 3D print, laser cutting, laser engraving, IoT workplace

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LESNEK, Milan. Využití prostředků řízených počítačem ve FabLab Brno pro výuku, Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, Ústav automatizace a informatiky.

PODĚKOVÁNÍ

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří mi byli oporou a pomocí při psaní této práce. Jmenovitě bych rád poděkoval Tomáši Mejzlíku a mému ústavu za členství ve FabLabu bez, kterého by nebylo možné tuto práci uskutečnit. Dále bych rád poděkoval svému vedoucímu panu doc. Ing. Branislavu Lacku, Csc. za konzultace a věcné připomínky. Velmi děkuji své přítelkyni Petře Kropáčkové za pomoc s gramatikou a doladěním praktických úloh. A závěrem děkuji své rodině za zázemí a klid ve kterém jsem tuto práci mohl psát.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Branislava Lacka, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 5. 5. 2018

.....
Milan Lesnek

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	FABLAB	17
2.1	FabLab Brno	17
3	3D TISK	19
3.1	Software pro 3D tisk.....	20
3.1.1	Seznámení s programem Slic3r Prusa Edition	21
3.1.2	Ovládání programu Slic3r Prusa Edition.....	22
3.2	Tisknutelné materiály	25
4	ÚLOHY PRO 3D TISK.....	26
4.1	Základní model s jednoduchým nastavením	26
4.1.1	Příprava modelu.....	26
4.1.2	Příprava tiskárny a tisk	27
4.2	Tisk modelu s podporami	28
4.2.1	Příprava modelu.....	29
4.2.2	Výměna filamentu	30
4.2.3	Příprava tiskárny.....	31
4.3	Povrchové úpravy modelu	32
4.3.1	Metoda broušením	32
4.3.2	Metoda chemickým leptáním	33
5	LASEROVÉ GRAVÍROVÁNÍ A ŘEZÁNÍ	34
5.1	Software pro gravírování a řezání	35
6	ÚLOHY NA LASER.....	36
6.1	Klíčenka se jménem.....	36
6.1.1	Příprava grafiky	36
6.1.2	JobControl a nastavení laseru	37
6.2	Vyřezaná krabice	39
6.2.1	Příprava grafiky	39
6.2.2	JobControl a nastavení laseru	40
7	SPOJENÉ ÚLOHY	41
7.1	Dřevěný reprobox	41
7.1.1	Obal – 3D tisk.....	41
7.1.2	Kryt – laserové řezání a gravírování.....	42
7.1.3	Vnitřní komponenty.....	43
8	ZÁVĚR	45
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
10	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	49
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	51

1 ÚVOD

Digitalizovaná výroba se stává běžnější i dostupnější, a proto je důležité seznámit studenty s těmito moderními prostředky. S nástupem průmyslu 4.0, který předpokládá přechod na digitalizovanou výrobu a chytré sklady ovládané počítačem, je vyžadována více zkušená pracovní síla zaučená s těmito stroji.

Pomocí počítačem ovládaných strojů lze snadno vytvářet modely pro různé využití. Například na modely pro slévání, simulace, reálné funkční prvky nebo jako náhradní díly různých plastových krytů, které jsou mnohdy nedostupné. Dostupnost a schopnost tvorby různých modelů na jedné lince láká mnoho začínajících firem, ale i firem s častým vývojem a tvorbou prototypů.

FabLab je takto úžasná příležitost pro studenty naučit se používat alespoň nejčastěji využívané stroje digitalizované výroby. Avšak zaučení na těchto začátečních strojích je velmi podobné jejich průmyslovým ekvivalentům. Student schopný používat veškeré vybavení FabLabu je tak plně připravený na nástup průmyslu 4.0.

Proto chci touto prací přiblížit studentům základní principy 3D tisku, laserového řezání a gravírování. Ve formě teoretického základu, praktické části ve stylu výukových úloh a závěrečnou částí se spojenou úlohou. Praktické úlohy budou vysvětlovat postupně co nejvíce informací pro základní ovládání strojů s co nejvíce funkcemi.

2 FABLAB

FabLab je výukovým střediskem založeným Mesečusetským Institutem (MIT), pro seznámení studentů s digitalizovanou výrobou. Myšlenka pro stvoření takového místa přišla od profesora Neila Gershenfelda spojením dvou laboratoří. Laboratoře pro strojní výrobu a laboratoře pro digitalizaci. Poté díky grantu od Národní Vědecké Nadace vznikl první FabLab v roce 2001.

Celé místo je koncipováno pro tvorbu inovací a prototypů, zároveň však místem zábavy, vzdělání, kreativity či spolupráce. Proto FabLab není rozhodně prostorem pro masovou výrobu produktů, dokonce je i v pravidlech zakázáno něco takového dělat. Časem se projekt FabLabu rozšířil pro veřejnost a dostal se i do jiných států. Prvním FabLabem mimo univerzitu MIT byl Indický FabLab, založený v roce 2002, ve městě Vigyan Ashram, který je indickým centrem vzdělávání [2]. K roku 2017 je součástí sítě FabLabu přes 30 zemí a v tom více než 1200 laboratoří. V tomto velkém počtu laboratoří se nachází tisíce mentorů, nadšenců a lidí, kteří rozumí vybavení dostupnému ve FabLabech. Laboratoře jsou propojené a tvoří takto skupinu lidí, která je největší výhodou FabLabu. Skupina mezi sebou totiž sdílí projekty, nápady nebo celé návody. Populárním vybavením je 3D tiskárna, CNC fréza, řezací plotter a laserová řezačka. Některé FabLaby však mají extra vybavení náročné na zaučení i prostor. Mezi takové například patří plazmová nebo vodní řezačka.

FabLab není jediným typem testovací laboratoře, která zjednodušuje dostupnost digitalizované výroby pro širokou veřejnost. S jiným základem, vybavením a filosofií jsou různá místa i přímo v Brně jako například HackerSpace, HOBBYLAB nebo StrojLab přímo na území Fakulty strojního inženýrství.

2.1 FabLab Brno

Pobočka Brněnského FabLabu vznikla 19. dubna 2017 a stala se takto prvním Českým oficiálně uznaným FabLabem podle kritérií MIT. Vytvoření FabLabu Brno sponzorovali Honeywell a Jihomoravský kraj v čele s koordinátorem projektu Tomášem Mejzlíkem. Prostory jsou velké 182 m² uvnitř centra JIC INMEC, rozděleny na 3 části.

Nejmenší z prostorů je elektro a IoT dílna, kde jsou k dispozici 4 velké pracovní stoly s nastavitelnými monitory, pájkou, horkovzdušnou pistolí a zdroji. Volně k využití je zde více druhů rezistorů a kondenzátorů. K vyzkoušení je v policích většina Arduino stavebnic a kytů.

Druhá místnost podle velikosti je mechatika pro práci se stolní vrtačkou, kotoučovou pilou a manuálním nářadím. V místnosti je také CNC fréza a rozvody stlačeného vzduchu.

V největší místnosti jsou 4 tiskárny Prusa i3 MK2 a jedna tiskárna Ultimaker 3 určené pro 3D tisk. Nachází se zde i řezací plotter s PC a laserová řezačka s vlastním PC. Tyto prostory také slouží k prezentacím a školením na přístroje.

Členství ve Fablabu je zpoplatněno podle doby, kterou zde chcete trávit. Momentálně jsou tři typy členství, učedník, tovaryš, mistr. Učedník je nejlevnější typ přístupu s možností chodit pouze v návštěvní dobu. V tuto dobu lze přijít i bez členství, jenom nelze používat žádné stroje. Tovaryš je výběr jednoho celého dne každý týden a mistr má neomezený přístup 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. To i znamená, že FabLab má nonstop provoz a s členstvím tovaryš či mistr lze přijít i velmi časně ráno.

Členství nezaručuje možnost používat vybavení FabLabu. Na většinu zařízení jsou nutné speciální školení, které jsou vypsány v kalendáři dostupné na obrazovkách ve FabLabu nebo na stránkách návodů pro členy FabLabu¹. Nutné je školení i do mechatiky, které je zároveň přednáškou bezpečnosti a ochrany zdraví při práci ve FabLabu.

Kromě členství je ještě nutné zaplatit materiál, například filament je zpoplatněný za každý metr. Přímě v prostorech filament využijete a zaplatíte na e-shopu² nebo ve FabLabu. Avšak obě metody vyžadují platební kartu, hotovostí se zde platit nedá. Na e-shopu FabLabu lze i koupit dřevěné desky, trička, folie a za poplatek rezervovat stroj na určitý čas.

¹ <https://wiki.fablabbrno.cz> – stránka s drobnými návody, jak nastavit stroje, jejich parametry a kalendář akcí, školení a otevřených dnů

² <https://eshop.fablabbrno.cz> – internetový obchod FabLabu, kde je možné si koupit materiál, členství a rezervovat stroje.

3 3D TISK

Jedná se o moderní technologii vytvoření plastového modelu s pomocí dat připravených na osobním počítači. Z vygenerovaných dat je tvořen model, vrstvu po vrstvě, jednou z metod podle typu 3D tiskárny.

Do dnešní doby vzniklo mnoho metod, ale vždy jde o vytvoření modelu na počítači pomocí programu pro tvorbu modelů a jeho následné vytisknutí z nějakého polymeru. Model nelze vložit do tiskárny rovnou, nejprve je nutné ho takzvaně nařezat. K tomuto slouží jiný software, který na základě algoritmů vytvoří pohyby pro každou vrstvu.

Velmi zajímavé metody 3D tisku jsou DLP a SLM. DLP využívá podobnou projekci jako digitální projektory, promítne obraz vrstvy do fotosenzitivního roztoku resinového plastu a tím tuto vrstvu nechá ztuhnout. Druhá velmi zajímavá metoda je SLM, kdy laserem rozpouštíme sypký nylon, také vrstvu po vrstvě. Zajímavé jsou právě ve využití paprsku světla pro tvorbu modelů a díky tomu mají velmi vysokou přesnost až na mikrometry.

Tato práce však bude zaměřena na metodu FDM (*Fused deposition modeling*). Tiskárny tohoto typu mají 3 osy ve kterých posouvají krokové motory tiskovou hlavu s dalším krokovým motorem posouvající plastový drát nazývaný filament. Filament je rozpouštěn na konci tiskové hlavy ve trysce a vypouštěn na desku, nejčastěji v průměrné šířce 0,2 až 0,6 mm, podle typu trysky. Tryska je zahřívána topným tělesem pomocí elektřiny, a i s deskou je teplota ovládaná pomocí proporcionálně, integračně derivačního regulátoru [3]. Deska na, kterou je vypouštěn filament je vyhřívána, aby se zabránilo porušení modelu zvedáním rohů nebo nepřiměřenému chladnutí s následkem prasklin. Zmíněné nebezpečí chladnutí způsobuje nižší okolní teplota a větrák připevněný k tiskové hlavě. Větrák je však velmi důležitý, protože každá vrstva vyteklého filamentu musí být schlazena, aby byla bezpečně připevněna k předešlé vrstvě.

Oproti průmyslové konkurenci vstřikovací metody plastu je 3D tisk nesrovnatelně pomalejší a nešetří plast u modelu s převísem. Výhodu má však v použitelnosti, kdy je téměř neomezené množství možností tisknutelného modelu. Vstřikovací metoda potřebuje vždy drahou formu jednoho modelu. Proto v případě vývoje a potřeby více prototypů modelu z plastu je 3D tiskárna tou nejvhodnější volbou [4].

Tiskárny pro 3D tisk jsou více dostupné než většina průmyslových strojů, takže se stávají častým domácím koníčkem. Na trhu se takto vyskytuje i spousta stavebnic, či replik za cenu nižší než mobilní telefon.

3.1 Software pro 3D tisk

Jak už bylo zmíněno v kapitole 3, jsou potřeba dva programy. První program, ve kterém se model vytváří a druhý, ve kterém se model převádí do instrukcí pro 3D tiskárnu. Kromě těchto dvou nezbytných typů softwaru existují programy pro ovládání tiskárny přes sériovou linku nebo tiskové servery pro ovládání tiskárny na dálku.

Ovládací program, který stojí za zmínění je Pronterface, který umí většinu základních povelů pro pohyb krokových motorů. Pronterface je užitečný pro tiskárny bez ovládacího panelu nebo pro sledování a získání větší kontroly nad tiskem.

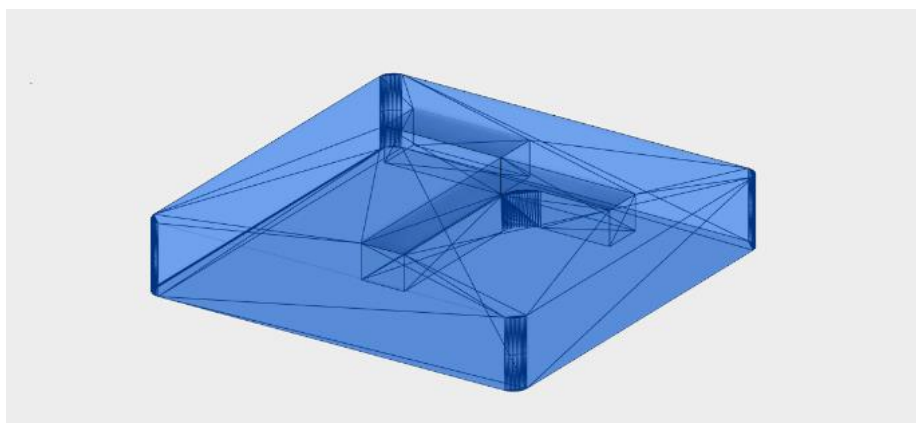
Velmi známý tiskový server se jmenuje OctoPrint, který zároveň funguje i jako program pro převod modelu na instrukce. Na Pronterface i OctoPrint lze ve FabLabu Brno narazit, avšak nejsou důležité pro základní tisknutí modelů a dá se jim zcela vyhnout.

Modelovací software

Modelovacích programů existuje na trhu spousta. Hlavním požadavkem na tyto modelovací programy je možnost exportovat model do formátu stl, jenž je stereolitografický formát. Soubor ve formátu stl je pouze povrchová síť modelu vyrobená z mnoha vektorových trojúhelníků, jak může být viděno na Obr. 1. Obecně platí čím více rozdělená povrchová síť modelu, tím vyšší detail modelu ve formátu stl [5].

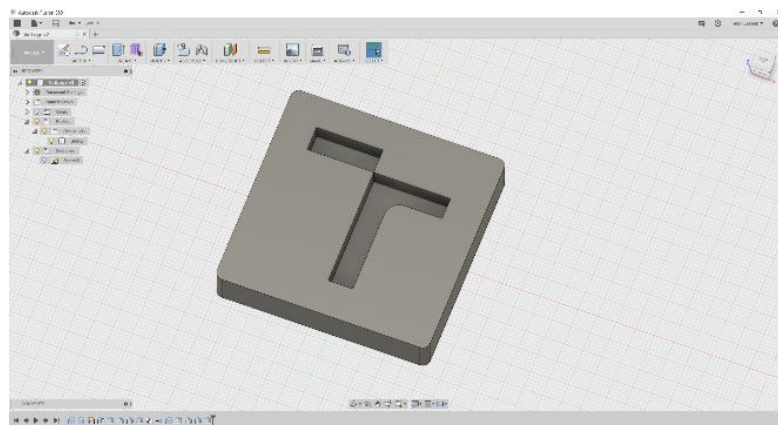
Musíte mít na paměti pár podmínek vhodného modelu:

- Model musí být zcela uzavřený, aby díra ve stěně neponičila celý model
- Model nesmí být větší než tisknutelná plocha tiskárny, a to samé platí pro výšku
- Nezabýváme se vnitřní výplní modelu, protože nás zajímá pouze povrch



Obr. 1: Stereolitografická síť povrchu modelu

Pro studenty VUT existuje mnoho programů na výběr od firmy Autodesk. Dokonce programy používané v konstruování dokáží exportovat modely ve správném formátu. Jmenovitě jde o AutoCAD, Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical nebo Autodesk Fusion 360 viz. Obr. 2. Také existují programy zdarma například Blender.



Obr. 2: Model v programu Autodesk Fusion 360

Řezací software

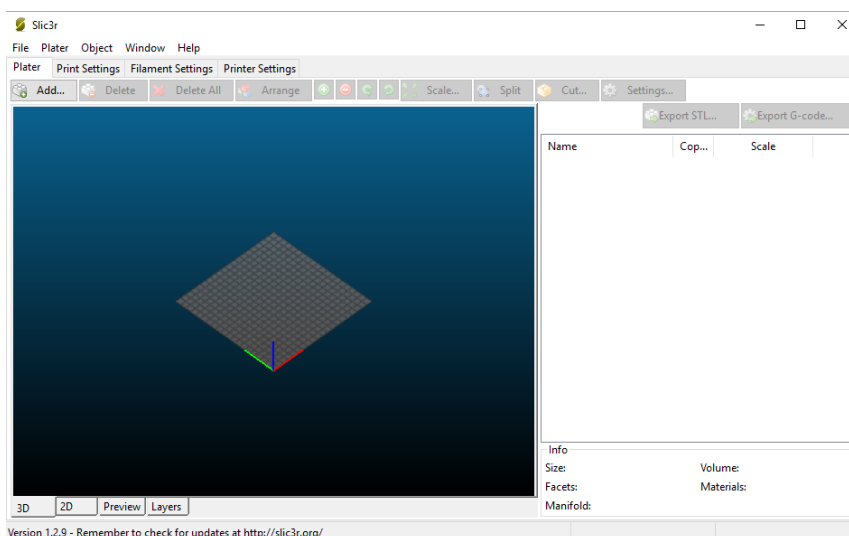
Programy pro přípravu modelu pro tisk, už mají více nutných proměnných, avšak také jejich použití je většinou pouze pro 3D tisk. Hlavním úkolem těchto programů je nařezání trojrozměrného modelu do jednotlivých vrstev a převedení každé vrstvy do jednoduchých instrukcí v rovině XY, které dokáže tiskárna zpracovat. Tyto instrukce srozumitelné pro tiskárnu se nazývají gcode.

Principy této kategorie programů budou popsány na programu Slic3r Prusa Edition, který se bude v bakalářské práci používat.

3.1.1 Seznámení s programem Slic3r Prusa Edition

Slic3r je svobodný software využíváný pro přípravu modelu k 3D tisku. Existuje ve verzi pro platformy Linux, Windows i Mac. Oblíbený je pro velkou kompatibilitu s většinou tiskáren na trhu a lehkým nastavením i pro tiskárny domácí výroby.

Jeho největší nevýhodou je delší doba předělávání modelu do gcodu a občas divné trasy pro vytvoření vrstvy.



Obr. 3: Původní verze Slic3r

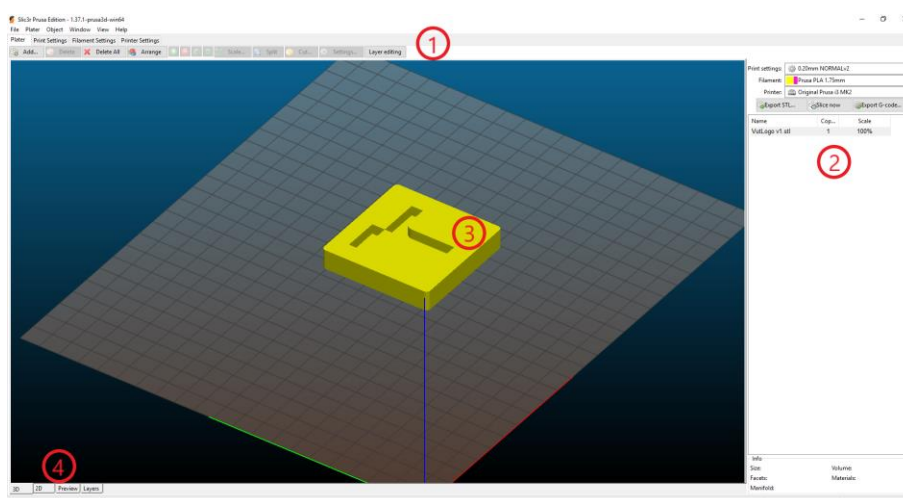
Oproti konkurenčním programům obsahuje Slic3r poměrně dobrý výběr výplní modelů a nadstandardní možnosti nastavení tiskárny. Často proto je považován za velmi náročný program, avšak samotný je bezpečně přednastavený a vhodný i pro úplného začátečníka, který chce pouze vytisknout hezký model. Zároveň je i dostačující pro náročné stavitele, kteří mohou měnit rychlosti, zrychlení, teploty i počáteční nebo konečný gcode je možné přepsat.

Program Slic3r Prusa Edition je rozšířená verze původního Slic3ru s častějšími updaty a dosavadní podporou. Z původního Slic3ru zachovala verze kompatibilitu s tiskárnami, některá nastavení a vzhled. Na první pohled není vidět příliš rozdíl při srovnání Obr.3 a Obr.4., ale nová verze přispěla větší nastavitelností a možností si uživatelsky uložit různá nastavení, které nejvíce vyhovují pro daný typ materiálu, tisku či tiskárny.

Kromě uživatelského rozhraní Slic3r prošel i vylepšením na paralelizaci dat, pro zrychlení zmíněné pomalé přípravy modelu. Verze Slic3r Prusa Edition také obsahuje ozkoušené nastavení pro tiskárny firmy Prusa a nastavení pro filamenty více značek.

3.1.2 Ovládání programu Slic3r Prusa Edition

Program lze rozdělit do 4 základních částí podle Obr. 4. Část číslo jedna by se dala rozdělit podrobněji, ale pro základní ovládání to není potřeba.



Obr. 4: Náhled rozložení funkcí ve Slic3ru Prusa Edition

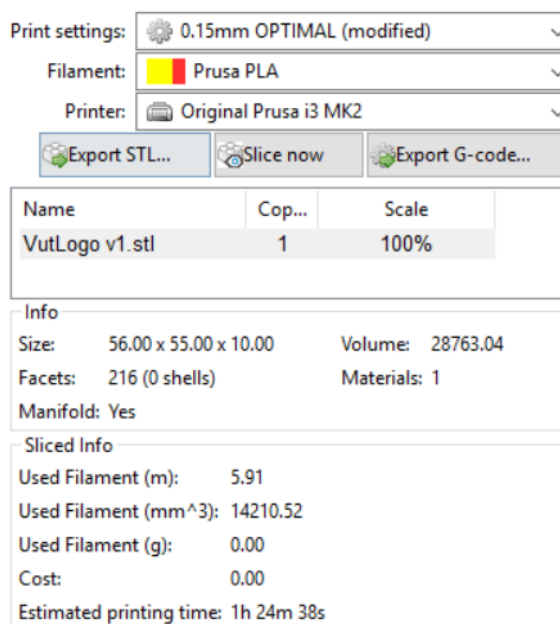
1) Menu pro nastavení tiskárny a modelu



Obr. 5: Menu pro nastavení tiskárny a modelu

- Plater – Záložka pro náhled a úpravu modelu.
- Print settings – Záložka pro pokročilé nastavení tisku.
- Filament settings – Záložka pro nastavení filamentu.
- Printer Settings – Záložka pro nastavení tiskárny.
- Add – Otevře průzkumník souborů na disku, pro vyhledání modelu. Model lze také vložit pouhým přetažením.
- Delete – Odstraní označený model.
- Delete All – Odstraní všechny vložené modely.
- Arrange – Poskládá modely na tiskovou plochu pro co nejlepší tisk.
- Tlačítko plus a mínus – Přidá nebo odstraní kopii modelu.
- Zakroucené šipky – Otáčí model na tiskové ploše kolem osy Z.
- Scale – Zvětší nebo zmenší model v procentech.
- Split – Rozdělí model do několika částí, jak se to bude zdát programu vhodné.
- Cut – Rozdělí model na dva kusy.
- Settings – Složitě upraví model, přidá k sobě součástky do jednoho modelu.
- Layer editing – Možnost zvýšit nebo snížit kvalitu vrstev.

2) Panel pro přehled modelu a nastavení



Obr. 6: Přehledový panel po Export G-code

- Print settings – Nastavení výšky vrstvy neboli kvality tisku (čím nižší vrstva je, tím tisk je detailnější, ale také déle trvá)

- Filament – Typ filamentu, kterým chceme tisknout. Pokud chybí značka filamentu, který chceme použít, musí se přidat v záložce *Filament Settings*
- Printer – Výběr tiskárny, pro kterou chceme model nařezat
- Export STL – Možnost exportovat model do formátu stl
- Slice now – Nařeže model na vrstvy
- Export G-code – Exportuje model do instrukcí pro 3D tiskárnu neboli do *gcode*
- Tabulka bez nadpisu – Přehled modelů, které byly vloženy do programu
- Info – Informace o modelu, jeho velikost v milimetrech
- Sliced Info – Informace o spotřebě materiálu a době tisku. Tyto informace se zobrazí až po exportování do *gcode*

3) Náhled modelu

V náhledu modelu lze položit model na různá místa tiskové plochy přetažením pomocí levého tlačítka myši. Levým tlačítkem také otáčíme prostorem, když neklikneme na model. Pravým tlačítkem zase odsouváme pohled do stran.

4) Typy náhledu modelu

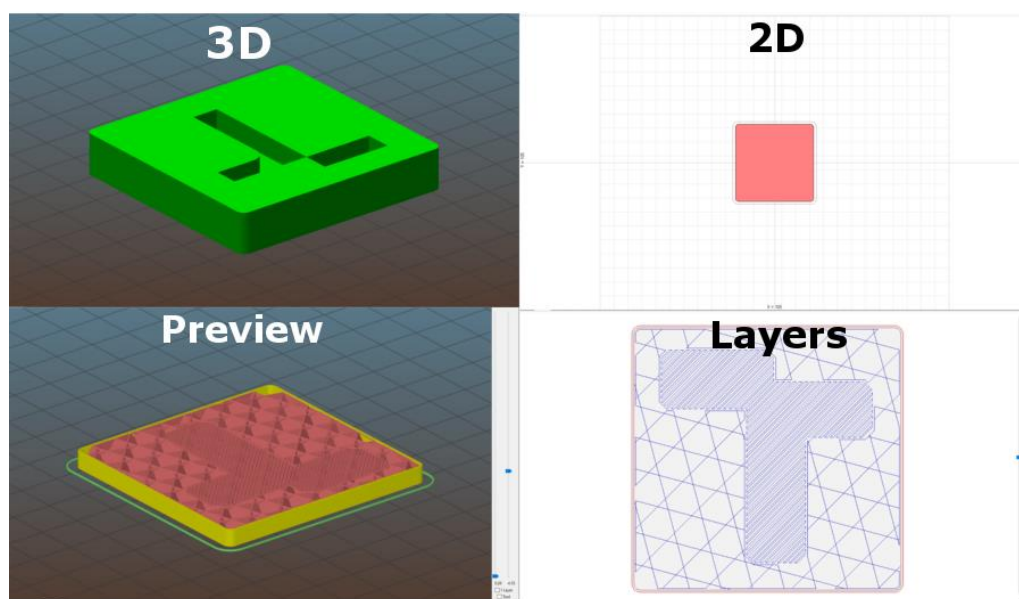
Slic3r má 4 typy náhledů:

3D – Klasický náhled, ve kterém jde modelem posouvat

2D – Pohled ze shora se sítí pro určení přesného místa kde bude vytisknut model, v tomto pohledu lze také posouvat modelem

Preview – Náhled na model s možností prohlédnout si průběh tisku v trojrozměrném prostoru

Layers – Pohled ze shora s možností si prohlédnout průběh tisku ve dvourozměrném prostoru



Obr. 7: 4 typy náhledů na model v programu Slic3r Prusa Edition

3.2 Tisknutelné materiály

Pro 3D tisk je potřeba využít speciální plast, který se rozpouští v teplotě do 300°C, přičemž nevypouští žádné jedovaté plyny. Takových plastů existuje mnoho, ale nejznámější jsou PLA, ABS a PETG. Na první pohled jsou materiály k nerozeznání, liší se až vlastnostmi [6].

Do FabLabu není dovoleno donášet si vlastní filamenty bez předchozí domluvy.

PLA (Polymléčná kyselina)

Téměř nejpoužívanější pro 3D tisk, rozpouští se při teplotě okolo 210°C a není nutné ho tisknout na vyhřívanou podložku, ale pro eliminaci chyb, jako jsou odlepení od podložky nebo zvedání rohů modelu, se zahřívá na 55°C.

Vyrábí se z kukuřičného škrobu a je v přírodě rozložitelný. Tetrahydrofuran tento plast leptá, ale je příliš nebezpečný pro využití na každodenní vyhlazování modelů, protože je vysoce hořlavý a jedovatý v ovzduší s podezřením na způsobování rakoviny.

ABS (Akrylonitril-Butadien-Styren)

Velmi pevný plast s vyšší teplotou tání okolo 250°C. Vyhřívaná podložka je podmínkou úspěšného tisku kvůli vysoké smrštivosti při chladnutí. Kvůli tak vysoké smrštivosti je nutné větší modely tisknout v uzavřené tiskárně, v jiném případě modelu praskají stěny, dělají se mezery a vrstvy na sebe potom nedosedají.

Chemické složení ABS dovoluje plast leptat acetonem. To je velkou výhodou na drsněji vytisknuté modely, které se nemusí brousit, ale stačí je jen potřít nebo napařit acetonem v uzavřené nádobě.

Z materiálu ABS jsou vyrobeny například kostičky populární stavebnice LEGO.

PETG (Glykolová modifikace Polyethyltereftalátu)

Je výborný pro jeho teplotní vlastnosti. Teplotu tání má okolo 230 °C a nahřívání stačí lehké okolo 50 °C, velmi dobře drží na podložce. Smrknutí při chladnutí má také minimální, jemně vyšší než PLA. Lze jej leptat ethylacetátem podobně jako ABS.

Jedinou nevýhodou je časté tečení plastu, když by neměl, a to má za příčinu porušení stěn větším množstvím materiálu a zanechávání „vlásků“ od cestování tiskové hlavy.

Speciální plasty

Je možné, že potřebujete něco více specifické jako je například filament PETG obohacený karbonovými vlákny pro funkční strojírenské modely anebo chcete vytisknout ohebný měkký model, tak použijete materiál FLEX.

Existují materiály obohacené hliníkem, bronzem, zlatem i materiály imitující dřevo. Většinou jsou složité na použití a je nutné dohledat si informace od výrobce a být připravený na několik nepovedených výtisků.

4 ÚLOHY PRO 3D TISK

Úlohy v této kapitole jsou sepsány vzestupně podle náročnosti a podle výukového záměru od základů po pokročilejší modely. Pro zkušenou osobu není nutné pořadí dodržet, avšak se úlohy na sebe odkazují.

4.1 Základní model s jednoduchým nastavením

Materiál: nezáleží na materiálu (doporučeno PLA)

Model: LogoVut.stl

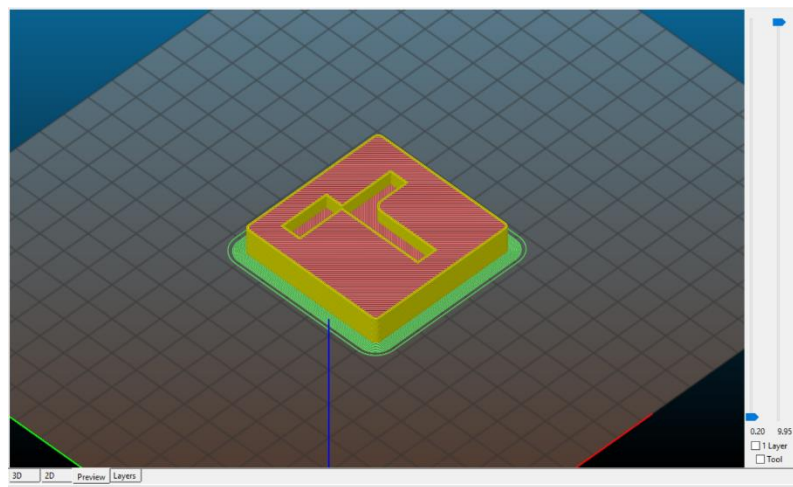
Zařízení: Prusa i3 MK2, notebook s programem Slic3r Prusa Edition

Pomůcky: špachtle, izopropylalkohol, hadřík, kleště

Všechno k úloze nalezneme přímo ve FabLabu i notebooky s potřebným programem. Materiál v úloze bude použit PLA pro jeho jednoduchost. Jestliže v tiskárnách FabLabu budou nabitě jiné materiály než PLA, můžete materiál nastavit na nabitý nebo použít návod na výměnu filamentu v **úloze 4.2.2**.

4.1.1 Příprava modelu

- 1) Vložíme model do Slic3ru pomocí tlačítka *Add* v části číslo jedna nebo přímo přetažením souboru s modelem na plochu programu.
- 2) V části číslo dvě, přehledovém panelu musíme mít nastavený PLA filament, tiskárnu Prusa i3 MK2 a kvalita 0.20mm NORMAL bude zcela dostačující.
- 3) Budeme muset zvážit tvar modelu a jeho využití. Považujme štítek s logem VUT za designový kousek, který nemusí být příliš pevný, avšak vyžadujeme od něj dodržení tvaru. V záložce *Print Settings* přejdeme do *Infill*. Zde můžeme nastavit, jak moc model chceme vyplnit a s jakým vzorkem výplně. Pro tento model bude dostačující *Fill density* 20 % a často preferovaný vzor *Cubic* nastavíme ve *Fill pattern*.
- 4) Model zabírá větší plochu, proto zvolíme *Brim*. To je několik obrysových vrstev držící rohy modelu lépe k podložce. Rohy nejsou ostré, takže zvednutí tolik nehrozí, ale jde spíše k ujištění, že nic takového nenastane za minimální cenu filamentu a času. *Brim* nastavíme ve *Skirt and brim*, kde *Brim width* nastavíme na 5 mm.
- 5) Takto nastavený tisk již je vyhovující a vrátíme se do záložky *Plater*. Zde klikneme na tlačítko *Slice now*, aby se nám rozřezal model do vrstev. Postup řezání je vidět vpravo dole, ale tento model je tak malý, že jeho zpracování téměř nevyvolá ukazatel průběhu.
- 6) Nařezaný model lze prohlédnout, když v náhledovém menu přejdeme na *Preview*. Můžeme tak vidět průřez modelem jako na Obr. 5. Nahlédnutím v *Preview* se i ujistíme že model byl nařezán, protože by se jinak ani nezobrazil.

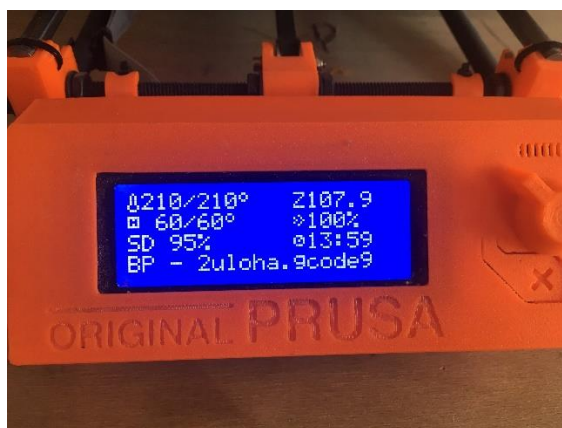


Obr. 8: Preview modelu štítu s VUT logem

- 7) Model teď, už stačí jenom exportovat pomocí tlačítka *Export G-code...* a vložit na SD kartu.

4.1.2 Příprava tiskárny a tisk

- 1) Hned je nutné vyčistit tiskárnu, aby na ní nebyly zbytky filamentu od předchozích uživatelů. U tiskáren leží různé škrabky a špachtle, kterými trpělivě seškrábneme jakýkoliv přitavený plast, ale je nutné být opatrný. Lze takto poškodit tiskovou plochu.
- 2) Jak na tiskové desce nemáme žádné zbytky materiálu, musíme desku odmastit. K tomuto účelu je u tiskáren izopropylalkohol v rozstříkovačích a hadry. Nastříkáme izopropylalkohol přímo na desku a hadříkem pořádně vyčistíme. Je lepší použít více izopropylalkoholu, aby se tisk od desky neodlepil kvůli mastnotě.
- 3) Vložíme SD kartu do tiskárny, zdířka na kartu se nachází po pravé straně ovládacího panelu tiskárny.



Obr. 9: Ovládací panel 3D tiskárny

- 4) Tiskárna se ovládá kulatým knoflíkem na ovládacím panelu tiskárny, otáčením přecházíme mezi položkami a kliknutím potvrdíme. Musíme se teď v panelu dostat na *Print from SD card*. To nám otevře soubory na kartě, kde najdeme náš model a kliknutím vybereme. Poté se tiskárna začne zahřívat na teploty pro plast PLA. Pokud při zahřívání vyteče nějaký plast na tiskovou plochu, je vhodné jej odstranit.
- 5) Jakmile dosáhne tiskárna požadovaných teplot začne s tiskem. Tiskárna nejprve indukčním senzorem zkontroluje výšku trysky na 9 místech tiskové plochy. Dalším krokem vytiskne krátkou čáru vpředu na desce, tímto se tiskárna zbaví vytečených plastů na trysce.
- 6) Je dobré sledovat pár prvních vrstev, jestli se dobře připevnili, kdyby tomu tak nebylo a vrstvy nepřilnuli k podložce je nutné zastavit tisk a znovu očistit a odmastit tiskovou plochu. Potom zase začít od bodu 1 v části příprava tiskárny.
- 7) Konec tisku poznáte, když tiskárna odjede stranou s tiskovou hlavou a začne chladnout. K tomu ve FabLabu systém chytrých zásuvek i vypne tiskárnu. Model od podložky odděláme pomocí škrabky, kterou podebereme opatrně model. U materiálu PLA nebývá problém s odlepením od podložky, ale ne vždy to jde lehce. Je nutná trpělivost, protože s příliš velkou silou a rychlostí se zvýší pravděpodobnost, že poničíte model nebo tiskovou desku. Od modelu odstraníme *brim* pomocí lámacího nože nebo i prsty. *Brim* není příliš pevný a k modelu moc nedrží, je opravdu pouze pro lepší přilnavost modelu k podložce.

4.2 Tisk modelu s podporami

Materiál: PLA

Model: TestPodpory.stl

Zařízení: Prusa i3 MK2, notebook s programem Slic3r Prusa Edition

Pomůcky: špachtle, izopropylalkohol, hadřík, kleště

Model této úlohy je od umělce Ben Dansie, který zveřejnil svůj model bez copyrightu, jako volně šiřitelný model s neomezeným použitím na stránce pro 3D modely Thingiverse³. K tomuto úkolu je zapotřebí model s náročným tvarem, který by nešel vytisknout bez podpor. Tím je myšleno, že by bez podpor tiskárna zkoušela tisknout model ve vzduchu a docílila by takto jenom hromady plastových drátů. Vybraný model má i velmi složitý tvar na kterém bude prezentována i třetí úloha **Povrchové úpravy modelu**.

Není nutné použít stejný model pro vyzkoušení tisku s podporami, protože zvolený model je časově náročnější. Na výše zmíněném portálu Thiniverse je mnoho

³ <https://thingiverse.com> – stránka s modely pro 3D tisk ve formátu stl. Některé modely nejsou poskytnuty s neomezenou licencí využití.

jednodušších modelů vyžadujících podpory nebo například testovací modely, které jsou velice vhodné pro zkoušku přesnosti, rychlosti a podpor.



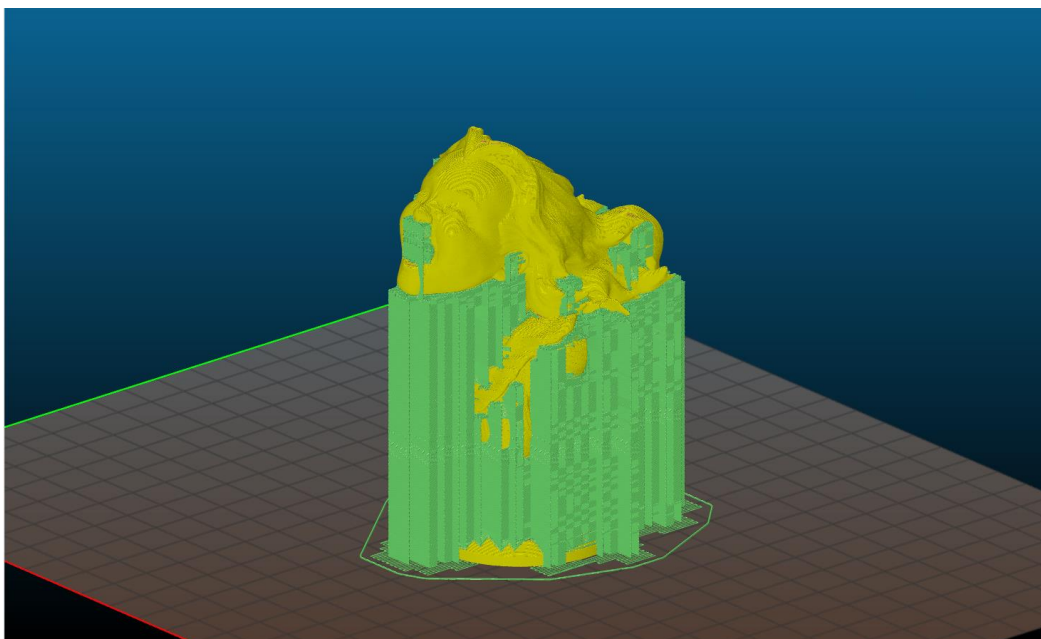
Obr. 10: Vygenerovaný model v programu Zbrush od Ben Dansie

S tímto modelem uvažujte velké množství podpor, proto výběr materiálu bude PLA. Důvodem je lepší práce s nepříliš tvrdým plastem. Samozřejmě by bylo dobré použít ABS, kvůli tomu že jde dobře leptat acetonem, čímž docílíte hladkého povrchu bez nutnosti broušení. Avšak velká tvrdost ABS a velmi vysoká teplota podložky i trysky znesnadňuje tisk velkých modelů s podporami. Právě podpory z ABS jsou velmi pevné a oddělitelné jedině kleštěmi.

Pokud ze standartních filamentů uvážíme ještě PETG, tak nám tento plast nepřináší žádnou výhodu pro designový model až na vyšší odolnost modelu, která zase přináší náročnější povrchovou úpravu a čištění od podpor.

4.2.1 Příprava modelu

- 1) Začínáme stejně jako v úloze 4.1, vložíme model do Slic3ru, vybereme materiál PLA, tiskárna Prusa i3 MK2, ale kvalitu zvolíme 0.15 OPTIMAL. Kvalita tisku je zde nutná vyšší, abychom získali co nejvíce hezkých detailů.
- 2) V *Print Settings* nastavíme *Infill/Fill density* na 15 %, abychom trochu šetřili materiálem a časem. Také zde v *Support material* musíme zapnout podpory. Hned nahoře je zatrhneme možnost *Generate support material*.
- 3) Nakonec stejně jako v předchozí úloze dáme *Slice now*, po kterém můžeme prohlédnout průběh tisku v *Preview*. Přípravu modelu dokončíme kliknutím na *Export G-code...*, což nám vygeneruje instrukce pro tiskárnu. Instrukce ve formě gcodu vložíme na SD kartu.



Obr. 11: Model s vygenerovanými podporami

4.2.2 Výměna filamentu

V tiskárnách FabLabu nejsou vždy nabité filamenty, které potřebujete. Je takto nutné vyměnit filament, protože nelze tisknout jiným filamentem, než jste nastavili ve Slic3ru. Mělo by to za následek fatální výtisk nepřipomínající žádaný výsledek nebo minimálně několik povrchových chyb.

U první úlohy tolik nezáleží na materiálu a lze se vyhnout výměně změnou filamentu ještě ve Slic3ru. U této úlohy by ale změna materiálu způsobila náročné problémy s oddělováním podpor od modelu s možností velmi pevných spojů odstranitelných pouze broušením.

Postup:

- 1) Na ovládacím panelu tiskárny kliknutím vejďte do menu. Na nabitém filamentu by měla být cedulka s názvem materiálu, podle kterého předehejte tiskárnu. Předehtí spustíte v záložce *Preheat*, kde vyberete materiál nabitého filamentu. Tiskárna začne zvyšovat teplotu trysky i desky. Zahřívání desky není potřebné pro výměnu filamentu, proto vypněte teplotu v záložce *Settings, Temperature*, kde nastavíte teplotu *Bed* na nulu.
- 2) Když se tiskárna zahřeje na požadovanou teplotu, dejte v menu *Unload filament*. Krokový motor vysune filament ven, ale v trysce stále zůstane předešlý materiál. Vysunuté klubko filamentu zabezpečte, aby se nezamotalo a vraťte na místo, kde daný typ skladují.
- 3) Filament kleštěmi zastříhnete do hrotu a vsuňte ho do tiskárny až k tiskové hlavě. Nejde to zcela samo, ale není zapotřebí násilí. V menu kliknete na *Load filament*, to spustí krokový motor a ten by měl filament zachytit, pokud tomu tak není,

zkuste filament do tiskárny lépe vložit. Po několika sekundách tiskárna ukáže dialog *Is color clear* s výběrem *yes* a *no*. Tiskárna se tímto ptá, jestli je filament nabitý a v trysce nejsou zbytky předchozího. Kliknutím na *no* tiskárna začne znovu s nabíjením a po stejné chvíli se znovu zeptá. Dávejte stále *no*, dokud z trysky neteče čistá barva vašeho filamentu.

Po třetím kroku by měl být filament vyměněný a připravený k následujícímu tisku. Může se stát, že nelze filament přebít kvůli zanesení ozubených kol tiskové hlavy. V takovém případě je nutné to říct někomu z vedení FabLabu nebo položit vzkaz se závadou na tiskovou desku.

4.2.3 Příprava tiskárny

Příprava tiskárny je identická s úlohou 4.1. Opět je nutné dodržet očištění tiskové desky a kontrolovat model při prvních několika vrstvách. V případě tohoto modelu je obezřetnost na prvním místě, vypočítaná doba tisku je okolo 15 hodin a 38 metrů filamentu.



Obr. 12: Model s podporami v poslední hodině tisku

4.3 Povrchové úpravy modelu

Po vytisknutí mají modely drsný povrch s viditelnými mezerami. Takto vypadající model může být v pořádku z funkčního hlediska, ale esteticky jde o drsný nepříliš vzhledný model.

Podle materiálu budeme volit mezi dvěma typy povrchových úprav. Jde buď o metodu broušení šmirgl papírem a následným pokrytím plnicím sprejem anebo o chemické leptání povrchu modelu.

Teprve až po povrchové úpravě modelu je vhodné barvení, které má nejlepší výsledky s akrylovou barvou. Jiné barvy můžou být agresivní na materiál nebo na něm nemusí dobře držet. Kdybyste model natřeli před úpravou, tak byste mezery a povrchové nerovnosti ještě více zvýraznili [7].

4.3.1 Metoda broušením

Materiály: PLA, PETG a další...

Pomůcky: více druhů brusného papíru podle drsnosti (100, 120, 600), lavor s vodou, plnicí sprej (prodává se jako sprej na zakrytí škrábanců na karoserii automobilů), špejli, izolepu

Postup:

- 1) Model začněte brousit nejdrsnejším šmirgl papírem (100), pro odstranění většiny viditelných povrchových nerovností, například stopy po podporách.
- 2) Méně drsným šmirgl papírem (120) začněte vyhlazovat povrch, za účelem co nejvíce zahladit mezery mezi vrstvami. Musíte dávat pozor na chtěné detaily modelu, abyste je nezabrousili.
- 3) Vyhlazený model připevněte izolepou ke špejli, za kterou model budete držet při stříkání plnicím sprejem. Pokud to není možné, v mechatikě FabLabu vyvrtejte do spodu modelu díru, zastrčte špejli do modelu a zabezpečte tavnou pistolí na lepidlo.
- 4) V mechatikě se nachází digestoř určená k těmto účelům, aby pach spreje nezamořil celou místnost. Model držte za špejli a ze vzdálenosti okolo 20 centimetrů naneste plnicí sprej, rovnoměrně po celém modelu bez toho, aniž by barva ze spreje ztékala po modelu. Zapíchněte model na špejli do polystyrenu a nechte schnout alespoň 30 minut, než nanesete další vrstvu plnicího spreje. Model nechte schnout, tak dlouho jak vám doporučují na spreji.



Obr. 13: Model nastříkaný plnicí barvou a vybroušený

- 5) Nejjemnějším šmirgl papírem (60) budete brousit model metodou mokrého broušení. Nad lavorem namočte šmirgl papír a bruste model na místech kde se vám stále nezdá hladký. Model namočte do lavoru pokaždé, když chcete vidět kondici povrchu. Model by měl být hladký bez viditelných přechodů vrstev jako na Obr. 13.
- 6) Model opláchněte, osušte papírovou utěrkou. Před barvením je nejlepší model nastříkat první základovou vrstvou akrylové bílé barvy.

4.3.2 Metoda chemickým leptáním

Materiály: ABS

Pomůcky: uzavíratelný kýbl, papírové utěrky, aceton, keramický stojánek (stojánek může být z jakéhokoliv materiálu, který nepodléhá degradaci acetonem)

Postup:

- 1) Do kýblu vložíme papírové utěrky, které namočíme do acetonu. Na spod kýblu dáme keramický podstavec a na něj umístíme model, tak aby se žádnou částí nedotýkal papírových utěrek. Kýbl poté bezpečně uzavřeme, aby se aceton nevolňoval do ovzduší.
- 2) Po dvaceti minutách otevřete kýbl a prohlédněte model. Zaměřte se na mezery mezi vrstvami, které by leptání mělo zacelit. Pokud model není celý lesklý a hladký, nechejte ho dalších dvacet minut leptat.
- 3) Až budete spokojeni model opláchněte vodou, usušte a utěrky od acetonu spláchněte do záchodu nebo se jich jinak zbavte. Aceton není sice jedovatý, ale je velmi dobře hořlavý.

5 LASEROVÉ GRAVÍROVÁNÍ A ŘEZÁNÍ

Odpalování materiálu je stále potřebný a důležitý postup ve strojírenství. Používá se k tomu celá řada postupů, různých laserů a metod, ale každá má nějaký vážný nedostatek bránící univerzálnímu použití. [8]

Lasery se liší jak ve výkonu a rozsahu použití, tak v typu aktivního prostředí, ve kterém jsou tvořeny. Základní rozdělení je na lasery vznikající v plynech, pevných látkách a polovodičích.

Všechny lasery, podle základního rozdělení používají jednu ze tří metod oddělování materiálu. Tavné řezání, při kterém laser roztaví materiál, jenž je přivedeným plynem odstraněn z řezu, aby se materiál znovu nespojil. Oxidační řezání se vyznačuje přivedením kyslíku ke zrychlení řezu za cenu širokého řezu nižší kvality a poničení materiálu velkou teplotou. Poslední metoda sublimační odpařuje ozářený materiál s nevýhodou možné zpětné kondenzace materiálu.

Laboratoře FabLabu jsou vybaveny laserem tvořeným v aktivním prostředí plynu oxidu uhličitého dále jen CO₂. Metodu využívá sublimační s nastavitelným výkonem až 60 W. Laserová trubice je chlazená vzduchem.

Pole působnosti tohoto slabšího laseru je řezání nebo gravírování dřevěných desek, plexiskla a jiných nekovových materiálů netvořících jedovaté plyny při spalování.

Odpalování sublimačním plynovým laserem funguje na principu, kdy paprsek soustředí velké množství energie na malé ploše. Energie je přeměněna na teplo, a to odpařuje materiál. Laser vzniká v CO₂ trubici přivedením dostatečně velkého napětí na elektrody, které zapálí směs dusíku, hélia a oxidu uhličitého. CO₂ lasery mohou dosahovat velmi vysokých výkonů, avšak to má za následek náročné chlazení pro ochranu trubice s plynem a čoček. Řízení je pomocí zrcátek pohybujících se v osách XY a spodní desky pohybující se v ose Z pro zaostření.

Rozdíl mezi gravírováním a řezáním je v množství odpařeného materiálu. Při řezání laser odpaří materiál skrz a lze takto řezat přesné otvory nebo přesné řezy různých tvarů. Oproti tomu gravírování naruší povrch materiálu pouze tak, aby po sobě zanechal stopu. Gravírovat lze i do větší hloubky k vytvoření reliéfu, prohlubní či drážek.

Laserové odpalování je více průmyslové, tudíž se nejedná o domácí koníček jako je to u 3D tisku. Také se laser již dnes hojně využívá například v automobilovém průmyslu pro řezání kovových slitin i titanu.

5.1 Software pro gravírování a řezání

Stejně jako u 3D tisku jsou zapotřebí dva typy programů. Prvním je vektorový editor s možností tvorby přesných obrazců v jednotkách milimetrů. Ve vektorovém programu se tvoří samotný náčrt řezů i gravírování.

Druhý nutný program je k ovládní samotného laseru. Výrobce laseru má většinou software vlastní a je tomu tak i v případě laseru nacházejícího se ve FabLabu. Výrobce laseru Trotec tudíž využívá vlastní program JobControl.

Vektorový editor Inkscape

Inkscape je jednoduchý vektorový editor s bezplatnou licencí. Dokáže otevřít většinu grafických formátů a převádět grafiky do vektorové podoby.

Ovládání je velmi intuitivní a nezabere příliš mnoho času prohlédnout většinu funkcí. Tudíž nevyžaduje další návod jako tomu bylo u Slic3ru.

Placenou alternativou Inkscape jsou Adobe Illustrator nebo CorelDraw, které jsou více profesionální a disponují více funkcemi. CorelDraw je možné použít na počítači vedle laseru ve FabLabu.

Ovládací program JobControl

JobControl je program vyvinutý firmou Trotec pro převod vektorové grafiky na instrukce srozumitelné pro lasery vyrobené stejnojmennou firmou.

Program je kompatibilní s operačním systémem Windows XP a vyšší. Takto je podporovaný všemi vektorovými editory dostupnými na tomto operačním systému. Vektorové editory ho využijí jako tiskárnu a grafiku do něj přímo exportují [9].

Největší výhodou je využití programu jako virtuálního stroje. Takto obrazovka počítače odpovídá ploše laseru a veškeré nastavení grafiky jako je pozice, hloubka řezu a kvalita se nastaví rovnou na počítači místo používání nějakého vestavěného displeje laseru.

Program navíc obsahuje databázi materiálů pro nejlepší výsledky řezání a gravírování vyladěné uživateli. Neobsahuje všechny materiály se kterými je laser schopný pracovat, ale je zde obsažena většina obvyklých materiálů.

6 ÚLOHY NA LASER

Úlohy jsou stejně jako u 3D tisku koncipované od jednoduché úlohy po pokročilou, se stejnými výukovými záměry, kdy je možné neznat správný postup bez absolvování předešlé úlohy.

U úloh na laserové řezání je nutné dodržet tloušťku i materiál použité desky, jinak by neseděli rozměry výrobku a doporučený výkon by neprořízl desku skrz.

6.1 Klíčenka se jménem

Deska: topolové dřevo 3 mm

Grafika: klicenkaVektor.svg

Zařízení: Trotec Speedy 300, notebook s Inkscape a JobControl

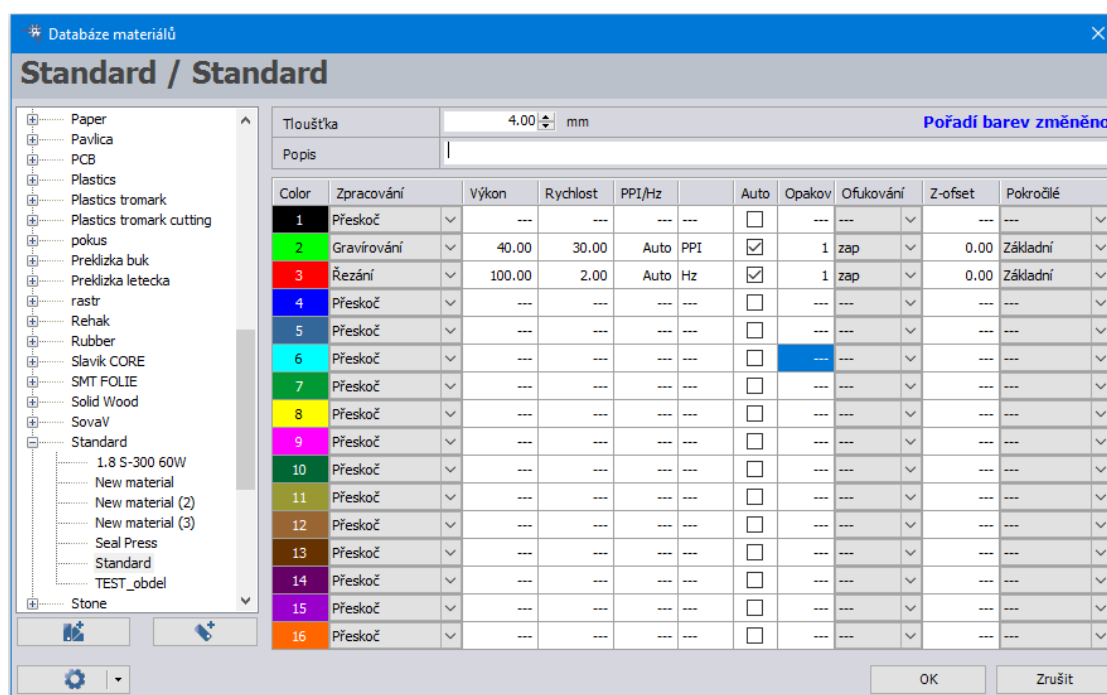
Pomůcky: papírová páska

6.1.1 Příprava grafiky

- 1) Otevřete soubor klicenkaVektor.svg v programu **Inkscape**.
- 2) Klíčenka má rozměry 80x20 mm, proto bude potřeba si obstarat dostatečně velkou topolovou desku o tloušťce 3 mm.
- 3) Dvojklikem na již napsané příjmení můžete vložit své vlastní nebo nahradit nápis vlastní vektorovou grafikou. Avšak grafika musí být ve zcela černé barvě podle RGB s hodnotami 0,0,0. Důvodem je, že budeme využívat laser ke gravírování na černou barvu.
- 4) Okraj klíčenky je zcela červený o tloušťce 0,1 mm, která v průměru odpovídá tloušťce řezu. Pokud byste chtěli vyřezat nějaké obrazce do klíčenky, musíte nastavit obrys úplně stejně v nastavení styl čáry, které lze otevřít klávesovou zkratkou CTRL+SHIFT+F.
- 5) Pokud grafiku nepřipravujete na počítači vedle laseru, musíte uložit grafiku do formátu svg a přenést na flashdisku do počítače vedle laseru. Ten jediný je totiž připojený k laseru.
- 6) Přenesení dat může mít problém v chybějícím fontu písma, takže musíte buď zvolit font jiný nebo poprosit někoho z vedení o instalaci fontu.
- 7) Stiskněte volbu tisk v záložce **Soubor**, vyberte jako tiskárnu laser Trotec speedy 300 a stiskněte předvolby. Otevře se vám dialogové okno s nastavením pro JobControl, kde je nutné vybrat velikost grafiky. Velikost se bere z levého horního rohu, takže v případě originální klíčenky vyberte šířku 100 mm a výšku 30 mm. Ještě je nutné vybrat „barevný tisk“, aby laser viděl černou i červenou barvu a odlišil řezání od gravírování. Vhodné DPI pro gravírování nápisu je 333. Nastavení potvrdíte stisknutím na logo JobControl.
- 8) Po potvrzení tisku se automaticky zapne JobControl nebo přidá grafiku do fronty, pokud již otevřený je.

6.1.2 JobControl a nastavení laseru

- 1) V JobControlu je nutné přetáhnout název grafiky z fronty na plochu. Ujistit se o tom, že je to vaše grafika jde pomocí ikony malého oka na horní liště. Pokud se vám zobrazuje jenom jedna barva, napравíte to v dalším kroku.
- 2) Nastavit sílu gravírování a řezání lze po dvojkliku na plochu. Otevře se vám dialogové okno Obr. 14, kde u černé barvy vyberete zpracování gravírování a červené řezání. Vhodný výkon pro gravírování je po několika zkouškách 80 % při rychlosti 80. Pro řezání jsou tyto hodnoty 100 % výkonu a rychlost 3. Na počítači vedle laseru se nachází na spodní liště desktopu soubor v Google tabulkách s vypsányi hodnotami uživateli FabLabu, abyste u každého materiálu nemuseli zkoušet jeho vlastnosti.



Obr. 14: Dialogové okno nastavení síly laseru

- 3) Členskou kartou FabLabu se přihlásíte k laseru, čímž se i zapne. Poté, co deska sjede úplně do nejnižší polohy, dá se laser ovládat pomocí šipek na pravé straně.
- 4) (Nepovinný krok) Vybranou dřevěnou desku olepte papírovou páskou po celé ploše tak, aby mezi páskami nebyly mezery, ale tak aby se pásy příliš nepřekrývaly. Zabráníte tím očouzení desky dýmem ze spáleného dřeva.
- 5) Položte do laseru desku. Uvnitř laseru leží položený ostřící kovový díl Obr. 15, který upevníte na červenou hlavu laseru. Šípkami zajed'te nad dřevěnou desku a pomalu zvedejte šípkou nahoru spodní desku laseru, dokud se ostřící díl nedotkne dřevěné desky. Ověřit zaostření jde pohledem na desku, na kterou by měl dopadat zaostřený paprsek červené diody.



Obr. 15: Ostríací díl laseru

- 6) V JobControlu nyní můžete dát tlačítko *ready*, které se nachází pod tiskovou frontou. Tím se propojí laser s počítačem a na ploše se zobrazí modrý kříž symbolizující hlavici laseru.
- 7) Okrajové měřítko na počítači odpovídat měřítku na laseru. Nezáleží na tom, kde se hlavice nachází, řezání s gravírováním bude provedeno podle umístění v JobControlu.
- 8) Až je vše umístěné a nachystané dejte opět pod tiskovou frontou tlačítko Spustit.
- 9) Laser začne nejprve gravírovat a až potom řezat. Na proces se dívat můžete, ale nedoporučuje se celou dobu, protože stále existuje šance odraženého paprsku, který by vám mohl poničit zrak.
- 10) Pokud není grafika dostatečně vygravírovaná nebo vyřezaná, restartujte celý proces. V nastavení výkonu a rychlosti můžete přeskočit červenou a vyhnout se řezání nebo naopak černou. Proces nejde spustit, dokud nekliknete pravým tlačítkem na grafiku a nedáte *Job reset*.

6.2 Vyřezaná krabice

Deska: topolové dřevo 3 mm

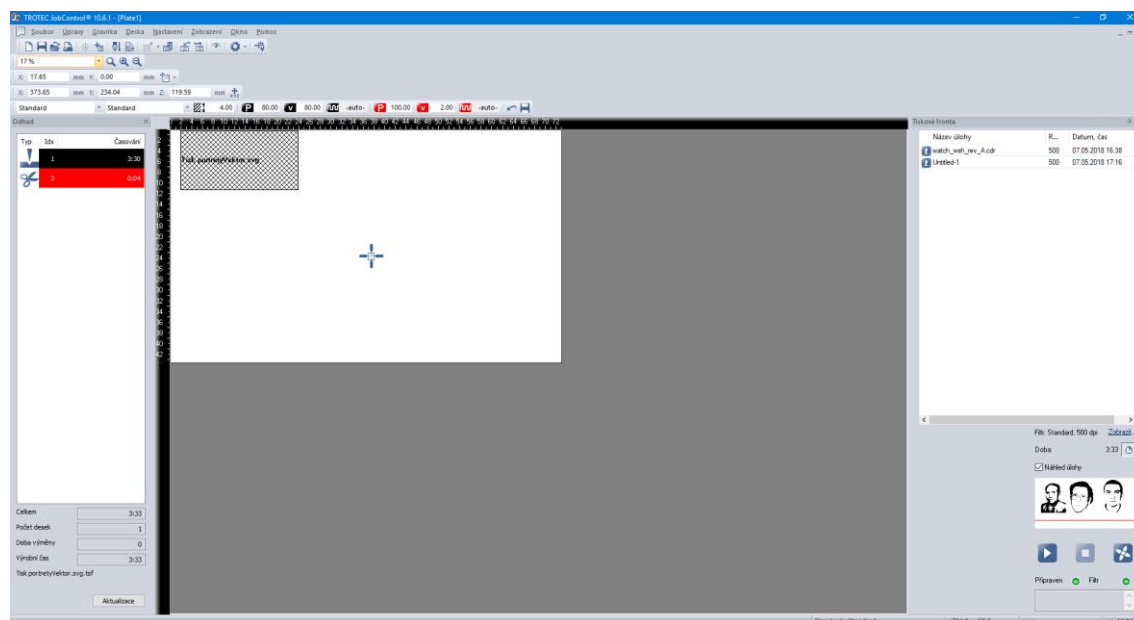
Grafika: klicenkaVektor.svg

Zařízení: Trotec Speedy 300, notebook s Inkscape a JobControl

Pomůcky: papírová páska

6.2.1 Příprava grafiky

- 1) Otevřete soubor krabiceVektor.svg v programu **Inkscape**.
- 2) Krabice je vytvořená s pomocí stránky Makercase⁴, na které je možné přizpůsobit si vlastní krabici s víkem a přihrádky uvnitř. Vytvořená krabice se dá lehce upravit v Inkscape. Krabice přiložená k úloze je zbavena horního dílu z estetických důvodů.
- 3) Pokud budete vytvářet vlastní krabici, je nutné při exportu zadat červenou barvu pro řezání krabice a šířku linky 0,1 mm. Také si v Inkscape ověřte velikost stran v milimetrech, v několika případech se stalo, že se velikost špatně vygenerovala.
- 4) Na krabici můžete umístit nápisy, loga a grafiky v černé barvě ke gravírování.
- 5) Klikněte v záložce Soubor na tisk a jako v předešlé úloze otevřete předvolby. Zase je potřeba nastavit velikost grafiky, která tentokrát je velká 330 mm na výšku a 300 mm na šířku. Budete potřebovat i stejně velkou nebo větší topolovou desku o tloušťce 3 mm.
- 6) Uložte nastavení a dejte tisk. Otevře se vám JobControl.



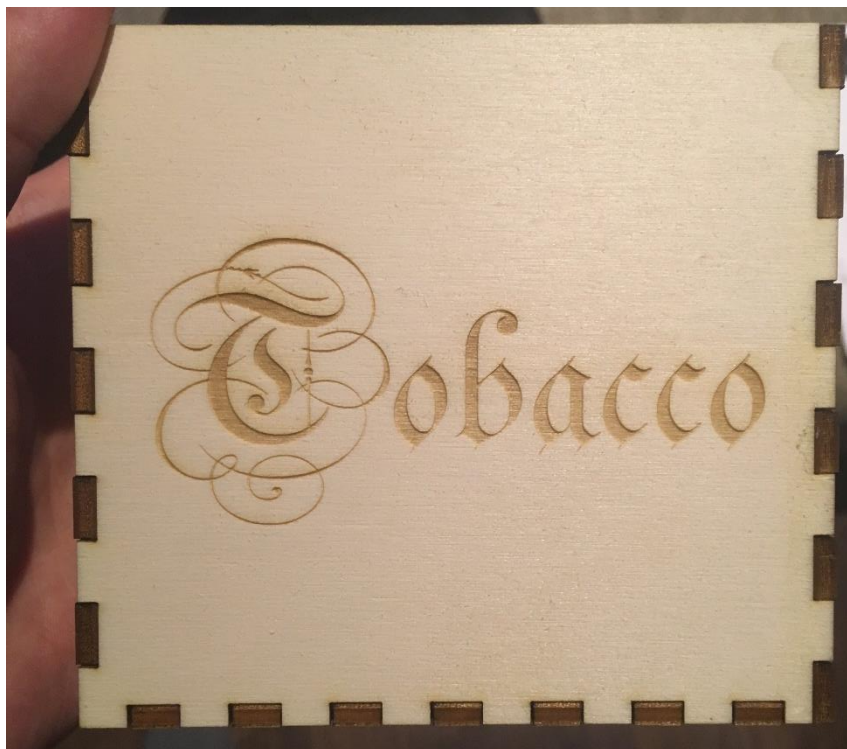
Obr. 16: Prostředí JobControlu

⁴ <http://www.makercase.com> – Stránka s webovou aplikací pro tvorbu krabic pro laser.

6.2.2 JobControl a nastavení laseru

- 1) Postupujeme stejně jako v předešlé úloze. Přetáhneme název grafiky na plochu laseru.
- 2) Nastavení výkonu a rychlosti vzhledem k totožné dřevěné desce je stejné. Takže 80 % výkon, 80 rychlost černé pro gravírování, jestliže jste na krabici vložili nějakou grafiku. 100 % výkon, 3 rychlost červené pro řezání. Pokud používáte jiné dřevo o jiné tloušťce, tak si musíte vyrobit novou krabici na stránce MakerCase a v tabulkách na počítači u laseru zjistit výkon a rychlost pro dané dřevo.
- 3) Oblepte desku papírovou páskou, tentokrát je to nutný krok. Kvůli velkému množství odpáleného dřeva by dým určitě znečistil světlé dřevo
- 4) Přihlaste se do laseru FabLab kartou a zaostřete laser pro vaši desku.
- 5) Dejte tlačítko *Ready*, tím připojíte laser. Zkontrolujte umístění grafiky na ploše JobControlu zda se shoduje s umístěním desky v laseru a dejte tlačítko *Spustit*.
- 6) Krabici sestavte nejprve bez lepení a až jste si jistí správného rozložení dílů, slepte je.

Pozn.: Pokud krabice příliš zapáchá opáleným dřevem, je možné odstranit tento zápach instantní kávou nasýpanou přes noc do krabice.



Obr. 17: Vyhotovená krabice s nápisem

7 SPOJENÉ ÚLOHY

Poslední spojená úloha je zkouškou získaných zkušeností z předešlých úloh. Vyžaduje i zručnost v pájení, kterou doporučuji předem nacvičit. Spojená úloha je ověřením nabraných zkušeností tudíž bude méně podrobná než předešlé úlohy.

7.1 Dřevěný reprobox

Deska: topolové dřevo 3 mm

Soubory: Obal.stl, Kryt.svg

Zařízení: Trotec Speedy 300, Prusa i3 MK2, notebook s Inkscape, JobControl, Slic3r Prusa Edition, pájecí pistole nebo mikropájka

Materiál: reproduktor 0,25 W/36 mm, výstup na 3,5 mm JACK MONO, dráty

Pomůcky: papírová páska, cín

7.1.1 Obal – 3D tisk

- 1) Otevřete model Obal.stl v programu Slic3r Prusa Edition
- 2) Nastavte kvalitu 0,2 mm, na materiálu nezáleží, ale opět byste se měli držet jednoduchého PLA.
- 3) Kvůli zdířce na JACK musíte nastavit, aby se vygenerovali podpory.

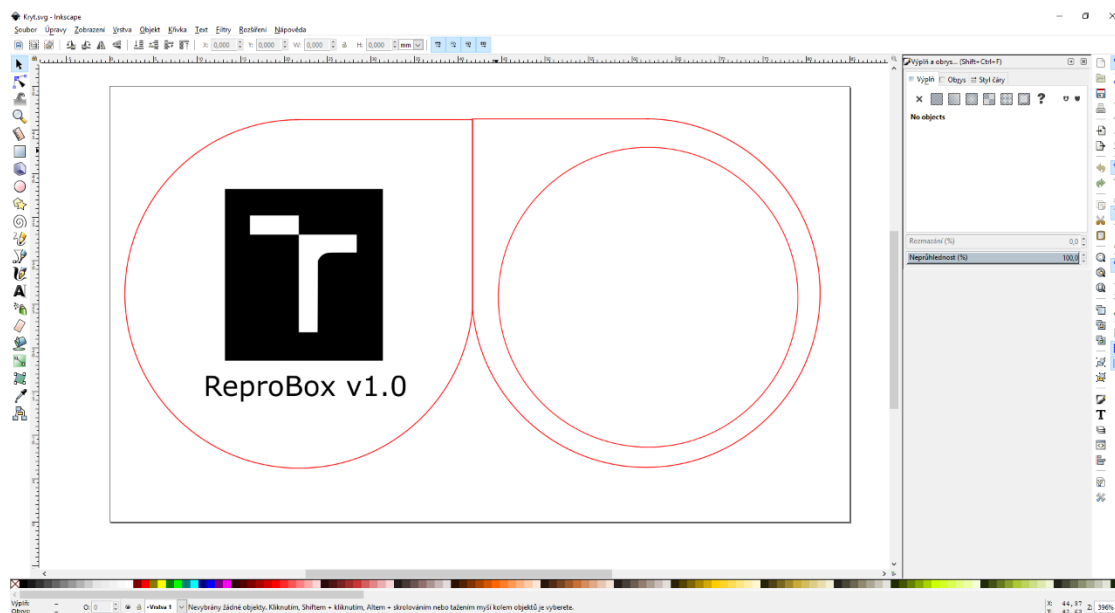


Obr. 18: Model obalu na reprobox v programu Fusion 360

- 4) Model nařezejte a vygenerujte do gcode, vložte na kartu a přejděte k tiskárně.
- 5) Tiskárnu připravte, očistěte a nechejte obal vytisknout.

7.1.2 Kryt – laserové řezání a gravírování

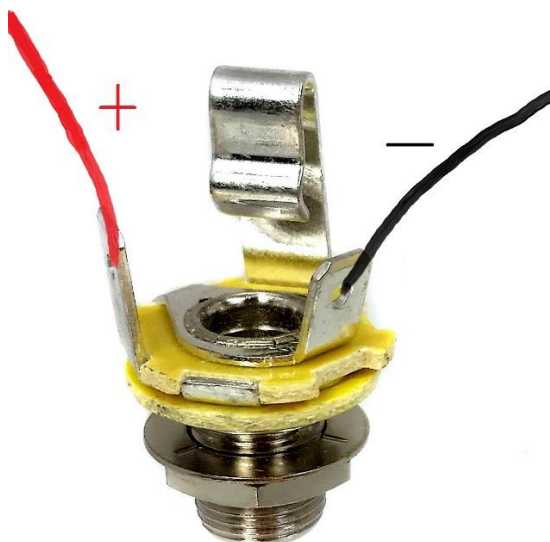
- 1) Otevřete v programu Inkscape Krypt.svg, kde můžete pozměnit potisk gravírování.
- 2) Dejte vytisknout a nastavte předvolbu pro JobControl.
- 3) Ke krytu bude potřeba deska široká 90 mm a vysoká 60 mm, to také nastavte v předvolbě pro JobControl.
- 4) Rychlost a výkon v JobControlu je stále stejná jako v předchozích úlohách pro laser, protože se jedná o totožnou dřevěnou desku.
- 5) Desku opatřete papírovou páskou, zaostřete laser a vyřízněte.



Obr. 19: Vzhled krytu v programu Inkscape

7.1.3 Vnitřní komponenty

- 1) Vezměte reproduktor s dvěma kabely. Červený je kabel s kladným nábojem (+) a černý je uzemnění (-).
- 2) Reproduktor musíte napájet do JACK výstupu podle Obr.20.



Obr. 20: Zapojení drátů na 3,5 mm JACK MONO výstup

- 3) Pro pájení je vhodné nejprve nanést cín na kontakty a dráty, které budete spojovat dohromady.
- 4) Ujistit se, že jste vše dobře spájeli, můžete připojením reproboxu k mobilnímu telefonu.
- 5) Dalším krokem je přilepení krytu k obalu. Nejprve přilepte dřevěný kryt s velkou dírou k plastovému obalu. Ke krytu opatrně přilepte reproduktor.
- 6) Připájený JACK vložte do díry v obalu a upevněte šroubovacím protikusem.
- 7) Nakonec přilepte horní kryt s logem. Reprobox je celý slepený, protože by neměl potřebovat vnitřní údržbu.

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámení studentů s digitalizovanou výrobou dostupnou ve FabLab Brno, konkrétně s ovládáním laseru ke gravírování i řezání a 3D tiskem.

Pro seznámení studentů jsem vytvořil laboratorní úlohy s podrobným popisem, aby jejich absolvování bylo možné bez pomoci mentora či kantora. Úlohy byly otestovány a některé byly vypracovány mojí humanitně zaměřenou přítelkyní, bez jakýchkoliv předešlých zkušeností s těmito stroji. Takto jsem mohl úlohy doladit pro co nejvyšší výukový záměr a ověřit jejich srozumitelnost nebo i náročnost.

Práce nejprve čtenáře seznámí s FabLabem, aby věděli, o co se jedná, jaké tam jsou pravidla a podle jaké filosofie se zde pracuje. Také zde zmiňuji věcné informace o vybavení a prostorech FabLabu Brno.

Třetí kapitola začíná s teoretickým základem 3D tisku, nutným pro bezpečný tisk polymerů. Popis programů nutných k procesu modelu z počítače do instrukcí tiskárny a celkový základ ovládání řezacího programu Slic3r Prusa Edition.

Na třetí kapitolu navazuje čtvrtá, laboratorní úlohy pro 3D tisk, kde se teorie mění v praxi. Obsahuje 3 úlohy s několika pod úlohami za účelem naučit čtenáře co nejlépe pracovat s 3D tiskárnou, tisknout složité modely s podporami a jejich konečné úpravy.

Pátá kapitola vysvětluje teorii laserového řezání a gravírování, s menším seznámením vlivu laseru na ostřelované materiály. Taktéž zde jsou popsány programy nutné pro laserové řezání a gravírování.

Šestá kapitola po seznámení s teorií laserů, popisuje jejich využití ve formě dvou laboratorních úloh. Všechny úlohy jsou popsány na dřevěný materiál, který je nejsnazší pro metody gravírování i řezání a zároveň cenově dostupný pro zaučení do práce s laserem.

Závěrem sedmá kapitola spojuje využití laseru, 3D tisku a základní elektroniky v jedné laboratorní úloze, která ukazuje možnosti spojení moderních technologií k vytvoření produktu na úrovni klasické výrobní linky.

Laboratoře FabLabu ještě disponují výkonnou CNC frézou průmyslové úrovně, avšak její zvládnutí a náročnost by obsáhla příliš mnoho bakalářské práce. Samotné školení FabLabem je ve třech celodenních školeních a ani poté není vhodné se strojem zacházet bez dozoru někoho z vedení FabLabu. Proto nebylo možné zavést samostatné laboratorní úlohy na CNC frézu do této práce.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] *FabLabNI* [online]. Belfast [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <http://www.fablabni.com>
- [3] BALÁTEĚ, J.: Automatické řízení. BEN 2003 Praha. ISBN 80-7300-020-2.
- [4] MM průmyslové spektrum: Plasty: [příloha časopisu MM průmyslové spektrum]. Praha: Industria Press, 2014, 2014(3) [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>
- [5] MOC, Pavel. 3D tisk - nové možnosti ve výuce technických předmětů, Plzeň, 2015. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy.
- [6] 3D Printing: *3D Printing* [online]. Utah [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
- [7] Havenga, Sarel & de Beer, Deon & van Tonder, Malan. (2014). PART FINISHING ON ENTRY LEVEL FDM MODELS [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/>
- [8] HLAVATÝ, Ivo. Teorie a technologie svařování. Ostrava-Poruba: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Fakulta strojní, 2011. ISBN 978-80-248-2414-7
- [9] JobControl: TrotecLaser [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.troteclaser.com/en/laser-machines/laser-software/jobcontrol/>
- [10] Automa: časopis pro automatizační techniku. 2018(4). DOI: ISSN 1210-9592. ISBN 1210-9592 [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://automa.cz/>

10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Zkratky:

3D	Tři dimenze
PLA	Poly-mléčná kyselina
ABS	Akrylonitril-Butadien-Styren
PETG	Glykolová modifikace Polyethylentereftalátu
RGB	Red Green Blue (Červená Zelená Modrá)
DPI	Dots per inch (bodů na palec)

Obrázky:

Obr. 10 – Převzatý od Ben Dansie ze stránky <http://thingiverse.com/>

Obr. 20 – Převzatý ze stránky <https://www.gme.cz/> a upravený

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – Přiložené medium CD-R obsahující:

- Tento dokument v elektronické podobě
- Modely a grafiky použité v bakalářské práci