

Využití FDM 3D tisku pro výrobu dílenských přípravků

Radomír Zlámal

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radomír Zlámal**
Osobní číslo: **T12098**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití FDM 3D tisku pro výrobu dílenských přípravků**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Navrhněte sadu prizmatických přípravků pro upínání rotačních dílů v čelistech dílenského svěráku.
3. Porovnejte možnosti výroby klasickými metodami (frézování, soustružení) s metodami 3D tisku.
4. Zhodnoťte nové možnosti 3D tisku.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Maloch, CSc.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 9. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce byl návrh dílenských přípravků a jejich následný tisk na FDM 3D tiskárně. Dílenské přípravky byly navrženy v softwaru Autodesk Inventor 2015 a následně vytištěny na RepRap FDM 3D tiskárně Rebel II.

Klíčová slova: Rapid Prototyping, Fused deposition modeling, 3D tiskárny, materiály

ABSTRACT

The main aim of the bachelor thesis was a design workshop jigs manufacturing and their subsequent printing on FDM 3D printer. Workshop jigs manufacturing were designed in Autodesk Inventor 2015 software, and subsequently printed on a RepRap 3D printer FDM Rebel II.

Keywords: Rapid Prototyping, Fused deposition modeling, 3D printers, materials

Rád bych poděkoval panu Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc., za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Josefu Dolečkovi, řediteli firmy Parzlich s.r.o., za jeho cenné rady v oblasti 3D tisku.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 PROTOTYP.....	12
1.1 ETAPY VÝROBY PROTOTYPU.....	12
2 RAPID PROTOTYPING.....	13
2.1 PRINCIP RAPID PROTOTYPING	13
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY RAPID PROTOTYPING.....	13
2.3 POUŽITÍ RAPID PROTOTYPING	13
2.4 UKÁZKY SOUČÁSTÍ VYROBENÝCH TECHNOLOGIEMI RAPID PROTOTYPING.....	14
2.5 STL FORMÁT	15
3 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING	18
3.1 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING NA BÁZI FOTOPOLYMERŮ.....	18
3.1.1 Stereolitografie - SLA	18
3.1.2 Solid ground curing – SGC	19
3.2 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING NA BÁZI PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLŮ	20
3.2.1 Selective laser sintering – SLS.....	20
3.2.2 Direct metal laser sintering - DMLS	21
3.3 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING NA BÁZI TUHÝCH MATERIÁLŮ.....	22
3.3.1 Laminated object manufacture – LOM	22
3.3.2 Fused deposition modeling – FDM.....	23
3.3.3 Multi jet modeling - MJM.....	25
3.4 DALŠÍ TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING	26
3.4.1 Ballistic Particle Manufacturing – BPM	26
3.4.2 Model Maker 3D Plotting	26
3.4.3 Multiphase Jet Solidification - MJS.....	26
3.4.4 Direct Shell Production Casting - DSPC	26
3.4.5 ProMetal 3D Printing	26
3.4.6 Direct Laser Forming – DLF.....	27
3.4.7 Genesis 3D Printer	27
4 VÝROBA PROTOTYPŮ POMOCÍ KONVENČNÍCH METOD OBRÁBĚNÍ.....	28
4.1 SOUSTRUŽENÍ.....	28
4.2 FRÉZOVÁNÍ	28
4.3 BROUŠENÍ	29
5 POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ URČENÝCH PRO FDM TISKÁRNY	30
6 POROVNÁNÍ CENOVĚ DOSTUPNÝCH FDM 3D TISKÁREN	31
7 SHRUTÍ.....	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
8 NÁVRH DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 2015	34

8.1	NÁVRH KONSTRUKCE TVAROVÝCH ČELISTÍ PRO DÍLENSKÝ SVĚRÁK.....	34
8.2	NÁVRH KONSTRUKCE PRIZMATICKÝCH ČELISTÍ PRO DÍLENSKÝ SVĚRÁK	36
8.3	NÁVRH KONSTRUKCE PRIZMATICKÉHO NÁSTAVCE PRO SAMOSVORNOU ELEKTRIKÁŘSKOU PINZETU	38
8.4	NÁVRH KONSTRUKCE MALÉHO MODELÁŘSKÉHO SVĚRÁKU	41
8.4.1	Návrh konstrukce podstavy malého modelářského svěráku	41
8.4.2	Návrh konstrukce pevné čelisti malého modelářského svěráku	43
8.4.3	Návrh konstrukce zadního dílu malého modelářského svěráku.....	44
8.4.4	Návrh konstrukce posuvné čelisti malého modelářského svěráku.....	45
8.4.5	Návrh konstrukce krytky na posuvnou čelist malého modelářského svěráku	46
8.4.6	Návrh konstrukce ručky na posuvný šroub malého modelářského svěráku	47
8.4.7	Návrh konstrukce prizmatických čelistí pro malý modelářský svěrák	48
8.4.8	Návrh konstrukce dorazu pro pravítko.....	49
8.4.9	Sestava malého modelářského svěráku	49
9	VÝROBA DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ NA 3D TISKÁRNĚ REBEL II.....	50
9.1	TECHNICKÉ PARAMETRY TISKÁRNY REBEL II	50
9.2	SOFTWARE REPETIER-HOST	51
9.3	NASTAVENÍ TISKU DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ V SOFTWARE SLIC3R.....	53
9.4	TISK DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ NA TISKÁRNĚ REBEL II.....	57
9.5	VYTIŠTĚNÉ DÍLENSKÉ PŘÍPRAVKY	59
10	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	61
10.1	VÝPOČET CENY TISKU TVAROVÝCH ČELISTÍ PRO DÍLENSKÝ SVĚRÁK.....	62
10.2	VÝPOČET CENY TISKU PRIZMATICKÝCH ČELISTÍ PRO DÍLENSKÝ SVĚRÁK.....	63
10.3	VÝPOČET CENY TISKU PRIZMATICKÉ NÁSADY PRO SAMOSVORNOU ELEKTRIKÁŘSKOU PINZETU	63
10.4	VÝPOČET CENY TISKU MALÉHO MODELÁŘSKÉHO SVĚRÁKU	64
	ZÁVĚR	65
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEKCHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.	
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

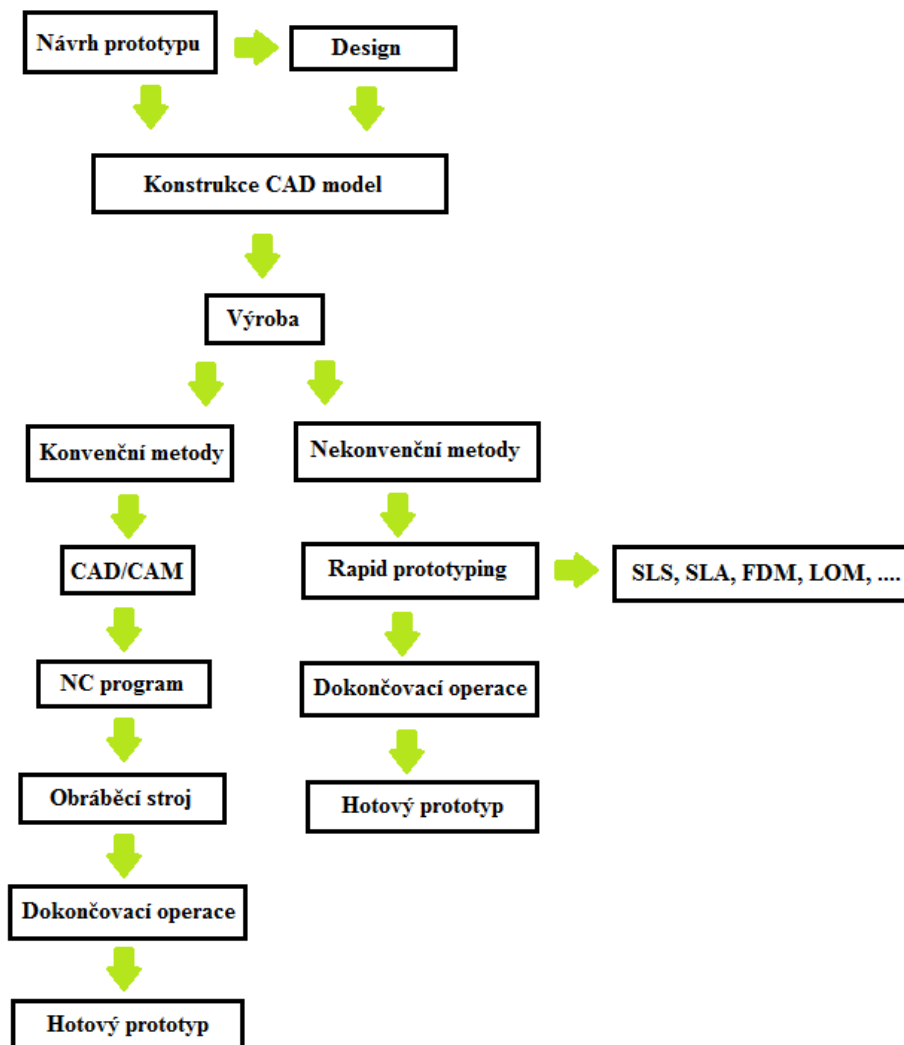
Trendem dnešní doby ve výrobním průmyslu je rychlá a přesná výroba prototypů. Oba tyto požadavky nejlépe splňuje technologie Rapid Prototyping. Počátky této technologie sahají do 80. let minulého století, kdy si v roce 1986 nechal Charles Hull patentovat technologii stereolitografie. Základem je 3D model vytvořený v CAD systému nebo trojrozměrně nasnímaný objekt skenerem. Virtuální model je poté rozřezán příčnými řezy na jednotlivé vrstvy a následným postupným "tiskem" těchto vrstev na sebe vznikají tvarově složité předměty. Rapid Prototyping lze díky svým možnostem uplatnit ve velmi širokém spektru odvětví, např. strojírenství, lékařství, designu, stavebnictví a ve spoustě dalších. Poslední dobou se na trhu začíná objevovat čím dál více tzv. malých 3D tiskáren pro domácnosti, které využívají technologii FDM (Fused deposition modeling), v budoucnu si tak budeme moci tisknout své vlastní 3D modely doma.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PROTOTYP

„Prototyp (z řeckého *prótos*, první, a *typos*, ražba) je vzorový, pokusný první výrobek nebo vůbec příkladný exemplář nějaké třídy věcí. Navrženou novinku, nový typ nějakého průmyslového výrobku, je třeba vyzkoušet dřív, než se rozhodne o její výrobě nebo než se výroba rozběhne. Proto se nejprve staví např. zmenšené modely, ale pak se musí přikročit k výrobě funkčního prototypu. Ta je pochopitelně náročná, protože pro ni ještě nejsou k dispozici výrobní nástroje hromadné výroby, ale musí se vyrábět více méně „ručně“ v několika málo kusech.“ [1]

1.1 Etapy výroby prototypu



Obr. 1 Etapy výroby prototypu

2 RAPID PROTOTYPING

Rapid Prototyping (RP) je skupina technologií, kterými se vyrábí reálné součásti z počítačových dat za co nejkratší dobu a v co nejvyšší kvalitě. Součásti jsou plně funkční a svými vlastnostmi se můžou blížit finálnímu výrobku, který můžou v některých případech i nahradit. [4], [5], [6], [17]

2.1 Princip Rapid Prototyping

RP je takzvaná aditivní technologie. To znamená, že součásti jsou vyráběny přidáváním materiálu po jednotlivých vrstvách, které mají konstantní tloušťku. Základem je 3D model vytvořený v CAD systému nebo trojrozměrně nasnímaný objekt skenerem. Virtuální model je poté rozřezán příčnými řezy na jednotlivé vrstvy a následným postupným "tiskem" těchto vrstev na sebe vznikají tvarově složité předměty. [4], [5], [6], [17]

2.2 Výhody a nevýhody Rapid Prototyping

Výhody:

- Výroba složitých tvarů
- Rychlá příprava výroby
- Cena vyrobeného prototypu
- Vysoká přesnost
- Možnost dalšího zpracování součástí (obrábění, broušení, ...)

Nevýhody

- Zatím nelze najednou vyrábět součásti velkých rozměrů
- Výroba součástí konvenčními metodami má větší přesnost než výroba součástí RP
- Nevhodné pro sériovou výrobu

2.3 Použití Rapid Prototyping

- Odhalení chyb ve výrobní dokumentaci - chyby konstruktéra
- Ověření vyrobitelnosti
- Ověření smontovatelnosti
- Získání představy jak bude součást vypadat - design součásti
- Simulace namáhání a proudění

2.4 Ukázky součástí vyrobených technologiemi Rapid Prototyping

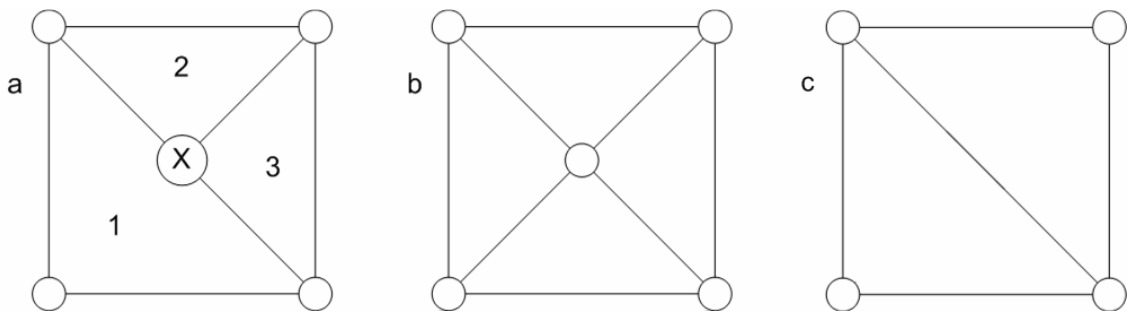


Obr. 2 Součásti vyrobené technologiemi RP

2.5 STL formát

STL (Standard Triangulation Language) formát byl vyvinut firmou 3D Systems pro metodu RP - Stereolitografie. STL formát převádí plochy z CAD 3D modelu na polygonovou (trojúhelníkovou) síť. [7]

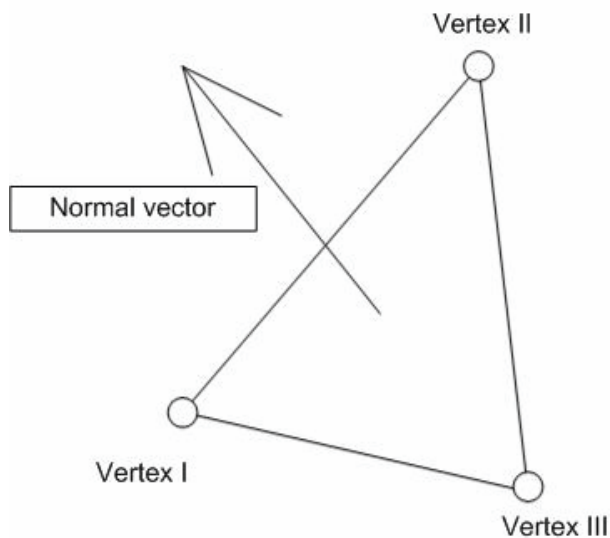
„Můžeme ji definovat jako soubor vrcholů, hran a trojúhelníků, navzájem spojených tak, že každá hrana a každý vrchol jsou sdíleny minimálně dvěma přiléhajícími trojúhelníky (pravidlo „vrchol k vrcholu”).“ [2]



Obr. 3 Pravidlo „vrchol k vrcholu“ [2]

„Aby bylo pravidlo „vrchol-k-vrcholu“ splněno, trojúhelník 1 by měl být rozdělen do dvou trojúhelníků, jak je znázorněno na obrázku „b“, nebo by se měly trojúhelníky 2 a 3 spojit jako na obrázku „c“.“ [2]

„Trojúhelníková plocha je popsána souřadnicemi X , Y , Z pro každý vrchol a normálovým vektorem, směřujícím pryč od dané plochy a ven z modelu.“ [2]

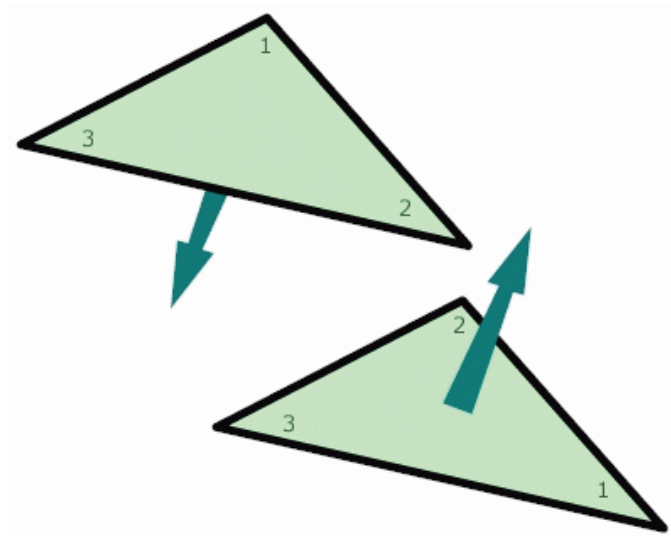


Obr. 4 Normálový vektor v trojúhelníku [2]

Orientaci trojúhelníku určujeme podle:

1. „Podle normálového vektoru, který směřuje ven.“ [2]

2. „Pozorujeme-li model z vnější strany, vrcholy jsou označeny v protisměru hodinových ručiček (dnes běžná metoda).“ [2]



Obr. 5 Orientace trojúhelníku [2]

Existují dva typy STL formátu:

a) **ASCII STL:**

ASCII STL formát vždy začíná slovem **solid** a končí slovem **endsolid**, za obě tyto hodnoty můžeme dopsat libovolný text, např. název 3D modelu. Hodnoty n_i n_j n_k jsou složky normálového vektoru trojúhelníku a hodnoty v_{i_x} v_{i_y} v_{i_z} (kde i je libovolné číslo n) jsou souřadnice vrcholů trojúhelníku. [7]

solid *name*

facet normal n_i n_j n_k

outer loop

vertex $v1_x$ $v1_y$ $v1_z$

vertex $v2_x$ $v2_y$ $v2_z$

vertex $v3_x$ $v3_y$ $v3_z$

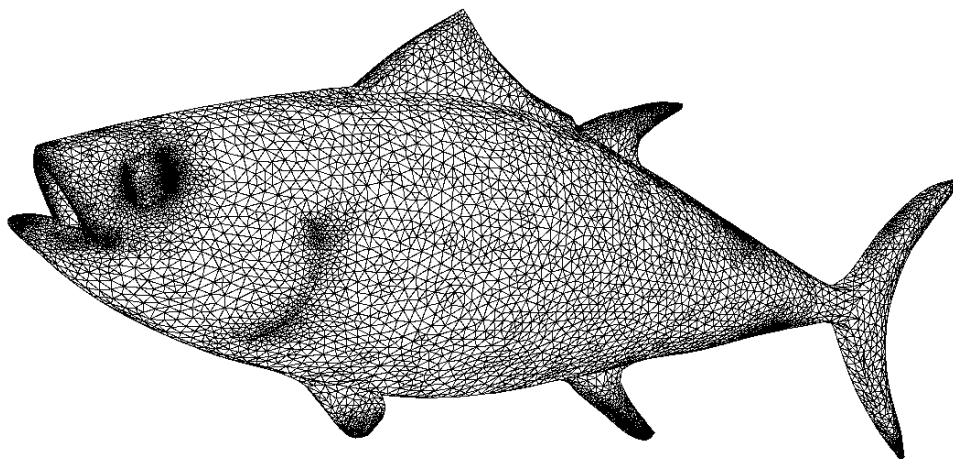
endloop

endfacet

endsolid *name*

b) Binární STL

„Binární STL tvoří nejprve 80 bajtová hlavička, která může být interpretovaná jako poznámkový řetěz. Následují čtyři bajty (dlouhé celé číslo - long integer) udávající celkový počet polygonových ploch. Následuje normála a tři vrcholy pro každou plochu, každá souřadnice je reprezentována jako čtyřbajtové číslo s pohyblivou řádovou čárku (12 bajty celkem). Dále je dvojbajtový oddělovač mezi každou plochou. Výsledek je, že každá plocha je reprezentovaná 50 bajty, 12 pro normálu, 36 pro tři vrcholy, a dva pro mezery.” [3], [7]



Obr. 6 3D model ryby převedený na STL formát [8]

3 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

3.1 Technologie RAPID PROTOTYPING na bázi fotopolymerů

3.1.1 Stereolitografie - SLA

Stereolitografie je nejstarší metodou RP. V roce 1987 ji uvedla na trh firma 3D Systems, Inc. Principem SLA je postupné vytvrzování polymeru, který je citlivý na světlo, pomocí UV laseru. Součást se vytváří na nosné desce, která se po vytvrzení jedné vrstvy sníží o hodnotu tloušťky dané vrstvy. Jednotlivé vrstvy mohou být silné 0,05 až 0,15 mm. Kvůli vyrovnaní nepřesností, které vznikají při vytvrzování jednotlivých vrstev, je nutné před každým začátkem vytvrzování další vrstvy přejít hladinu polymeru tzv. stěračem. K uchycení modelu na nosnou desku se používají podpory, které model zafixují v dané poloze a zabraňují jeho zborcení během vytvrzování. Podpory se volí, tak aby je bylo možné snadno odstranit a aby neovlivnili výslednou kvalitu modelu. Po skončení vytvrzování se model vyjme a umyje od nevytvrzeného polymeru. Hotový model je pak možné dále opracovávat (brousit, lakovat, ...).[4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

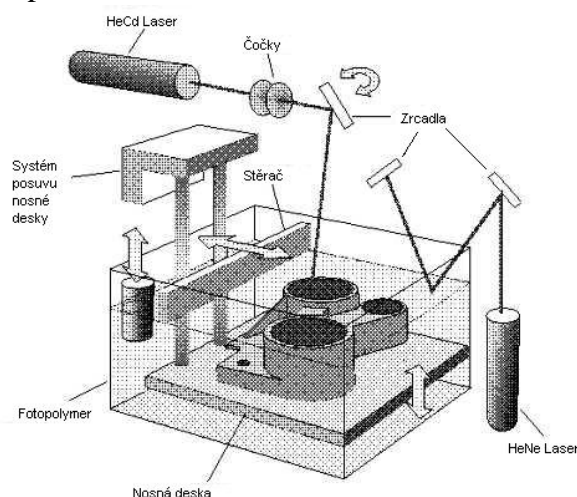
- Akryláty
- Epoxidy
- Plněné pryskyřice

Výhody:

- Dobrá povrchová drsnost
- Vysoká přesnost ($\pm 0,05\text{mm}$)
- Velký stavební objem
- Plynulý průběh procesu

Nevýhody:

- Nutná další úprava povrchu
- Po dokončení je nutné model sušit
- Křehké díly
- Uzavřené objemy



Obr. 7 Schéma zařízení pro technologii SLA

3.1.2 Solid ground curing – SGC

Principem SGC je vytvrzování fotocitlivého polymeru pomocí UV lampy. Nejprve se fotocitlivý polymer nanese na nosnou desku. Potom se nad nosnou desku umístí šablona, přes kterou je polymer vystaven krátkodobým působením UV lampy. Následně se nevytvrzený polymer vakuově odsaje. Na místa, odkud byl odsán polymer, je nanesen roztavený výplňový vosk, který slouží jako podpora, aby se součást nezbortila. Nakonec je povrch vytvořené vrstvy ofrézován na požadovanou tloušťku, tím je povrch připraven na další nanášení polymeru. Po dokončení součásti se výplňový vosk odstraňuje pomocí kyseliny citrónové. [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

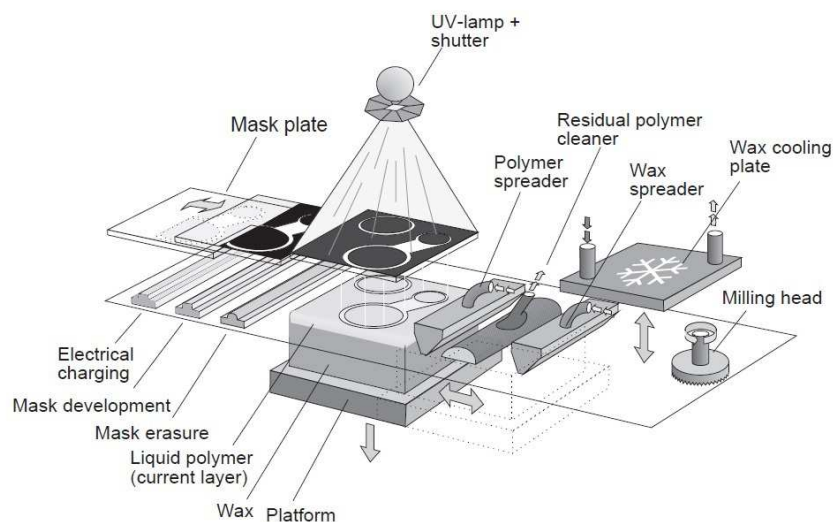
- Akryláty
- Epoxidy
- Plněné pryskyřice

Výhody:

- Minimální smrštění modelu
- Dobrá struktura a stabilita modelu

Nevýhody:

- Nutnost stavět podpory
- Velké rozměry zařízení
- Problém s usazováním vosku



Obr. 8 Schéma zařízení pro technologii SGC [10]

3.2 Technologie RAPID PROTOTYPING na bázi práškových materiálů

3.2.1 Selective laser sintering – SLS

Principem SLS je spékání prášku do požadovaného tvaru pomocí CO₂ laseru. Prášek je na nosnou desku nanášen po vrstvách speciálním válečkovým mechanismem v inertní atmosféře (dusík nebo argon). Jednotlivé vrstvy mohou být silné od 0,02 mm až po několik desetin milimetru. Po spečení požadované vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu tloušťky vrstvy a celý proces tak probíhá znovu až do vytvoření součásti. Okolní nespečený materiál slouží jako podpora, aby se součást při tavení nezbortila. [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

- Polyamid
- Polystyren
- Nízkotavitelné slitiny z niklových bronzů
- Keramika
- Speciální písek

Výhody:

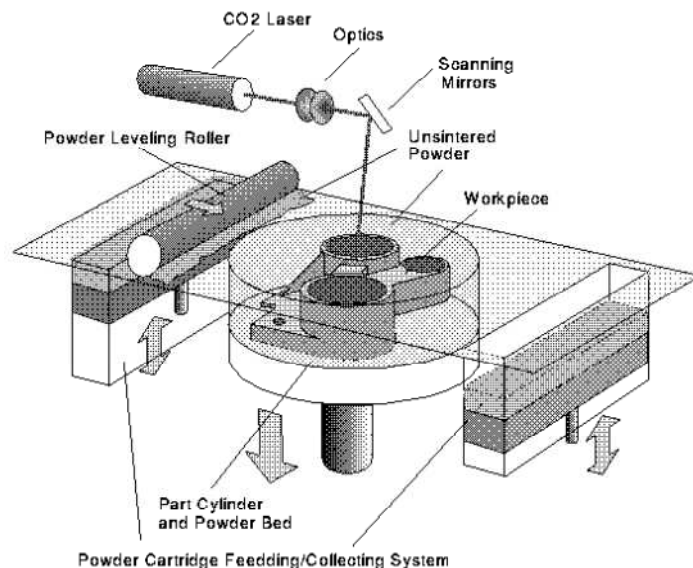
- Pevnost modelů
- Velké množství použitelných materiálů
- Nemusíme stavět podpory
- Recyklace materiálu

Podle druhu používaného materiálu rozlišujeme technologie:

- Laser Sintering – Plastic
- Laser Sintering – Metal
- Laser Sintering – Foundry Sand
- Laser Sintering – Ceramic

Nevýhody:

- Kvalita povrchu
- Prostorově a energeticky náročné zařízení



Obr. 9 Schéma zařízení pro technologii SLS [11]

3.2.2 Direct metal laser sintering - DMLS

Technologie DMLS je hodně podobná technologii SLS, jen s tím rozdílem, že se u DMLS taví velmi jemné kovové prášky pomocí výkonnějšího laseru. Prášek je na nosnou desku nanášen pomocí speciálního keramického nože, který vytvoří na nosné desce rovnoměrnou vrstvu o minimální tloušťce 0,02mm. Po spečení dané vrstvy se nosná deska sníží o hodnotu tloušťky vrstvy a celý proces probíhá znovu až do vytvoření součásti. Okolní nespečený materiál slouží jako podpora, aby se součást při tavení nezbortila. Hotový model se dále opracovává (obrábění, leštění, broušení, atd.). [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

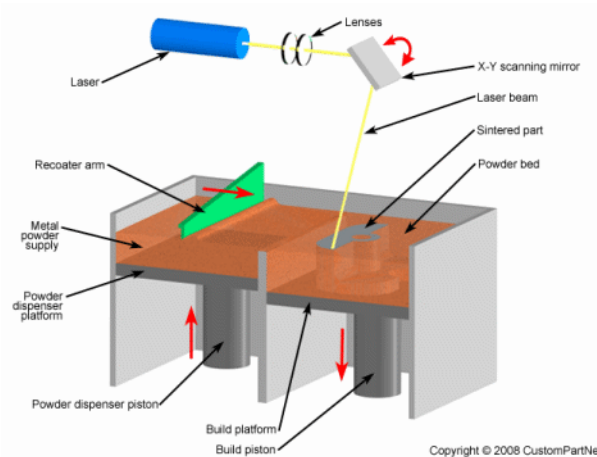
- Titan
- Ocel
- Nerezová ocel
- Martenzitická ocel
- Kobalt - chrom

Výhody:

- Velké množství použitelných materiálů
- Výborná pevnost
- Nemusíme stavět podpory

Nevýhody:

- Nízká kvalita povrchu
- Prostorově a energeticky náročné zařízení
- Nutnost dokončovacích operací



Obr. 10 Schéma zařízení pro technologii DMLS [12]

3.3 Technologie RAPID PROTOTYPING na bázi tuhých materiálů

3.3.1 Laminated object manufacture – LOM

Principem LOM je vytváření součástí ze speciálních fólií nebo z mnoha vrstev papíru, které jsou napuštěny zpevňující hmotou. Minimální tloušťka vrstvy je 0,01mm. Jednotlivé vrstvy se vytvrzují pomocí vyhřívaných válců, které se přitlačí na nanesenou vrstvu, čímž se slepí jedna vrstva k druhé. Každá nanesená vrstva je poté ořezána do požadovaného tvaru pomocí CO₂ laseru a přebytečná fólie je rozřezána na čtverce, které se nakonec odstraní. Součást vzniká na nosné desce, která se po nanesení vrstvy sníží o tloušťku vrstvy. Celý postup se pak opakuje až do vytvoření požadované součásti. [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

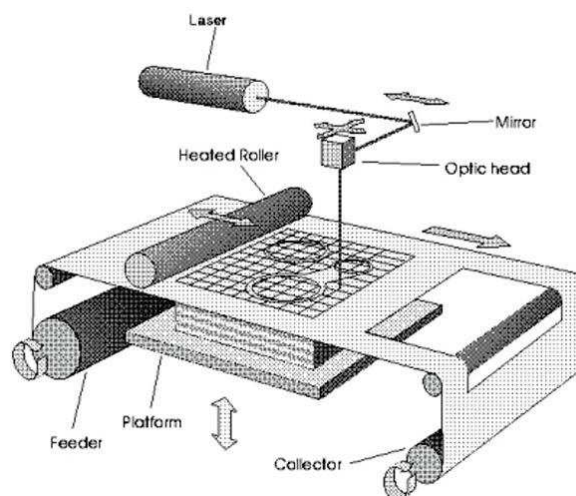
- Papír
- Polyester
- Nylon
- Keramika
- Kompozity

Výhody:

- Velké množství použitelných materiálů
- Nemusíme stavět podpory
- Lze vytvářet rozměrné součásti

Nevýhody:

- Kvalita povrchu
- Velký odpad materiálu
- Nevhodné na tenkostěnné součásti



Obr. 11 Schéma zařízení pro technologii LOM [13]

3.3.2 Fused deposition modeling – FDM

Metoda FDM byla vyvinuta a patentována S. Scottem Crumpem v roce 1989, pozdějším zakladatelem společnosti Stratasys, Inc. Principem FDM je tavení tenkého drátu (termoplast, kov, vosk atd.) ve vyhřívané trysce, která se pohybuje pomocí krokových motorů nad pracovní deskou. Materiál je v trysce ohříván na teplotu o 1°C vyšší, než je jeho teplota tavení. Při styku s povrchem roztavený materiál ihned tuhne a vytvoří tak ultratenkou vrstvu. Součást se vytváří na nosné desce. Po nanesení požadované vrstvy, která má minimální tloušťku 0,05mm, se nosná deska vždy sníží o hodnotu vrstvy. Při tisku ABS plastu je nutné mít vyhřívanou pracovní podložku, jinak by ABS plast na podložce nedržel a kroutil se. Metoda FDM vyžaduje stavbu podpor, aby se součást při tisku nezbortila. Pro stavbu podpor je výhodné využít tiskovou hlavu s dvěma vyhřívanými tryskami. Jedna tryska tiskne konstrukční materiál a druhá tiskne podpurný materiál (lepenka, polystyren), který se chová jako lešení. Po dokončení tisku je někdy potřebné hotovou součást dále opracovat (broušení, leštění, tmelení, ...). [4], [5], [6], [17]

Vypršením patentu na technologii FDM vedlo k rozvoji tzv. open-source 3D tiskáren. Nejznámější open-source projektem je RepRap, který vznikl v roce 2005. 3D tiskárna projektu RepRap dokáže vytisknout většinu svých vlastních součástí sama. Díky tomu se postupně snížila výrobní cena 3D tiskárny. V dnešní době je možné si doma postavit svou vlastní open-source 3D tiskárnu za cca 10 000 Kč. [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

- ABS
- Polykarbonát
- Polyaktid
- Dřevo + polymer
- Pískovec + polymer
- Vosk

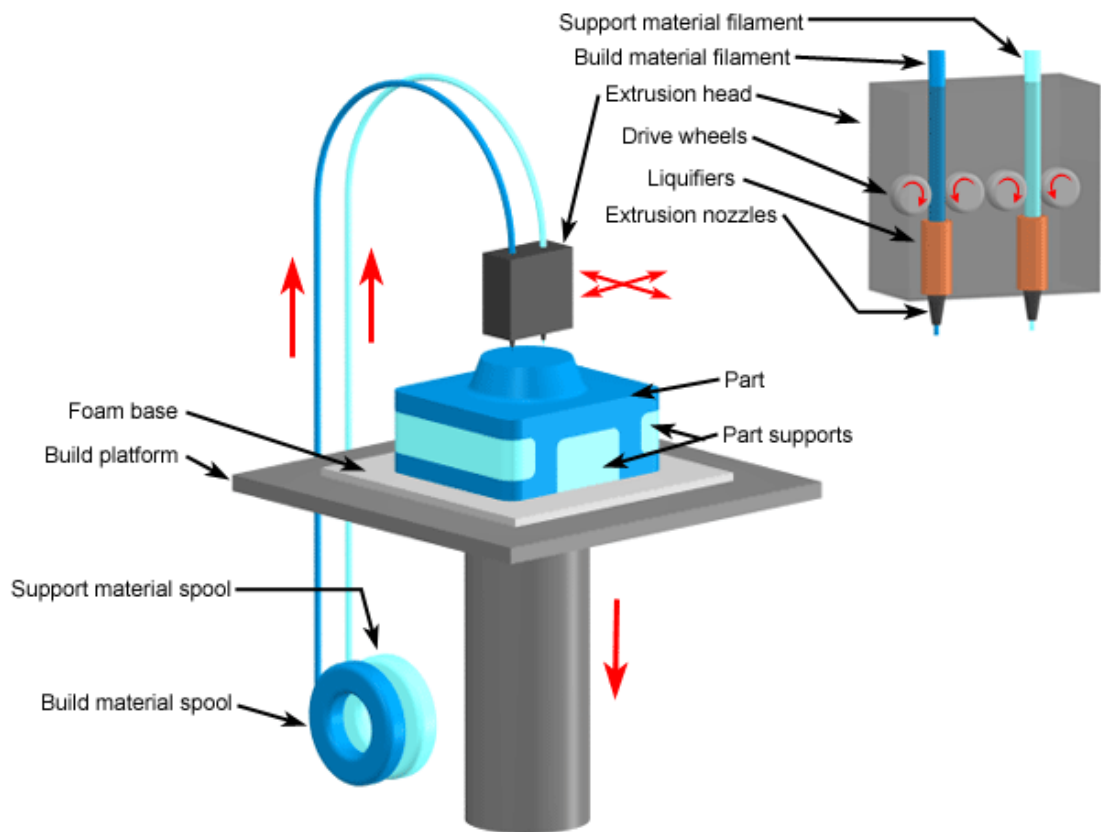
Výhody:

- Velké množství použitelných materiálů
- Při tisku nevznikají žádné škodlivé emise
- Minimální odpad
- Nízká cena funkčních prototypů

- Svými vlastnostmi se vytištěné součásti blíží konečným produktům

Nevýhody:

- Kvalita povrchu
- Nutnost dokončovacích operací – odstranění podpor



Obr. 12 Schéma zařízení s dvěma extrudery pro technologii FDM [14]

3.3.3 Multi jet modeling - MJM

Principem MJM je nanášení termopolymeru pomocí speciální tiskové hlavy, která má 96 trysek uspořádaných rovnoběžně vedle sebe. Díky velkému počtu trysek je výsledný tisk rychlejší a nanášení vrstev je rovnoměrnější.

Součást se vytváří na nosné desce. Tisková hlava se pohybuje nad nosnou deskou ve směru os x a y. Po nanesení jedné vrstvy, která má minimální tloušťku 0,05mm, se nosná deska sníží o hodnotu tloušťky vrstvy a pokračuje tisk další vrstvy až do vytvoření součásti. Tištěný polymer tuhne při styku s již naneseným materiálem téměř okamžitě. Metoda MJM vyžaduje stavbu podpor, aby se součást při tisku nezbortila. [4], [5], [6], [17]

Používané materiály:

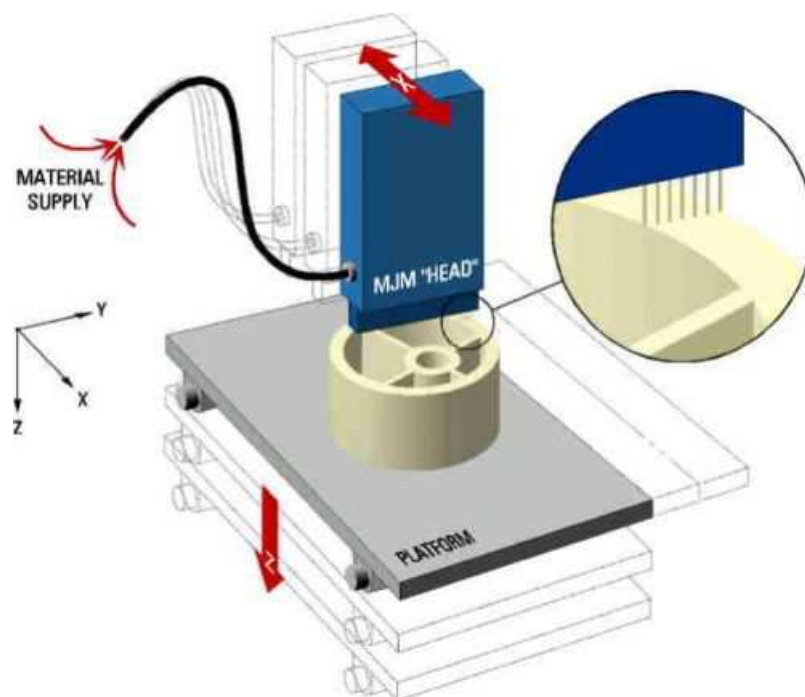
- Termopolymer
- Akrylátový fotopolymer

Výhody:

- Rychlá metoda
- Velmi tenké vrstvy

Nevýhody:

- Malá přesnost
- Špatná výroba malých dílů
- Dokončovací operace – odstranění podpor



Obr. 13 Schéma zařízení pro technologii MJM [15]

3.4 Další technologie RAPID PROTOTYPING

3.4.1 Ballistic Particle Manufacturing – BPM

Princip BPM tiskáren je založen na tlakovém nanášení jednotlivých vrstev materiálu (termoplastu) ve formě kapek, které se potom vytvrdí. Jednotlivé kapky materiálu jsou z tlakové hlavy vystřelovány na pracovní plochu kde po dopadnu ihned tuhnou. Tiskárna BPM má pouze jednu tiskovou hlavu, která má 5 stupňů volnosti. Technologií BPM je možné vytvářet modely bez podpůrné konstrukce. [4]

3.4.2 Model Maker 3D Plotting

Princip technologie Model Maker 3D Plotting je stejný jako u technologie BPM. Jen s tím rozdílem, že Model Maker 3D Plotting má dvě tiskové hlavy, kdy první nanáší materiál a druhá ho tvaruje. [4]

3.4.3 Multiphase Jet Solidification - MJS

Princip technologie MJS je hodně podobný technologii FDM. Jen s tím rozdílem, že materiál ve formě prášku je zahříván v zásobníku a poté je pístovým systémem vytlačován skrz ohřívanou trysku na pracovní podložku, kde ihned tuhne a vytváří tak požadovanou vrstvu. Technologií MJS je možné vytvářet součásti z ocelí, titanu, keramiky (s pojivem), apod. [4]

3.4.4 Direct Shell Production Casting - DSPC

Princip technologie DSPC je podobný jako technologie SLS. Na pracovní podložku nanášíme keramický prášek, který je spojován tekutým pojivem a následně je vytvrzen pomocí laseru. Pojivo se nanáší pomocí Ink-Jet-tryskové hlavy. [4]

3.4.5 ProMetal 3D Printing

Principem technologie ProMetal 3D Printing je vrstvení ultra jemných kovových, keramických nebo kompozitních prášků se speciálními pojivy. Materiál je nanášen tiskovou hlavou, která pracuje na principu Ink-Jet počítačových tiskáren, které mají tiskové hlavy s vysokým rozlišením. Vytištěnou součást je nutné dále tepelně zpracovávat. Tepelným zpracováním dochází k vyhoření pojiva a slnutí prášků. Výsledný materiál má vysokou pevnost a téměř 100% hustotu. [4]

3.4.6 Direct Laser Forming – DLF

Principem technologie DLF je přímá výroba kovových součástí pomocí laseru. Kovový prášek je postupně nanášen po jednotlivých vrstvách na pracovní podložku, kde se pomocí laseru taví. [4]

3.4.7 Genesis 3D Printer

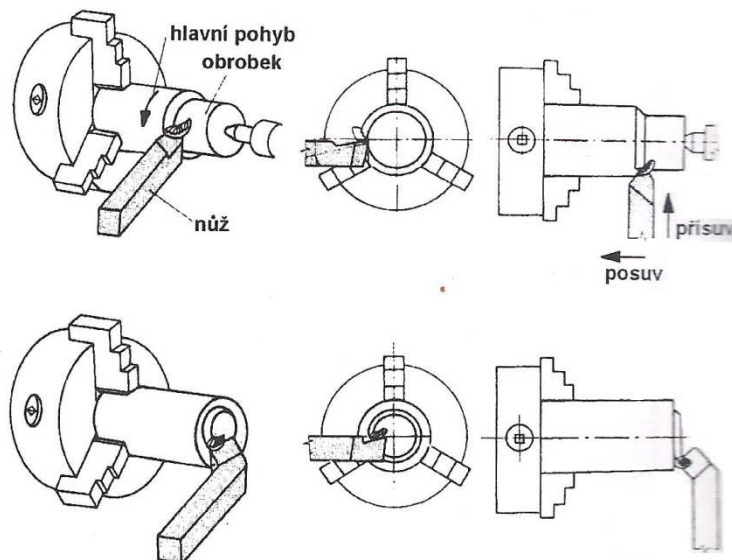
Principem technologie Genesis 3D Printer je, že polyesterová směs je postupně vytlačována tiskovou hlavou na pracovní podložku. Nepoužívají se podpůrné konstrukce ani se součásti dále nevytvrzují. [4]

4 VÝROBA PROTOTYPŮ POMOCÍ KONVENČNÍCH METOD OBRÁBĚNÍ

Výrobky zhotovené ve slévárnách, kovárnách, lisovnách aj. mají většinou jen přibližný tvar. Pro dosažení přesných konečných tvarů, rozměrů a hladkého povrchu se obrábějí. Obráběnou součást nazýváme obrobek. Přebytečný materiál se odebrává v podobě třísek řeznými nástroji. Obrábět, to znamená ubírat třísky materiálu, můžeme ručně nebo strojně. K strojnímu obrábění se používá obráběcích strojů. Jsou to soustruhy, vrtačky, frézky, hoblovky, brusky atd. [16]

4.1 Soustružení

Soustružení patří mezi nejčastější způsoby obrábění. Soustružení je způsob obrábění vnějších i vnitřních rotačních ploch. Na soustruhu můžeme vrtat, vystružovat, řezat závit apod. Principem soustružení je, že obrobek vykonává hlavní pohyb rotační a nástroj (soustružnický nůž) vykonává vedlejší pohyb přímočarý (posuv a přísuv). [16]

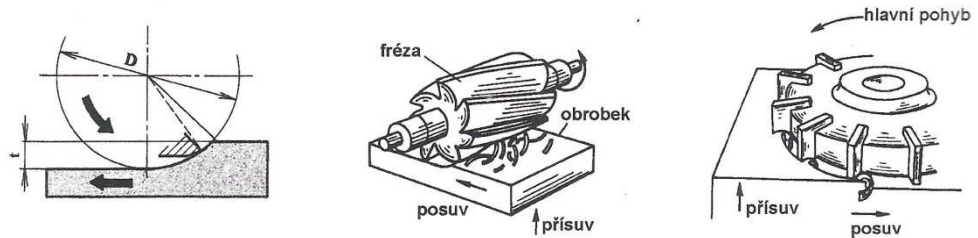


Obr. 14 Soustružení [16]

4.2 Frézování

Frézováním se obrábí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřitým nástrojem – frézou. Rotační řezný pohyb vykonává nástroj – fréza, vedlejší pohyb (posuv, přísuv a nastavení hloubky) vykonává obrobek upnutý na stole frézky. Fréza je nástroj s mnoha břity (zuby), které jsou na obvodě frézy, nebo na obvodě a čele. Obráběcím strojem je frézka.

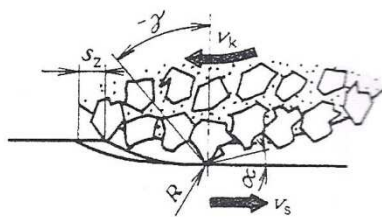
Frézování se dělí na sousledné (nástroj se otáčí ve směru pohybu stolu s obrobkem) a ne-sousledné (nástroj se otáčí proti směru pohybu stolu s obrobkem). [16]



Obr. 15 Frézování [16]

4.3 Broušení

Broušením se dokončují součásti, které byly vyrobeny některými předchozími způsoby obrábění. Součásti tak dostanou velmi přesné rozměry a hladký povrch. Broušením se materiál ubírá pomocí velkého množství nahodile a nepravidelně uspořádaných břitů. Nástrojem je broušící kotouč, jehož brusná zrna jsou stmelena pojivem v pevný celek. Brusná zrna mohou být přírodní (korund, smirek) nebo umělá (umělý oxid hlinitý, karbid křemíku). Obráběcími stroji jsou brusky. [16]



Obr. 16 Broušení [16]

5 POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ URČENÝCH PRO FDM TISKÁRNY

Vytištěné součásti na FDM 3D tiskárně mají anizotropické vlastnosti, tzn. že mechanické vlastnosti jsou v různých směrech různé. Předmětem dalšího zkoumání mechanických vlastností materiálů pro FDM 3D tisk může být vytištění několika zkušebních tělísek z různých materiálů, následné vyhodnocení a porovnání výsledků mechanických zkoušek, jak se jednotlivé materiály chovají při různých tloušťkách tištěných vrstev, při různé orientaci vrstev, při nastavení odlišných parametrů tisku apod.

Typ polymeru	Minimální tloušťka vrstvy tisku [mm]	Pevnost v tahu [MPa]	Prodloužení [%]	Pevnost v ohybu [MPa]
ABSplus-P430	0,1778	37	3	53
ABSi	0,127	37	4,4	62
ABS-ESD7	0,1778	36	3	61
ABS-M30	0,127	36	4	61
ABS-M30i	0,127	36	4	61
PC-ABS	0,127	41	6	68
PC-ISO	0,1778	57	4,3	90
PC	0,1778	68	4,8	104
ULTEM-9085	0,254	71,64	5,9	115,1

Tab. 1 – Porovnání mechanických vlastností materiálů určených pro FDM 3D tiskárny [18]

6 POROVNÁNÍ CENOVĚ DOSTUPNÝCH FDM 3D TISKÁREN

FDM 3D tiskárny		
	Tiskárna:	3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder
	Maximální velikost modelu: [mm]	255 x 205 x 220
	Přesnost: [mm]	0,05
	Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,05
	Rychlost tisku: [mm/s]	200
	Cena: [Kč]	54 162
	Tiskárna:	3D tiskárna Prusa I3
	Maximální velikost modelu: [mm]	200 x 200 x 200
	Přesnost: [mm]	nevedeno
	Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,05
	Rychlost tisku: [mm/s]	200
	Cena: [Kč]	25 990
	Tiskárna:	3D Systems Cube3
	Maximální velikost modelu: [mm]	152x 152x 152
	Přesnost: [mm]	nevedeno
	Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,07
	Rychlost tisku: [mm/s]	nevedeno
	Cena: [Kč]	39 990
	Tiskárna:	be3D DeeGreen DF211
	Maximální velikost modelu: [mm]	150 x 150 x 150
	Přesnost: [mm]	0,1
	Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,1
	Rychlost tisku: [mm/s]	90
	Cena: [Kč]	49 005
	Tiskárna:	Acrylic Mendel I3 3D Printer
	Maximální velikost modelu: [mm]	200 x 200 x 180
	Přesnost: [mm]	0,1 - 0,3
	Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,1
	Rychlost tisku: [mm/s]	nevedeno
	Cena: [Kč]	11 974

Tab. 2 – Porovnání FDM 3D tiskáren [19], [20], [21], [22], [23]

7 SHRNU TÍ

Hlavním cílem první části bakalářské práce bylo seznámit čtenáře s tím, co to je RP, jeho výhody, nevýhody a použití v praxi. Dále byl vytvořen přehled a popis hlavních metod RP, jejich výhody, nevýhody a používané materiály k tisku. Následně byly stručně popsány konvenční metody obrábění, porovnány mechanické vlastnosti materiálů pro 3D tisk metodou FDM a nakonec byl vytvořen stručný přehled dostupných FDM 3D tiskáren na trhu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

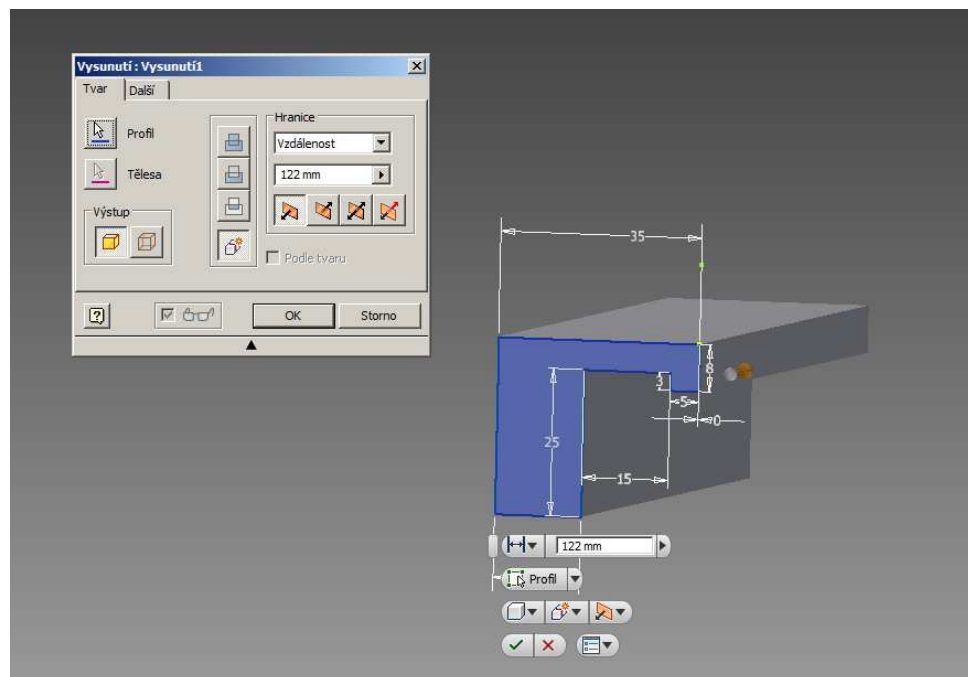
8 NÁVRH DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 2015

V této kapitole je popsán postup při návrhu konstrukce jednotlivých dílenských přípravků v programu Autodesk Inventor 2015.

8.1 Návrh konstrukce tvarových čelistí pro dílenský svěrák

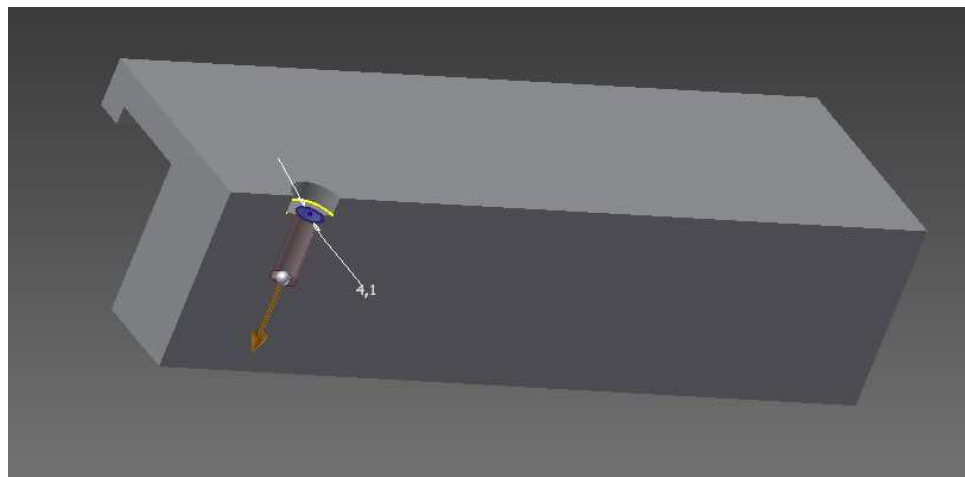
Hlavním požadavkem bylo vytvořit tvarové čelisti pro dílenský svěrák, do kterých by šly upnout tvarově složité součásti z měkkých materiálů tak, aby po obrobení na jejich povrchu nezůstalo otlacení, které by mohlo vzniknout v případě upnutí součástí do kovových čelistí.

Tvarové čelisti levá i pravá byly navrženy pro více tvarově složitých součástí najednou z důvodu, aby se ušetřil materiál i čas při jejich výrobě. Prvním krokem při modelování v programu Autodesk Inventor bylo vysunutí základního profilu čelistí dílenského svěráku (viz obr. 17).

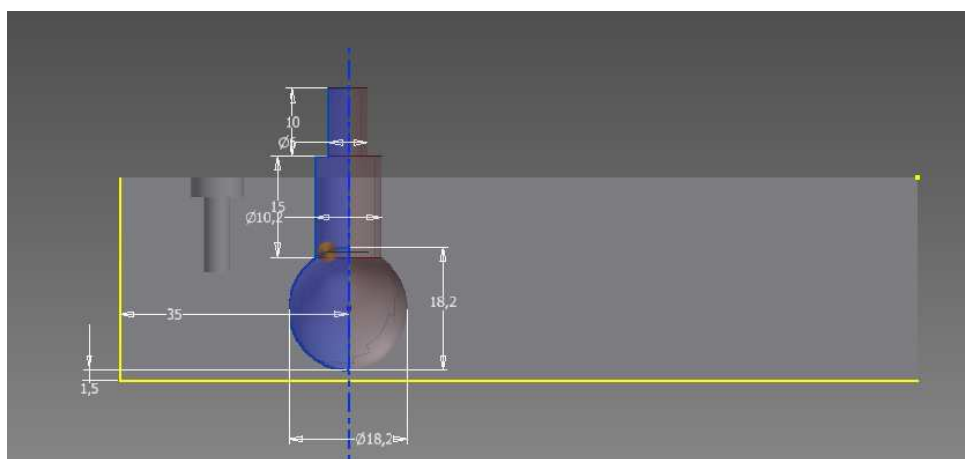


Obr. 17 Vysunutí základního profilu tvarové čelisti

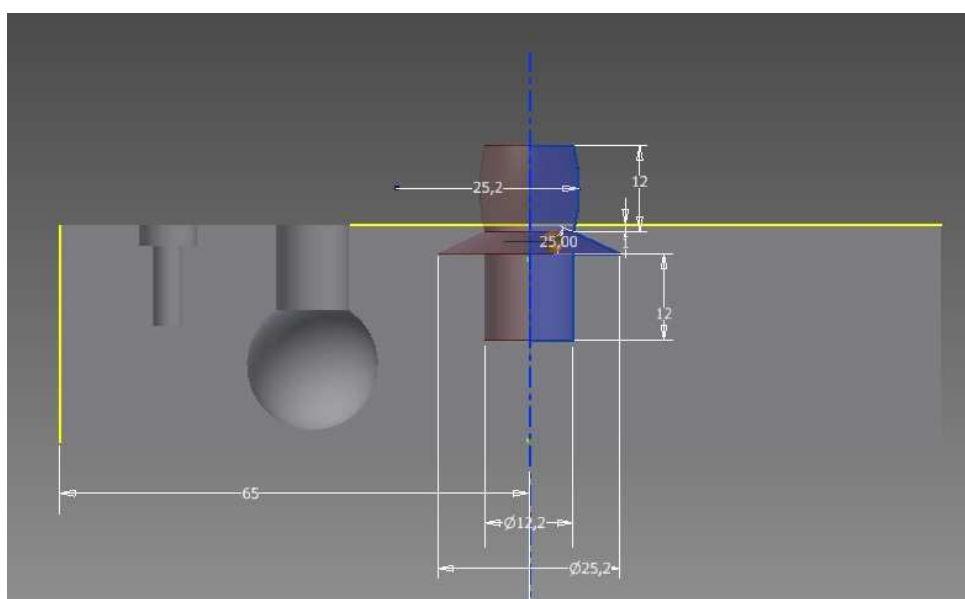
Posledním krokem bylo pomocí příkazů Vysunutí – rozdíl a Rotace – rozdíl vytvoření tvarových dutin pro jednotlivé tvarové součásti (viz obr. 18, 19, 20, 21).



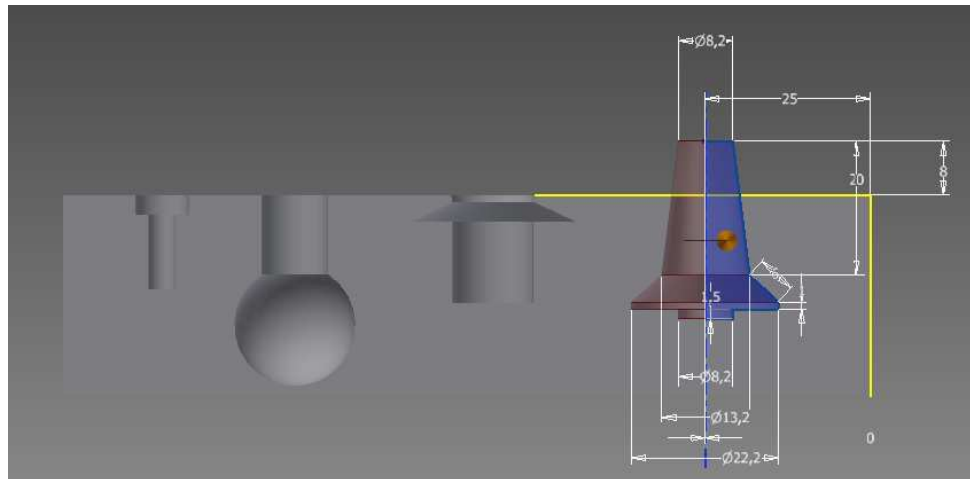
Obr. 18 Vysunutí první tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti



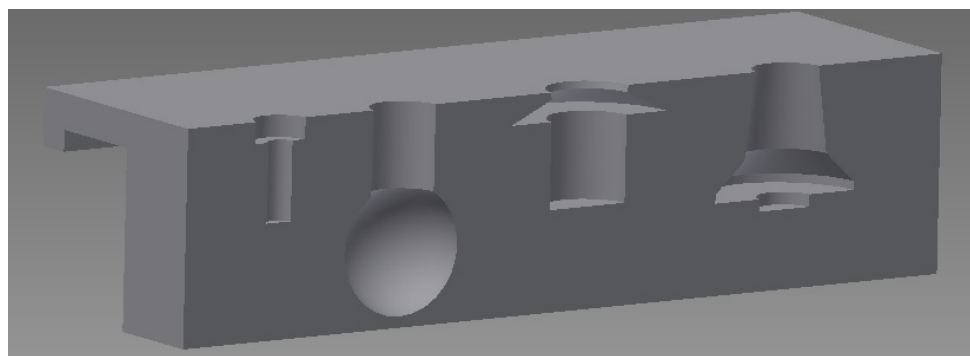
Obr. 19 Vysunutí druhé tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti



Obr. 20 Vysunutí třetí tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti



Obr. 21 Vysunutí čtvrté tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti



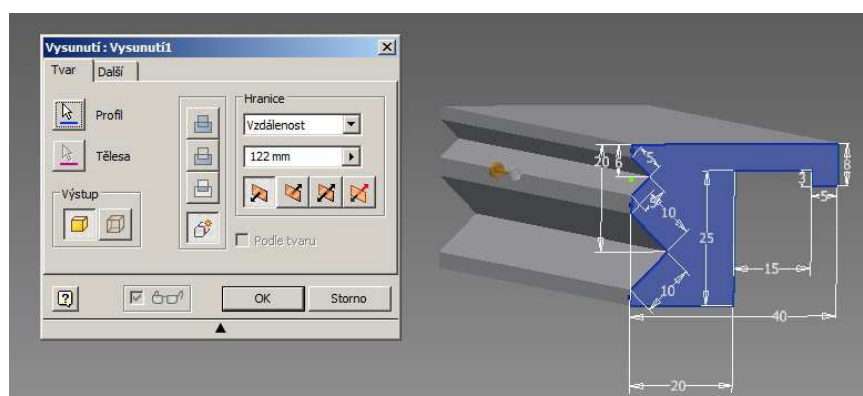
Obr. 22 Hotová tvarová čelist pro dílenský svěrák

Hotová levá i pravá tvarová čelist (viz obr. 22) byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.

8.2 Návrh konstrukce prizmatických čelistí pro dílenský svěrák

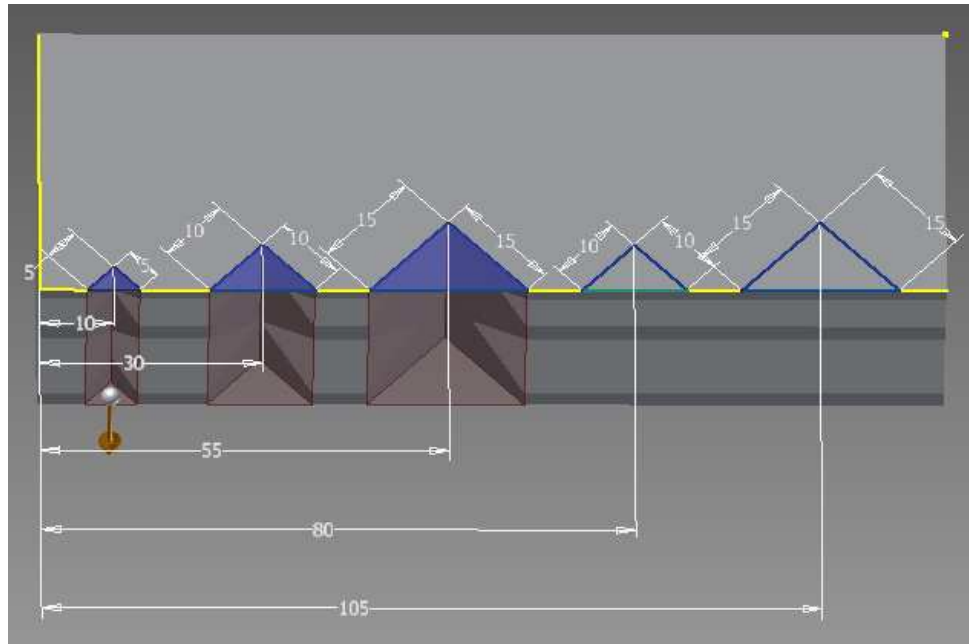
Hlavním požadavkem bylo vytvořit prizmatické čelisti pro dílenský svěrák, do kterých by šly upnout menší rotační součásti z měkkých materiálů tak, aby po obrobení na jejich povrchu nezůstalo otláčení, které by mohlo vzniknout v případě upnutí součástí do kovových čelistí.

Prvním krokem při modelování v programu Autodesk Inventor bylo vysunutí základního profilu s dvěma prizmatickými drážkami (viz obr. 23).



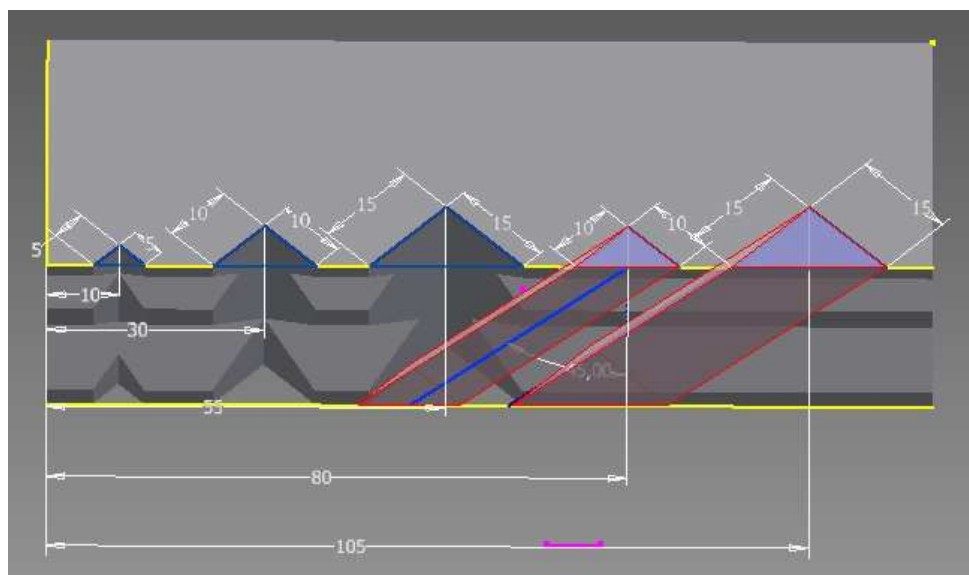
Obr. 23 Vysunutí základního profilu s dvěma prizmatickými drážkami

Dalším krokem bylo pomocí příkazu Vysunutí – rozdíl vytvoření tří prizmatických drážek z horní strany prizmatické čelisti (viz obr. 24).



Obr. 24 Vysunutí tří prizmatických drážek z horní strany prizmatické čelisti

Posledním krokem bylo pomocí příkazu Tažení – rozdíl vytvoření dvou prizmatických drážek pod úhlem 45° z horní strany prizmatické čelisti (viz obr. 25).



Obr. 25 Vysunutí dvou prizmatických drážek pod úhlem 45°

Hotová levá i pravá prizmatická čelist (viz obr. 26) byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



Obr. 26 Hotová prizmatická čelist pro dílenský svěrák

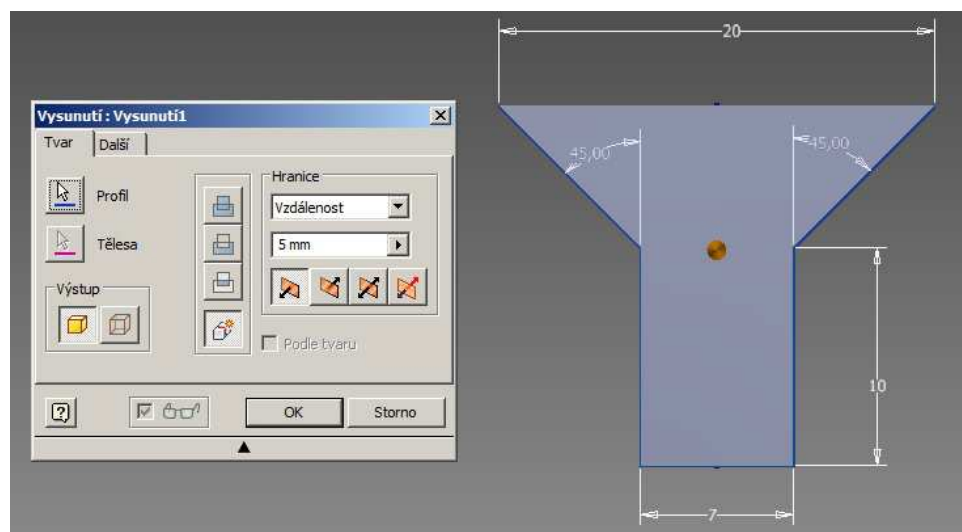
8.3 Návrh konstrukce prizmatického nástavce pro samosvornou elektrickářskou pinzetu

Hlavním požadavkem bylo vytvořit prizmatickou násadu na samosvornou elektrickářskou pinzetu (viz obr. 27), aby ji bylo možné použít k přidržení malých rotačních součástí, např. při stříkání malých rotačních dílů plastických modelů.



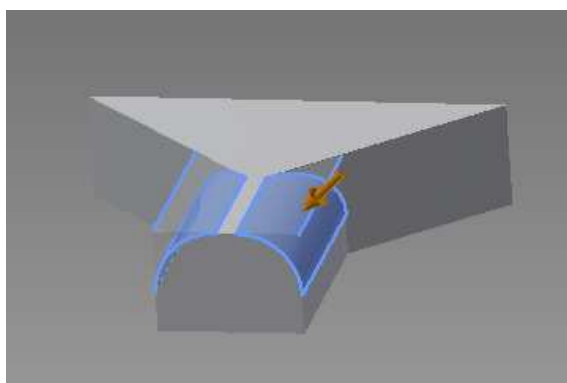
Obr. 27 Samosvorná elektrickářská pinzeta [24]

Prvním krokem při modelování v programu Autodesk Inventor bylo vysunutí základního tvaru prizmatické násady (viz obr. 28).

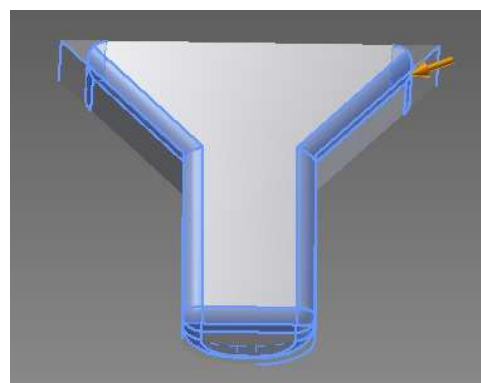


Obr. 28 Vysunutí základního profilu prizmatického nástavce

Dalším krokem bylo postupné zaoblení vnějších hran na základním tvaru přípravku (viz obr. 29,30).

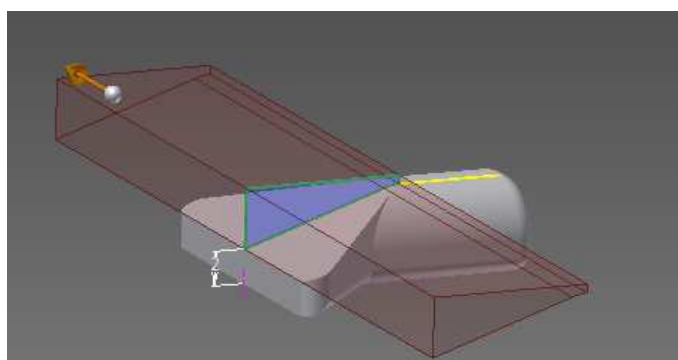


Obr. 29 Zaoblení vnějších hran



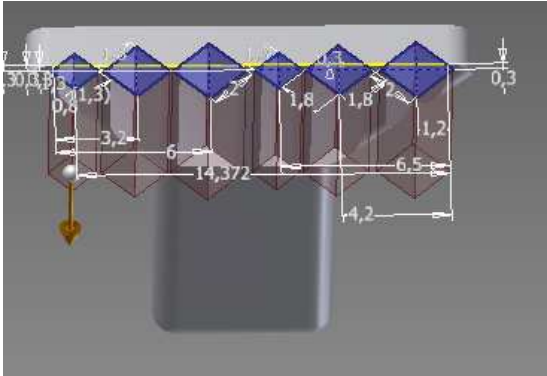
Obr. 30 Zaoblení vnějších hran

Poté byl proveden úkos pomocí příkazu vysunutí – rozdíl na horní straně přípravku (viz obr. 31).

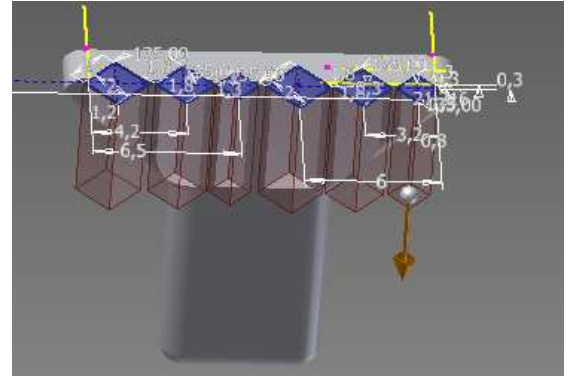


Obr. 31 Vytvoření úkosu na horní straně přípravku

Dalším krokem bylo pomocí příkazu vysunutí – rozdíl vytvoření jednotlivých prizmatických drážek do přípravku. Bylo nutné vytvořit levou a pravou násadu, jinak by prizmatické drážky k sobě nepasovaly (viz obr. 32,33).

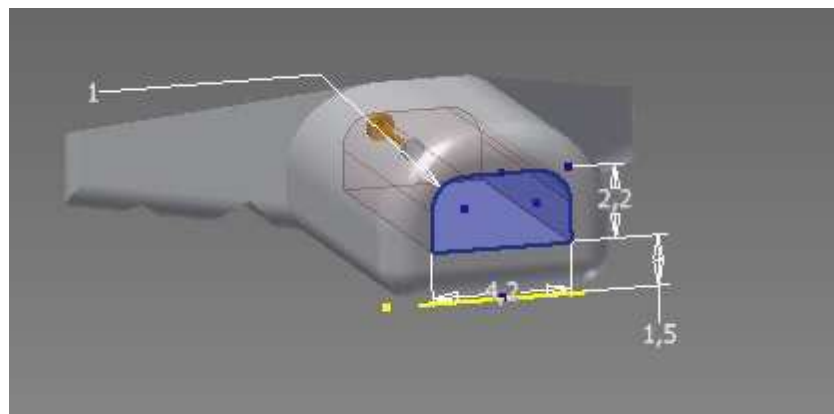


Obr. 32 Vysunutí jednotlivých prizmatických drážek



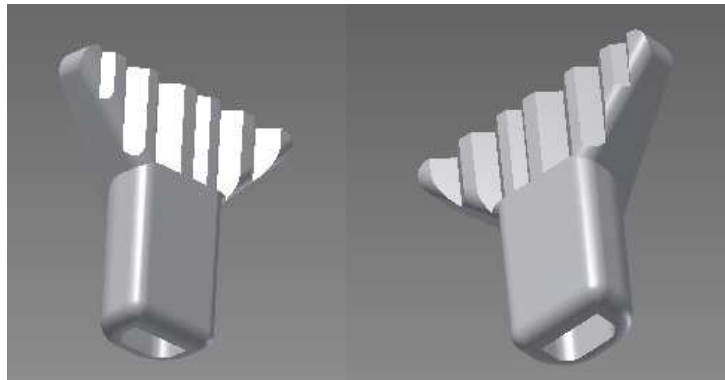
Obr. 33 Vysunutí jednotlivých prizmatických drážek

Nakonec byl pomocí příkazu vysunutí – rozdíl vytvořen otvor, aby bylo možné nasadit nástavec na pinzetu (viz obr. 34).



Obr. 34 Vytvoření otvoru pro nasazení nástavce na pinzetu

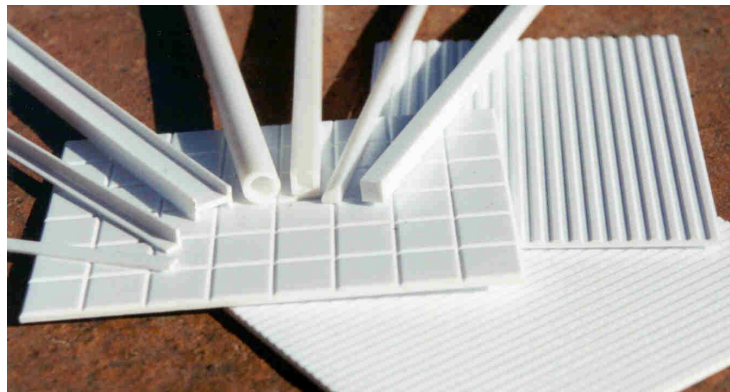
Hotový levý i pravý nástavec na elektrikařskou pinzetu (viz obr. 35) byl potom exportován do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



Obr. 35 Hotový levý a pravý nástavec na samosvornou elektrikařskou pinzetu

8.4 Návrh konstrukce malého modelářského svěráku

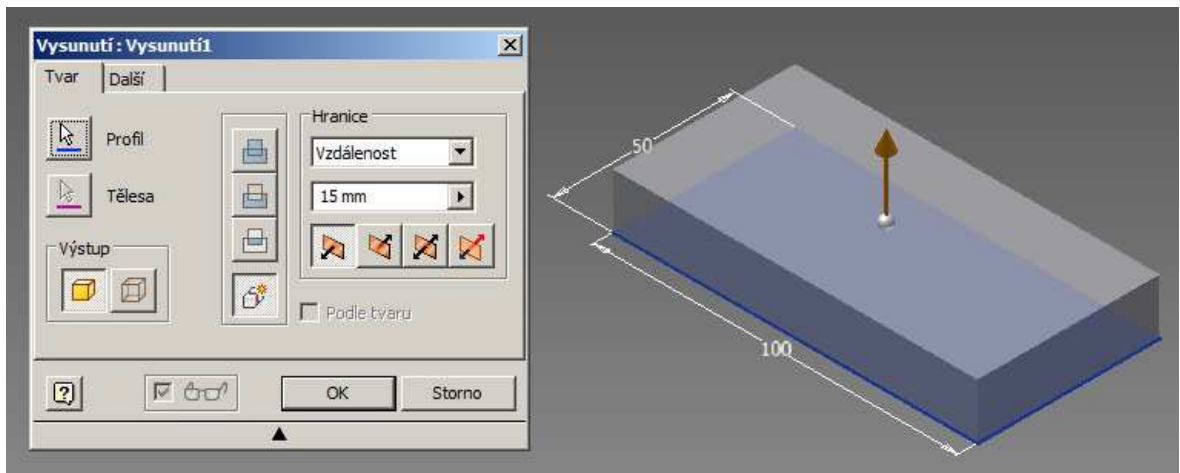
Hlavním požadavkem bylo vytvořit malý dílenský svěrák pro modeláře, který by měl vyměnitelné čelisti pro upínání plastových profilů (viz obr. 36). Dále měl mít pravítko s dorazem tak, aby bylo možné nastavit při řezání plastových profilů požadovaný rozměr.



Obr. 36 Plastové modelářské profily od firmy Evergreen [25]

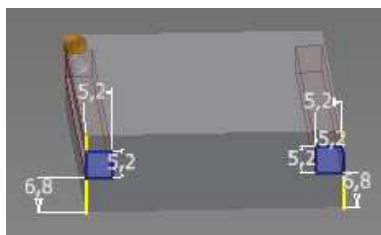
8.4.1 Návrh konstrukce podstavy malého modelářského svěráku

Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru podstavy malého modelářského svěráku (viz obr. 37).

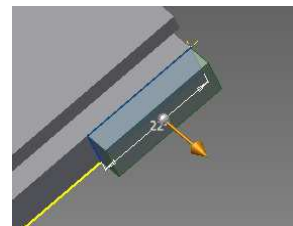


Obr. 37 Vysunutí základního profilu podstavy pro malý modelářský svěrák

Dalším krokem bylo pomocí příkazu vysunutí – rozdíl vytvoření dvou vodících drážek do podstavy, které budou sloužit jako vedení posuvné čelisti (viz obr. 38). Poté byla pomocí vysunutí vytvořena část, do které se vsune kovové pravítko pro měření vzdálenosti (viz obr. 39).

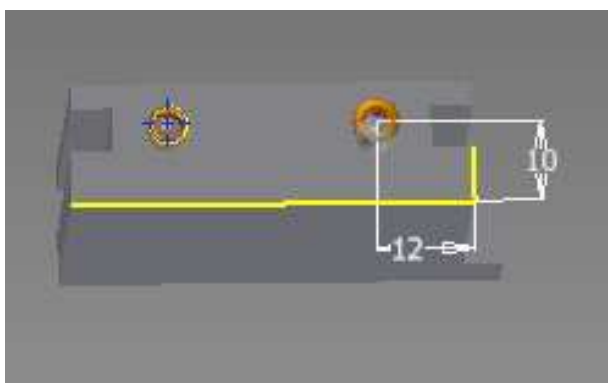


Obr. 38 Vytvoření drážek

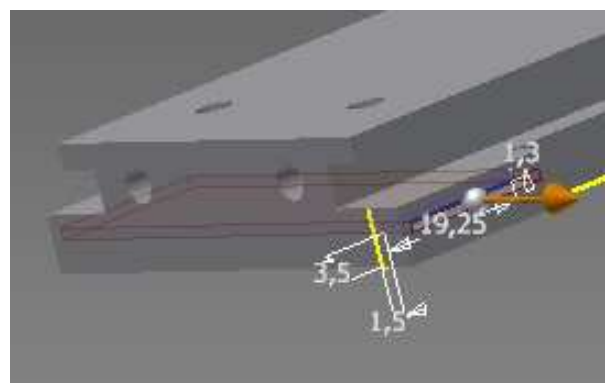


Obr. 39 Vytvoření části pro kovové pravítko

Nakonec byly pomocí příkazů díra a vysunutí rozdíl vytvořeny díry pro šrouby (viz obr. 40) a drážku pro kovové pravítko (viz obr. 41).

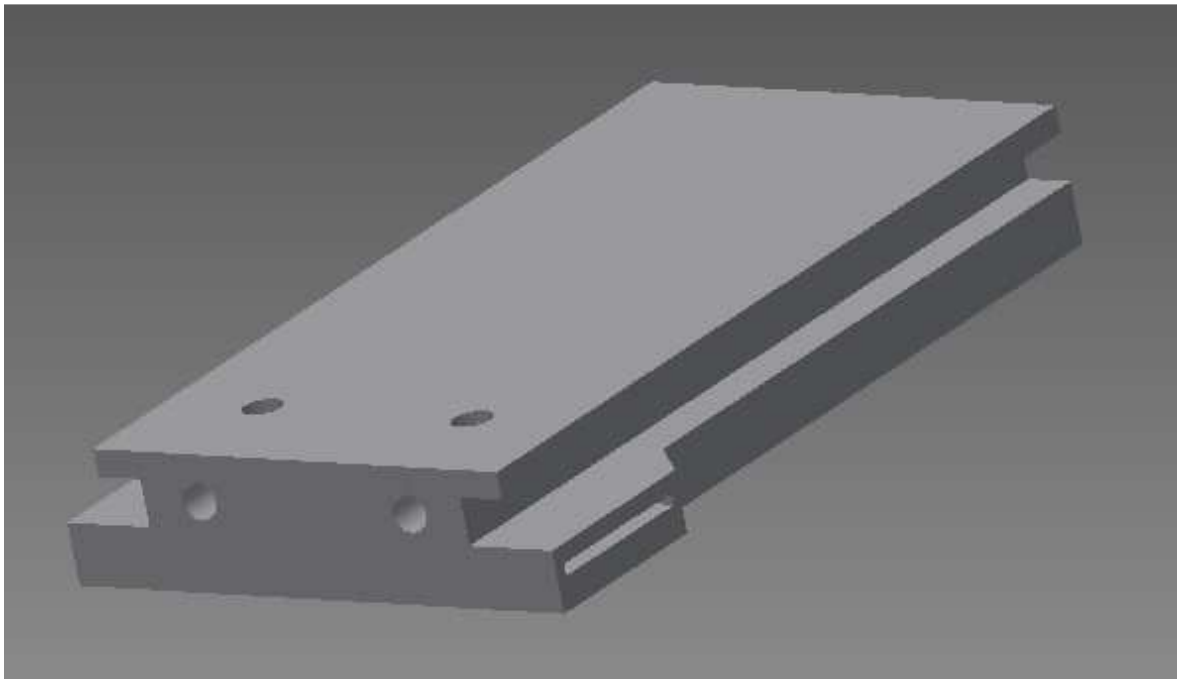


Obr. 40 Vytvoření děr pro šrouby



Obr. 41 Vytvoření drážky pro kovové pravítko

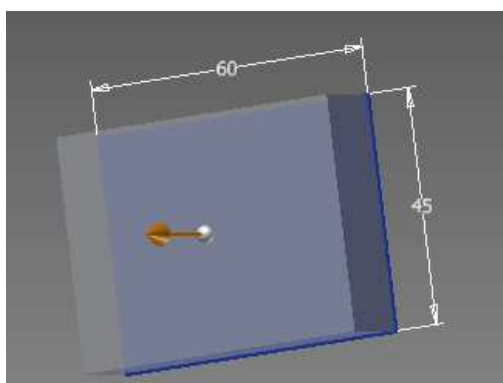
Hotová podstava pro malý modelářský svěrák (viz obr. 42) byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



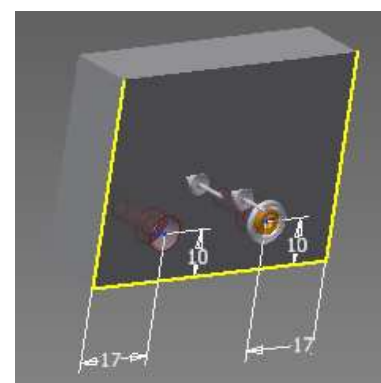
Obr. 42 Hotová podstava pro malý modelářský svěrák

8.4.2 Návrh konstrukce pevné čelisti malého modelářského svěráku

Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru pevné čelisti malého modelářského svěráku (viz obr. 43).



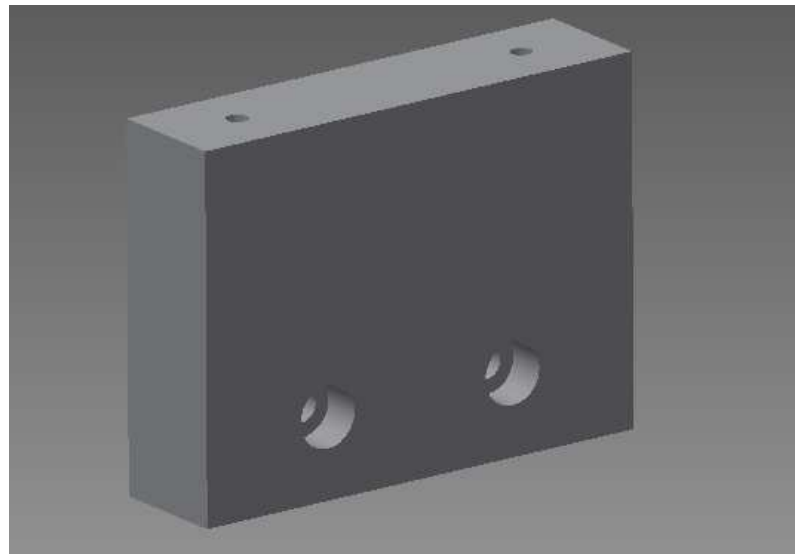
Obr. 43 Vysunutí základního tvaru pevné čelisti



Obr. 44 Vytvoření děr pro šrouby

Nakonec byly pomocí příkazu díra vytvořeny díry pro šrouby (viz obr. 44), které budou sloužit k uchycení pevné čelisti k podstavě a k uchycení prizmatických nebo tvarových čelistí, které budou vyměnitelné.

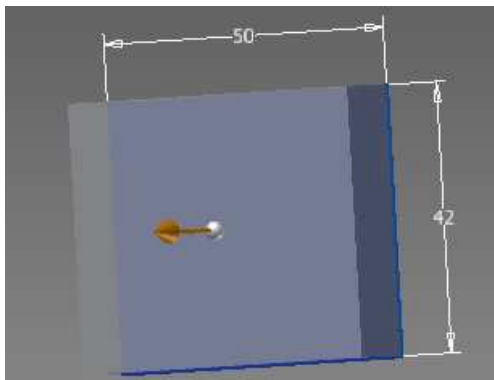
Hotová pevná čelist pro malý modelářský svěrák (viz obr. 45) byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



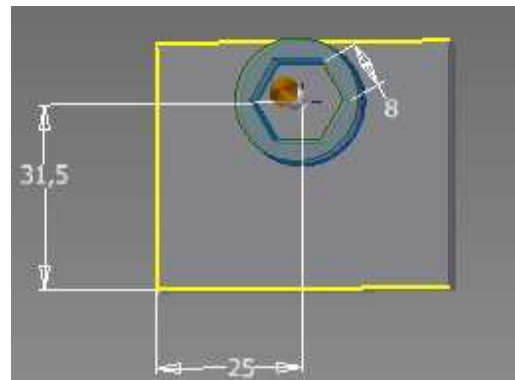
Obr. 45 Hotová pevná čelist malého modelářského svěráku

8.4.3 Návrh konstrukce zadního dílu malého modelářského svěráku

Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru zadního dílu malého modelářského svěráku (viz obr. 46).

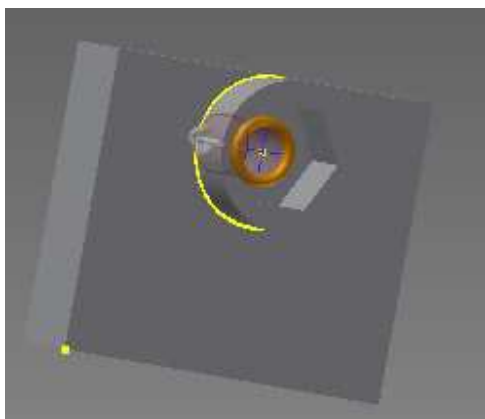


Obr. 46 Vysunutí základního tvaru
zadního dílu

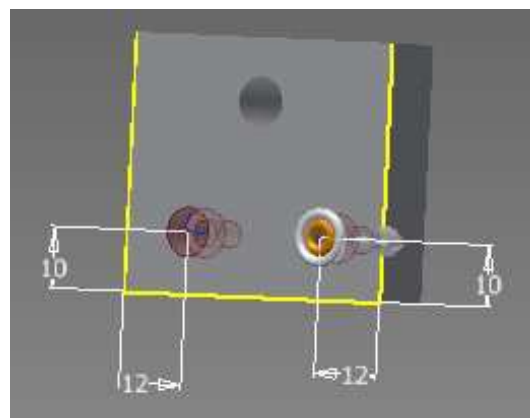


Obr. 47 Vysunutí šestihřanné díry pro
matici

Dalším krokem byla pomocí příkazu vysunutí vytvořena šestihřanná díra (viz obr. 47), ve které bude nalepena matice pro vodící šroub. Poté byla pomocí příkazu díra vytvořena díra pro vodící šroub (viz obr. 48), který bude posouvat posuvnou čelist. Nakonec byly pomocí příkazu díra vytvořeny díry pro šrouby (viz obr. 49), které budou sloužit k uchycení zadního dílu k podstavě.

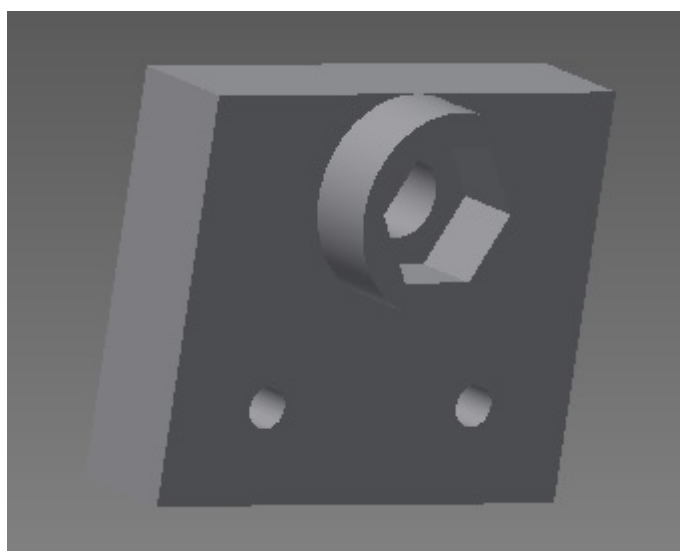


Obr. 48 Vytvoření díry pro vodící šroub



Obr. 49 Vytvoření děr pro šrouby

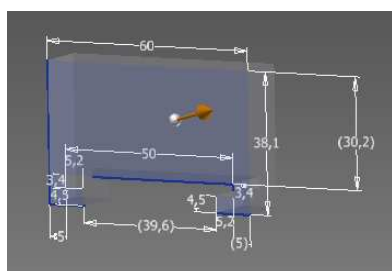
Hotový zadní díl pro malý modelářský svěrák (viz obr. 50) byl potom exportován do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



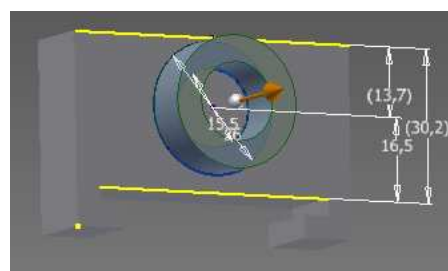
Obr. 50 Hotový zadní díl pro malý modelářský svěrák

8.4.4 Návrh konstrukce posuvné čelisti malého modelářského svěráku

Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru posuvné čelisti malého modelářského svěráku (viz obr. 51).

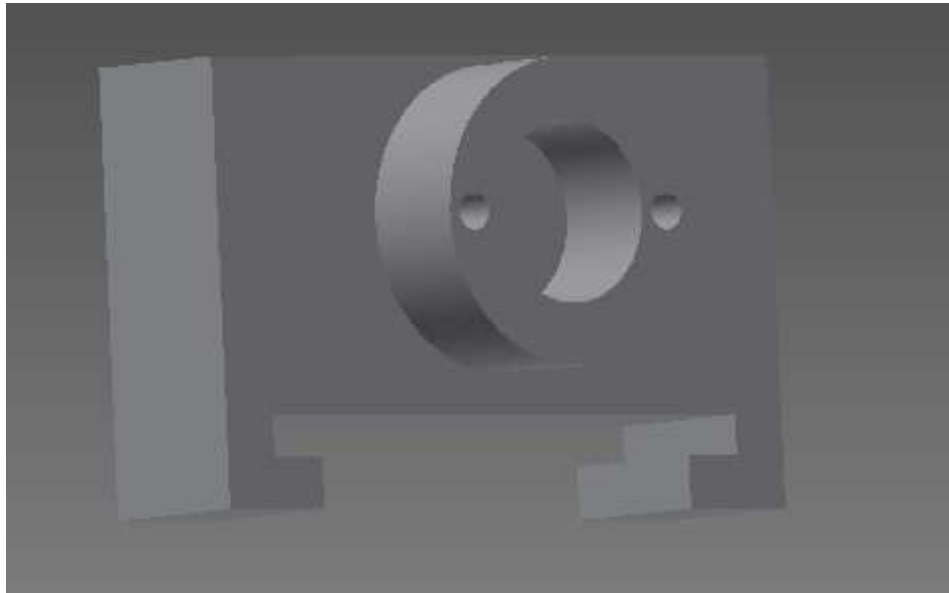


Obr. 51 Vysunutí základního tvaru posuvné čelisti



Obr. 52 Vysunutí kroužku

Dalším krokem bylo vytvoření pomocí vysunutí kroužek, ve kterém se budou otáčet dvě proti sobě dotažené matice (viz obr. 52). Poté byly vytvořeny díry pro šrouby k přišroubování krytu na kroužek a díry pro šrouby, které budou sloužit k uchycení prizmatických nebo tvarových čelistí k posuvné čelisti (viz obr. 53).

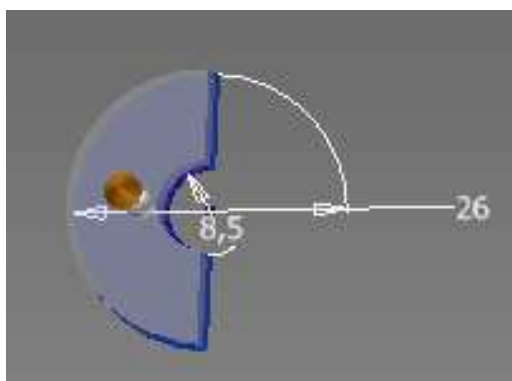


Obr. 53 Hotová posuvná čelist malého modelářského svěráku

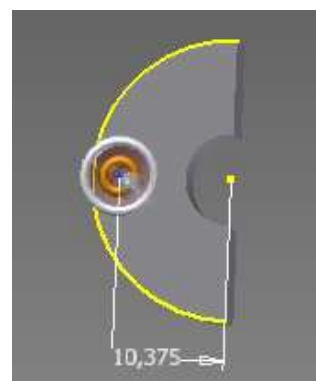
Hotová posuvná čelist pro malý modelářský svěrák (viz obr. 53) byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.

8.4.5 Návrh konstrukce krytky na posuvnou čelist malého modelářského svěráku

Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru krytky na posuvnou čelist malého modelářského svěráku (viz obr. 54). Nakonec byla vytvořena díra se zahloubením pro šroub (viz obr. 55).



Obr. 54 Vysunutí základního tvaru krytky



Obr. 55 Vytvoření díry se zahloubením pro šroub

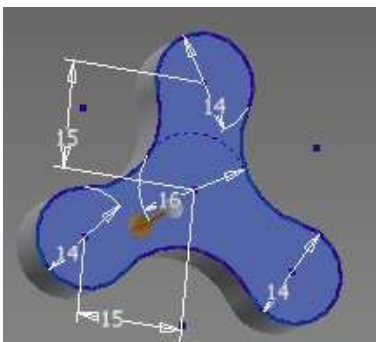
Hotová krytka (viz obr. 56) pro posuvnou čelist byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



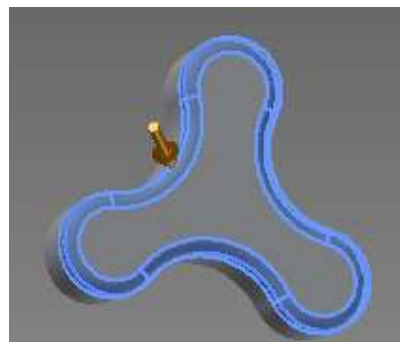
Obr. 56 Hotová krytka pro posuvnou čelist

8.4.6 Návrh konstrukce ručky na posuvný šroub malého modelářského svěráku

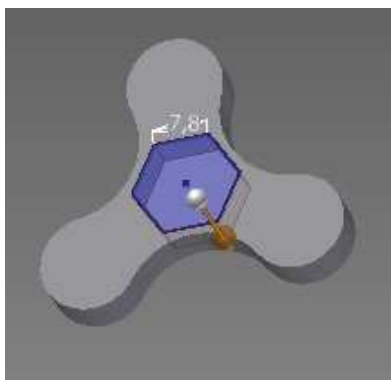
Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru ručky na posuvný šroub malého modelářského svěráku (viz obr. 57). Poté byly zaobleny vnější hrany ručky (viz obr. 58) a nakonec byla pomocí příkazu vysunutí – rozdíl vytvořena šestihránná díra (viz obr. 59), do které se nalepí šestihránná hlava šroubu.



Obr. 57 Vysunutí základního tvaru ručky



Obr. 58 Zaoblení vnější hrany ručky



Obr. 59 Vysunutí šestihránné díry pro hlavu šroubu

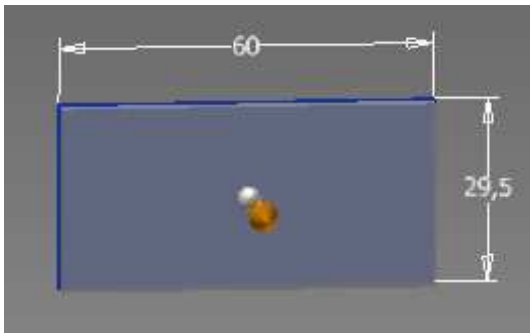


Obr. 60 Hotová ručka

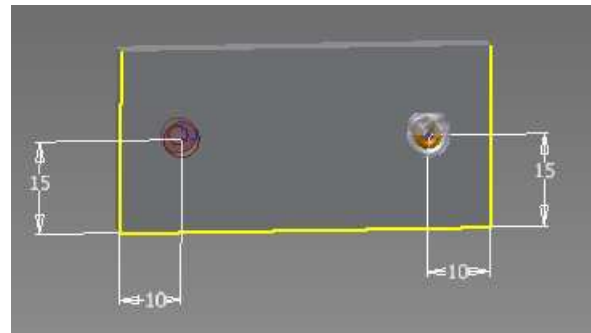
Hotová ručka (viz obr. 60) pro posuvný šroub byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.

8.4.7 Návrh konstrukce prizmatických čelistí pro malý modelářský svěrák

Hlavním požadavkem bylo vytvořit prizmatické čelisti pro malý dílenský svěrák tak, aby do nich šly upínat kruhové plastové profily (viz obr. 36). Prvním krokem bylo vysunutí základního tvaru (viz obr. 61) prizmatických čelistí.

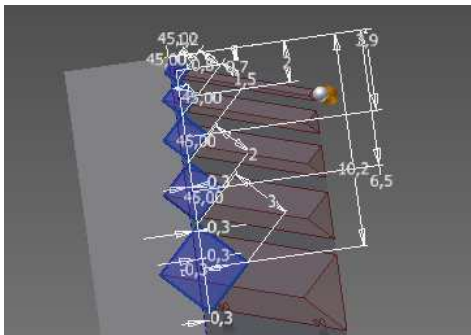


Obr. 61 Vysunutí základního tvaru prizmatických čelistí

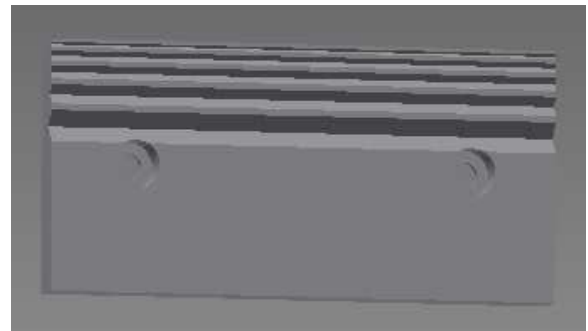


Obr. 62 Vytvoření děr pro šrouby

Dalším krokem bylo vytvoření děr pro šrouby (viz obr. 62), kterými se prizmatická čelist přišroubuje k pevné a posuvné čelisti malého dílenského svěráku. Nakonec byly vytvořeny pomocí příkazu vysunutí – rozdíl prizmatické drážky do čelisti (viz obr. 63).



Obr. 63 Vytvoření prizmatických drážek

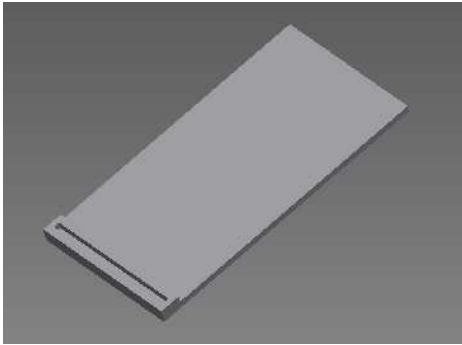


Obr. 64 Hotová prizmatická čelist

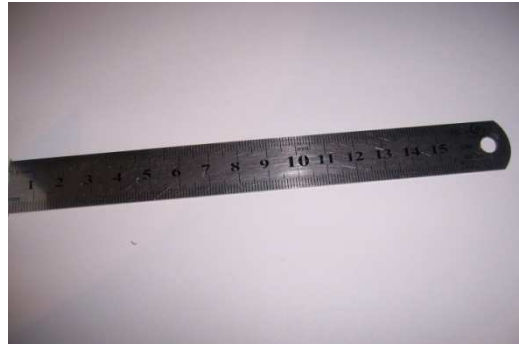
Hotová prizmatická čelist (viz obr. 64) pro pevnou a posuvnou čelist malého modelářského svěráku byla potom exportována do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.

8.4.8 Návrh konstrukce dorazu pro pravítko

Pomocí příkazu vysunutí byl vytvořen doraz s drážkou (viz obr. 65), do které se zasune a zalepí kovové pravítko (viz obr. 66). Hotový doraz na kovové pravítko byl potom exportován do formátu stl, který je využíván k 3D tisku.



Obr. 65 Doraz na kovové
pravítko

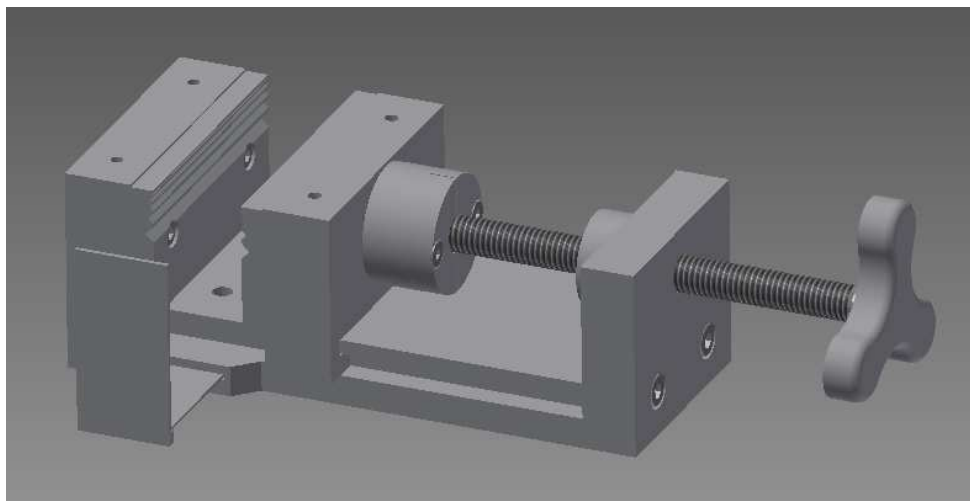


Obr. 66 Kovové pravítko

8.4.9 Sestava malého modelářského svěráku

K sestavení malého modelářského svěráku bylo zapotřebí:

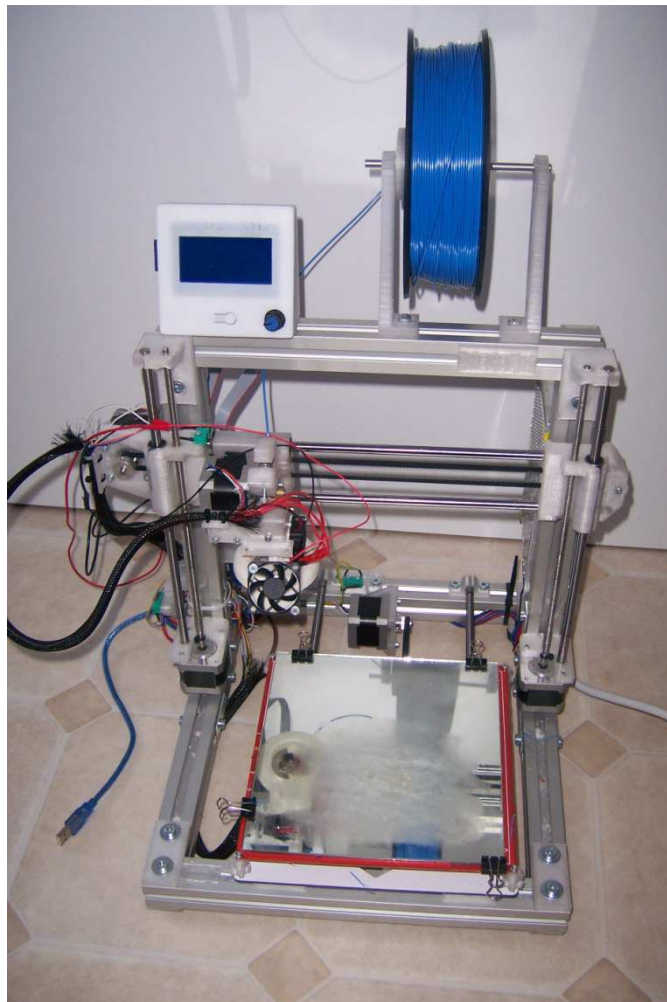
- 4x šroub DIN 912 M4x16
- 1x šroub DIN 933 M8x110
- 4x šroub DIN 912 M3x6
- 2x stavěcí šroub DIN 913 M5x6
- 2x šroub DIN 7991 M3x8
- 2x nízká matice DIN 439 M8
- 1x matice DIN 934 M8



Obr. 67 Sestavený malý modelářský svěrák

9 VÝROBA DÍLENSKÝCH PŘÍPRAVKŮ NA 3D TISKÁRNĚ REBEL II

9.1 Technické parametry tiskárny Rebel II



Obr. 68 3D tiskárna Rebel II

Výroba dílenských přípravků probíhala na RepRap FDM tiskárně Rebel II (viz obr. 68), která má tyto technické parametry:

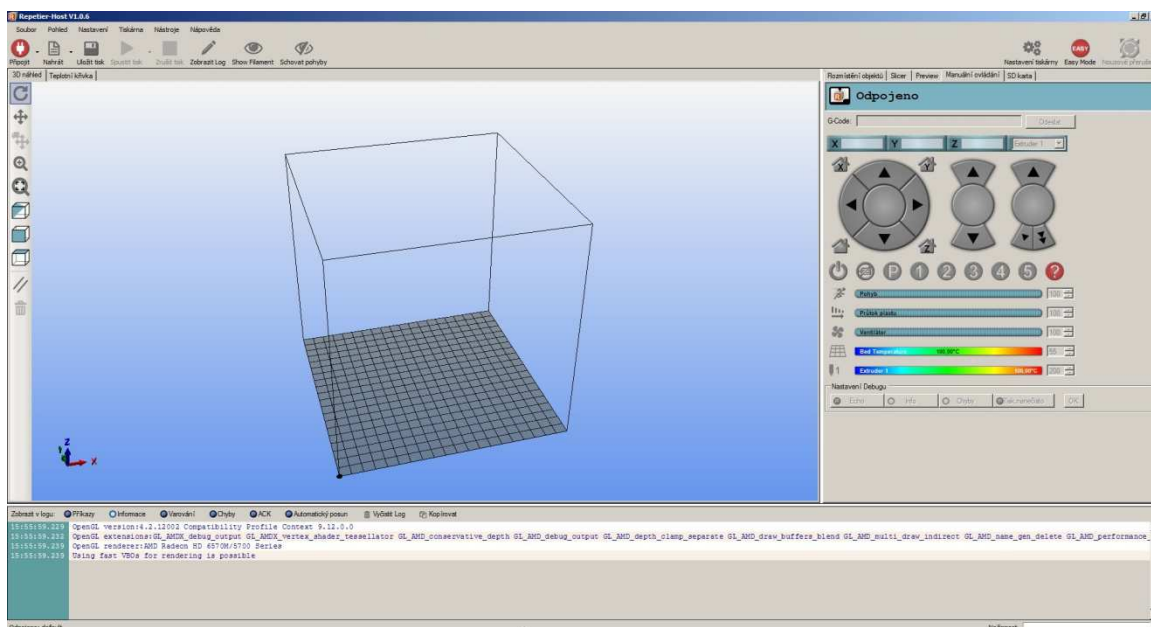
Maximální velikost modelu: [mm]	200 x 200 x 200
Přesnost: [mm]	0,2
Minimální tloušťka vrstvy: [mm]	0,05
Maximální rychlost tisku: [mm/s]	150
Průměr filamentu: [mm]	1,75
Cena stavebnice: [Kč]	12 300

Tab. 3 – Technické parametry FDM 3D tiskárny Rebel II

9.2 Software Repetier-Host

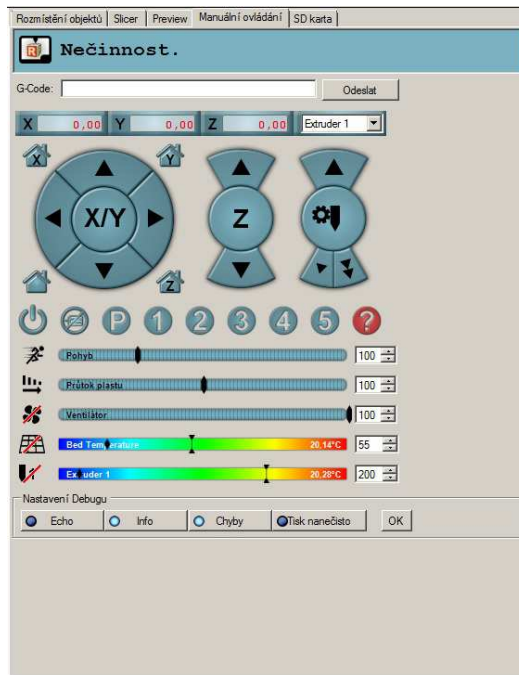
K ovládání tiskárny se používá volně dostupný software Repetier-Host (viz obr. 69), který umožňuje:

- Rozmístit jeden nebo více 3D modelů na virtuální tiskovou podložku
- Upravit 3D modely (změnit velikost, oříznout, otočit, nakopírovat)
- Rozřezat 3D model na jednotlivé vrstvy pomocí importovaných softwarů Slic3r, Skeinforge, CuraEngine
- Kontrolovat a upravovat vygenerovaný g-code
- Odeslat g-code do tiskárny nebo g-code zkopírovat na SD kartu
- Monitorovat tiskárnu při tisku



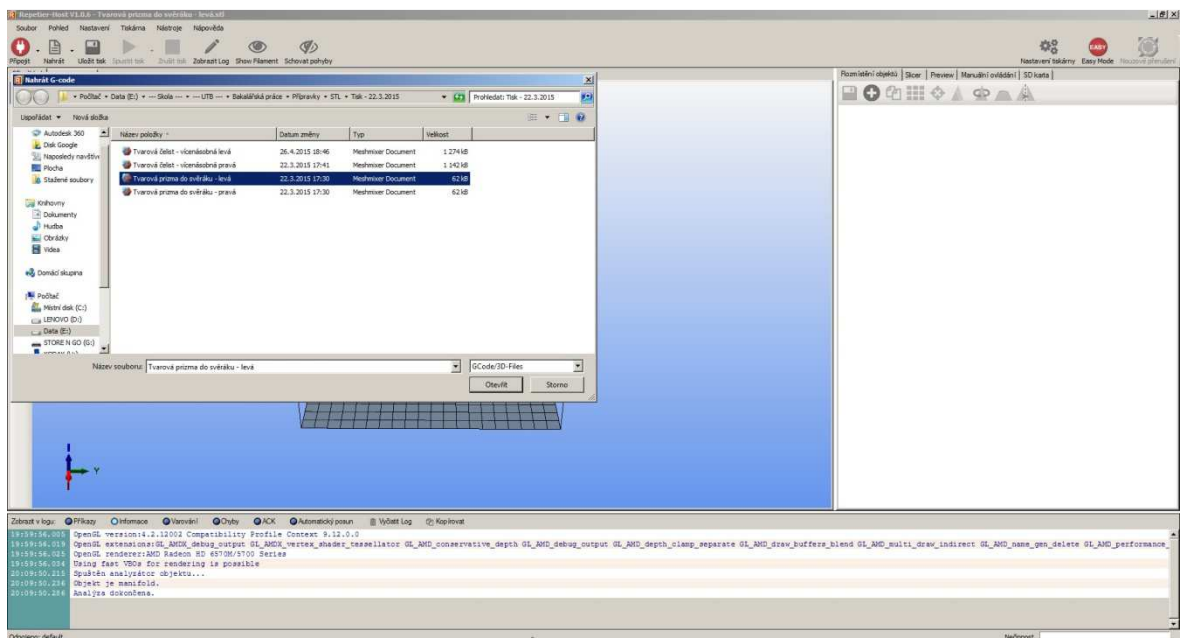
Obr. 69 Repetier-Host

Po připojení tiskárny v programu Repetier-Host bylo možné tiskárnu ovládat pomocí panelu manuálního ovládání. (viz obr. 70). Můžeme pohybovat s vyhřívanou podložkou (osy x, y), s tiskovou hlavou (osa z), dále můžeme i během tisku nastavit a upravovat rychlost pohybu, průtok plastu, rychlost otáčení ventilátoru (vše v %), teplotu hotbedu (vyhřívané podložky) a hotendu (tisková hlava).



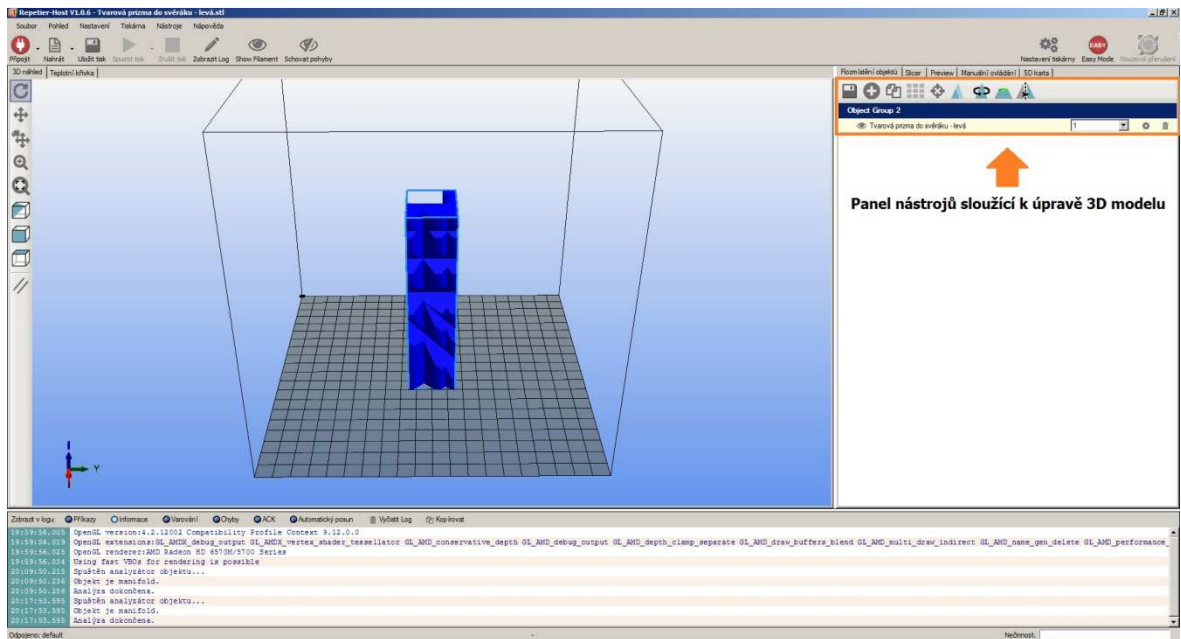
Obr. 70 Manuální ovládání tiskárny v Repetier-Hostu

Příprava 3D tisku v softwaru Repetier-Host začíná nahráním a umístěním jednoho nebo více modelů na virtuální tiskovou podložku (viz obr. 71).



Obr. 71 Nahrání 3D modelu do Repetier-Hostu

Poté bylo možné nahraný 3D model, který byl ve formátu stl, dále upravovat. Můžeme změnit jeho měřítko, můžeme model otočit kolem osy x, y, z, dále bylo možné model oříznout, zrcadlit nebo nakopírovat (viz obr. 72).

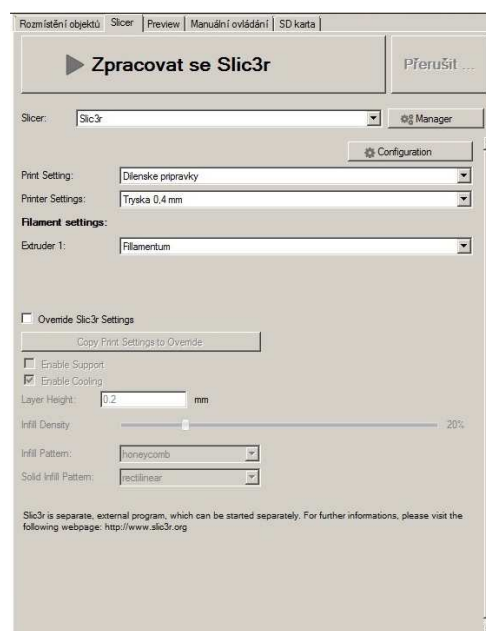


Obr. 72 Panel úprav 3D modelu v Repetier-Hostu

Další fází přípravy 3D tisku bylo tzv. slicování, které bude popsáno v následující kapitole.

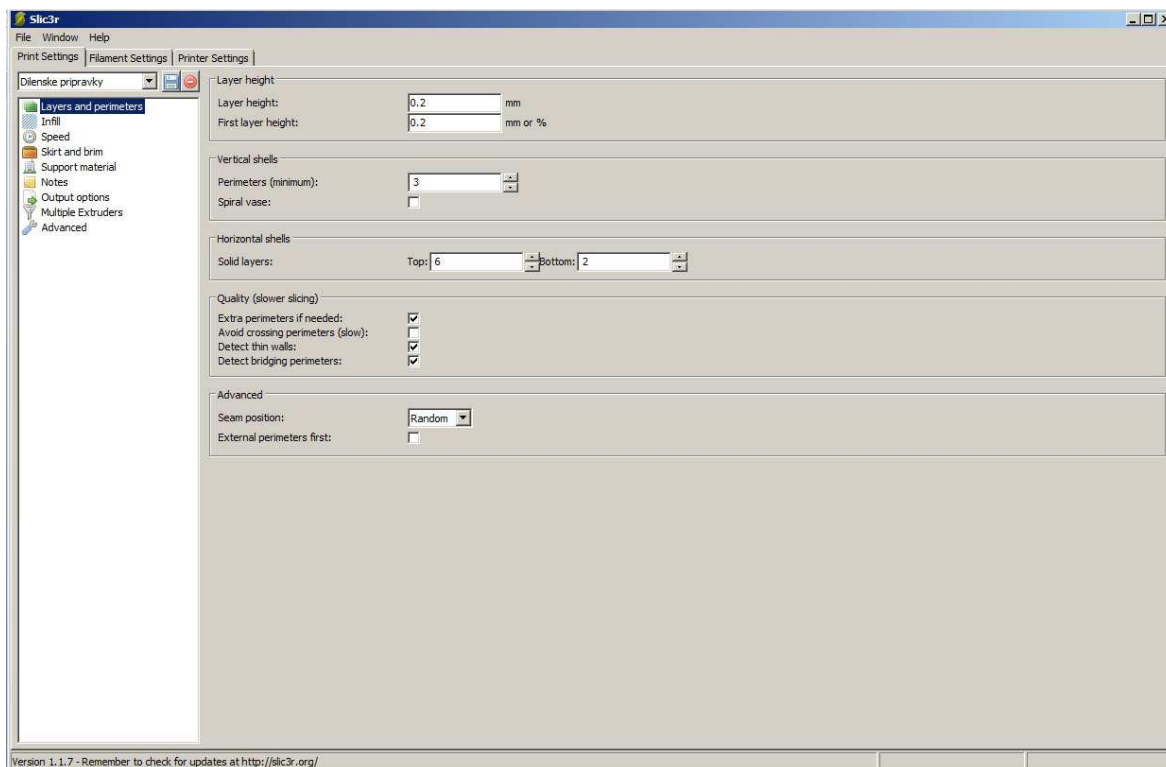
9.3 Nastavení tisku dílenských přípravků v softwaru Slic3r

Aby bylo možné nahráný 3D model vytisknout, je nutné rozřezat 3D model na jednotlivé vrstvy, tzv. slicovat, a nastavit technologické podmínky tisku. Slicování se provádí např. v softwaru Slic3r, který je importovaný přímo v Repetier-Hostu (viz obr. 73). Umožní nastavit parametry tisku, jako jsou např. výška vrstvy tisku, průměr trysky, rychlost posuvů, teplota vyhřívané podložky při tisku, teplota extruderu při tisku, rychlost chlazení tisku vnějším ventilátorem a další.



Obr. 73 Importovaný Slic3r v Repetier-Hostu

Dalším krokem bylo samotné nastavení parametrů tisku (viz obr. 74). Pro všechny dílenské přípravy byly použity stejné parametry tisku.



Obr. 74 Nastavení Layers and perimeters v Slic3r

V záložce Layers and perimeters (viz obr. 74) byly nastaveny tyto parametry tisku:

- Layers height – výška vrstvy => 0,2 mm
- First layer height – výška první vrstvy => 0,2 mm
- Perimeters – počet vnějších vrstev => 3
- Solid layers – počet 100% plných vrstev horních => 6 a dolních vrstev => 2

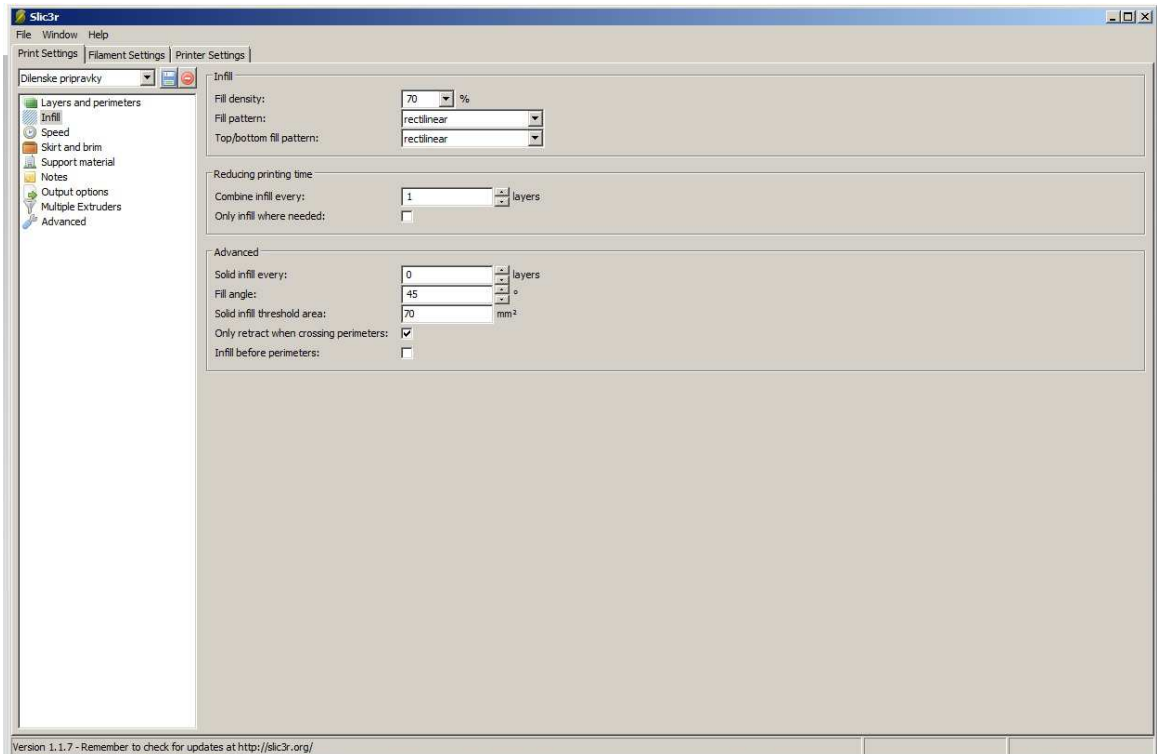
V záložce Infill (viz obr. 75) byly nastaveny tyto parametry tisku:

- Fill density – výplň => 70% materiálu a 30% vzduchu
- Fill pattern – typ výplně => rectilinear (rovnoběžná)

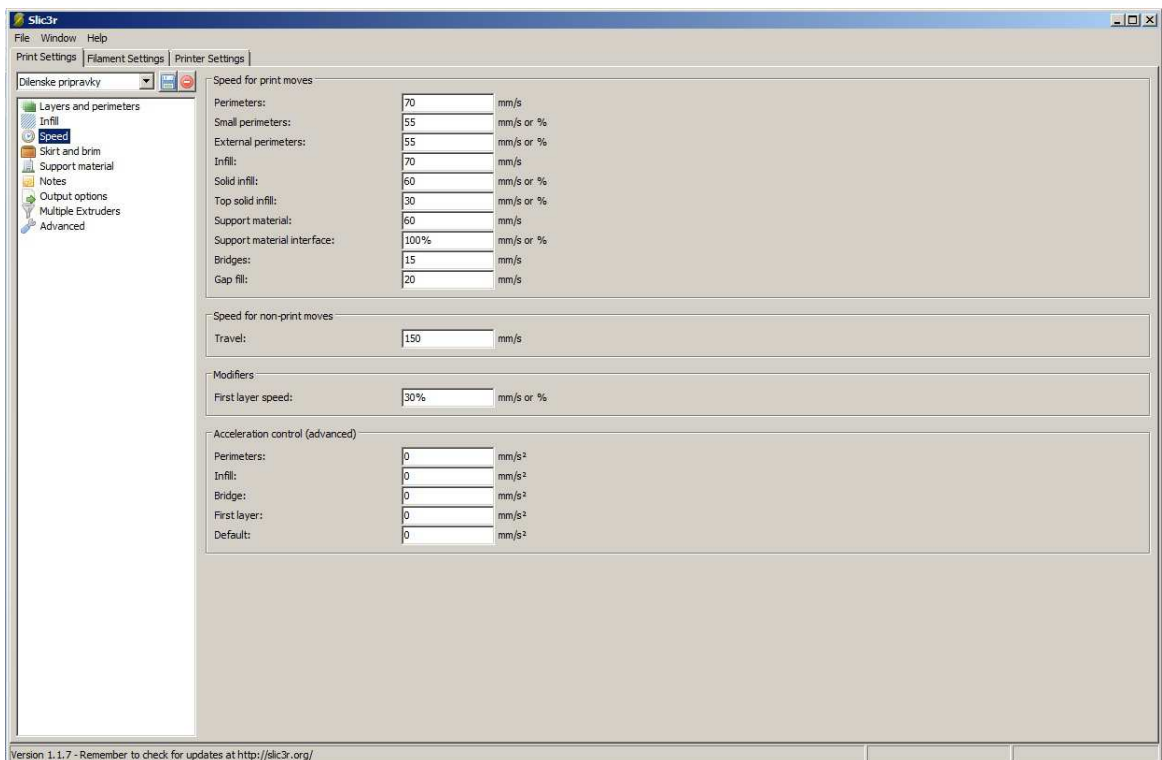
V záložce Speed (viz obr. 76) byly nastaveny tyto parametry tisku:

- Perimeters – rychlost tisku obvodu => 70 mm/s
- Small perimeters – rychlost tisku malých obvodových částí => 55 mm/s
- External perimeters – rychlost tisku externího obvodu => 55 mm/s
- Infill – rychlost tisku výplně => 70 mm/s
- Bridges – rychlost tisku tzv. mostů (tisk do vzduchu) => 15 mm/s

➤ Travel – rychloposuv => 150 mm/s



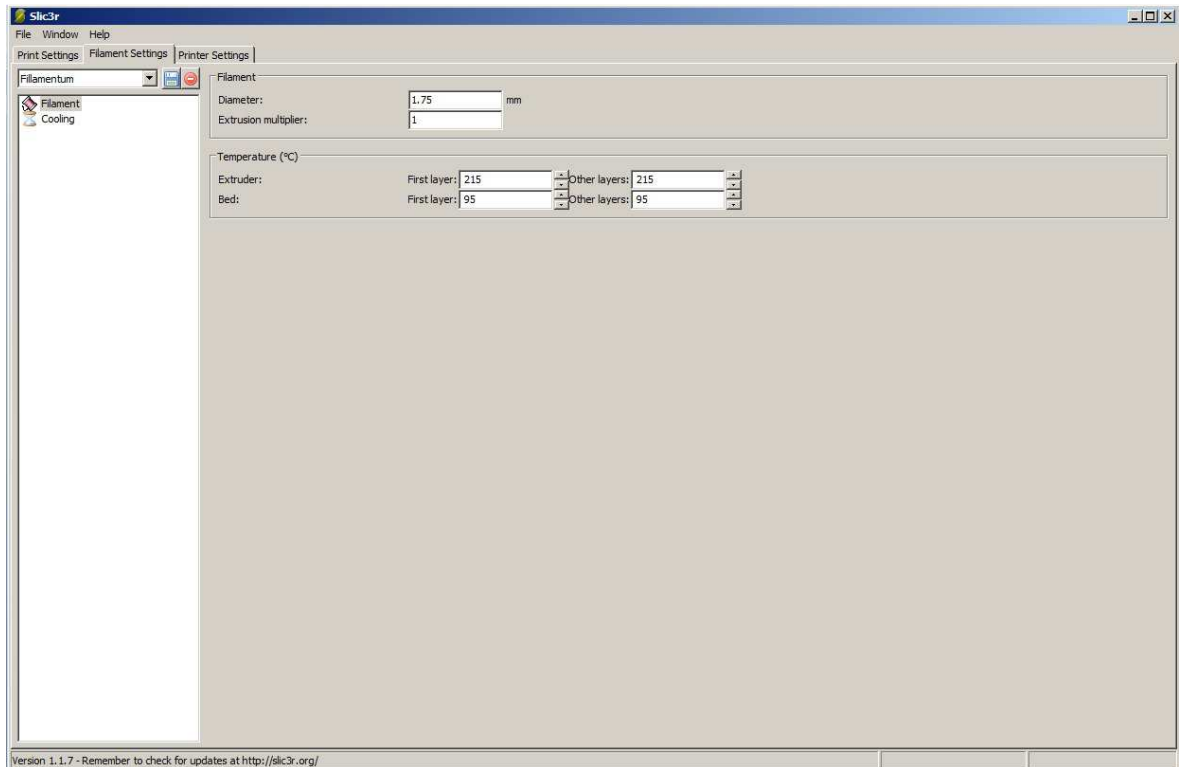
Obr. 75 Nastavení Infill v Slic3r



Obr. 76 Nastavení Speed v Slic3r

V záložce Filament Settings -> Filament (viz obr. 77) byly nastaveny tyto parametry:

- Diameter – průměr materiálu => 1,75 mm
- Temperature extruder – teplota extruderu 215°C
- Temperature bed – teplota vyhřívané podložky 95°C

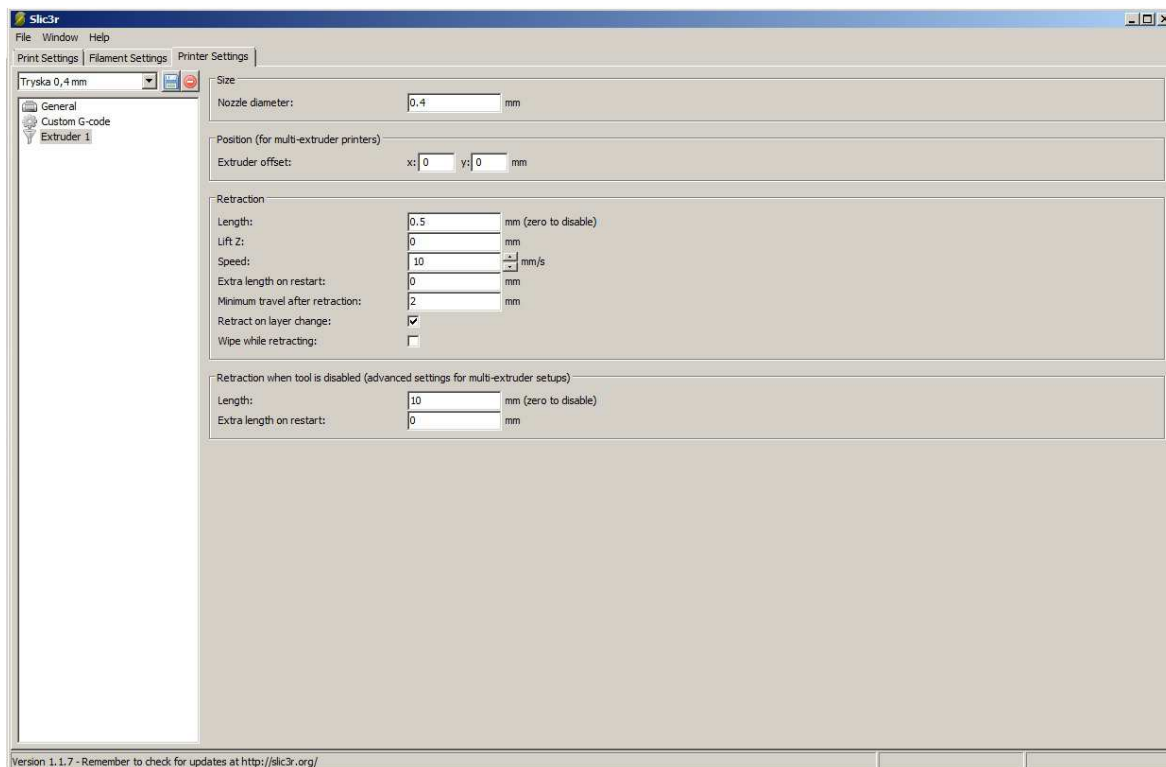


Obr. 77 Nastavení Filament Settings v Slic3r

Nakonec v záložce Printer Settings -> Extruder 1 (viz obr. 78) byly nastaveny tyto parametry:

- Nozzle diameter – průměr trysky => 0,4 mm

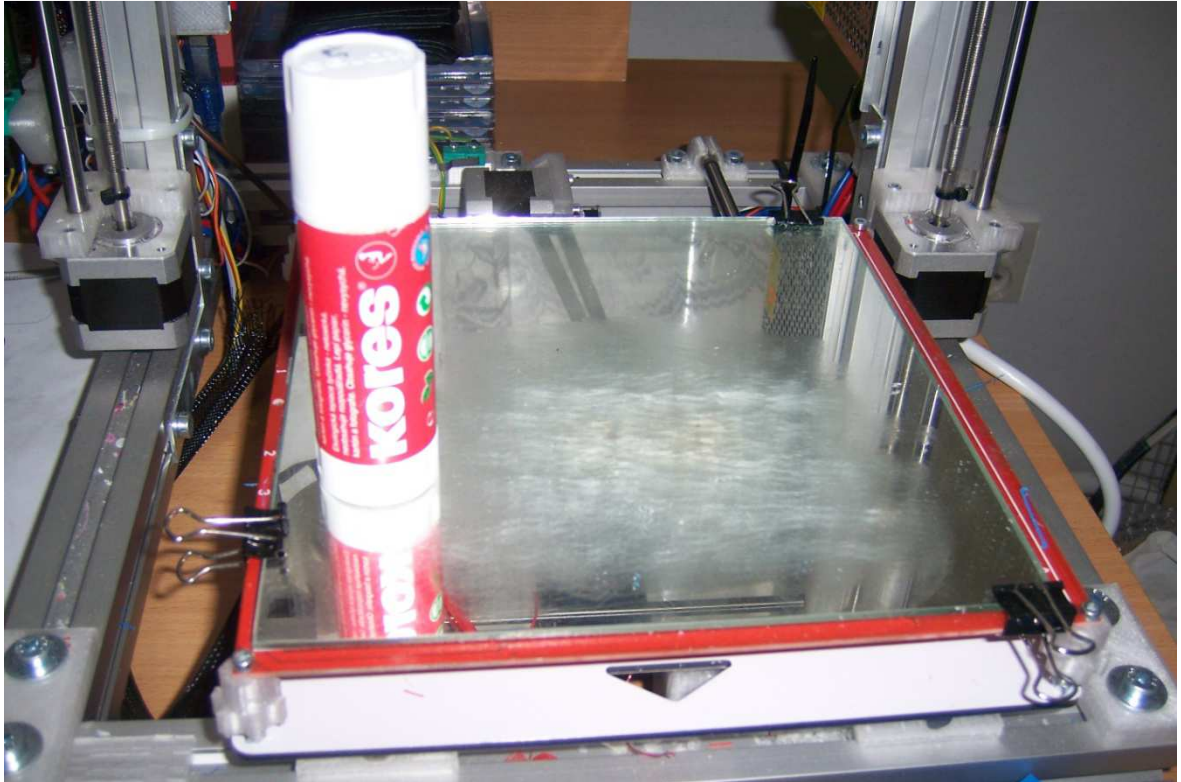
Po nastavení a uložení parametrů tisku bylo nutné zmáčknout tlačítko Zpracovat se Slic3r (viz obr. 73). Výsledkem slicování je g-code, podle kterého po zahájení tisku vytiskne 3D tiskárna požadovaný 3D model na tiskové podložce.



Obr. 78 Nastavení Printer Settings v Slic3r

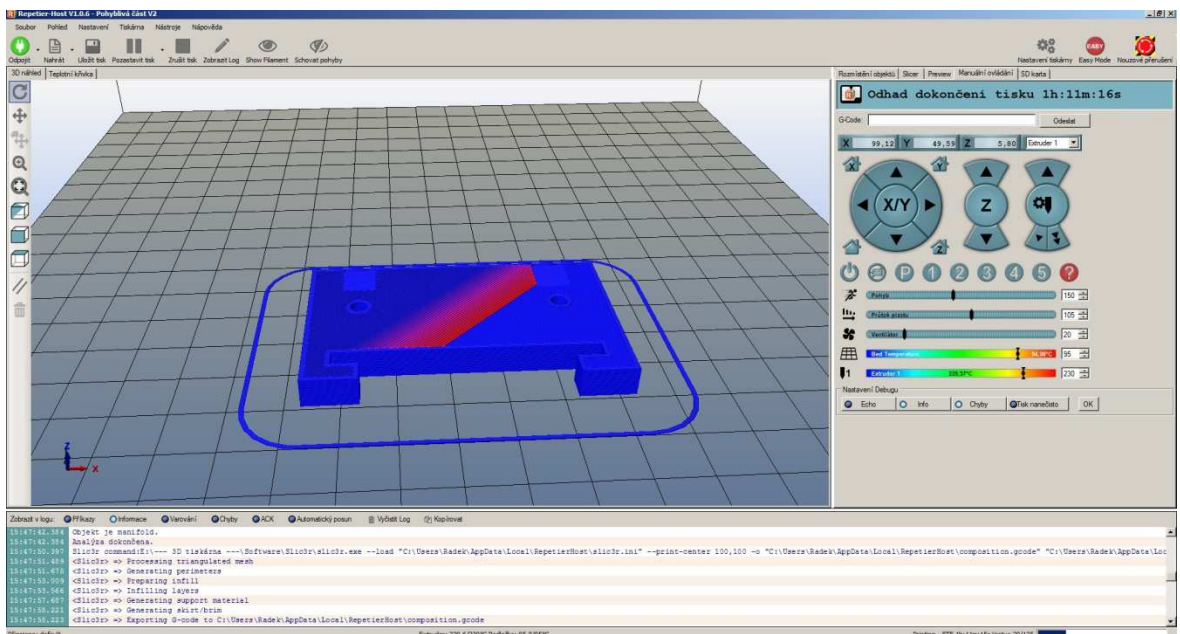
9.4 Tisk dílenských přípravků na tiskárně Rebel II

Dílenské přípravky byly vtištěny z ABS plastu vzhledem k jeho dobrým mechanickým vlastnostem a dobrou opracovatelností při případných dokončovacích operacích. Před samotným tiskem ABS plastu bylo nutné připravit vyhřívanou tiskovou podložku tak, aby se na ni ABS plast přilepil. Podložka byla natřena tuhým lepidlem Kores (viz obr. 79). Po spuštění tisku se nejprve začne vyhřívat tisková podložka na požadovanou teplotu, v našem případě 95°C, poté se podložka dotkne koncových spínačů x a y a tím si vynuluje souřadnice. Nakonec se začne vyhřívat extruder na požadovanou teplotu tisku. Po dosažení požadované teploty, v našem případě 215°C, začne samotný tisk.

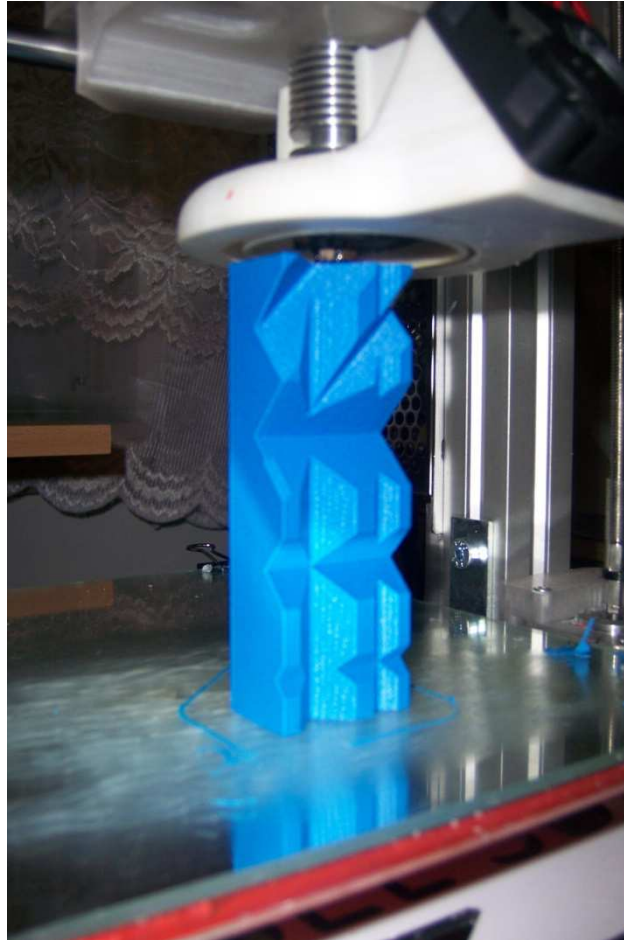


Obr. 79 Natřená vyhřívaná podložka tuhým lepidlem Kores

Průběh tisku bylo možné sledovat v programu Repetier-Host. Uprostřed bylo virtuálně zobrazeno, v jaké fázi se tisk nachází. V pravém horním rohu byl odhadovaný čas dokončení tisku (viz obr. 80).



Obr. 80 Průběh tisku v Repetier-Hostu

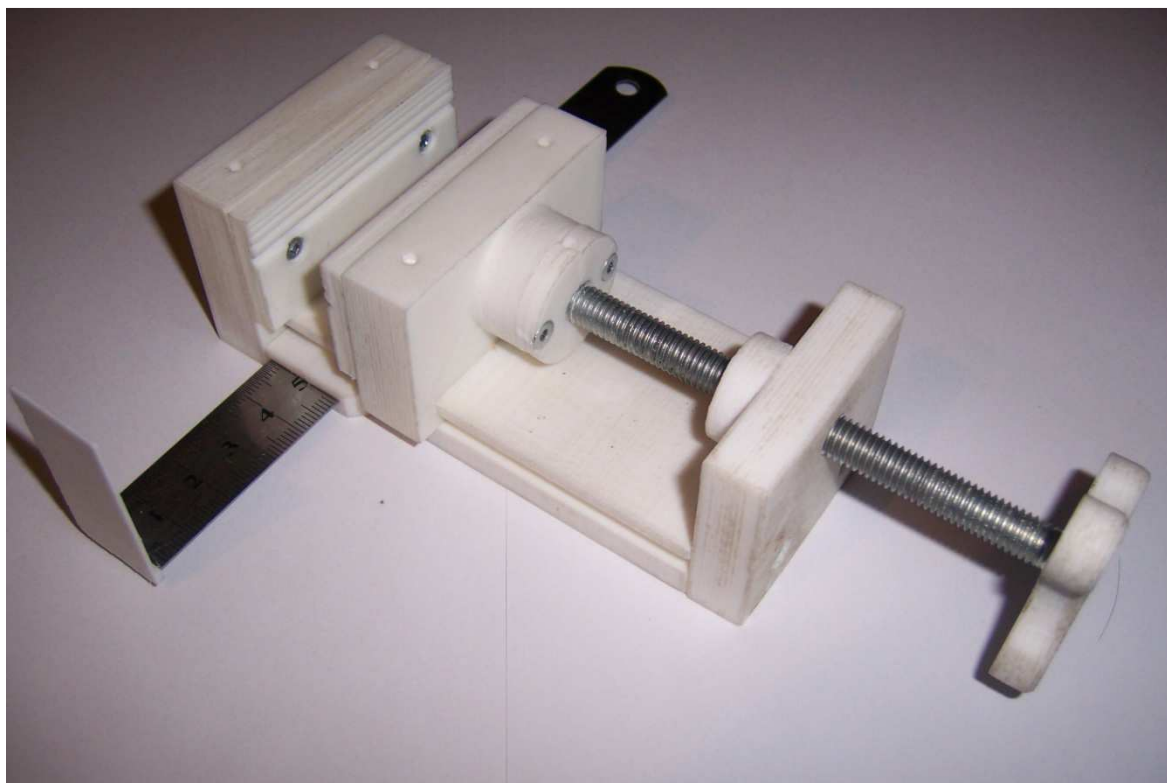


Obr. 81 Tisk prizmatických čelistí
pro dílenský svěrák

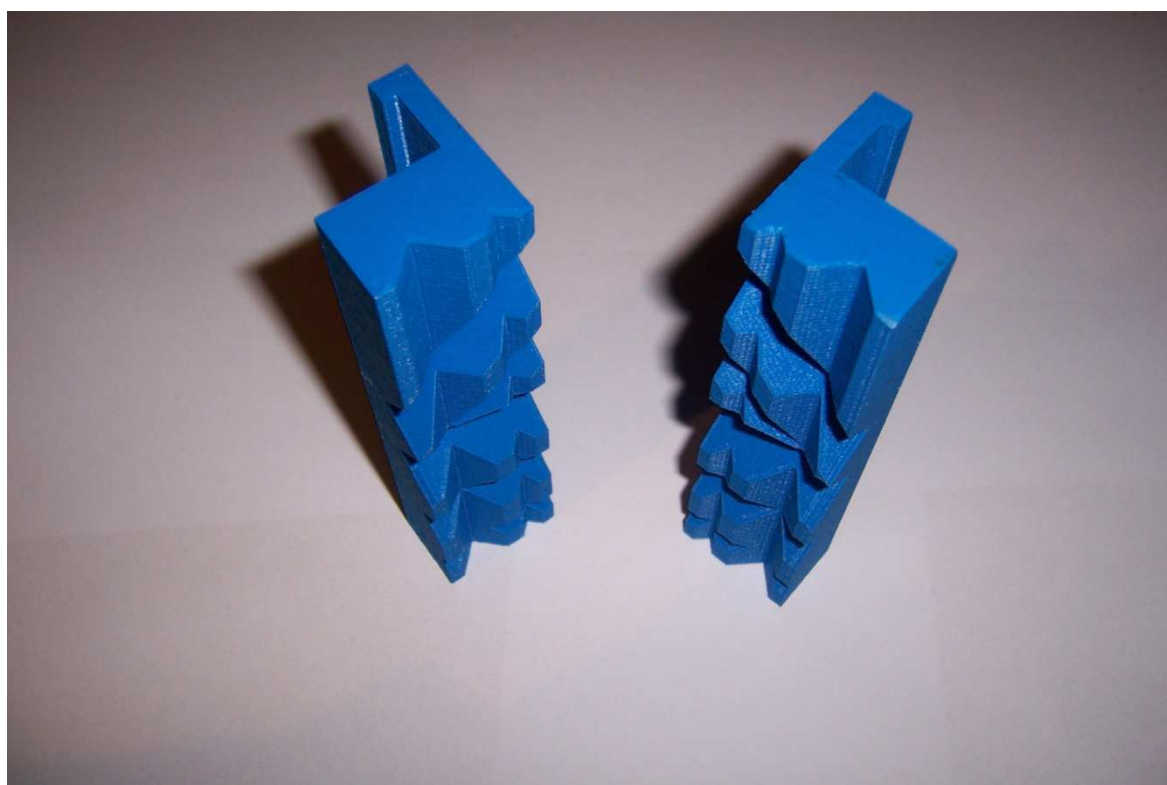
9.5 Vytištěné dílenské přípravky



Obr. 82 Vytištěná prizmatická násada na samosvornou
elektrikářskou pinzetu



Obr. 83 Vytištěný a sestavený malý modelářský svěrák



Obr. 84 Vytištěné prizmatické čelisti pro dílenský svěrák

10 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole budou vypočítány náklady na tisk pro jednotlivé dílenské přípravky. Náklady na tisk se skládají z ceny 1cm^3 materiálu, ceny tisku za 1 hodinu a případně z ceny dokončovacích operací, pokud budou realizovány. Náklady na tisk byly vypočítány pomocí následujících vzorečků:

$$C_{3D} = C_{MAT} + C_E + C_O \quad (1)$$

Kde:

C_{3D} – celková cena 3D tisku [Kč]

C_{MAT} – cena materiálu na vytištěný model [Kč]

C_E – cena za energie [Kč]

C_O – náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]

$$C_{MAT} = V \times ABS_M \quad (2)$$

Kde:

V – objem 3D modelu [cm^3]

ABS_M – cena modrého ABS plastu Fillamentum [Kč]

ABS_B – cena bílého ABS plastu Mladeč [Kč]

$$C_E = T_T + E \quad (3)$$

Kde:

C_E – cena za energie [Kč]

T_T – odhadnutá doba tisku [hod]

E – náklady na energie za hodinu tisku [Kč]

$$C_O = T_T \times C_H \quad (4)$$

Kde:

C_T – náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]

T_T – odhadnutá doba tisku [hod]

C_H – hodinová mzda obsluhy 3D tiskárny [Kč]

Pro 3D tisk byly použity ABS plasty od dvou různých výrobců. Bílý ABS plast vyrábí firma Plasty Mladeč, která dodává ABS plast v balení 1kg za 549Kč. Modrý ABS plast vyrábí firma Parzlich s.r.o. pod značkou Fillamentum. Modrý ABS plast Fillamentum je dodáván v balení 750g za 579Kč. Náklady na tisk 1cm^3 jsou:

$$\text{Bílý ABS plast; } \text{ABS}_B = 0,60\text{Kč/cm}^3$$

$$\text{Modrý ABS plast; } \text{ABS}_M = 0,83\text{Kč/cm}^3$$

Cena za energie je 0,8Kč za hodinu provozu 3D tiskárny. Hodina obsluhy 3D tiskárny bude stát 200Kč. Objem 3D modelu a celkový čas tisku, byl spočítán v softwaru Repetier-Host.

10.1 Výpočet ceny tisku tvarových čelistí pro dílenský svěrák

Tvarové čelisti pro dílenský svěrák byly vytištěny z modrého ABS plastu Fillamentum. V softwaru Repetier-Host byla odhadnuta doba tisku jedné čelisti na 4,12 hodiny a objem jedné čelisti je $42,8\text{cm}^3$. Dokončovací práce nebyly realizovány.

Náklady na tisk pravé a levé tvarové čelisti pro dílenský svěrák:

Pravá tvarová čelist pro dílenský svěrák	
Cena materiálu na model [Kč]	35,6
Cena za energie [Kč]	3,3
Náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]	824
Celková cena 3D tisku [Kč]	862,9

Tab. 4 – Výpočet ceny pravé tvarové čelisti pro dílenský svěrák

Levá tvarová čelist pro dílenský svěrák	
Cena materiálu na model [Kč]	35,6
Cena za energie [Kč]	3,3
Náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]	824
Celková cena 3D tisku [Kč]	862,9

Tab. 5 – Výpočet ceny levé tvarové čelisti pro dílenský svěrák

Celková cena tisku pravé a levé tvarové čelisti pro dílenský svěrák je po zaokrouhlení 1 726 Kč.

10.2 Výpočet ceny tisku prizmatických čelistí pro dílenský svěrák

Prizmatické čelisti pro dílenský svěrák byly vytištěny z modrého ABS plastu Fillamentum. V softwaru Repetier-Host byla odhadnuta doba tisku jedné čelisti na 4,3 hodiny a objem jedné čelisti je $45,2\text{cm}^3$. Dokončovací práce nebyly realizovány.

Náklady na tisk pravé a levé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák:

Pravá prizmatická čelist pro dílenský svěrák	
Cena materiálu na model [Kč]	37,6
Cena za energie [Kč]	3,5
Náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]	860
Celková cena 3D tisku [Kč]	901,1

Tab. 6 – Výpočet ceny pravé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák

Levá prizmatická čelist pro dílenský svěrák	
Cena materiálu na model [Kč]	37,6
Cena za energie [Kč]	3,5
Cena dokončovacích prací [Kč]	860
Celková cena 3D tisku [Kč]	901,1

Tab. 7 – Výpočet ceny levé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák

Celková cena tisku pravé a levé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák je po zaokrouhlení 1 802,2 Kč.

10.3 Výpočet ceny tisku prizmatické násady pro samosvornou elektrikařskou pinzetu

Prizmatické násady pro samosvornou elektrikařskou pinzetu byly vytištěny z modrého ABS plastu Fillamentum. V softwaru Repetier-Host byla odhadnuta doba tisku jedné prizmatické násady na 0,075 hodiny a objem jedné prizmatické násady je $0,5\text{cm}^3$. Dokončovací práce nebyly realizovány.

Náklady na tisk pravé a levé prizmatické násady pro samosvornou elektrikářskou pinzetu:

Pravá prizmatická násada na elektrikářskou pinzetu	
Cena materiálu na model [Kč]	0,5
Cena za energii[Kč]	0,1
Náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]	15
Celková cena 3D tisku [Kč]	15,6

Tab. 8 – Výpočet ceny pravé prizmatické násady pro samosvornou elektrikářskou pinzetu

Levá prizmatická násada na elektrikářskou pinzetu	
Cena materiálu na model [Kč]	0,5
Cena za energii [Kč]	0,1
Náklady na obsluhu 3D tiskárny[Kč]	15
Celková cena 3D tisku [Kč]	15,6

Tab. 9 – Výpočet ceny levé prizmatické násady pro samosvornou elektrikářskou pinzetu

Celková cena tisku pravé a levé prizmatické násady pro samosvornou elektrikářskou pinzetu je po zaokrouhlení 32 Kč.

10.4 Výpočet ceny tisku malého modelářského svěráku

Díly pro malý dílenský svěrák byly vytištěny z bílého ABS plastu Mladeč. V softwaru Repetier-Host byla odhadnuta doba tisku všech dílů na 15,25 hodiny a objem všech dílů je 123,3cm³. Jednotlivé díly malého modelářského svěráku byly obsluhou 3D tiskárny jemně zabroušeny, dokončovací práce byly realizovány během provozu 3D tiskárny.

Malý modelářský svěrák	
Cena materiálu na model [Kč]	74
Cena za energii[Kč]	12,2
Náklady na obsluhu 3D tiskárny [Kč]	3050
Celková cena 3D tisku [Kč]	3136,2

Tab. 10 – Výpočet ceny malého modelářského svěráku

Celková cena tisku malého modelářského svěráku je po zaokrouhlení 3 136 Kč.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla výroba dílenských přípravků pomocí FDM 3D tisku. Už při samotném návrhu přípravků v Inventoru bylo nutné rozměry děr, drážek, tvarových dutin, apod., zvětšit minimálně o 0,2 mm, protože tryska tiskárny jezdí po vnitřní straně kružnice, křivky, apod., tudíž jsou vnitřní rozměry menší, ale vnější rozměry přesné. Řešením by nejspíš mohlo být vyzkoušet jiný software na slicování stl souboru, např. Skeinforge, případně lepší kalibrace tiskárny (dávkování materiálu).

Při tisku z ABS materiálu dochází k tzv. warpingu, tzn. že vytištěná vrstva má snahu zvedat se a odlepovat se od podložky vlivem pnutí v materiálu při jeho chladnutí. [26]

Proto se na prizmatických čelistech do dílenského svěráku objevily praskliny. Řešením by byla uzavřená tisková komora, která by byla vytápěná. Tohle konstrukční řešení ale bohužel nejde komerčně realizovat na RepRap tiskárně, protože uzavřená vytápěná komora je stále patentována.

Předmětem dalšího zkoumání by mohlo být, jak je ovlivněna pevnost součástí při různé orientaci a tloušťce tištěných vrstev, při různé teplotě tisku, když na součásti vzniknou praskliny vlivem pnutí při chladnutí.

Pokud bychom se chtěli úplně vyhnout výše zmíněným problémům s 3D tiskem na RepRap 3D tiskárně, tak by bylo nutné koupit profesionální FDM 3D tiskárnu, která by ale byla mnohonásobně dražší než RepRap tiskárna Rebel II.

Z ekonomického hlediska je 3D tisk na RepRap FDM 3D tiskárně velmi zajímavý. Náklady na pořízení tiskárny, materiál a energie nejsou vysoké. RepRap FDM 3D tiskárna určitě najde své využití u konstruktérů v malých i středně velkých firmách při výrobě prototypů. Už i na RepRap tiskárně lze dosáhnout při správné kalibraci 3D tiskárny přesnosti +/- 0,1 mm, tzn. že za relativně krátkou dobu lze vyrobit přesný a levný prototyp nebo jinou tvarově složitou součást, apod., aniž bychom museli použít konvenčních metod obrábění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Prototyp*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia [online]*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Prototyp>
- [2] Mechatronika Modul 9: Rychlé vytváření prototypů. [cit. 2015-01-9]. Dostupné z: <https://www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch/forschung/verbundprojekte/minos/cz/download/Webseite/Modul%209/loesungsbuch.pdf>
- [3] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI – FAKULTA TEXTILNÍ. *Formát STL* [online]. 2008 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://blade1.ft.tul.cz/elearning/Xslt/publ/36/36_421.pdf
- [4] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. MM Průmyslové spektrum. *Nekonvenční metody obrábění 10. díl* [online]. 2008, roč. 2008, č. 12 [cit. 2015-01-20]. 081207. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>
- [5] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. MM Průmyslové spektrum. *Nekonvenční metody obrábění 9. díl* [online]. 2008, roč. 2008, č. 11 [cit. 2015-01-20]. 081207. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
- [6] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [7] STL (file format). In: *Wikipedia: the free encyclopedia [online]*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015-02-17 [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))
- [8] MFQUANT. [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: <http://mfquant.net/img/fly2.png>
- [9] ROBO. *Princip stereolitografie* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/rapid/main05.html>
- [10] MYINT, Zay Yar. *Schematic Diagram of Solid Ground Curing Process* [online]. 18.4.2013 [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_Ground_Curing#mediaviewer/File:Schematic_Diagram_of_Solid_Ground_Curing_Process.jpg
- [11] SWIATDRUKU3D. *A schematic drawing of an SLS process* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: http://www.swiatdruku3d.pl/wp-content/uploads/2013/03/70_lolore.jpg
- [12] CUSTOMPARTNET. *Direct Metal Laser Sintering* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/dmls.png>
- [13] UW RAPID PROTOTYPING CONSORTIUM. *Laminated Object Manufacturing* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: <http://prototype.wisc.edu/files/proto/LOM.jpg>

- [14] CUSTOMPARTNET. *Fused Deposition Modeling* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>
- [15] 3D-FORMAT. *Multi Jet Modeling* [online]. [cit. 31.1.2015]. Dostupné z: http://www.3d-format.ru/accel/content/pic/87_technology.jpg
- [16] *Strojírenská technologie: Pracovní sešit pro 1. ročník*. SPŠ Zlín, Autor neuveden.
- [17] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Aditivní technologie – metody Rapid Prototyping* [online]. [cit. 29.1.2015]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_technologie_medy_Rapid_Prototyping.pdf
- [18] STRATASYS. *Srovnání materiálů - FDM* [online]. [cit. 28.1.2015]. Dostupné z: http://www.objet.cz/uploads/files/Srovnání%20materiálů_FDM.pdf
- [19] NC COMPUTERS S.R.O. *3D tiskárna Felix 3.0 dual extruder* [online]. [cit. 30.1.2015]. Dostupné z: http://www.nc.cz/3d-tiskarna-felix-3-0-dual-extruder-kompletne-sestavena-a-zkalibrovana-lcd-displej-dvoubarevny-tisk_d271630.html
- [20] PRUSA RESEARCH S.R.O. *3D tiskárna Prusa I3* [online]. [cit. 30.1.2015]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/#i3-printer>
- [21] 3D SYSTEMS. *3D Systems Cube3* [online]. [cit. 30.1.2015]. Dostupné z: <http://cubify.com/en/Cube/TechSpecs>
- [22] BE3D S.R.O. *Be3D DeeGreen DF211* [online]. [cit. 30.1.2015]. Dostupné z: <http://www.be3d.cz/cs/shop/3-deegreen>
- [23] GEEETECH. *Acrylic Mendel I3 3D Printer* [online]. [cit. 30.1.2015]. Dostupné z: <http://www.geeetech.com/acrylic-geeetech-i3-pro-b-3d-printer-p-917.html?zenid=6i1srbamc850oiumqm04fksp06>
- [24] GME. *Univerzální pinzeta PROSKIT 1PK-108T* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/800x600/731/137/univerzalni-pinzeta-pro-skit-1pk-108t-obrazek-1.jpg>
- [25] LITOMYSKY. *Plastové profily Evergreen* [online]. [cit. 6.5.2015]. Dostupné z: <http://www.litomysky.cz/mat/IMM/evervzorky.jpg>
- [26] DOLEČEK, Josef. FILLAMENTUM S.R.O. *Materiály pro 3D tisk*. [cit. 2015-05-10].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RP	Rapid prototyping – rychlá výroba prototypů
CAD	Computer Aided Design – počítačem podporované kreslení
STL	Standard Triangulation Language – formát podporovaný 3D tiskárnami
SLA	Stereolitografie – technologie Rapid prototyping
UV	Ultraviolet – ultrafialové záření
SGC	Solid ground curing – technologie Rapid prototyping
SLS	Selective laser sintering – technologie Rapid prototyping
DMLS	Direct metal laser sintering – technologie Rapid prototyping
LOM	Laminated object manufacture – technologie Rapid prototyping
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren – amorfní termoplastický kopolymer
RepRap	Replicating rapid prototyper – znamená schopnost seberekopie a rychlého prototypování
MJM	Multi jet modeling – technologie Rapid prototyping
BPM	Ballistic Particle Manufacturing – technologie Rapid prototyping
MJS	Multiphase Jet Solidification – technologie Rapid prototyping
DSPC	Direct Shell Production Casting – technologie Rapid prototyping
DLF	Direct Laser Forming – technologie Rapid prototyping
obr.	obrázek
např.	například
DIN	Německá státní norma
tzv.	takzvaný
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
apod.	a podobně
tzn.	to znamená
[mm]	Milimetry

[mm/s]	milimetry za sekundu
[Kč]	Koruna česká
[%]	procento
[°C]	stupně celsia
[cm ³]	centimetry krychlové
[hod]	hodina
[Kč/cm ³]	Korun českých za centimetr krychlový
C _{3D}	celková cena 3D tisku
C _{MAT}	cena materiálu na vytištěný model
C _E	cena za energie
C _O	náklady na obsluhu 3D tiskárny
V	objem 3D modelu
ABS _M	cena modrého ABS plastu Fillamentum
ABS _B	cena bílého ABS plastu Mladeč
T _T	odhadnutá doba tisku
E	náklady na energie za hodinu tisku
C _H	hodinová mzda obsluhy 3D tiskárny

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Etapy výroby prototypu.....	12
Obr. 2 Součásti vyrobené technologiemi RP.....	14
Obr. 3 Pravidlo “vrchol k vrcholu” [2].....	15
Obr. 4 Normálový vektor v trojúhelníku [2].....	15
Obr. 5 Orientace trojúhelníku [2].....	16
Obr. 6 3D model ryby převedený na STL formát [8].....	17
Obr. 7 Schéma zařízení pro technologii SLA [9].....	18
Obr. 8 Schéma zařízení pro technologii SGC [10].....	19
Obr. 9 Schéma zařízení pro technologii SLS [11].....	20
Obr. 10 Schéma zařízení pro technologii DMLS [12].....	21
Obr. 11 Schéma zařízení pro technologii LOM [13].....	22
Obr. 12 Schéma zařízení s dvěma extrudery pro technologii FDM [14].....	24
Obr. 13 Schéma zařízení pro technologii MJM [15].....	25
Obr. 14 Soustružení [16].....	28
Obr. 15 Frézování [16].....	29
Obr. 16 Broušení [16].....	29
Obr. 17 Vysunutí základního profilu tvarové čelisti.....	34
Obr. 18 Vysunutí první tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti.....	35
Obr. 19 Vysunutí druhé tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti.....	35
Obr. 20 Vysunutí třetí tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti.....	35
Obr. 21 Vysunutí čtvrté tvarové dutiny do základního profilu tvarové čelisti.....	36
Obr. 22 Hotová tvarová čelist pro dílenský svěrák.....	36
Obr. 23 Vysunutí základního profilu s dvěma prizmatickými drážkami.....	36
Obr. 24 Vysunutí tří prizmatických drážek z horní strany prizmatické čelisti.....	37
Obr. 25 Vysunutí dvou prizmatických drážek pod úhlem 45°.....	37
Obr. 26 Hotová prizmatická čelist pro dílenský svěrák.....	38
Obr. 27 Samosvorná elektrická pinzeta [16].....	38

Obr. 28 Vysunutí základního profilu prizmatického nástavce.....	39
Obr. 29 Zaoblení vnějších hran.....	39
Obr. 30 Zaoblení vnějších hran.....	39
Obr. 31 Vytvoření úkosu na horní straně přípravku.....	39
Obr. 32 Vysunutí jednotlivých prizmatických drážek.....	40
Obr. 33 Vysunutí jednotlivých prizmatických drážek.....	40
Obr. 34 Vytvoření otvoru pro nasazení nástavce na pinzetu.....	40
Obr. 35 Hotový levý a pravý nástavec na samosvornou elektrikařskou pinzetu.....	41
Obr. 36 Plastové modelářské profily od firmy Evergreen [24].....	41
Obr. 37 Vysunutí základního profilu podstavy pro malý modelářský svěrák.....	42
Obr. 38 Vytvoření drážek.....	42
Obr. 39 Vytvoření části pro kovové pravítko.....	42
Obr. 40 Vytvoření děr pro šrouby.....	42
Obr. 41 Vytvoření drážky pro kovové pravítko.....	42
Obr. 42 Hotová podstava pro malý modelářský svěrák.....	43
Obr. 43 Vysunutí základního tvaru pevné čelisti.....	43
Obr. 44 Vytvoření děr pro šrouby.....	43
Obr. 45 Hotová pevná čelist malého modelářského svěráku.....	44
Obr. 46 Vysunutí základního tvaru zadního dílu.....	44
Obr. 47 Vysunutí šestihranné díry pro matici.....	44
Obr. 48 Vytvoření díry pro vodící šroub.....	45
Obr. 49 Vytvoření děr pro šrouby.....	45
Obr. 50 Hotový zadní díl pro malý modelářský svěrák.....	45
Obr. 51 Vysunutí základního tvaru posuvné čelisti.....	45
Obr. 52 Vysunutí kroužku.....	45
Obr. 53 Hotová posuvná čelist malého modelářského svěráku.....	46
Obr. 54 Vysunutí základního tvaru krytky.....	46
Obr. 55 Vytvoření díry se zahloubením pro šroub.....	46
Obr. 56 Hotová krytka pro posuvnou čelist.....	47

Obr. 57 Vysunutí základního tvaru ručky.....	47
Obr. 58 Zaoblení vnější hrany ručky.....	47
Obr. 59 Vysunutí šestihranné díry pro hlavu šroubu.....	47
Obr. 60 Hotová ručka.....	47
Obr. 61 Vysunutí základního tvaru prizmatických čelistí.....	48
Obr. 62 Vytvoření děr pro šrouby.....	48
Obr. 63 Vytvoření prizmatických drážek.....	48
Obr. 64 Hotová prizmatická čelist.....	48
Obr. 65 Doraz na kovové pravítko.....	49
Obr. 66 Kovové pravítko.....	49
Obr. 67 Sestavený malý modelářský svěrák.....	49
Obr. 68 3D tiskárna Rebel II.....	50
Obr. 69 Repetier-Host.....	51
Obr. 70 Manuální ovládání tiskárny v Repetier-Hostu.....	52
Obr. 71 Nahrání 3D modelu do Repetier-Hostu.....	52
Obr. 72 Panel úprav 3D modelu v Repetier-Hostu.....	53
Obr. 73 Importovaný Slic3r v Repetier-Hostu.....	53
Obr. 74 Nastavení Layers and perimeters v Slic3r.....	54
Obr. 75 Nastavení Infill v Slic3r.....	55
Obr. 76 Nastavení Speed v Slic3r.....	55
Obr. 77 Nastavení Filament Settings v Slic3r.....	56
Obr. 78 Nastavení Printer Settings v Slic3r.....	57
Obr. 79 Natřená vyhřívaná podložka tuhým lepidlem Kores.....	58
Obr. 80 Průběh tisku v Repetier-Hostu.....	58
Obr. 81 Tisk prizmatických čelistí pro dílenský svěrák.....	59
Obr. 82 Vytištěná prizmatická násada na samosvornou elektrikařskou pinzetu.....	59
Obr. 83 Vytištěný a sestavený malý modelářský svěrák.....	60
Obr. 84 Vytištěné prizmatické čelisti pro dílenský svěrák.....	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Porovnání mechanických vlastností materiálů určených pro FDM 3D tiskárny [18].....	30
Tab. 2 – Porovnání FDM (FFF) 3D tiskáren [19], [20], [21], [22], [23].....	31
Tab. 3 – Technické parametry FDM 3D tiskárny Rebel II.....	50
Tab. 4 – Výpočet ceny pravé tvarové čelisti pro dílenský svěrák.....	62
Tab. 5 – Výpočet ceny levé tvarové čelisti pro dílenský svěrák.....	62
Tab. 6 – Výpočet ceny pravé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák.....	63
Tab. 7 – Výpočet ceny levé prizmatické čelisti pro dílenský svěrák.....	63
Tab. 8 – Výpočet ceny pravé prizmatické násady pro samosvornou elektrikařskou pinzetu.....	64
Tab. 9 – Výpočet ceny levé prizmatické násady pro samosvornou elektrikařskou pinzetu.....	64
Tab. 10 – Výpočet ceny malého modelářského svěráku.....	64

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – výrobní výkres levé prizmatické čelisti