

# Variabilní interiérový prvek s důrazem na koncept alternativního použití

Jan Kovářiček

---

Bakalářská práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta multimediálních komunikací

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta multimediálních komunikací

Ústav vizuální tvorby

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Kovářiček**  
Osobní číslo: **K11435**  
Studijní program: **B8206 Výtvarná umění**  
Studijní obor: **Multimedia a design – 3D design**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Variabilní interiérový prvek s důrazem na koncept alternativního použití**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše
2. Analýza
3. Stanovení cílů
4. Sběr materiálů
5. Řešení, technologie
6. Shrnutí, zhodnocení

Na samostatném nosiči CD-ROM odevzdejte v minimálním počtu 10 kusů obrazovou dokumentaci praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do Portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině i v angličtině, rok obhajoby, osobní mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

Rozsah bakalářské práce: viz. Zásady pro vypracování  
Rozsah příloh: viz. Zásady pro vypracování  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Barbero, Silvia; Cozzo, Brunella; Tamborrini, Paola – Ecofriendly Objects for Everyday Use

Bertoni, Franco – Minimalist Design

Bramston, David – Design výrobků: Hledání inspirace

Cooper, Ed Mae; Doze, Pierre; Laville, Elisabeth – Starck

Droste, Magdalena – Bauhaus 1919–1933

Fiell, Charlotte; Fiell, Peter – Design of the 20th Century

Garner, Phillipe – Sixties Design

Kolesár, Zdeno – Kapitoly z dějin designu

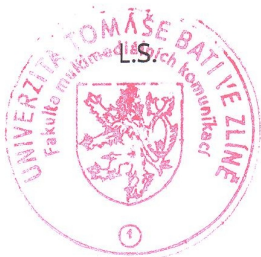
Pelcl, Jiří – Design: Od myšlenky k realizaci

Spark, Penny – Století designu, Průkopníci designu 20. století

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Art. Ivan Pecháček**  
Ústav vizuální tvorby  
Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2013**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2014**

Ve Zlíně dne 2. prosince 2013

doc. MgA. Jana Janíková, ArtD.  
*děkanka*



*Kouřm*  
M. A. Vladimír Kovařík  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské/diplomové 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 <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou 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 <sup>2)</sup>;
- podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům.

Ve Zlíně .....<sup>13.5.2014</sup>.....

*JAN KOVÁŘÍČEK*  
.....  
Jméno, příjmení, podpis

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, § 47b 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 vzdělávacího 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 jim 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 přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.



## **ABSTRAKT**

Tématem bakalářské práce je tvorba „variabilního interiérového prvku s důrazem na koncept alternativního použití“. Práce spočívá v řešení problematiky open–source 3D tiskárny a jejím designovém uplatnění v alternativním kancelářském a bytovém interiérovém prostředí. Důkladná rešerše dynamicky se rozvíjejícího odvětví 3D tisku a pochopení trendů vývoje této technologie je využita pro vlastní řešení s vizí možného směru designu osobních 3D tiskáren. Navržený koncept umožňuje designová ztvárnění zohledňující alternativní použití s ohledem na individualitu uživatele a interiérového prostředí.

Klíčová slova:

osobní 3D tiskárna, trend forecasting, open–source, šasi průmyslového stroje, CNC, rapid prototyping

## **ABSTRACT**

Theme of this bachelor thesis is creation of „Variable Interior Element with Emphasis on Concept of Alternative Usability“. This work is based upon the solution of the open–source 3D printer problematics and its possible use in the alternative environment in office and household interiors. Thorough research of this dynamically expanding industry and understanding of the trend development is used for the solution focused on vision of the possible design tendencies in the branch of personal 3D printers. Proposed concept allows design solutions aimed on alternative usage with the emphasis on the user and the interior.

Keywords:

personal 3D printer, trend forecasting, open–source, chassis for industrial machine, CNC, rapid prototyping

Prohlašuji, že v době psaní bakalářské práce byly informace a tvrzení v ní uvedené aktuální a pravdivé, avšak vzhledem k tomu, o jak dynamické odvětví se jedná, je možné, že některé informace již mohou být zastaralé. Bakalářská práce je mým autorským dílem.

Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu práce, Mgr. Art. Ivanu Pecháčkovi za odborné vedení, objektivní přístup a užitečné připomínky nejen během konzultací, ale také v průběhu mého studia na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Díky také patří všem ostatním pedagogům, mojí rodině a kolektivu na U16 ve Zlíně.

*„RepRap has been called the invention that will bring down global capitalism, start a second industrial revolution and save the environment ...“*

(James Randerson, redaktor, deník The Guardian, 25. Listopad, 2006.)

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 REŠERŠE</b> .....	<b>11</b>
1.1 PRINCIPY DOSTUPNÝCH METOD 3D TISKU.....	11
1.1.1 3D Rapid Prototyping.....	11
1.1.2 Kladení tavného drátu (Fused Deposition Modeling — FDM).....	11
1.1.3 Stereolitografie (Stereolithography — SLA).....	13
1.1.4 Selektivní Slínování Laserem (Selective Laser Sintering — SLS).....	14
1.1.5 Technologie PolyJet.....	16
1.1.6 3D Laminace (Laminated Object Manufacturing — LOM).....	17
1.1.7 Tavení elektronovým paprskem (Electron Beam Melting — EBM).....	18
1.1.8 Princip inkoustového 3D tisku (Binder Jetting, Powder Printing — PP).....	19
1.1.9 Hybridizace.....	20
1.2 REP RAP .....	20
1.2.1 Projekt RepRap.....	20
1.2.2 Jednotlivá konstrukční řešení tiskáren projektu RepRap.....	23
1.2.3 RepRap Darwin.....	23
1.2.4 RepRap Mendel.....	24
1.2.5 RepRap Huxley.....	25
1.2.6 RepRap Prusa–Mendel.....	26
1.2.7 RepRap Prusa i3.....	28
1.2.8 RepRap Rostock.....	29
1.2.9 RepRap Pro Ormerod.....	30
1.3 PRUSA I3.....	31
1.4 SOUČASNÉ TRENDY VE 3D TISKU.....	33
1.4.1 Dirk Vander Kooij — Endless Chair.....	33
1.4.2 DUS Architects — 3D Printed Canal House.....	33
1.4.3 Markus Kayser — Solar Sinter.....	35
1.4.4 3D tisk jídla.....	35
<b>2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b> .....	<b>38</b>
2.1 ANALÝZA SOUČASNÉHO TRHU.....	38
2.1.1 Konkurence.....	38
2.1.2 Realita využití 3D tisku.....	44
2.2 OMEZENÍ .....	46
2.3 FILOZOFIE ŘEŠENÍ.....	47
2.3.1 Tvarové řešení.....	47
2.3.2 Cílová skupina.....	47
2.3.3 Možnost alternativního využití.....	48
<b>3 STANOVENÍ CÍLŮ</b> .....	<b>52</b>
3.1 CÍLE PROJEKTU.....	52
3.2 KONCEPT NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ A VYUŽITÍ.....	52
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>53</b>
<b>4 FUNKČNÍ ZLEPŠENÍ TISKU</b> .....	<b>54</b>

<b>5 VYTYČENÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....</b>	<b>55</b>
<b>6 DESIGNOVÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>57</b>
6.1 TVAROVÁ INSPIRACE.....	57
6.1.1 Lamely.....	58
6.1.2 Základna.....	60
<b>7 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>63</b>
7.1 ROZMĚRY.....	63
7.2 POUŽITÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE.....	64
7.3 VYROBITELNOST.....	66
<b>8 ZÁVĚR.....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>71</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>74</b>



## ÚVOD

V prosinci 2012 jsem se účastnil výukového workshopu zaměřeného na stavbu tzv. open–source 3D tiskárny založené na projektu RepRap. Stroj samotný, jakožto většina jemu podobných alternativ, je technokratickou, utilitární záležitostí co se týče svého vzhledu.

Ve své bakalářské práci se zaměřuji na hledání designových a funkčních možností tiskárny v rámci jejího povýšení na plnohodnotnou součást domácnosti/kanceláře a s odkazem na možný vývoj trendů. Mým cílem je přidané hodnoty nejen po stránce vzhledu, ale i po stránce funkční (kombinace funkcí, 3D tiskárna jako interiérový prvek, celkové řešení problematiky okrytování a tvorby uceleného pracovního místa — tzv. workstationu apod.). Částečně se ve své práci zaměřuji na prognostický design/trend forecasting. Svou bakalářskou práci vidím jako úvod do komplexní problematiky open–source 3D tisku současnosti a dalšího možného vývoje této technologie pro komerční trh. Jako začínající designér se zaměřuji na sjednocení hodnot funkčních a estetických, které budou spojovat mou vizi 3D tiskárny pro účely designérů a oborově činných lidí, a taktéž možného dalšího směru, kterým by se dané odvětví mohlo vydat ve vztahu k nedostatkům stávajícího řešení daného typu.

V této práci dochází k zamyšlení nad možností rozvedení 3D tiskárny do plnohodnotného prvku interiéru, svým řešením redefinuje tento přístroj do variabilního objektu s alternativní možností využití. Jako designér a člen komunity RepRap vidím potenciál projektu v zpopularizování RepRap tiskáren mezi odbornou i laickou veřejností, dávajíc čistě technickému industriálnímu stroji novou formu, čímž naplňuji jednu ze základních povinností designéra/výtvarníka, a to tvořit věci esteticky krásné, které svou existencí dopomáhají ke komfortnímu a obohacenému lidskému životu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 REŠERŠE

## 1.1 Principy dostupných metod 3D tisku

### 1.1.1 3D Rapid Prototyping

3D tisk je součástí tzv. Rapid Prototyping metod. Jedná se o aditivní proces výroby (materiál se přidává, na rozdíl od metod subtraktivních – např. 5D fréza). Díky tomu je jakýkoliv 3D tisk ideální pro tvorbu komplexních 3D objektů.

3D Rapid Prototyping je používán k tvorbě fyzických modelů jednoduché či komplexní geometrie pomocí sloučení jednotlivých, velice tenkých vrstev prášku, kapaliny nebo tavného drátu. Proces začíná vybráním požadovaného CAD modelu a následným vytvořením příčných řezů celého 3D objektu. Každý příčný řez je poté namapován na povrch rapid prototypingového materiálu laserem (v případě SLA, SLS, DMSL) nebo je rovnou převeden na souřadnicová data určená pro cestu extruderu a na objem potřebné hmoty materiálu (v případě FDM či FFF technologie), který bude nanášen na tiskovou plochu. V případě laseru dochází ke spečení jednotlivých částíček materiálu k vytvoření pevného objektu, v případě kladení drátu dochází k postupnému chladnutí materiálu. [2] V této podkapitole jsou popsány momentálně dostupné metody 3D tisku.

### 1.1.2 Klazení tavného drátu (Fused Deposition Modeling — FDM)

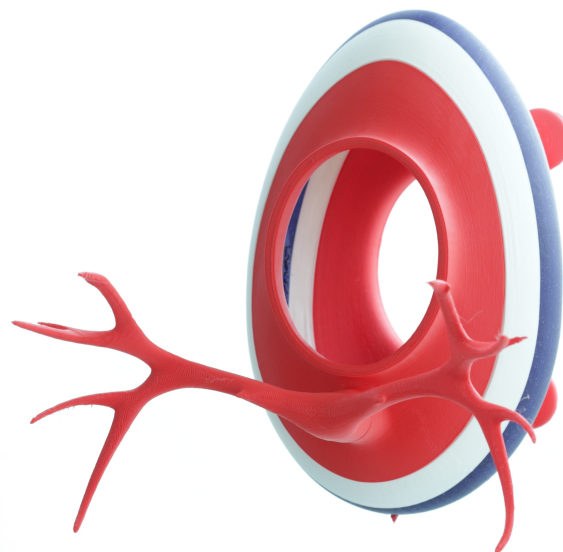
Jde o druh aditivní výroby (angl. additive manufacturing), který vynalezl S. Scott Crump v 80. letech minulého století. Později spoluzaložil společnost Stratasys, Inc. Technologie FDM jím byla patentována v roce 1989 právě pod hlavičkou společnosti Stratasys Inc. Ochrana tohoto patentu vypršela v roce 2009, díky čemuž se otevřel trh pro menší, povětšinou startupové firmy a jejich vlastní řešení 3D tiskáren fungujících na odvozenině FDM technologie.

Je důležité zmínit, že S. Scott Crump (potažmo společnost Stratasys Ltd., která vznikla v roce 2012 fúzí společnosti Stratasys Inc. a Objet Ltd.) je nadále vlastníkem ochranné známky pro pojem Fused Deposition Modeling (FDM) a jeho společnost, jakožto i dceřiná společnost MakerBot, jsou tedy jedinými subjekty na trhu 3D tiskáren oprávněnými používat označení Fused Deposition Modeling. [3]

FDM funguje na principu extrudování tavného plastového drátu tryskou tiskárny na tiskovou desku (printbed). Hlava extrudéru se pohybuje ve směru os X a Y, přičemž je nanášena tenká vrstva materiálu v horizontálním řezu samotného objektu.

Po dokončení vrstvy se ve směru osy Z zvedne tisková hlavička právě o výšku nanesené vrstvy a celý proces se opakuje, dokud se takto nevytiskne celý objekt. FDM metoda nabízí relativně nízké rozlišení tisku oproti jiným technologiím (např. SLA), na druhou stranu je velice nenáročná co se týče spotřeby materiálu a použité technologie, díky čemuž se v upraveném označení Fused Filament Fabrication (FFF) rozmohla jako primární metoda většinou neprofesionálních (hobby) 3D tiskáren různých výrobců, povětšinou odvozených z původního RepRap modelu navrženého Adrianem Bowyerem.

Velký rozmach těchto stolních 3D tiskáren nastal po roce 2009, kdy došlo k expiraci původního patentu k technologii FDM společnosti Stratasys Ltd. (viz. výše). Na principu FDM (resp. FFF) funguje také tiskárna Prusa i3, která slouží jako základ v řešení této bakalářské práce. Nejčastěji používaným materiálem pro tisk je v tomto případě ABS a PLA plast, experimentálně nylon, laywood a další (těsto, silikon/akrylát, čokoláda, beton – záleží na přizpůsobení tiskové hlavy). Technologii FDM používá např. komunita Printednest sdílející a tvořící designéřské ptačí budky (Obr. 1).



Obr. 1: Ptačí budka, komunita Printednest — vytisknuto na Makerbot Replicator 2 materiálem PLA



### 1.1.3 Stereolitografie (Stereolithography — SLA)

Princip tvorby modelů pomocí UV světla. Výraz Stereolitografie byl poprvé použit Charlesem W. Hullem, který si ho také patentoval a založil první firmu vyrábějící SLA tiskárny, 3D Systems Inc.

Zdrojovým materiálem je světlocitlivá kapalina (fotopolymer) napuštěná ve „vaně“ uvnitř 3D tiskárny. UV výbojka se pohybuje v osách X a Y a krátkými záblesky světla ozařuje místa v kapalině, měníc skupenství fotopolymeru z tekutého na pevné procesem zvaným polymerizace. Takto tvořený model postupně vyplouvá z vaničky s materiálem, vždy o výšku právě vymodelované vrstvy. Snížení vrstvy se pohybuje v rozmezí 0.05 mm až 0.15 mm. [1] Po snížení vaničky o vytisknutou vrstvu přejíždí celou plochu vany nůž s novou vrstvou fotopolymerové pryskyřice, čímž ji rovnoměrně nanese a celý proces může začít znovu.

Tato metoda poskytuje vysoké rozlišení tisku a kvalitní povrchovou úpravu avšak s nutností tvorby podpůrného materiálu vzhledem k působení gravitace. Další výhodou je poměrně vysoká rychlost tisku. SLA tisk je díky výše popsanému vhodný pro tvorbu finálních produktů připravených k odběru bez potřeby nákladné čistící/dokončovací fáze.

Modely mohou sloužit jako formy pro vulkanizování, vakuové tvarování, odlévání apod. Nevýhodou je vysoká cena fotopolymerové pryskyřice. SLA technologie se zdá být vhodná pro implementaci do hobby 3D tiskáren (společnost Formlabs v roce 2012 úspěšně rozběhla financování výroby stolní stereolitografické 3D tiskárny nazvané The Form 1).

Produkt vyrobený technologií SLA a také jeden z prvních, který byl vyrobený procesem rapid manufacturing a později úspěšně prodáván je lampa Lotus.MGX designéra Janne Kyttanena pro společnost Materialise. Lampa byla představena v roce 2003. (Obr. 2)



*Obr. 2: Svítidlo Lotus.MGX, Janne Kyttanen — vytisknuto v roce 2003 procesem Stereolitografie*

#### **1.1.4 Selektivní Slínování Laserem (Selective Laser Sintering — SLS)**

Jedná se o podobný princip jako u Stereolitografie (SLA), namísto UV světla je použit laser. Jako stavební materiál se používá prach, který může být z velké škály materiálů, jako jsou plasty, keramika či různé kovy. Metoda SLS vyniká taktéž jako metoda SLA vysokou kvalitou povrchové úpravy, životností vytisknutých modelů a celkovým rozlišením tisku. Nedostatkem je její možná zdravotní škodlivost, kdy je každý model čištěn stlačeným vzduchem a tedy hrozí nebezpečí inhalace materiálu. Tato technologie je nevhodná pro domácí použití z důvodu potřeby málo rozšířených součástí (laser) a nutnosti vytvořit uzavřenou atmosféru v tiskové komoře. Slínování navíc neumožňuje tisk z více materiálů najednou. Odboží SLS je DMLS (Direct Metal Laser Sintering) fungující na stejném principu avšak s rozdílem vstupního materiálu. U DMLS se jedná o spékání kovového prášku při tvorbě prototypů. V 3D tiskařském průmyslu se také lze setkat se zkratkou SLM. Jedná se o tzv. Selective Laser Melting. SLM se liší od SLS tím, že taví prášek do jednoduté hmoty. Označení SLM bývá většinou používáno ve spojení se slínováním kovů.

Příkladem výstupu z tiskáren typu SLS může být kolekce holandské návrhářky Iris van Herpen. Společnost Materialise použila na výrobu šatů z kolekce Voltage Iris van Herpen tiskárnu Sinterstation 2500plus a experimentální pružný materiál TPU. (Obr. 3)



*Obr. 3: Šaty z kolekce Voltage, Iris van Herpen, Julia Koerner — Šaty vytvořené technologií SLS na tiskárně Sinterstation 2500plus za použití experimentálního materiálu TPU*

### 1.1.5 Technologie PolyJet

Technologie podobná SLA, fungující na principu vytvrzování světlocitlivého fotopolymeru UV výbojkou, avšak s možností tisknout z více materiálů různých vizuálních a mechanických vlastností. Funguje obdobně jako klasické inkoustové tiskárny, namísto inkoustu však nastříkuje na tiskovou plochu vrstvu tekutého fotopolymeru různých vlastností, který je okamžitě vytvrzen UV světlem.

Díky možnosti osazení několika hlavic lze tyto materiály kombinovat a vytvářet nové materiálové směsice. Takto vzniklý model je po dokončení tisku ihned připraven k odběru a použití, bez potřeby jakékoliv další úpravy. V rámci tvorby složitější prostorové geometrie a z toho pramenící potřeby podpůrných struktur nanáší tiskárna podpory ve formě gelu, který lze snadno oddělit od modelu vodou či ručně. [4]

Tato metoda má nesporné výhody v preciznosti a detailech tisku, celkové rychlosti a možnosti tisku neuvěřitelné materiálové škály v rámci jednoho modelu a jako taková je, co se týče tvorby komplexních objektů jak tvarově, tak materiálově, nejperspektivnější ze všech zmíněných technologií 3D tisku, které jsou momentálně na Zemi dostupné.

Tisk je vhodný také pro lékařské využití (dentální náhrady apod.). Princip Polyjet umožňuje tisk z pevných materiálů v barevné škále čítající stovky odstínů, z materiálů připomínajících gumu, materiálů průsvitných či translucenčních a také z jejich směsic.

V okamžiku psaní této práce byl nejvyspělejším strojem fungujícím na bázi Polyjet Objet 500 Connex firmy Stratasys Ltd. schopen tisknout 100 různých variací materiálů, z čehož minimálně 90 je tzv. digitálních materiálů, které vznikají mícháním jednotlivých podsložek výsledného materiálu. Tuto tiskárnu použila Neri Oxman působící na Massachusetts Institute of Technology (MIT) v rámci vývoje zvuk absorbujícího Chaise Longue (Obr. 4).





*Obr. 4: Polstrování z 44 různých digitálních materiálů uvnitř dřevěné konstrukce, Neri Oxman — vytisknuto na Stratasys Objet500*

### 1.1.6 3D Laminace (Laminated Object Manufacturing — LOM)

Jedná se o vytváření trojrozměrného objektu nanášením jednotlivých vrstev potisknutého papíru, plastu anebo kovu, jejich laminace na sebe a následného vyřezání požadovaného tvaru laserem či nožem. Při tisku technologií LOM podavač v tiskárně nejdříve prožene papír skrze tavící válec, čímž se uvolní lepidlo na vrstvě (případně se lepidlo nanese před dalším krokem). List se poté přichytí na tiskovou plochu nebo na předešlou vrstvu potisklého papíru, laser (resp. nůž) vyřeže požadovaný tvar, tisková plocha se sníží, aby se odpadový materiál mohl narolovat na druhý válec, podavač napne novou vrstvu papíru nad tiskovou plochu, která se opět zvýší a celý proces se opakuje dokud nedojde k vytisknutí kompletního objektu. Hotový objekt vyrobený z vrstveného papíru má vlastnosti podobné dřevu (lze snadno frézovat a brousit). LOM technologie je o trochu méně přesná než SLA a SLS (se silou vrstvy od 1 listu papíru). Teoreticky je možné touto metodou vytvořit velké modely za relativně nízkou cenu, právě díky použití klasického papíru jako stavebního materiálu. [5]

Průkopníkem tohoto způsobu 3D tisku je firma Mcor Technologies. Výhodou je tisk ve více jak v milionu různých barev, velmi nízké náklady (lze použít kancelářský A4 papír) a žádný toxický odpad (k lepení se používají vodou ředitelná lepidla). Nevýhodou je fakt, že se jedná pouze o papír (hořlavost, nemožnost použít jako formu pro odlévání apod.). Tato metoda nabízí zajímavou alternativu k tradičním principům 3D tisku, se svou jednoduchou obslužností a nízkými náklady na materiál má velký potenciál stát se v budoucnu rozšířenou variantou 3D tiskárny do každé domácnosti. (Obr. 5)



*Obr. 5: Pomeranč, Mcor Technologies — Ikonický pomeranč společnosti Mcor*

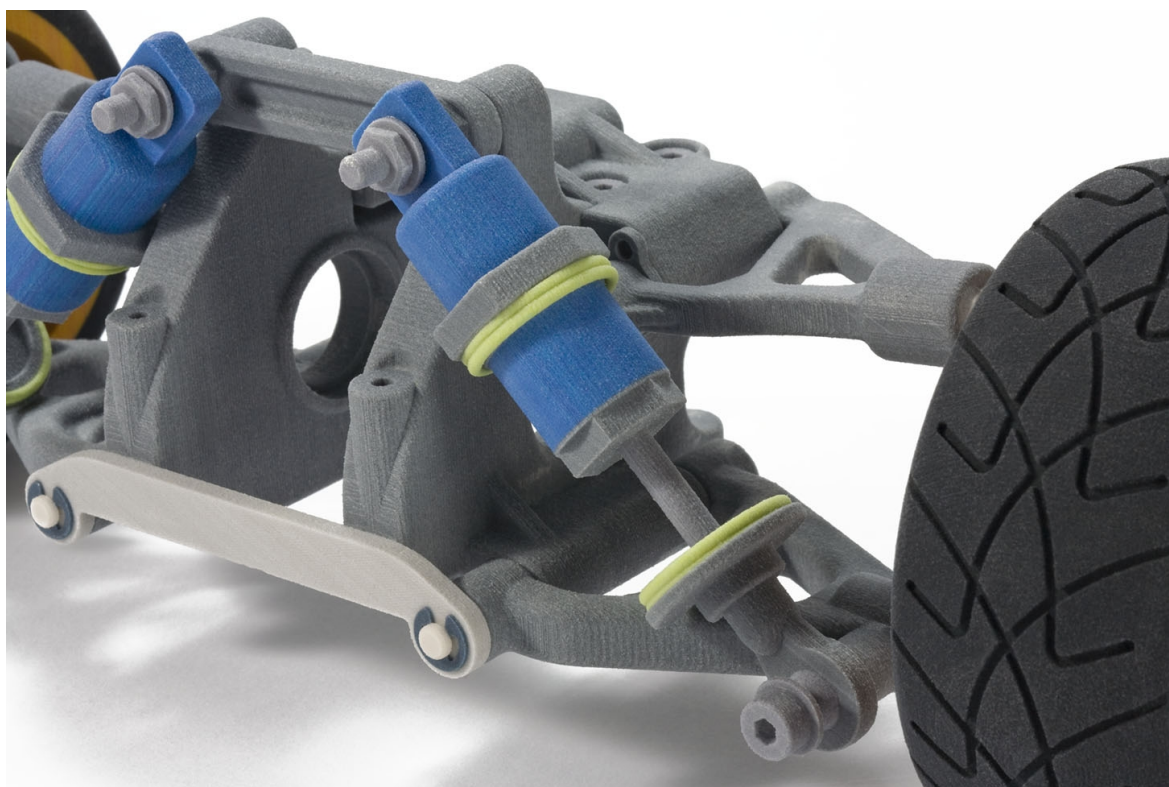
### **1.1.7 Tavení elektronovým paprskem (Electron Beam Melting — EBM)**

Podobný technologii SLM využívané pro 3D tisk kovu. Při tavení se používá elektronový paprsek, který taví částice kovu (např. titanu) v tiskové komoře v hlubokém vakuu. Takto vzniklé objekty jsou plné, dosahují vysokého rozlišení, jsou maximálně odolné a pevné.

EBM 3D tiskárny jsou používány v letectví, vesmírném inženýrství a lékařství. Největším hráčem na trhu EBM tiskáren je firma Arcam AB.

### 1.1.8 Princip inkoustového 3D tisku (Binder Jetting, Powder Printing — PP)

Metoda umožňující plný CMYK barevný tisk ve 3D prostoru. Funguje na principu kladení plastového prachu na sebe a jeho následného lepení vrstvou lepidla. Během procesu se do spojovacího materiálu přidává barevný inkoust, díky kterému může mít vytisknutý povrch modelu jakoukoliv barvu tisknutelnou na klasické 2D CMYK tiskárně. Barva zůstává vždy pouze na povrchu modelu, vevnitř je model nebarvený. Tento druh tisku má velké využití v komerční sféře, tvorbě bust, modelařině a filmovém průmyslu. Nejznámějším výrobcem PP tiskáren je společnost ZCorp, která byla v roce 2012 odkoupena firmou 3D Systems. Nevýhodou tisků je určitá náchylnost k lámání (objekty jsou duté) a vysoká cena materiálu. (Obr. 6)



Obr. 6: Detail zavěšení kol, ZCorp — Vícebarevný tisk makety zavěšení kol v autě

### 1.1.9 Hybridizace

V období mezi roky 2012 — 2014 dochází k expiraci patentů (například na selektivní slínování), což otevírá dveře hybridizaci jednotlivých technologií, kdy se jednotlivé metody tisku míchají a kombinují. Neustále probíhá také výzkum v oblasti tisknutelných materiálů a vývoji ovládacích programů (existuje např. software na tisk nových 3D sloučenin na atomární úrovni). Díky otevřenosti open–source dochází také ve sféře stolních tiskáren k experimentům s kombinacemi tiskových hlav s různými funkcemi (osazení laserem apod.).

## 1.2 RepRap

### 1.2.1 Projekt RepRap

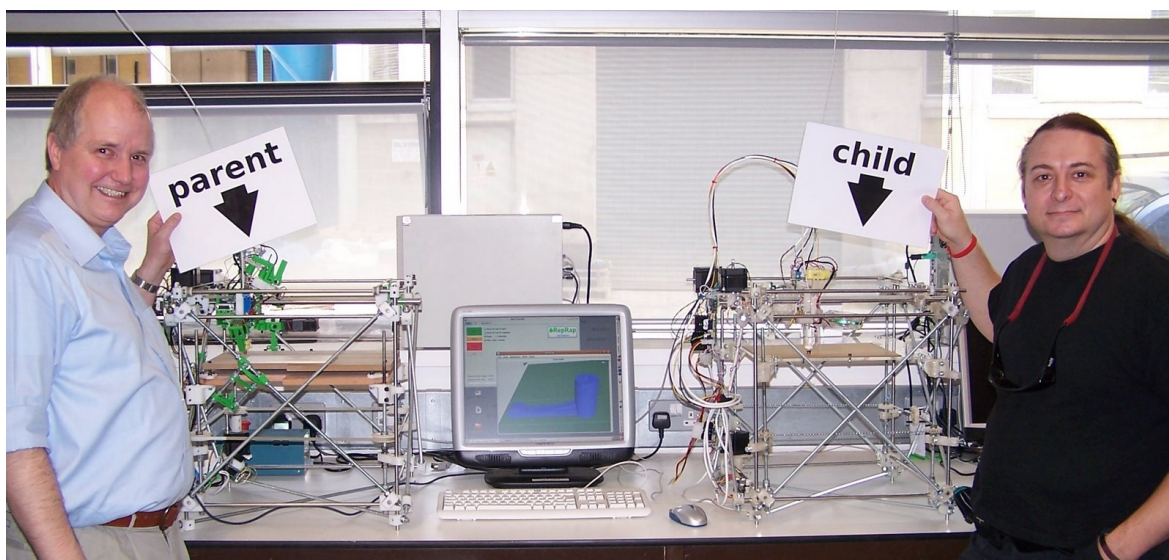
Projekt RepRap (zkratka pro Replicating Rapid Prototyper) principem vychází z patentovaného systému Fused Deposition Modeling 3D tisku, který existuje od konce 80. let 20. století díky společnosti Stratasys, avšak k označení používá zkratku FFF (Fused Filament Fabrication) z důvodů nenarušení vlastnických práv.

Tvůrcem a duchovním otcem RepRapu je britský inženýr a matematik Adrian Bowyer. Bowyer začal oficiálně pracovat s myšlenkou levného sebe replikujícího univerzálního stroje kolem roku 2005, jako alternativou k patentově chráněným, drahým profesionálním 3D tiskárnám.

V RepRap 3D tiskárně vidí možnost, jak světu dát továrnu, která dokáže vytvořit novou továrnu sama ze sebe. Ve výsledku tedy dochází k vytvoření určité komunitní funkce, ve které může autor původní RepRap tiskárny vytisknout díly pro novou tiskárnu – její dvojče a předat je dalšímu autorovi v řetězci. (Obr. 7)

Tato činnost je obhajována myšlenkou, že čím více lidí bude RepRap tiskárnu vlastnit, tím větší bude šance k odbourání zbytečného logistického procesu mezi výrobcem zboží a koncovým uživatelem, což povede k značnému snížení nákladů pro distribuci v celé společnosti. V tomto ohledu se filozofie evoluce, exponenciálního růstu počtu RepRap 3D tiskáren a možnosti tisknout objekty na těchto tiskárnách ničím neodlišuje od tzv. distribuované manufaktury (též označováno jako lokální manufaktura), kdy se výroba hmotných objektů přesouvá zpět z velkých továren do obydlí občanů.





*Obr. 7: Autoři se svými výtvary, vlevo Adrian Bowyer s tiskárnou — rodičem, vpravo Vik Olliver s tiskárnou — potomkem*

Důležitou devízou projektu RepRap tak jak ho inicioval Bowyer, je volná šířitelnost a otevřenost celé platformy (tzv. open–source hardware a software), tedy možnost stáhnout a upravit tiskárnu kýmkoliv na světě s podmínkou, že výsledné úpravy budou opět volně k dispozici. Všechny nástroje, software a dokumentace potřebné pro sestavení jsou proto volně dostupné pod licencí GNU (případně GPL) General Public Licence. Výhodou tohoto je fakt, že v komunitě RepRap, která sestává z kutilů a vývojářů z celého světa, existuje nespočet alternativních níže uvedených modelů, upravených pro specifické úkony, jako je tisk alternativního materiálu, tisk z vícero hlav apod. Projekt RepRap sloužil také jako prvotní impuls pro různé firmy při tvorbě jejich komerčních tiskáren založených právě na konstrukčních řešeních RepRap modelů.

Prvotní plány na zbudování open–source 3D tiskárny ještě v době Bowyerově zaměstnání na University of Bath se daly do pohybu v roce 2005, kdy byl zaregistrován a spuštěn blog RepRap. [6]

V roce 2006 již existoval první prototyp, RepRap prototype 0.2, který úspěšně vytiskl svou součást vytisknutou na komerční 3D tiskárně. V roce 2008 vytiskne RepRap tiskárna (model Darwin 1.0) minimálně polovinu potřebných a tisknutelných součástí k použití do svého dvojčete. Později téhož roku je vytisknut první uživatelský produkt, držák na iPod

do automobilu. Do konce roku 2008 existuje již nejméně 100 kopií původní tiskárny. Objevuje se také první replikace mimo vývojářský tým RepRap.

V dubnu 2009 je oznámen první automaticky vytisknutý obvod tiskárnou RepRap. Namísto tiskové trysky je osazena pájka. Vytisknutý obvod je později implementován do původní tiskárny, která jej vytiskla. Nastává tak první krok v dosáhnutí jednoho z hlavních cílů RepRapu, schopnost tiskárny vytisknout sebe sama v kompletní podobě i s elektrickými obvody. Na podzim téhož roku tiskne své součástky nová verze tiskárny RepRap Mendel, založená na trojúhelníkové konstrukci. V tomto roce se o vývoj a zdokonalení RepRapu v rámci komunity začíná zajímat také Josef Průša ml. (budoucí autor modelu Prusa–Mendel a Prusa i3). [7]

Na konci léta 2010 vzniká 3. generace, Huxley. Její design je založen na zjednodušení a zmenšení verze Mendel. Josef Průša publikuje svou verzi původního modelu Mendel, Prusa–Mendel (verze 1).

V roce 2011 vydává Průša ml. zdokonalenou verzi Prusa–Mendel (verze 2). Snaží se zkrátit čas potřebný k sestavení tiskárny a celkově zjednodušit konstrukci.

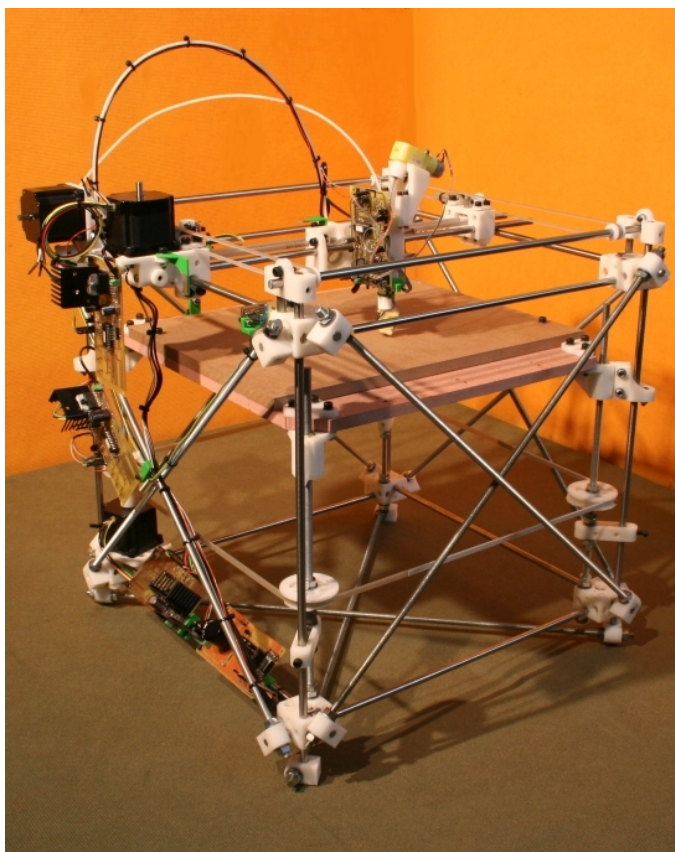
Následuje rok 2012, který je ve znamení velkého boomu v rozšíření RepRapu. Tiskárny založené na open–source designu se těší veliké oblibě v okruhu lidí zajímajících se o technologické inovace, inženýrství a v neposlední řadě také umění a design. Vychází první verze tiskárny Prusa i3 založená na zcela nové konstrukci. Tato tiskárna je v roce 2013 dokončena.

Na podzim 2012 již existuje vysoce konkurenční trh s hobby 3D tiskárnami a vlastními autorskými designy, které však víceméně vycházejí z poznatků a řešení RepRapu. Čím dál tím více jsou populární 3D tiskové služby a weby jako shapeways.com, thingiverse.com a další. Na trhu se objevují předpřipravené, "stavebnicové" sady na výrobu 3D tiskárny. V rámci vývojářské komunity RepRap se vyvíjí nová experimentální konstrukce Delta. Tiskárna je pojmenována Rostock. Její optimalizace je zdoluhavá, a proto tento model není ani na začátku roku 2014 natolik rozšířen jako např. Prusa i3 či Mendel, její řešení však předurčuje možný další posun v designérském řešení projektu RepRap.

### 1.2.2 Jednotlivá konstrukční řešení tiskáren projektu RepRap

V rámci projektu RepRap vzniklo několik konstrukčních řešení, každé se svými výhodami a nevýhodami. U původních verzí tiskáren se vývojáři drželi tradice pojmenování po slavných biologích, jako je Charles Darwin, Mendel a Huxley. Tato tradice odkazovala na Darwinovu evoluční teorii, která plně vystihuje snahu tvůrců RepRapu vytvořit fungující systém vycházející právě z principů evolučního vývoje. Kromě níže uvedených verzí existuje nespočet dalších alternativ a upravených variant (například konstrukce osazené více tiskovými hlavami pro tisk z různých materiálů či barev). Všechny ale vycházejí z níže specifikovaných původních modelů.

### 1.2.3 RepRap Darwin

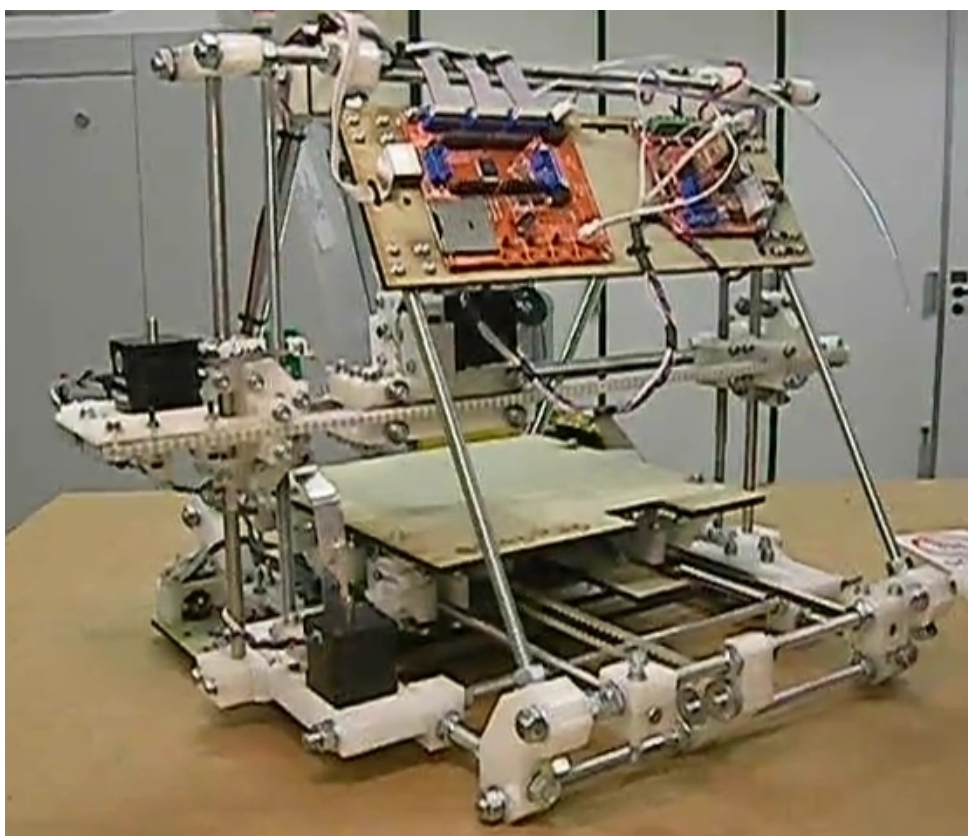


*Obr. 8: RepRap verze 1.0 Darwin*

Počátek projektu RepRap. Verze Darwin byla představena v roce 2007, plně funkční byla na začátku roku 2008. Dnes je její vývoj zcela pozastaven. Tvar tiskárny vychází z krychle, skelet krychle tvoří závitové tyče. Pro dosažení dostatečné konstrukční pevnosti jsou použity závitové tyče také jako stěnové úhlopříčky. Tento model se vyznačuje velkým

počtem komponent, velkými rozměry a malou potisknutelnou plochou (ve všech osách). Co se týče permutací tiskárny Darwin, existuje např. varianta konstrukčně podobná, ale osazená hlavou pro tisk porcelánové hmoty. Možným paradoxem je, že z původních modelů (Darwin, Mendel, Huxley, Prusa) působí tiskárna po designérské stránce nejzajímavěji. Jedná se především o řešení víceméně symetrické, mající vlastní obvodový skelet, který rovněž slouží jako potřebná konstrukce pro funkčnost tiskárny. Tvar krychle se jeví jako nejideálnější pro případné úpravy jako je oplátování a využití materiálů jako průhledové plexisklo, překližka, Dibond a další. Nevýhodou je ztížený přístup k tiskové ploše a celková zastaralost technologického řešení a z toho se odvíjející kvalita a velikost tisku.

#### 1.2.4 RepRap Mendel



*Obr. 9: RepRap verze Mendel*

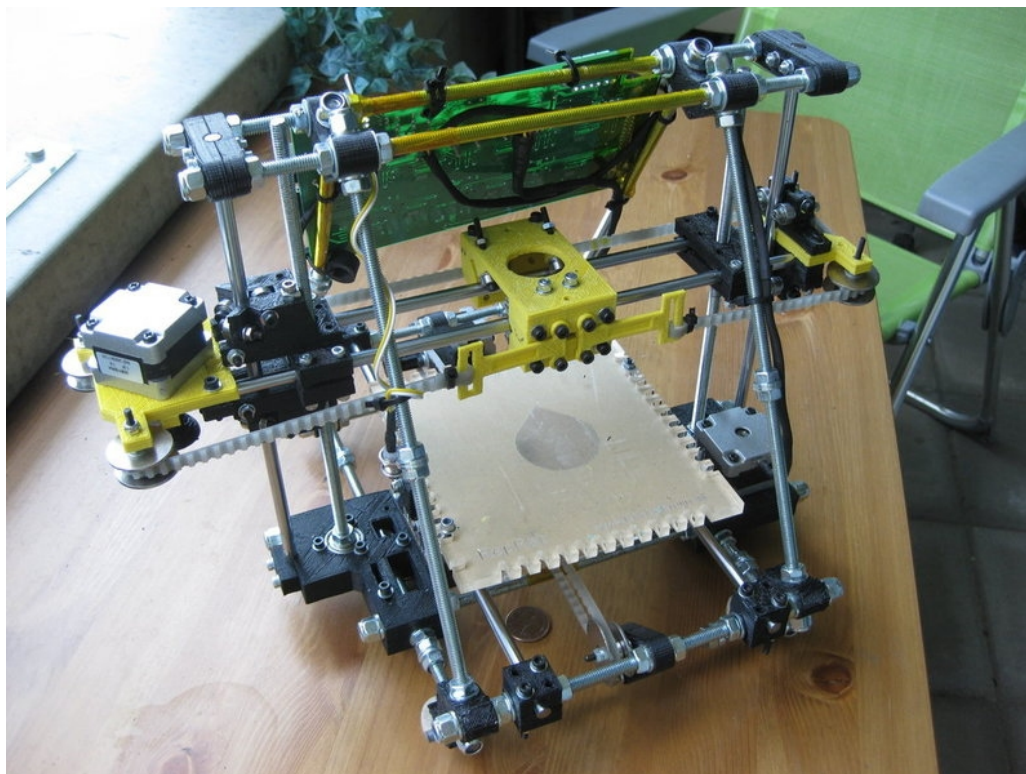
V roce 2009 došlo k evoluci modelu Darwin. Druhá generace, postavená na trojúhelníkové konstrukci, byla pojmenována po zakladateli genetiky, Gregoru Mendelovi. V konstrukci došlo k celkovému zmenšení a efektivnějšímu využití prostoru, tiskárna se tedy bez



problémů vejde na pracovní stůl (rozměry: 500 mm šířka x 400 mm hloubka x 360 mm výška), zároveň došlo k navýšení tiskové plochy na rozměry: 200 mm šířka x 200 mm hloubka x 140 mm výška. Celková váha přístroje bez cívky s plastem je 7 kg. Komponenty tiskárny se skládají z běžných materiálů dostupných v železářství a z částí vytisklých na 3D tiskárně. Celková cena netisknutých součástí se pohybuje kolem 400 eur. Další parametry jsou: průměr trysky 0.5 mm, přesnost os 0.1 mm, minimální tloušťka vrstvy 0.3 mm.

Mendel měl oproti svému předchůdci výhodu větší tiskové plochy, lepší přesnosti a efektivity os, jednodušší montáži a celkově lehčí a přenosnější konstrukci. Cenou za tuto kompaktnost je vizuální komplexnost všech prvků, které bylo potřeba vtěsnat na co nejmenší prostor pro dosažení požadované efektivity. Model Mendel byl a stále je značně rozšířen a po celém světě existují jeho různě upravené varianty.

### 1.2.5 RepRap Huxley

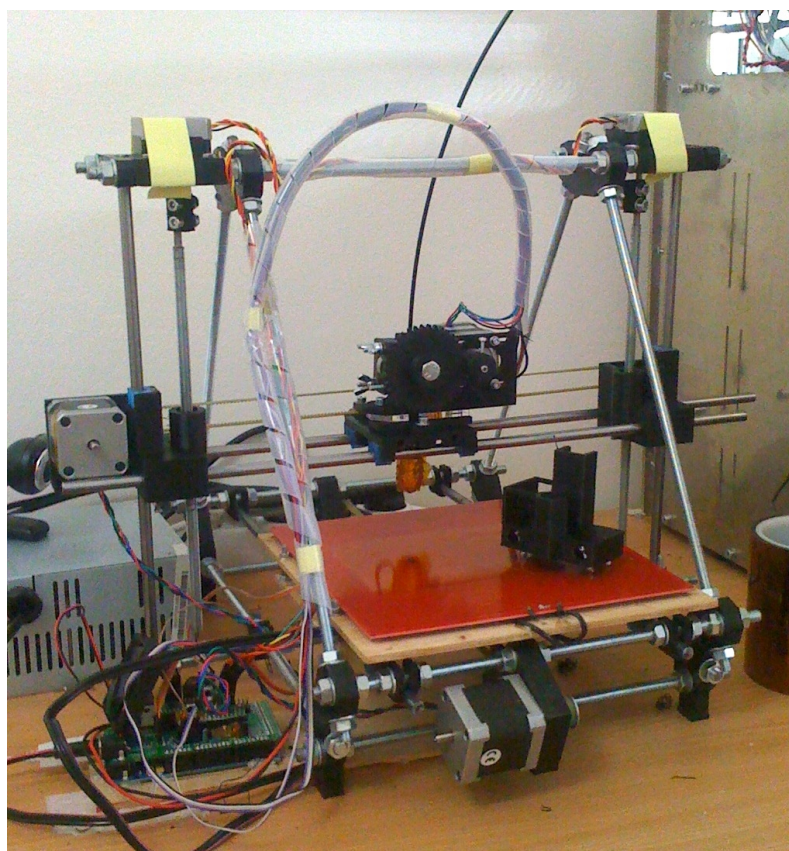


*Obr. 10: RepRap verze Huxley*

Jedná se o oficiální verzi 3, nejde však o nástupce Mendela. Autoři projektu RepRap se rozhodli rozdělit vývoj na dvě větve, kdy Mendel zůstává jako vlajková loď

projektu RepRap, víceúčelový se všemi svými možnostmi a Huxley pojmenovaný v roce 2010 po biologovi Thomasi Henry Huxleyem je zmenšený a zjednodušený až na samotnou hranici funkčnosti. Devízou Mendela je jeho flexibilita, devízou Huxleyeho je rychlost jeho replikace. Oba přístroje jsou schopny vytisknout součástky pro sebe, či pro druhou konstrukci, čímž je zajištěna kompatibilita mezi oběma modely. Design Huxleyeho vychází z původního designu modelu Mini–Mendel Eda Sellse. Úkolem této tiskárny je zjednodušit montáž, zdokonalit dokumentaci potřebnou k výrobě a pokusit se o více otevřenou platformu (tím zlepšit možnost upravovat a experimentovat se samotným přístrojem, jakožto i s jeho firmwarem). Huxley není, na rozdíl od Mendela, konstruován pro osazení více tryskami a jeho maximální možný tiskový objem je oproti Mendelu třiceti procentní. Huxley je důležitým článkem ve vývoji RepRapu, který přinesl co největší zminiaturizování a zjednodušení tiskárny. Poznatky z vývoje této verze se uplatnily dále při vývoji nových tiskáren.

### 1.2.6 RepRap Prusa–Mendel



Obr. 11: RepRap verze Prusa–Mendel (iteration 2)

Model Prusa–Mendel existuje ve dvou iteracích (verzích), přičemž druhá je aktuálnější a dále vyvíjená a z toho důvodu není důvod iteraci 1 v této práci dopodrobna popisovat. Stačí zmínit, že první verze (stejně jako její modeloví předchůdci) byla celkově složitější než verze druhé generace. Prusa–Mendel vychází plně z modelu Mendel, je však optimalizována. První verze je zveřejněna v roce 2010, v roce 2011 doplňuje Průša ml. trh o finální verzi 2. Jeho cílem bylo zkrátit čas potřebný k sestavení tiskárny a také zjednodušit konstrukci a omezit problémy se zasekáváním. Model 2 je předchůdcem aktuálního (pro rok 2014) modelu Prusa i3.

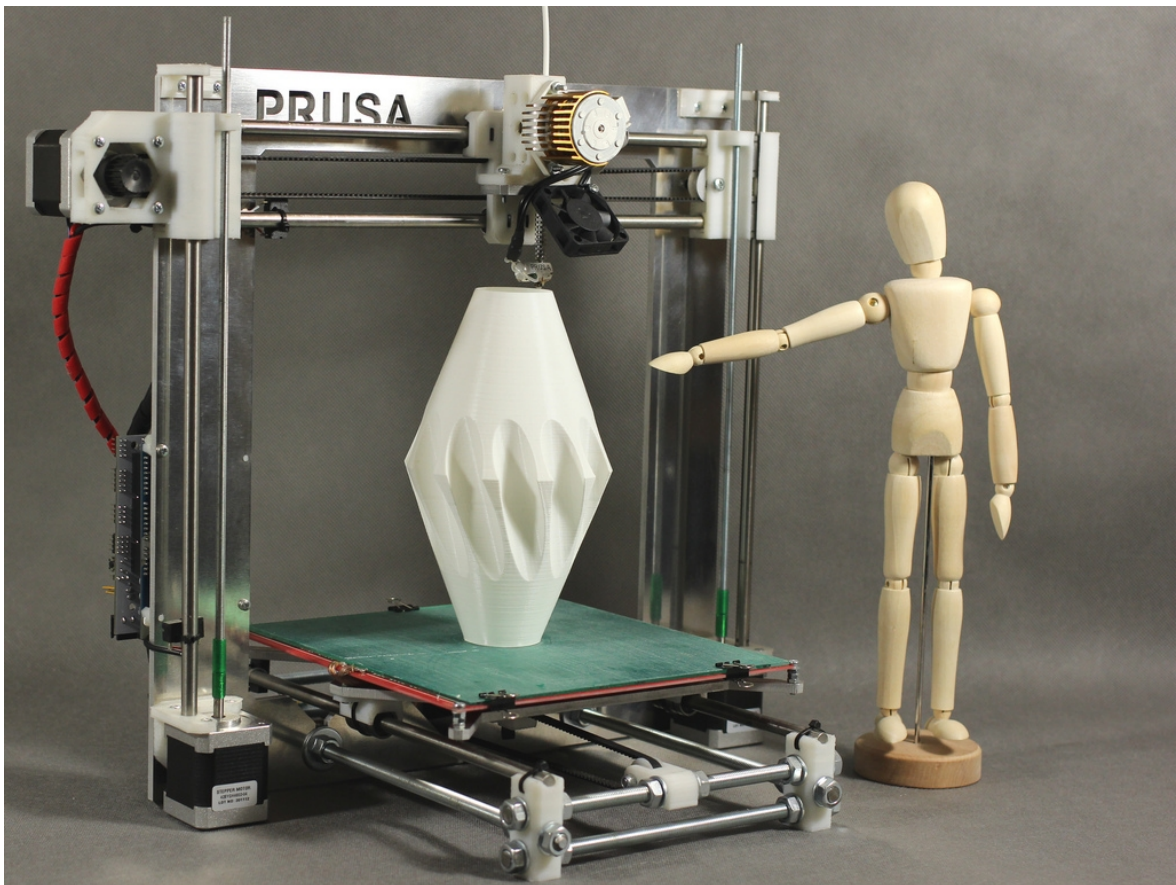
Rozměry Prusa–Mendel i2 jsou přibližně 470 mm šířka x 440 mm hloubka x 370 mm výška, nosná konstrukce je trojúhelníková jako u Mendelu. Počet tisknutelných dílů potřebných pro sestavení se ustálil na 41. Hlavních vylepšení, kterých autor dosáhl je zdokonalený tzv. belt clamp, tedy část upínání pásu, dále pak vodící konstrukce nyní nese pouzdra s lineárními ložisky, většina M4 šroubů je vyměněna za M3, je odstraněna druhá tisková podložka (nahrazena vyhřívanou PCB podložkou) a další. [8]

Co se týče designu, je na první pohled vidět, že se Prusa–Mendel odkazuje tvaroslovím na původní Mendel, konstrukce je však vizuálně lehčí s elektronikou umístěnou u základny tiskárny. Napříč modely lze tedy pozorovat patrný posun v designu, který je ale dán spíše snahou konstrukčně co nejvíce zjednodušit stavbu a ovládání tiskárny, než potřebou vložit estetizující prvek do fungujícího řešení, patrně právě proto, že se do modelu Prusa–Mendel i2 jednalo spíše než o hotový výrobek o živý vývoj prototypů nesoucí s sebou mnoho pokusů a omylů, kdy potřeba designu (v jiném smyslu než konstrukčním) byla zbytečná.

S následujícím modelem Prusa i3, který je kompletně přepracován, se vývoj zaměřuje čím dál více nejen na odladění detailů a z toho vyplývající optimalizaci, ale především poprvé v rámci RepRapu uvažuje také nad vizuálně estetickým řešením a přidanou hodnotou, která je důležitá pro rozšíření přístroje mezi širokou veřejností. Tato skutečnost je dána dlouho probíhajícím vývojem, kdy z počátečních experimentů již vznikla technologie více či méně funkční a je žádoucí zaměřit se na další aspekty jako je vzhled a zpracování.



### 1.2.7 RepRap Prusa i3



*Obr. 12: RepRap Prusa i3*

Při tvorbě tiskárny Prusa i3 bylo využito všech dosavadních poznatků z vývoje RepRap tiskáren. Tiskárna je zcela přepracovaná v konstrukční rovině, skládá se z vertikálního rámu a horizontální části nesoucí vyhřívanou podložku. Na konci roku 2012 byla vytvořena první verze i3, která je také modelem použitým v této bakalářské práci.

Ač nejsou modely nijak rozděleny označením, momentálně (duben 2014) je dostupná upravená verze původní Prusa i3 (někdy označována jako Prusa i3 Rework). V nové verzi je nahrazena stará tisková hlava novější s plastovým převodem namísto kovového, je použit slabší motor pro pohyb osy Y, zdroj je umístěn na rámu a další. Všechny varianty Prusa i3 mají oproti předešlým modelům výhodu lehké rozložitelné konstrukce a snížení počtu komponent, větší pevnosti rámu a parametrické dokumentace schopné pracovat s různými velikostmi ložisek a pouzder při sestavování, což umožňuje lehčí alternaci při změně rozměrů a následných propočtů. Vertikální rám (frame) je vyroben z duralu, dalším možným materiálem je dřevo. Samotná konstrukce se dělí na tzv. Single sheet frame (čili

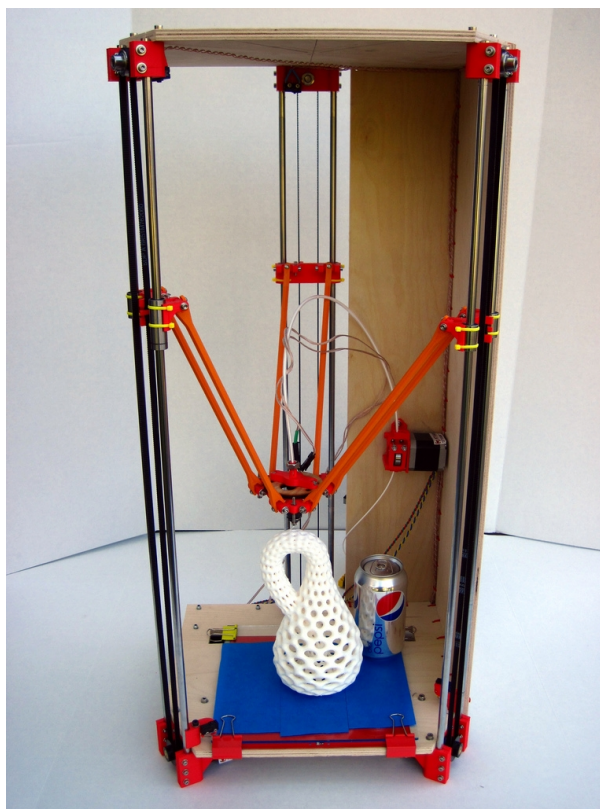


rám z jednoho kusu) a box frame (rám z desek tvořící krabici). Důvodem je skutečnost, že k tvorbě single sheet rámu je potřeba méně dostupných technologií k výrobě jako je laser. Oproti tomu box frame lze vyrobit v dílně jen se základním nářadím. Až na vlastní rám se tyto dvě verze neliší.

V rámci bakalářské práce pracuji s tiskárnou Prusa i3 s duralovým rámem (zkonstruována na workshopu v Praze v prosinci 2012). Tato tiskárna se skládá z 26 vytisknutých částí, o pohyb se stará 5x NEMA 17 krokových motorů. Potisknutelná plocha je 200 mm šířka x 200 mm hloubka x 200 mm výška. Samotná tiskárna (mimo zdroj) má rozměry přibližně 450 mm šířka x 450 mm hloubka x 400 mm výška.

Tiskárna Prusa i3 je momentálně jednou z nejrozšířenějších a nejaktuálnějších na scéně. Její konstrukce je dostatečně zjednodušená a tudíž ideální pro úpravy, může tedy sloužit jako základ pro tvorbu a hledání komplexnějšího řešení pracovní stanice v rámci oblasti stolního 3D tisku. Podrobné informace a specifikace jsou uvedeny v části 1.3 Prusa i3 bakalářské práce.

### 1.2.8 RepRap Rostock

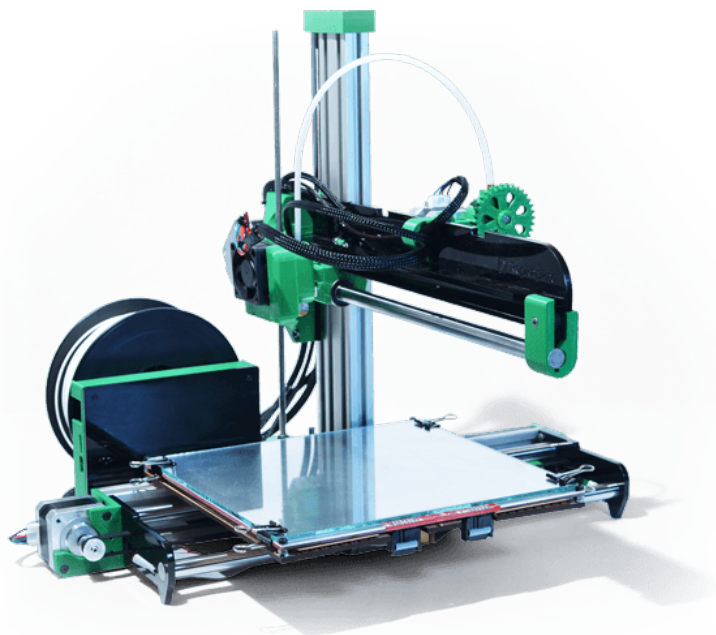


Obr. 13: RepRap Rostock

Modelem Prusa i3 vývoj RepRapu nekončí. V roce 2012 vznikl prototyp zcela nového konstrukčního principu delta nazvaný Rostock. Cílem modelu Rostock je ověřit, zda paralelní delta konstrukce využívaná například v továrnách k automatizovanému přesouvání a balení produktů má budoucnost také v 3D tisku. Jak je u RepRapu zvykem, od roku 2012 existuje nespočet variací. V poslední době se konstrukce delta také objevuje v komerčním trhu (například tiskárna Rostock Orion Delta firmy FUTUR3D).

Tisková plocha originálního RepRap Rostocku je 200 mm šířka x 200 mm hloubka x 400 mm výška. Samotná tiskárna konstrukčně vychází z kružnice, její tvar lze vepsat do tubusu. Odlišností oproti klasickému pohybu podle os XYZ (např. u Prusa i3) je fakt, že se vyhřívaná podložka nehýbe. Pohyb tiskové hlavy zajišťují tři robotická ramena. Velkou výhodou je kompaktnost přístroje. Rostock je stále ve fázi vývoje, již nyní je ale jasné, že tato konstrukce nastiňuje směr, kterým se RepRap bude ubírat.

### 1.2.9 RepRap Pro Ormerod



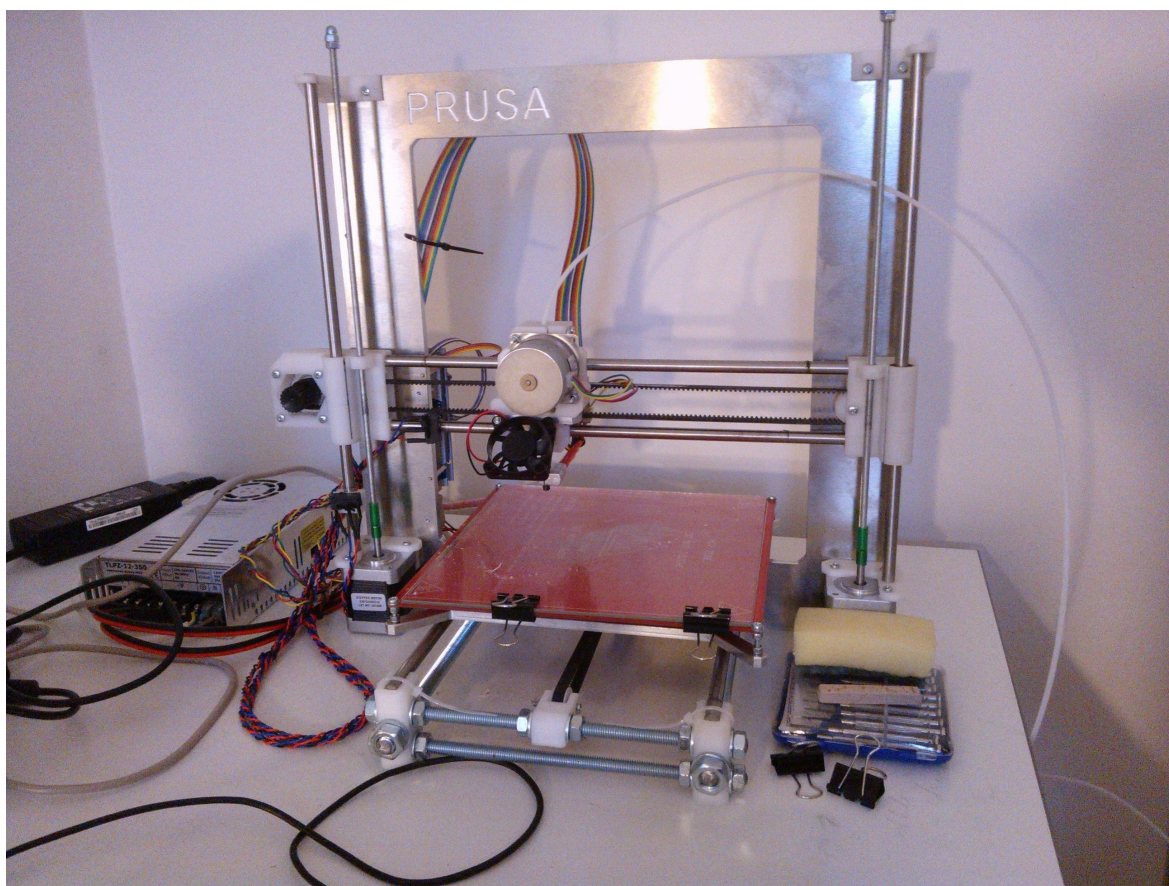
*Obr. 14: RepRap Pro Ormerod*

Posledním "oficiálním" modelem ve výčtu RepRap tiskáren je model s označením RepRap Pro Ormerod. Za tímto přístrojem stojí zakladatel hnutí RepRap Adrian Bowyer.

Jedná se však o model komerční, který Bowyer nabízí skrze společnost RepRap Pro Ltd. Model Ormerod je zatím posledním modelem této společnosti. Svou konstrukcí se odlišuje od ostatních dosud vyrobených 3D tiskáren jediným nosníkem (osa Z) tiskové hlavy.

Tiskárna je velice jednoduchá k sestavení a manipulaci. Navzdory tomu, že se jedná o komerční přístroj, který lze koupit již sestavený či jako stavebnici, je Ormerod licencován pod GPL, tudíž jeho kompletní dokumentace je přístupná zdarma na internetu.

### 1.3 Prusa i3



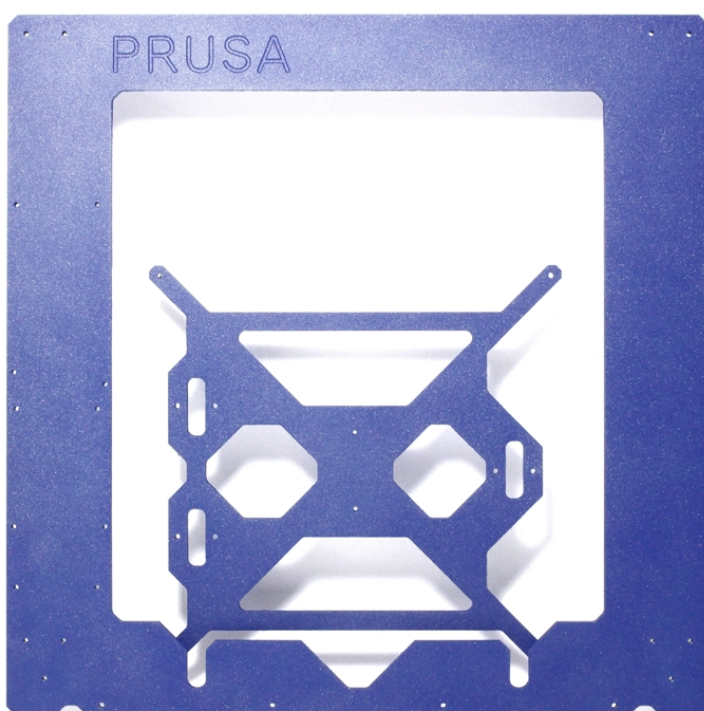
*Obr. 15: Kompletní Prusa i3*

Model Prusa i3, který je od roku 2012 používán, tvoří základ této bakalářské práce. Jedná se o první verzi, ještě před úpravami Prusa i3 Rework. Rám tiskárny je v tomto případě single sheet vyrobený z duralu. (Obr. 16)

Alternativně lze použít box frame či rám skládající se z single sheet rámu a do něj zapadajících trojúhelníkových podpěr. Tiskárna má 5 krokových motorů NEMA 17



(dva pro pohyb ve směru osy Z, jeden pro pohyb ve směru osy Y, jeden pro pohyb v ose X a jeden pro vytlačování plastové struny skrz trysku). Samotná tryska je vyrobena z nerezové oceli (materiál používaný v potravinářství). Jde se o nejlepší trysku pro open-source tiskárny na trhu. Průměr trysky je 0.4 mm, dokáže tisknout vrstvy od 0.05 mm výšky. Tiskárna tiskne na vyhřívanou PCB podložku o rozměrech 200x200 mm. Maximální rychlost tisku je 200 mm/s. Použitelné materiály (průměr struny 3 mm) jsou ABS, PLA (plast z kukuřičného škrobu), PETT, Laywood (směs dřeva a plastu) a Nylonu.



*Obr. 16: Single sheet frame Prusa i3*

Tiskárna je oproti starším modelům kompaktní s jednoduchou konstrukcí. Nevýhodou (která však byla v přepracované verzi odstraněna) je externí zdroj, který nijak nevyužívá konstrukci tiskárny pro své ukotvení. Nedostačující je rovněž absence podavače plastu (obvykle v podobě plastové struny namotané na cívice). Většina elektronických součástí (procesor Arduino a shield RAMPS, krokové motory) jsou neokrytované, tudíž dochází k nežádoucí akumulaci prachu. Tiskárna svou konstrukcí (na rozdíl od jiných komerčních

modelů) neumožňuje uzavření tiskové komory a tedy vytvoření stálého tiskového klimatu, což přímo ovlivňuje kvalitu tisku. Tyto uvedené funkční nedostatky jsou hlavním impulsem při tvorbě praktické části této práce.

## 1.4 Současné trendy ve 3D tisku

Ač samotná technologie 3D tisku existuje již více jak dvě dekády, její boom nastal v roce 2012 díky dostupnosti výrobní technologie, vypršením patentů a skoro šestiletým vývojem RepRap, který do té doby plnil funkci popularizátora této technologie mezi veřejností. S rostoucím počtem tiskáren se začala objevovat využití nejen ryze kutilská, iniciované komunitou DIY (do-it-yourself — udělej si sám) a technologickými nadšenci. 3D tisk si začala osvojovat sféra umělců, architektů a designérů pro rychlejší prototypování, především ale pro experimentování a hledání limitů 3D tisku samotného.

Hledání hranic a omezení je stejně tak důležité, jako vývoj a optimalizace každého inovativního produktu či služby. Pomáhá designérům nahlédnout pár kroků před současný stav věcí. V následujícím výčtu je uvedeno několik příkladů z architektury, designu a potravinářství ilustrující potenciál této technologie.

### 1.4.1 Dirk Vander Kooij — Endless Chair

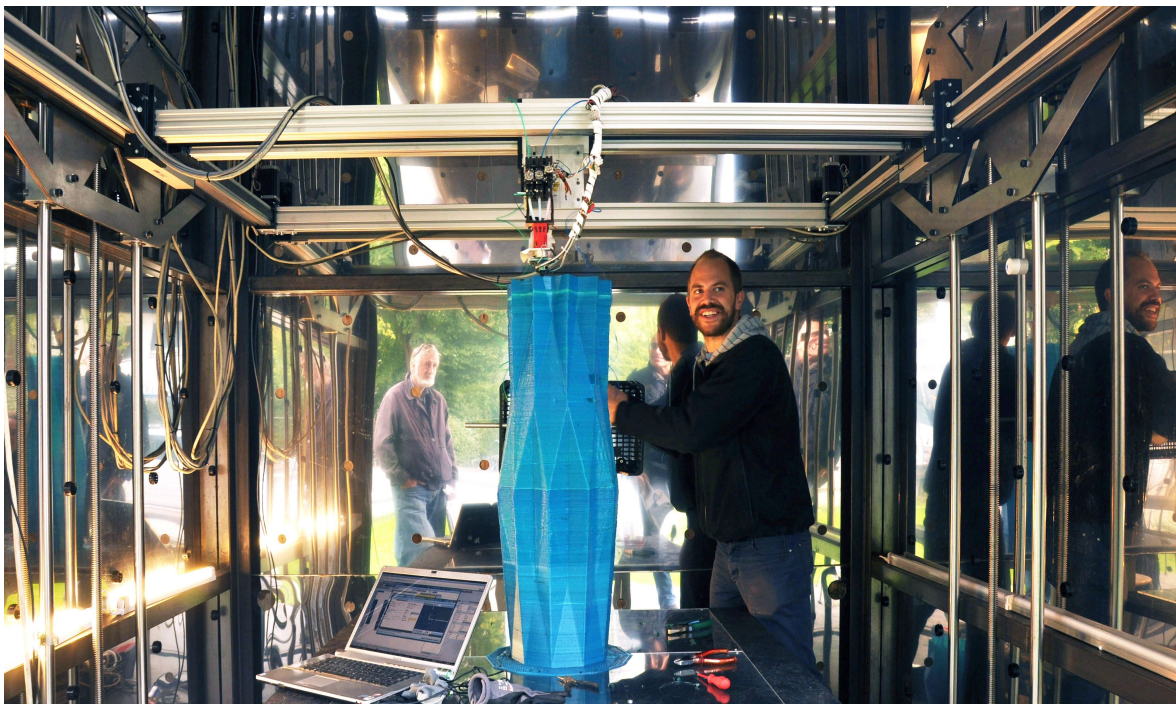
V roce 2010 osadil holandský designér Dirk Vander Kooij staré robotické rameno používané na výrobní lince tiskovou hlavou a vytiskl první sadu svého křesla Endless. [9] Takto předznamenal možnosti využití tisku v tzv. freeform, kdy je 3D tisk díky robotickému ramenu odproštěn od jakýchkoliv prostorově svazujících okolností.. (Obr. 17)

### 1.4.2 DUS Architects — 3D Printed Canal House

DUS Architects sídlící v Amsterdamu vytvořili obří tiskárnu KamerMaker (Obr. 18) na základě stolní tiskárny Ultimaker. KamerMaker dokáže vytisknout objekty o výšce 3.5 m a slouží jako výrobní linka pro zbudování domu stojícího u jednoho z amsterdamských kanálů. Autoři tímto experimentem nechtějí nahradit klasické metody stavby, spíše doufají ve vyvolání diskuze o budoucím postavení architektů v procesu navrhování. [10]



*Obr. 17: Endless Pulse Low Chair, Dirk Vander Kooij*

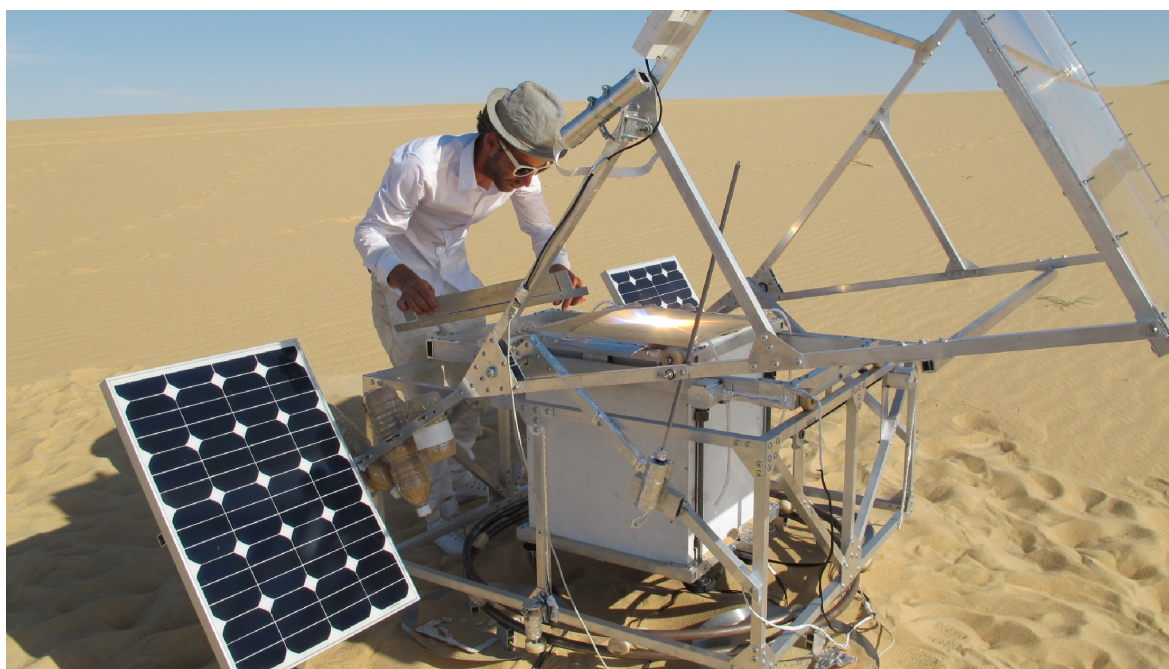


*Obr. 18: KamerMaker, DUS Architects*



### 1.4.3 Markus Kayser — Solar Sinter

Průkopníci propagují technologii 3D tisku jako tu, která pomůže zemím Třetího světa od chudoby. K použití 3D tiskárny je ale stále zapotřebí elektřina a materiál. Německý designér Markus Kayser se zaměřil na vytvoření soběstačné 3D tiskárny, která může operovat v místech, kde chybí infrastruktura, ale je dostatek sluneční energie a písku. Výsledkem je tiskárna Solar Sinter (Obr. 19) fungující díky silným Fresnelovým čočkám a solárním panelům. Tiskárna byla testována na Sahaře v roce 2011. [11]



Obr. 19: Solar Sinter, 3D tisk písku za použití slunce, Markus Kayser

### 1.4.4 3D tisk jídla

Je bohužel neustále fikcí, což ale nebrání designérům částečně experimentovat s možnostmi 3D tisku v potravinářství. Princip 3D tisku používá studio Mischer'Traxler ve svém projektu Till You Stop, který byl předveden na Vienna Design Weeku 2010. Jedná se o přístroj, který po stisku tlačítka náhodně zdobí korpus dortu polevou, čímž na něm vytváří různé ornamenty. Tento přístroj byl vytvořen pro výstavu v MAK jako reakce na dílo Adolfa Loose z roku 1908, Ornament a Zločin. (Obr. 20)

Dalším zajímavým projektem je Sugar Lab autorů Kyle a Liz von Hasseln. Dvojice architektů z Los Angeles chce tisknout ozdobné tvary cukru na zakázku především pro svatební dorty a do prestižních restaurací.

Princip 3D tisku cukru se podobá metodě SLA tisku, místo fotopolymeru je použita voda a alkohol k zatvrzení cukru. (Obr. 21)



*Obr. 20: Till You Stop, Zdobení korpusu dortu, Mischer'Traxler*



*Obr. 21: „Kostka“ cukru (The Sugar Lab), Kyle a Liz von Hasseln*



Kromě výše zmíněných existuje mnoho dalších projektů, jako je projekt 3D tiskárny pro země Třetího světa W.Afate, základna na Měsíci od studia Foster and Partners, 3D tisk v řádech mikrometrů, tisk orgánů, nových chemických sloučenin a nespočet dalších.

## 2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V předchozích kapitolách byla nastíněna historie 3D tisku, jeho realita, technologická řešení a možnosti. V rámci tvorby této práce je neméně důležitá analýza současného trhu co se týče konkurence v komerční sféře a obeznámení se s patentovými či jinými omezeními. Druhá polovina kapitoly Úvod do problematiky se již zaměřuje na filozofii tvarového řešení a zamýšlí se nad možností alternativního rozšíření funkcí tiskárny jako prvku v rámci interiéru studií a ateliérů, přičemž je využito znalostí získaných z rešerše konkurence jako podkladu pro tvrzení.

### 2.1 Analýza současného trhu

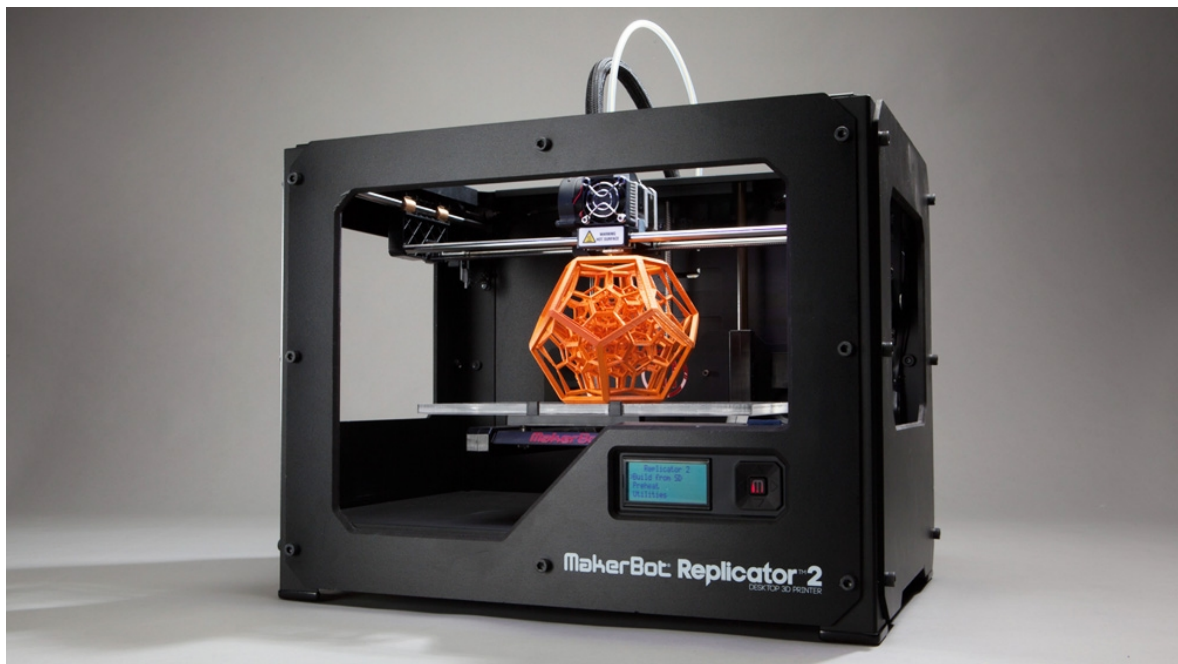
#### 2.1.1 Konkurence

V rámci rešerše současného trhu je důležité zaměřit se na trh s hobby tiskárnami. Paradoxem je, že většina z nich konstrukčně vychází z RepRapu a samotný trh stolních tiskáren pomohl zformovat především RepRap. Soukromý sektor pouze přidal řešení vlastního ovládacího softwaru (který je povětšinou opět založen na open–source verzi pro RepRap) a snahu o líbivé okrytování s ambicí dát samotným tiskárnám high–endový vzhled. I nadále se ale stává, že design 3D tiskáren je řešen jako design klasických kancelářských tiskáren pro papír, což lze považovat za nesprávný přístup.

3D tiskárna je stroj vysoce sofistikovaný technologicky na úrovni 21. století a zaslouží si také vizuální řešení na úrovni estetiky 21. století. V následujících řádcích je popsán výběr nejzajímavějších řešení dostupných na jaře roku 2014.

Výhodou komerčních tzv. uzavřených řešení oproti RepRapu je jejich snadné ovládání, víceméně malá údržba a dostupný servis, což se ale zrcadlí v ceně a nemožnosti tiskárnu upravovat (došlo by ke ztrátě záruky). Jednou z nejprodávanějších spotřebitelských tiskáren je Replicator 2 společnosti Makerbot. (Obr. 22)

Společnost Makerbot uvedla v roce 2014 na trh také variantu Z18, kterou lze dovybavit mobilní pracovní stanicí. Tiskárna Z18 je však cílena více na poloprofesionální použití, čemuž odpovídají její tiskové rozměry a cena. (Obr. 23)



Obr. 22: MakerBot Replicator 2



Obr. 23: MakerBot Replicator Z18

Designově se jedná o zajímavý přístroj, bohužel se drží klasického kvádrového opláštění (v případě Z18) za použití matného černého plastu a čírého plexiskla. Vzniká tak přístroj kompletně uzavřený, což se projevuje v jeho prostorové objemnosti. Kromě nosné funkce a úložného prostoru nemá kompletně okrytovaná základna jiný význam. Z hlediska funkčnosti zabírá zbytečně velký prostor a tvoří totemovou věž, ze které navíc vystupuje kryt podavače plastu. Řešení je čisté, avšak bez jakékoliv další ambice či inovace, čímž vyznívá jako okrytování přístroje patřícího spíše do továrny než do interiéru např. designérského studia. (Obr. 24)



*Obr. 24: Místnost s průmyslovými FDM 3D tiskárnami*

Dalším zajímavým přístrojem je Buccaneer společnosti Pirate 3D. Jedná se, stejně jako přístroje MakerBot, o tiskárnu na principu FDM. Společnost Pirate 3D se nezaměřuje na kvalitu tisku, nýbrž na uživatelsky příjemné rozhraní a design tiskárny. Jejich cílem je vytvořit ideální produkt do domácnosti, čehož se snaží docílit nejen výše zmíněným, ale i cenou nepřesahující 10 000 Kč. (Obr. 25)

V případě tiskárny Buccaneer hraje velkou roli design. Zdá se, že se tvůrci inspirovali u velkých firem jako je Apple. Přinášejí tak do reality hobby 3D tiskáren zajímavý koncept, kdy vzhledově nepřipodobňují 3D tiskárnu high-tech mikrovlnné troubě, ale prémiové

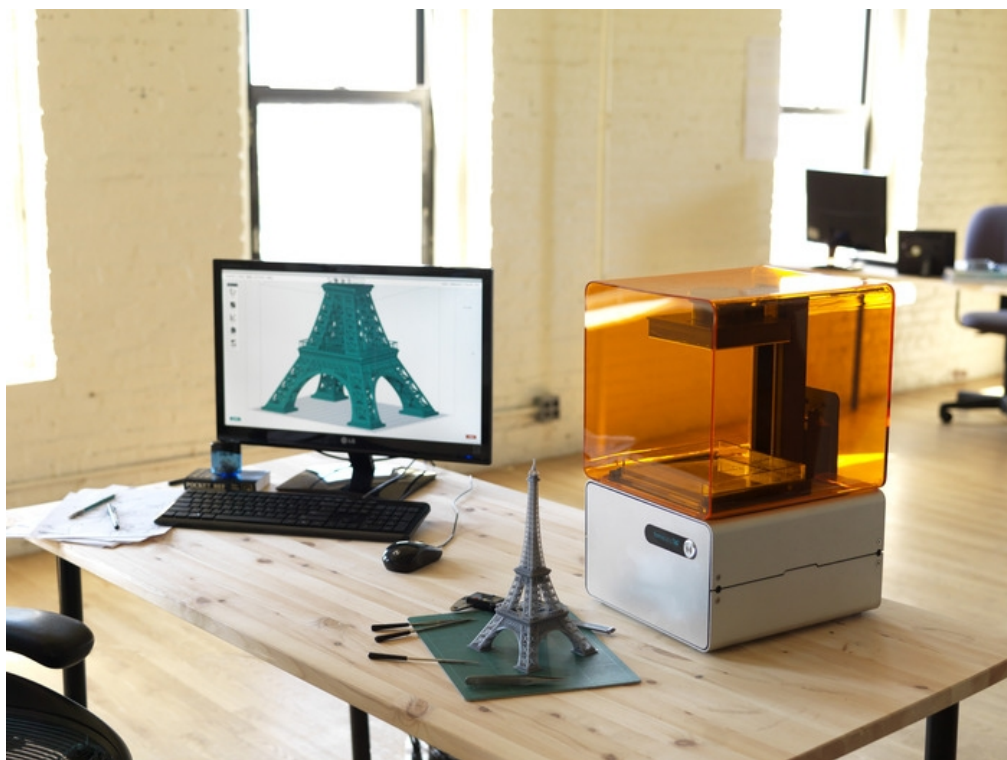
výpočetní technice. Tiskárna v jejich podání není hybrid mezi ledničkou a troubou, nýbrž přístroj, který je artefaktem dnešní technologické doby. Toto snažení samozřejmě omezilo rozměry tiskové plochy a kvalitu tisku, čímž vyvstává otázka, k čemu tato tiskárna může sloužit kromě tisku miniaturních modelů (max. tisková plocha je 150 mm x 100 mm x 120 mm).



*Obr. 25: Tiskárna Buccaneer*

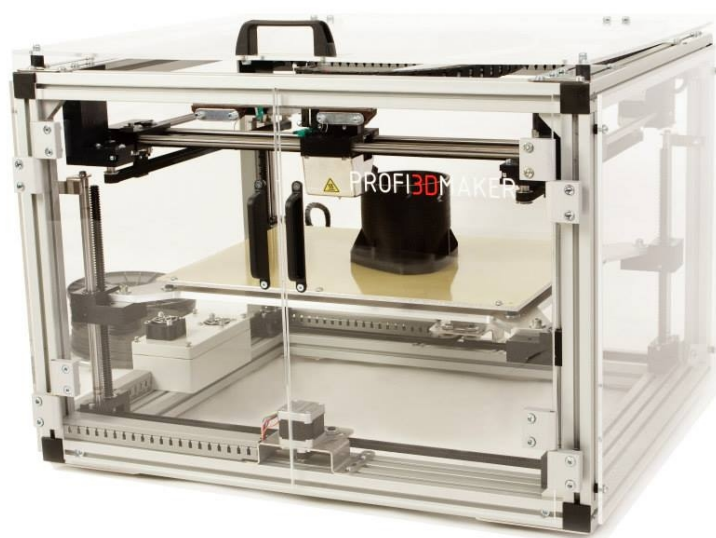
Poslední z výčtu tiskáren je zařízení Form 1 společnosti Formlabs. Tiskárna se liší od konkurence metodou tisku. V tomto případě se tiskne pomocí procedury SLA. Díky tomu je tisk neporovnatelně detailnější. Nevýhodou je daleko složitější manipulace a složitost technologie, kvůli které jsou jakékoliv úpravy přístroje nevhodné. (Obr. 26)

Tisková komora je uzavřena oranžovým plexisklem pro filtraci UV světla, spodní část je z hliníku. Tiskárna je určena jako většina na stůl, čímž neumožňuje alternativní umístění do prostoru ani žádné další využití kromě tisku samotného.



*Obr. 26: Tiskárna Form 1*

Další řešení 3D tiskáren různých společností.



*Obr. 27: Profi3Dmaker, 3D Factories*

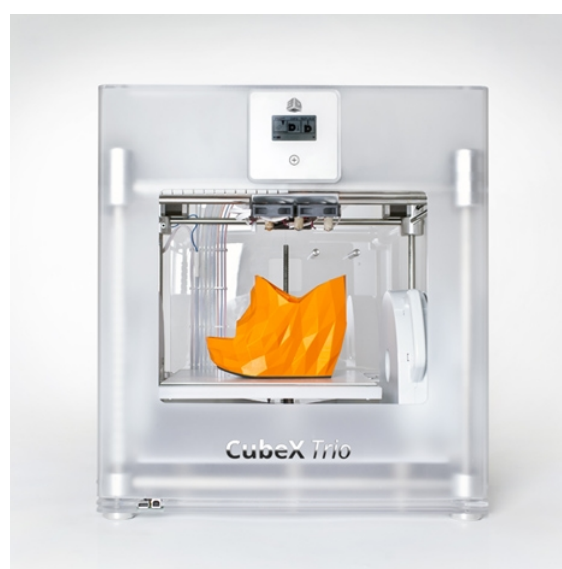




*Obr. 28: DeeGreen, společnost be3d*



*Obr. 29: Cube 2, společnost Cubify*

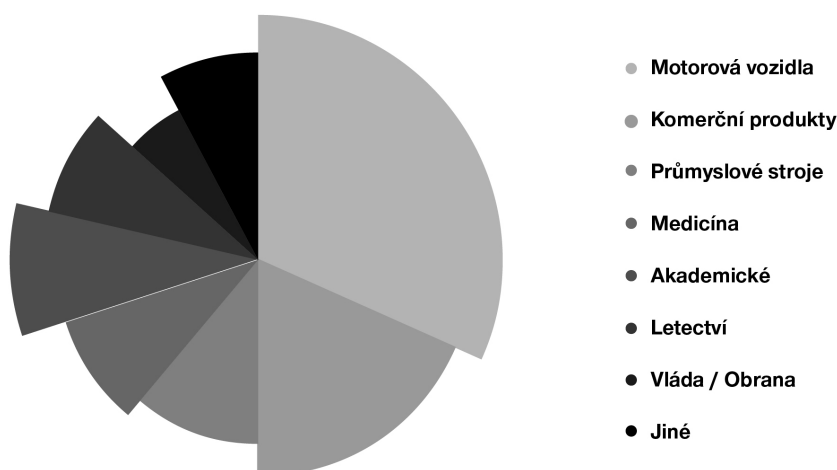


*Obr. 30: CubeX Trio, společnost Cubify*

### 2.1.2 Realita využití 3D tisku

Pro pochopení cílové skupiny posloužila data převedená do formy ilustrativní grafiky. Z dat získaných na internetu vyplývá, že profesionální 3D tisk jako metoda Rapid Prototypingu ve světě je majoritně používána v automobilovém průmyslu a v produktové sféře. Tyto dvě oblasti zabírají kolem 50 %. Dále pak následuje užití ve sféře průmyslu, medicíně, v edukaci, letectví a na obranné účely. (Obr. 31)

Rozdělení použití Rapid Prototypingu ve světě

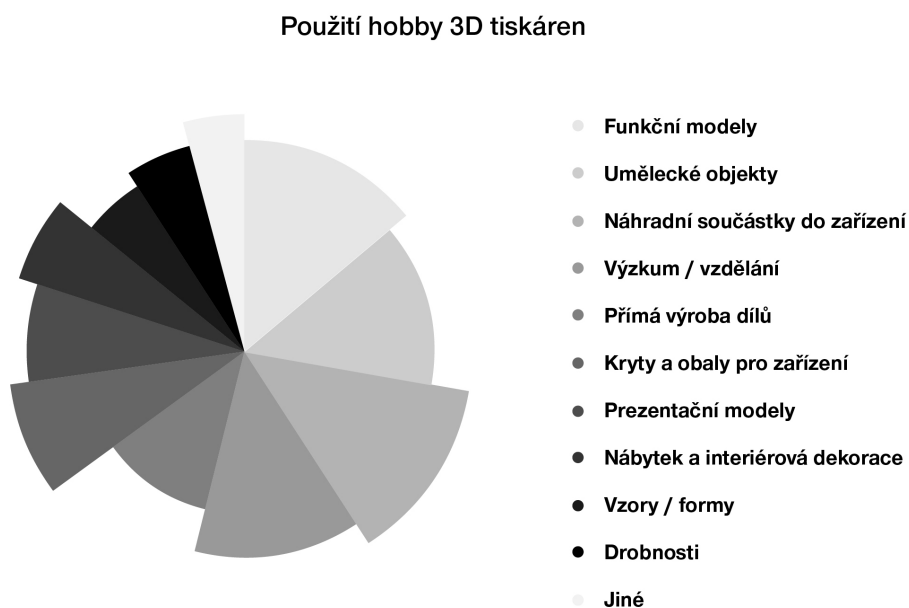


zdroj: infografika z engineering.com  
grafický design: Jan Kovářčik

*Obr. 31: Grafické znázornění procentuálního využití Rapid Prototypingu ve světě, zdroj engineering.com*

Co se týče domácího 3D tisku na hobby tiskárnách, využití je rozděleno mezi tvorbu funkčních modelů, uměleckých objektů, náhradních součástek a k výzkumu a vzdělání. Z vizualizace dat lze také vyčíst, že využití tiskáren se většinou vztahuje k profesi designéra, výtvarníka či architekta. Cílovou skupinou, která investuje do stolních 3D tiskáren jsou především lidé mající kreativní profesi. (Obr. 32)



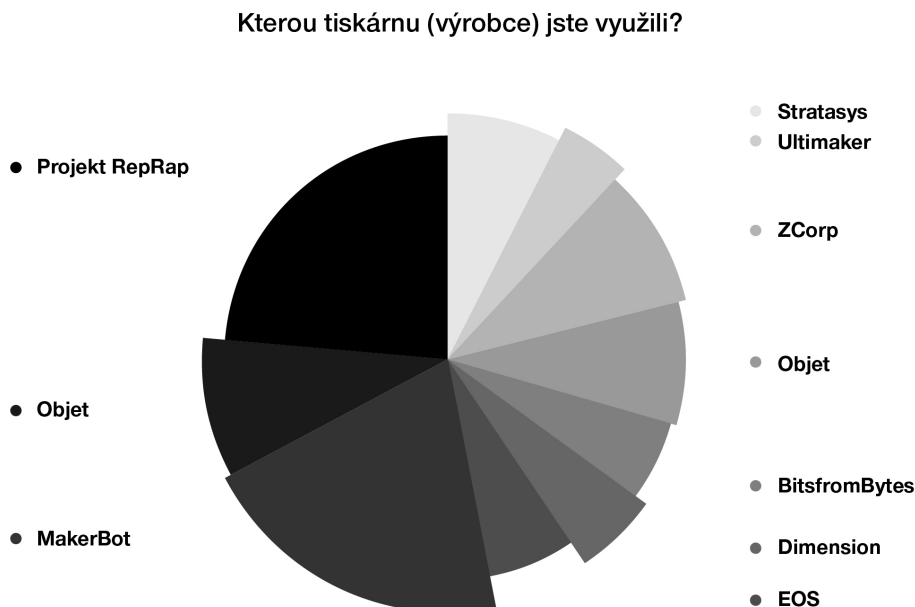


zdroj: [engineering.com](http://engineering.com)  
 grafický design: Jan Kovářiček

Obr. 32: Grafické znázornění procentuálního využití hobby 3D tiskáren, zdroj [engineering.com](http://engineering.com)

3D tiskárna jim slouží jako nástroj pro rychlou výrobu prototypů a modelů v měřítku určených buďto k další úpravě či přímo k prezentaci klientovi. Zajímavostí je, že tento fakt neodpovídá přístupu většiny výrobců komerčních tiskáren, kteří se zaměřují spíše na domácnost a laickou veřejnost, než na komunitu designérů. Realitou pak je, že většina aktivně používaných 3D tiskáren je především kvůli své velikosti a neinteligentní práci s prostorem, který zabírá, uložena v dílně, namísto pracovny či ateliéru, kde by byla na očích. Dalším možným důvodem této situace je fakt, že doposud nepřišel žádný výrobce s tiskárnou esteticky promyšlenou. Na tuto problematiku lze nahlédnout také z hlediska nejpoužívanějších typů 3D tiskáren. (Obr. 33)

Z grafiky lze vyčíst, že nejvíce rozšířené jsou tiskárny projektu RepRap a Replicator společnosti MakerBot. Pouze RepRap umožňuje úpravy jakožto otevřená platforma, její možnosti se zdají být vhodnější pro případnou úpravu. RepRap lze v této souvislosti brát jako technologické jádro a základ určitého produktu či kolekce produktů, které mohou mít ve finále daleko zajímavější a vyšší hodnotu oproti uzavřenému řešení MakerBotu.



zdroj: Moilanen, J. & Vadén, T.: *Manufacturing in motion: first survey on the 3D printing community*  
 grafický design: Jan Kovářčák

Obr. 33: Grafické znázornění procentuálně nejpoužívanějších značek 3D tiskáren, zdroj repprap.org

## 2.2 Omezení

Jedním z důvodů zaměření se na řešení zakrytí 3D tiskárny Prusa i3 je zvýšení kvality samotného tisku. Z toho však pramení několik technických a právních omezení. Většina tiskáren založených typově na konstrukci Prusa i3 (např. komerční Up!, Cube 2 a další) trpí špatnou přílnavostí modelu k tiskové ploše a také výkyvy v kvalitě tisku. To vše je dáno otevřenou konstrukcí tiskové komory a kolísáním teploty. Komerční FDM tiskárny společnosti Stratasys jsou vybaveny uzavřenou vyhřívanou komorou. Technologie vyhřívání tiskové komory je však chráněna patentem a tudíž ji nelze použít. [12]

Některé firmy (např. be3d a jejich DeeGreen) řeší tento problém pouhým zakrytím. Tryska sama o sobě bývá vyhřátá na cca. 240°C (u tisku z ABS plastu) a tisková deska na 100°C (opět v případě ABS plastu). Pokud je prostor o velikosti 200x200x200 mm tiskového objemu takto uzavřen, vzniká vyhřátá komora bez potřeby externího ohřevu. Při kompletním uzavření vyvstává nový problém. Pokud v komoře dochází k akumulaci

tepla, tiskový materiál se může roztékat a tím negativně ovlivňovat výsledný tisk. Vysoká teplota také není vhodná pro elektronické součástky, u kterých může dojít k přehřátí (například motor u extruderu). Tiskárna obsahuje chladicí větrák umístěný nad tryskou, tudíž je nutné udržet částečnou otevřenost konstrukce pro přístup vzduchu.

Možným řešením by bylo použití plynů těžších než vzduch (např. oxid uhličitý), jejich zahřátím a následnou kumulací kolem tisku. [13] V takovém případě stačí vytvořit pouze box obklopující tiskárnu bez horního víka. Při porovnání s ostatními metodami však lze dojít k závěru, že toto experimentální řešení je příliš složité, s nízkou efektivitou a tedy nevhodné.

## **2.3 Filozofie řešení**

### **2.3.1 Tvarové řešení**

Poznatky z předešlé kapitoly byly využity v praktické části k tvorbě systému lamel, který tvoří stabilní klima (čímž zabraňuje výkyvům teploty působícím negativně na kvalitu tisku), avšak s dobrou cirkulací vzduchu, což chrání elektroniku od přehřátí a model od roztečení. Lamely zároveň tvoří rastr dodávající přístroji dynamiku a moderní vzhled. Tvarově vychází návrh z přírodní organiky jako paralely k možnostem technologie 3D tisku zhmotňovat organické a donedávna nevytvořitelné tvary.

### **2.3.2 Cílová skupina**

Z poznatků z kapitoly 2.1.2 vyplývá jako nejvhodnější situovat řešení 3D tiskárny do variabilního interiérového prvku zaměřeného na designéry, architekty a výtvarníky. FDM 3D tisk jako výrobní technologie se dá kategorizovat mezi "čisté" metody manufaktury. Jediný vznikající odpad jsou vygenerované podpory při převisech v daném modelu. Proto se otevírá příležitost přemístit 3D tiskárnu z dílny do ateliéru, který v dnešní době povětšinou netvoří pouze prostor pro práci, ale slouží také k setkávání s klienty. (Obr. 34)



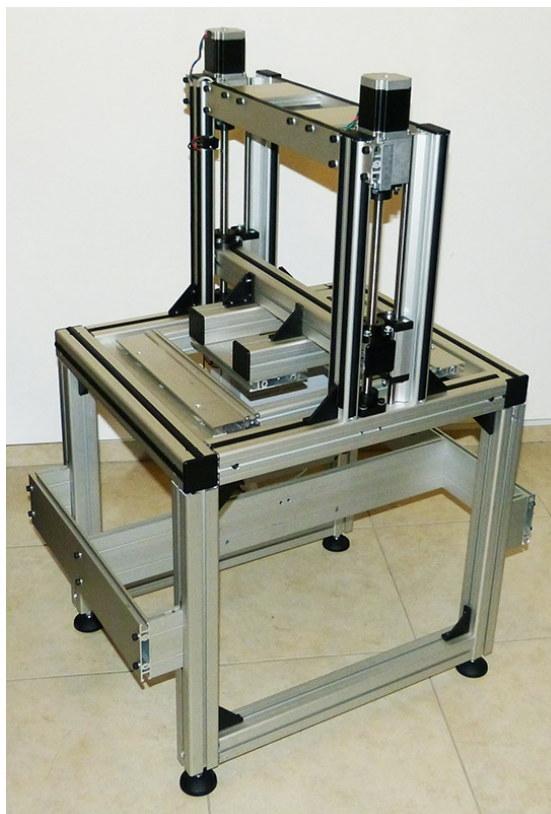
*Obr. 34: Rezidenční ateliér Tonlab, Praha*

Tato skutečnost přímo vybízí k vytvoření takového řešení, které může být jednak funkční s alternativními možnostmi využití, ale i skulpturální. Vznikne tak variabilní produkt, který může být plnohodnotnou součástí interiéru.

### **2.3.3 Možnost alternativního využití**

Při hledání alternativního řešení se nabízí kombinace s různými přidanými funkcemi, jako je spojení 3D tiskárny se svítidlem, tiskárny s mobiliářem apod. Většina těchto konceptů je však spíše vynucená, než aby vyplynula z logických požadavků uživatele. Je důležité soustředit se na to, jak zpříjemnit a zefektivnit obsluhu 3D tiskárny, zároveň čerpat a využívat poznatků vlastníků 3D tiskárny.

Rešerše byla zaměřena na spojení různých funkcí v rámci jednoho objektu a na řešení tzv. workstation, tedy pracovní stanice v oblasti open-source 3D tiskáren. Těchto řešení existuje minimum (Obr. 35). Řešení jsou spíše snahou kutilů o zlepšení konkrétního atributu (ve většině případů kvality tisku) než komplexním designerským přístupem. (Obr. 36)



*Obr. 35: Open–source komunitní projekt samostojící tiskárny Illios 3D*



*Obr. 36: Tiskárna Prusa–Mendel zakrytovaná MDF deskami*

Bakalářská práce je od začátku zaměřena na koncept spojení různých funkcí v jednom objektu, resp. spojení čisté estetické formy (kterou lze vnímat jako low-end) s funkcí hi-endovou, v tomto případě tedy 3D tiskárna, kterou lze vnímat také jako úložný prostor se zajímavým tvarováním. Dobrým příkladem tohoto konceptu je projekt studia Clique.

Jejich kolekce Debut publikovaná v dubnu 2014 se zaměřuje na spojení klasických součástí interiéru jako knihovna, posezení a další, s vlastnostmi jako je bluetooth reproduktor, zvlhčovač vzduchu, bezdrátové dobíjení pro telefony apod. (Obr. 37)

Tento bakalářský projekt je zaměřen na vnesení multifunkčnosti do objektů, kterými jsou lidé obklopeni. Ve světě designu je pojem multifunkčnost brán jako určité negativum. Ne vše by mělo fungovat jako švýcarský armádní nůž. Multifunkčnost v definici této práce je však o prospěšném propojení odlišných funkcí a vytvoření chytřejších produktů. (Obr. 38)



*Obr. 37: Dřevěná knihovna s integrovaným bluetooth reproduktorem z mramoru, Studio Clique*



*Obr. 38: Princip workstation - mobilní stůl s úložným prostorem, Studio Ci*

### **3 STANOVENÍ CÍLŮ**

#### **3.1 Cíle projektu**

Cílem je navrhnout celkové řešení pro stolní 3D tiskárnu Prusa i3 s poznatky získanými v teoretické části této práce. Praktická část je zaměřena na konkrétní řešení opláštění tiskové komory, držáku cívky s materiálem, uložení zdroje, vytvoření úložného prostoru s důrazem na efektivní práci s prostorem. Součástí praktické části je také tvarové řešení lamel s ohledem na estetický výraz celého objektu.

#### **3.2 Koncept navrhovaného řešení a využití**

Tato práce je zaměřena na tvorbu uceleného řešení existující 3D tiskárny v reakci na aktuální trendy a zároveň na nastínění možných budoucích trendů. Ambicí je chápat tiskárnu jako objekt lidského zájmu, který by neměl být ukrytý v dílně, ale který má potenciál být nedílnou součástí prostředí, ve kterém lidé pracují a žijí. Touto cestou se může technologie 3D tisku zpopularizovat a přiblížit se široké veřejnosti.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 FUNKČNÍ ZLEPŠENÍ TISKU

Kvalita tisku u hobby 3D tiskáren je často kolísavá. Tato skutečnost může být dána špatným software nastavením, špatně provedenou kalibrací tiskové plochy či nízkou teplotou trysky/vyhřívané podložky. Tyto nedostatky však lze poměrně jednoduše eliminovat. Jedním ze zásadních faktorů pro výslednou úroveň tisku je schopnost udržet model po čas tisku v konstantním klimatu. Velká část tiskáren toto neumožňuje čistě z důvodu absence uzavřené tiskové komory a tudíž není během procesu tisku chráněna vůči fluktuaci teploty zapříčiněné vlivem proudícího vzduchu. Na model může mít tato skutečnost fatální vliv. (Obr. 39)



*Obr. 39: Srovnání kvality tisku*

Při tisku s příliš rychlým chladnutím materiálu se mohou objevit malé otvory mezi jednotlivými vlákny a v horším případě se nemusí jednotlivé vrstvy na sebe uchytit, což může vést až k ucpaní trysky. Pokud tiskárna disponuje komorou, která brání nárazovému proudění vzduchu z okolí, vytvoří se tak stabilní klima a kvalita tisku přestane kolísat.

## 5 VYTYČENÍ ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

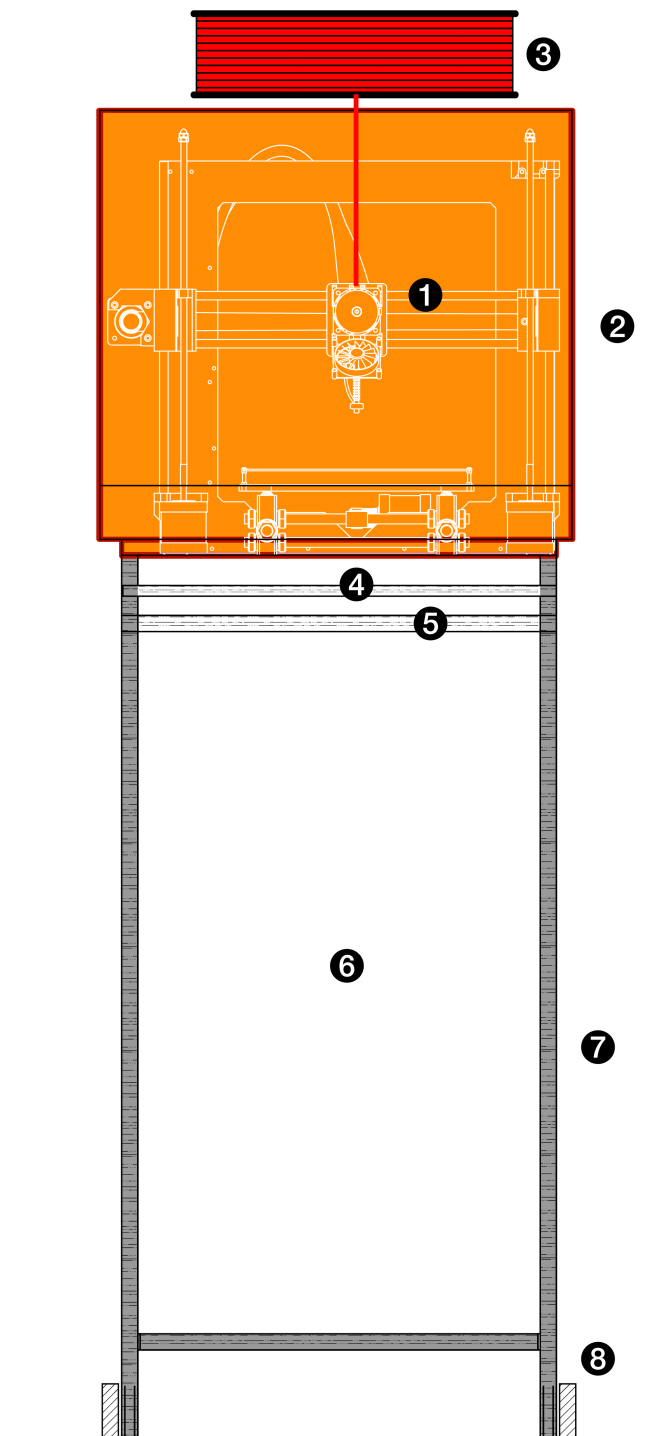
V rámci vytvoření pracovní stanice pro 3D tiskárnu je potřeba definovat omezení a rozsah práce. Jedná se o následující prvky: 1 — usazení 3D tiskárny v prostoru tiskové komory a její vyjímatelnost, přístup do prostoru tiskové komory 2 — okrytování tiskové komory pomocí systému lamel, vytvoření ochrany před fluktuací teploty a prouděním vzduchu 3 — prostor a podavač pro uloženou cívku s materiálem 4 — úložný prostor pro externí zdroj 3D tiskárny 5 — prostor pro uložení notebooku 6 — úložný prostor pro materiál, nářadí a další 7 — tvorba nosného skeletu z profilů 8 — zajištění případné mobility kolečky. (Obr. 40)

V rámci nosné architektury stojanu pro tiskárnu je třeba dodržet možnost jejího vyjmutí (např. při přemísťování, údržbě), což úzce souvisí z úložným prostorem pro cívku s materiálem, která je umístěna nad samotnou konstrukcí 3D tiskárny. Toto řešení je ideální z hlediska zavádění plastu do trysky a také s ohledem na snahu o chytrou práci s prostorem celé pracovní stanice. Hlavní manipulační otvor se nachází v čele tiskárny, horní přístup skrze odnímatelný držák na cívku slouží čistě k údržbě.

Celý kryt je tvořen z lamel, které zapadají do nosných prvků. Inspirace a řešení jejich tvaru je rozebráno v samostatné kapitole.

Pod pracovní rovinou, na které je usazena 3D tiskárna, se nachází elektrický zdroj. Zdroj je uložen tak, aby využil vzniklého prostoru v konstrukci pod tiskárnou, díky čemuž je kompletně skryt. V této části se také nachází prostor pro odložení notebooku či tabletu s ovládacím softwarem k tiskárně.

Zbytek stojanové konstrukce je využit jako úložný prostor pro materiál, nářadí apod. Konstrukce je tvořena z ocelových profilů pro zajištění dostatečné tuhosti a stability.

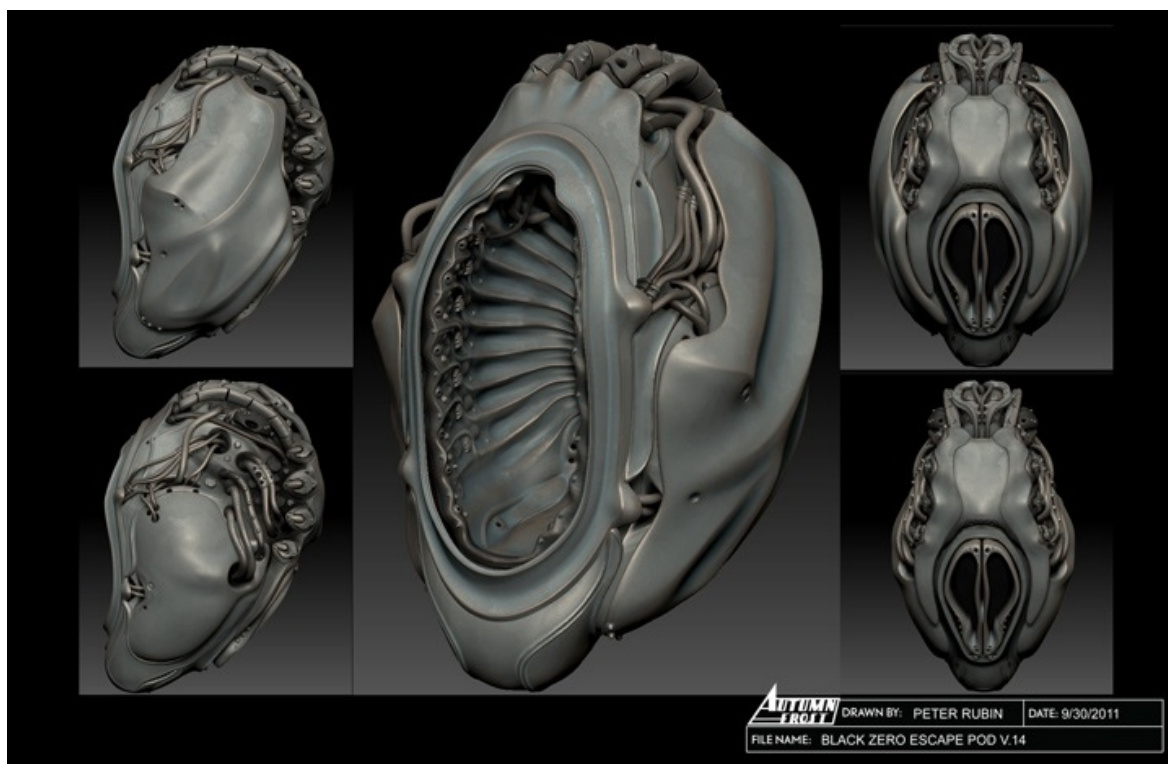


Obr. 40: Ilustrativní grafické znázornění rozsahu řešení

## 6 DESIGNOVÉ ŘEŠENÍ

### 6.1 Tvarová inspirace

Rozmach technologie 3D tisku poukazuje na možný trend odklonění se od tradičních metod rukodělné manufaktury k metodám digitálním, kdy počítač kompletně ovládá proces výroby. V reakci na toto je třeba zvážit zažitý přístup k tvarování a vůbec k estetickému výrazu tvaru. Inspirací může být svět filmu a tvorba concept artistů, snažících se nastínit estetiku budoucnosti. (Obr. 41)



Obr. 41: Návrh únikového modulu z filmu *Man Of Steel*

Nástroje jako parametrické navrhování v prostředí Grasshopper k tvorbě futuristické estetiky přímo vybízejí. Zvolené tvarové řešení krytu zrcadlí snahu zajímavým způsobem odrážet fenomén 3D tisku jako technologie blízké budoucnosti. Mezi tvarem lamel a principem tisku je přímá paralela, kdy je organický 3D tisk vrstvením plastového vlákna v principu totéž, jako tvorba organických tvarů vrstvením plochy.

### 6.1.1 Lamely

Tvar lamel vychází z křivky jako dělicího řezu. Vzniklé dva segmenty jsou repetitivně střídány po obvodu a tvoří organický tvar krytu. Kryt je složen ze 45 segmentů a dalších 10 segmentů je použito pro dvířka. Orientace lamel je vertikální pro eliminaci akumulace prachu. Lamely opisují tvar základny, každý segment je vyrotován o 30° tak, aby se navzájem překrýval se sousedícím a minimalizoval náhlé změny v proudění vzduchu. (Obr. 42)



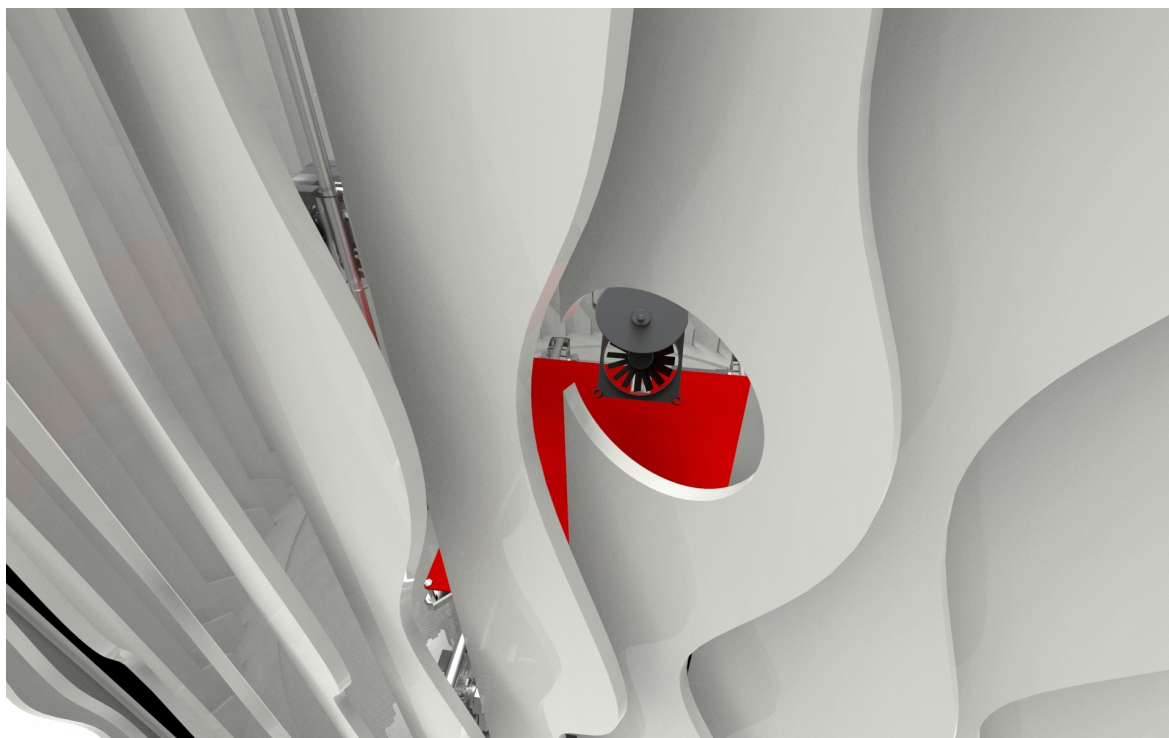
Obr. 42: Workstation — tvarové řešení, vizualizace

Lamely jsou napevno ukotveny v horním a spodním nosném dílu. Lamelový kryt lze odpojit od stolku v případě údržby tiskárny. Přístupový otvor je řešen jako křídlové dveře ukotvené na čepu. (Obr. 43) Dvířka jsou navržena na stejném principu lamel jako zbytek krytu. V určitých místech krytu je tvar lamel přizpůsoben tak, aby při překrytí vytvořil kukátko do tiskové komory pro eliminaci otevírání dvířek v případě kontroly tisku. (Obr. 44)





*Obr. 43: Křídlové dveře tiskárny, vizualizace*



*Obr. 44: Detail průhledového otvoru, vizualizace*

### 6.1.2 Základna

Funguje v kontrastu vůči vizuálně silné části s lamelami. Je utvořena ze svařeného profilu, pracuje s geometricky čistou estetikou horizontál a vertikál. Základna je navržena čistě funkčně, bez jakéhokoliv prostorového ornamentu, čímž dává vyniknout horní části s tiskárnou. Důležitým aspektem byla snaha o opticky odlehčenou konstrukci. (Obr. 45) Základna půdorysně vychází ze čtyř bodů. Ve spodní části jsou na dvou nohách umístěna kolečka pro mobilitu celé pracovní stanice. Další dvě nohy fungují jako brzdy. (Obr. 46)



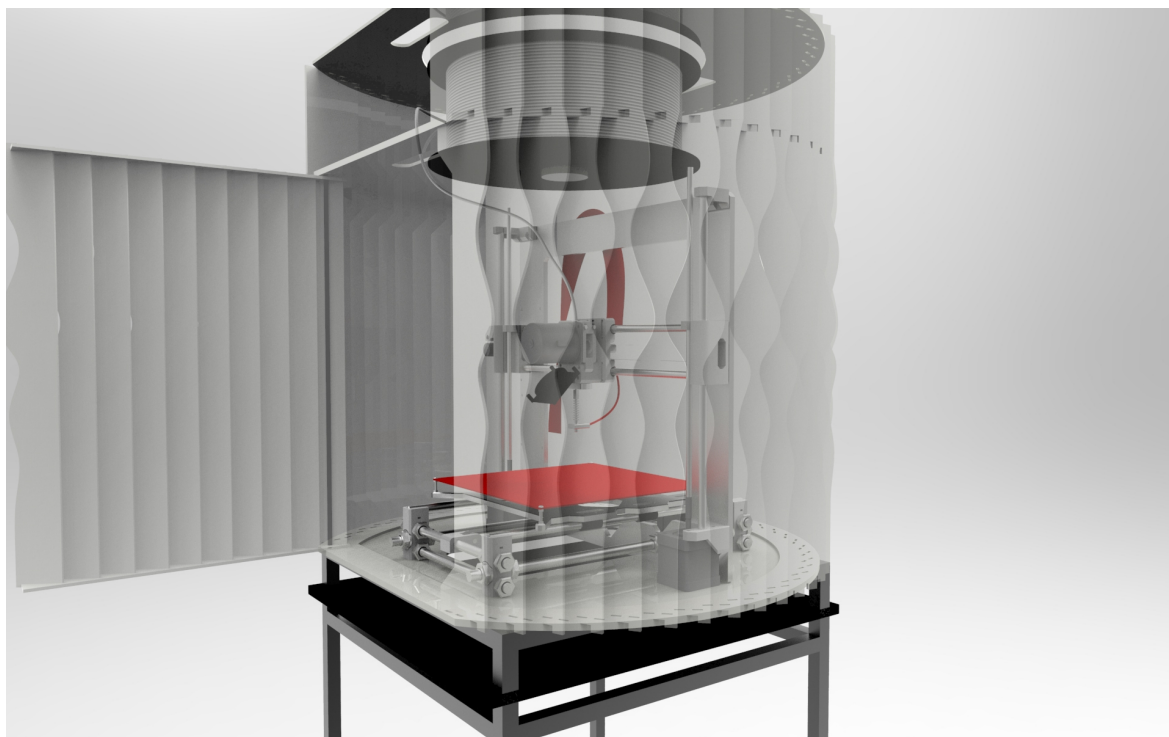
*Obr. 45: Celkové řešení, vizualizace*



*Obr. 46: Mobilitu tiskárny zajišťují kolečka, umístění v interiéru, vizualizace*



*Obr. 47: Jednotlivé konstrukční části, vizualizace*

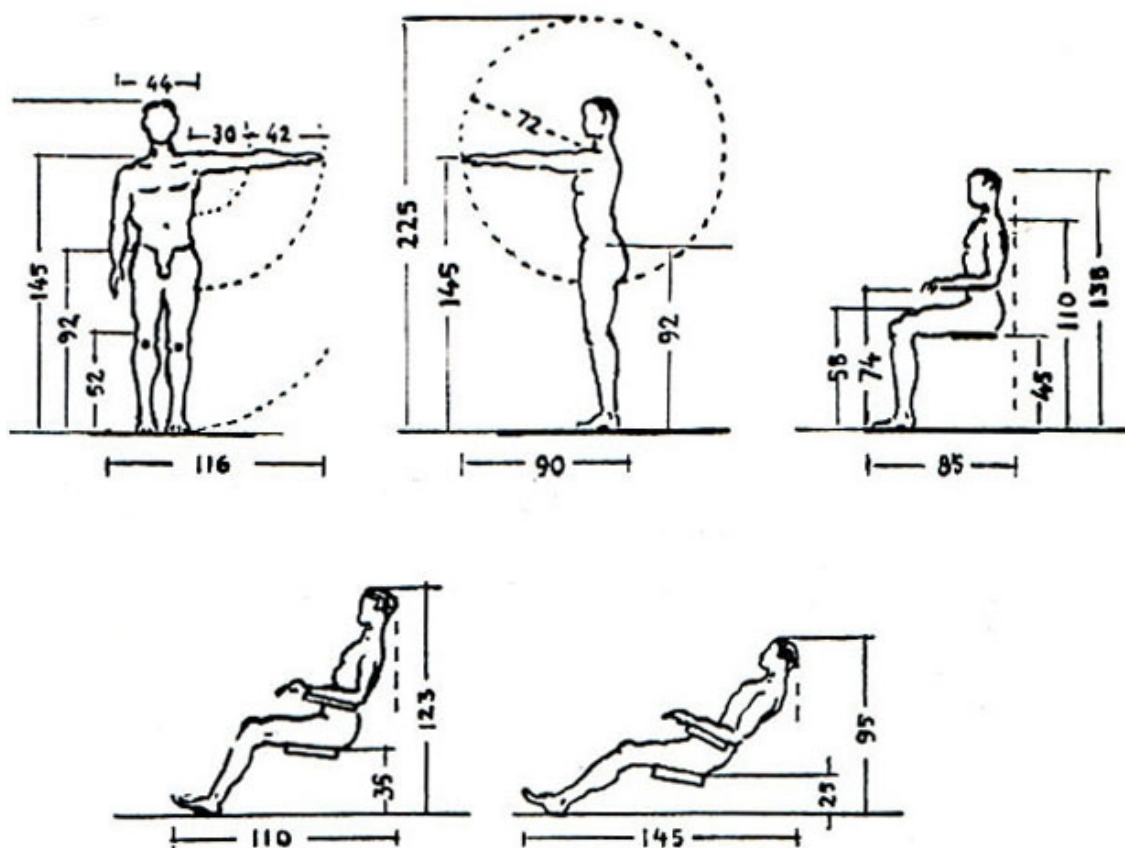


*Obr. 48: Umístění tiskárny v krytu, vizualizace*

## 7 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

### 7.1 Rozměry

Důležitým prvkem designu pracovní stanice pro 3D tiskárnu jsou její rozměry. Všechny části řešení musí být navrženy v reakci na lidskou výšku a respektovat znalosti o antropometrii. Je třeba vycházet ze základních ergonomických pravidel, jako je výška pracovního stolu vůči sedící a stojící postavě, což je aplikováno ve výšce umístění tiskové plochy tiskárny. (Obr. 49)



Obr. 49: Schéma výškových hodnot lidského těla v různých polohách

Od této hodnoty se dále odvíjí výškové umístění prostoru na odložení notebooku, celková výška stanice s cívkou apod. Různými skupinami rozměrů, jako je rozměr stojícího člověka, rozměr sedícího člověka, rozměr dlaně a prstů, rozměr nohy a rozměr hlavy se zabývá norma DIN 33402-2. [14]

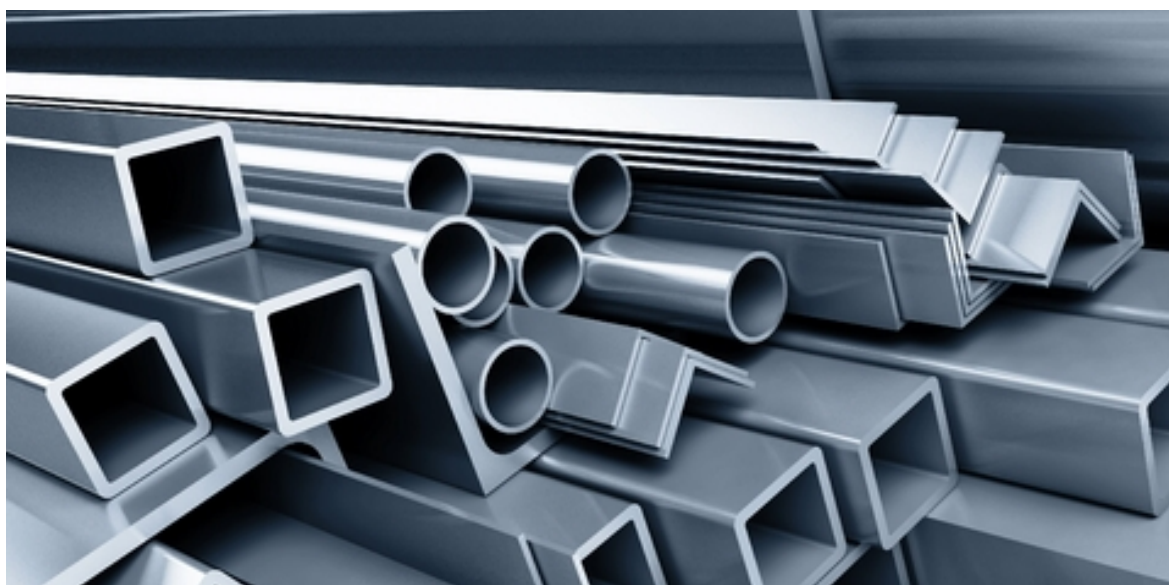


Výška napřážené ruky ve stoje většinou nepřesahuje 145 cm, výška pracovní desky pro sedící postavu je v závislosti na typ (pevná či variabilní) mezi 720 mm až 760 mm.

Z těchto údajů vychází výška odkládacího prostoru pro notebook 80 cm nad zemí a výška tiskové plochy 90 cm nad zemí pro snazší manipulaci s hotovým tiskem. Rozměry záměrně překračují o pár centimetrů standardy, jelikož se očekává používání stanice spíše ve stoje. Umístění úložného prostoru na cívku nepřesahuje výšku 165 cm.

## 7.2 Použité materiály a technologie

Architektura pracovní stanice vychází ze dvou hlavních částí, nosného stojanu a krytu. Toto dělení je také v rámci použitého materiálu. V rámci stojanu je použit kovový profil, který nabízí velkou tuhost s minimem materiálu. Konstrukce může být díky tomu vizuálně i hmotnostně odlehčená. Kovový skelet odpovídá estetice tiskárny Prusa i3. Na českém trhu existuje široká nabídka hutního materiálu, od otevřených a uzavřených profilů přes tyčovou ocel apod. (Obr. 50)



Obr. 50: Různé druhy ocelových profilů

Výhodou je dlouhá životnost, materiálová i cenová dostupnost. Pro osazení v interiéru stačí ošetřit ocel klasickým nátěrem. Dalšími možnými úpravami je galvanické či žárové pozinkování, použití práškové vypalovací barvy (komaxit) atd. Profily lze spojovat svařováním. Mobilitu konstrukce zajistí dvojice pojezdových koleček. Na trhu se vyskytuje

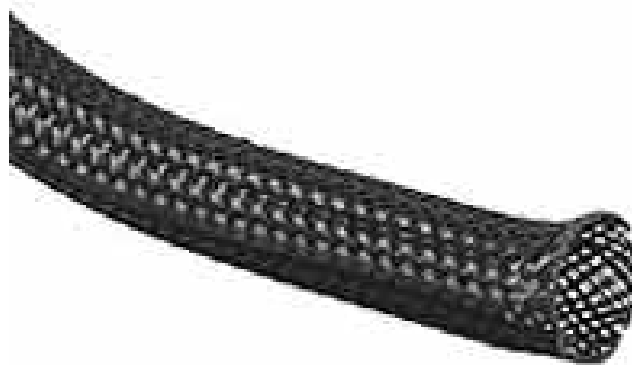


velké množství řešení, od variant nábytkových po speciální nerezové a designové.  
(Obr. 51)



*Obr. 51: Varianty nábytkových a přístrojových pojezdových koleček*

K zakrytí kabeláže tiskárny slouží různé druhy bužírky. Vizually zajímavou je tzv. pletená bužírka na vodiče. Bužírky a izolační trubičky mohou být smrštitelné či nesmrštitelné, vyrobené např. ze skelného vlákna. Bužírky se dodávají ve velkém množství barev.  
(Obr. 52)



*Obr. 52: Pletená bužírka*

System lamel je navržen tak, aby šel snadno vyrobit na dostupných CNC strojích jako je fréza Zund či řezací laser. Profily lamel jsou vyrobeny z plošného materiálu typu PMMA (např. Perspex).

Polymethylmetakrylát (PMMA) běžně nazývaný "plexisklo" má skvělé optické vlastnosti a vyrábí se v široké škále barevných provedení. Standardní rozměr desek je 3x2030x3050 mm. [15]

Materiál Perspex existuje ve velkém počtu variant — plexisklo čiré, opálové, satinované, fluorescentní a další. (Obr. 53)



*Obr. 53: Barevné varianty materiálu Perspex*

### **7.3 Vyrobitelnost**

Návrh samotný i použité materiály byly vybrány s ohledem na výrobu reálného modelu. Záměrem není vytvořit sériově vyráběný produkt, tudíž není potřeba řešit optimalizaci výroby. Jedná se o solitér, který ověřuje designový přístup a celkovou ideu této práce, tudíž časová náročnost výroby není relevantní.

## 8 ZÁVĚR

Cílem praktické části bakalářské práce bylo vytvořit model v reálné velikosti sloužící jako ideová sonda do budoucích trendů v rámci interiérových prvků a jejich variability. Teoretická část je zaměřena na rešerši trhu, seznámení se s historií technologie 3D tisku a uvedení tohoto odvětví do kontextu života lidí v 21. století. Všechny tyto skutečnosti byly aplikovány v tvorbě praktické části. Autor shledává obohacujícím část o patentových a dalších omezeních, stejně jako kapitolu zaměřenou na historii technologie RepRap. Projekt autora obohatil ve smyslu vytvoření důsledné dokumentace, rešerše a následné realizace návrhu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Stereolithography: Technology. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereolithography>
- [2] THOMPSON, Rob. *Manufacturing processes for design professionals*. New York: Thames, c2007, s. 232-241. ISBN 0500513759.
- [3] HOMOLA, Jan. Konstruktor: CAD, CAM, PLM, obrábění, 3D tisk, výroba, automatizace. *Kvalitní 3D tiskárny MakerBot pořídíte překvapivě levně*. 2014, roč. 2014, č. 1, s. 18-19. DOI: 1805-8590.
- [4] PolyJet Technology: How PolyJet 3D Printing Works. *Stratasys: For a 3D World* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technology/polyjet-technology>
- [5] Laminated object manufacturing. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated\\_object\\_manufacturing](http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing)
- [6] RepRap Project. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014, 13. 4. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap\\_Project](http://en.wikipedia.org/wiki/RepRap_Project)
- [7] PRŮŠA, Josef. Story of simpler Mendel: PLA bushings and X-axis. In: RepRap: Blog [online]. 2010 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://blog.reprap.org/2010/10/story-of-simpler-mendel-pla-bushings.html>
- [8] PRŮŠA, Josef. Prusa Iteration 2. In: *RepRap: Blog* [online]. 2011 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://blog.reprap.org/2011/11/prusa-iteration-2.html>
- [9] FAIRS, Marcus. Power to the people. *Print Shift*. 2014, č. 1, s. 9-13.
- [10] FAIRS, Marcus. Des Hi-Res. *Print Shift*. 2014, č. 1, s. 34.
- [11] *Printing Things Visions and Essentials for 3D Printing*. Berlin: Die Gestalten Verlag, 2014, s. 188. ISBN 9783899555165.

- [12] SWANSON, William, Patrick TURLEY, Paul LEAVITT, Peter KARWOSKI, Joseph LABOSSIERE a Robert SKUBIC. *High temperature modeling apparatus* [patent]. USA. Užitený vzor, US6722872 B1. Uděleno Apr. 20, 2004. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US6722872>
- [13] Heated build chamber. In: *RepRap Forums* [online]. 2013 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://forums.reprap.org/read.php?1,245938,246511>
- [14] DIN 33402-2. *Ergonomics - Human body dimensions: Part 2: Values*. Německo: Deutsches Institut Fur Normung E.V., 2005.
- [15] Plexisklo (PMMA) lité. *Desky plexisklo prodej, polykarbonát, PVC - Axom Kladno* [online]. 2014 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.desky-plexisklo.cz/o/Plexisklo--PMMA--lite>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer
Apod.	A podobně
Apr.	April (anglicky duben)
Atd.	A tak dále
CAD	Computer Aided Design
Cit.	Citováno
CNC	Computer Numerical Control
DIY	Do It Yourself (anglicky udělej si sám)
DMSL	Direct Metal Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
FFF	Fused Filament Fabrication
FDM	Fused Deposition Modeling
GNU	Gnu is Not Unix
GPL	General Public License
Inc.	Incorporated
LOM	Laminated Object Manufacturing
Ltd.	Limited (anglicky akciová společnost)
MAK	Musem für Angewandte Kunst ve Vídni
Max.	Maximálně
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ml.	Mladší
Např.	Například
Obr.	Obrázek
PP	Powder Printing
PETT	Polyethylentereftalát
PLA	Kyselina polyléčná
PMMA	Polymethylmethakrylát
RepRap	Replicating Rapid Prototyper
SLA	Stereolitography
SLM	Selective Laser Melting
SLS	Selective Laser Sintering
TPU	Termoplastický polyuretan
Tzv.	Takzvaně, takzvaný



## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Ptačí budka, komunita Printednest,  
<http://www.pinterest.com/pin/485614772292778029/>
- Obr. 2: Svítidlo Lotus.MGX, Janne Kytanen,  
[http://static.dezeen.com/uploads/2013/08/dezeen\\_I-started-my-company-with-a-completely-bogus-business-plan-Janne-Kytanen\\_03.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2013/08/dezeen_I-started-my-company-with-a-completely-bogus-business-plan-Janne-Kytanen_03.jpg)
- Obr. 3: Šaty z kolekce Voltage, Iris van Herpen, Julia Koerner  
<http://i.materialise.com/blog/wp-content/uploads/2013/02/Voltage-show-3-Iris-van-Herpen.jpg>
- Obr 4: Polstrování z 44 různých digitálních materiálů uvnitř dřevěné konstrukce, Neri Oxman  
[http://static.dezeen.com/uploads/2014/04/Neri-Oxman-3D-Chaise-Longue\\_dezeen\\_1ban.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2014/04/Neri-Oxman-3D-Chaise-Longue_dezeen_1ban.jpg)
- Obr. 5: Pomeranč, Mcor Technologies  
[http://ne3dp.com/yahoo\\_site\\_admin/assets/images/DSC\\_9378.67131201\\_large.jpg](http://ne3dp.com/yahoo_site_admin/assets/images/DSC_9378.67131201_large.jpg)
- Obr. 6: Detail zavěšení kol, Zcorp  
[http://wpcore.mpf.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2011/08/Zprinter\\_650\\_0326\\_opt.jpeg](http://wpcore.mpf.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2011/08/Zprinter_650_0326_opt.jpeg)
- Obr. 7: Autoři se svými výtvoři, vlevo Adrian Bowyer s tiskárnou — rodičem, vpravo Vik Olliver s tiskárnou — potomkem  
<http://expansionarytimes.files.wordpress.com/2008/06/adrian20bowyer20vik20olliver.jpg>
- Obr. 8: RepRap verze 1.0 Darwin  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/ff/f8/Reprap\\_Darwin.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/ff/f8/Reprap_Darwin.jpg)
- Obr. 9: RepRap verze Mendel  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/RepRap\\_'Mendel'.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/RepRap_'Mendel'.jpg)
- Obr. 10: RepRap verze Huxley  
<http://reprap.org/mediawiki/images/thumb/6/60/Huxley.jpg/500px-Huxley.jpg>
- Obr. 11: RepRap verze Prusa–Mendel (iteration 2)  
<http://reprap.org/mediawiki/images/4/4a/Assembled-prusa-mendel.jpg>
- Obr. 12: RepRap Prusa i3  
<http://reprap.org/mediawiki/images/5/55/Prusai3-metalframe.jpg>
- Obr. 13: RepRap Rostock  
<http://reprap.org/mediawiki/images/0/07/Rostock.jpg>
- Obr. 14: RepRap Pro Ormerod  
[https://reprappro.com/wp-content/uploads/2013/11/ormerod\\_kit\\_big1.png](https://reprappro.com/wp-content/uploads/2013/11/ormerod_kit_big1.png)
- Obr. 15: Kompletní Prusa i3
- Obr. 16: Single sheet frame Prusa i3  
<http://prusaresearch.com/public/products/sparkling-blue-prusa-i3-frame-big.png>

- Obr. 17: Endless Pulse Low Chair, Dirk Vander Kooij,  
<http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/03/VanDerKooij.jpg>
- Obr. 18: KamerMaker, DUS Architects  
[http://planet.vectorworks.net/wp-content/uploads/2013/07/DUSarchitects\\_inside\\_kamermaker\\_72dpi.jpg](http://planet.vectorworks.net/wp-content/uploads/2013/07/DUSarchitects_inside_kamermaker_72dpi.jpg)
- Obr. 19: Solar Sinter, 3D tisk písku za použití slunce, Markus Kayser  
[http://www.markuskayser.com/files/gimms/22\\_solarsiter018.jpg](http://www.markuskayser.com/files/gimms/22_solarsiter018.jpg)
- Obr. 20: Till You Stop, Zdobení korpusu dortu, Mischer'Traxler  
[http://static.dezeen.com/uploads/2010/10/dzn\\_Till-You-Stop-by-MischerTraxler-1.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2010/10/dzn_Till-You-Stop-by-MischerTraxler-1.jpg)
- Obr. 21: „Kostka“ cukru (The Sugar Lab), Kyle a Liz von Hasseln  
[http://static.dezeen.com/uploads/2013/07/dezeen\\_The-Sugar-Lab-by-Kyle-and-Liz-von-Hasseln-banner.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2013/07/dezeen_The-Sugar-Lab-by-Kyle-and-Liz-von-Hasseln-banner.jpg)
- Obr. 22: MakerBot Replicator 2, převzato z 3D-tisk.cz  
<http://www.3d-tisk.cz/wp-content/uploads/2013/06/makerbot-replicator-2.jpg>
- Obr. 23: MakerBot Replicator Z18  
<http://www.3d-tisk.cz/wp-content/uploads/2014/03/makerbot-replicator-z18-podstavec.jpg>
- Obr. 24: Místnost s průmyslovými FDM 3D tiskárnami  
[http://about3dprinters.com/uploads/3/2/0/5/3205232/3688791\\_orig.jpg](http://about3dprinters.com/uploads/3/2/0/5/3205232/3688791_orig.jpg)
- Obr. 25: Tiskárna Buccaneer  
<http://static1.businessinsider.com/image/51acf4cd69beddc94f000000/this-is-the-most-affordable-3d-printer-you-can-buy.jpg>
- Obr. 26: Tiskárna Form 1  
[https://s3.amazonaws.com/ksr/assets/000/165/359/2631d7c4135c03a50ede06537c8e806a\\_large.jpg?1347939038](https://s3.amazonaws.com/ksr/assets/000/165/359/2631d7c4135c03a50ede06537c8e806a_large.jpg?1347939038)
- Obr. 27: Profi3Dmaker, 3D Factories  
[http://www.3dfactories.com/sites/default/files/gallery/2013/09/profo3dmaker\\_web.jpg](http://www.3dfactories.com/sites/default/files/gallery/2013/09/profo3dmaker_web.jpg)
- Obr. 28: DeeGreen, společnost be3D  
<http://www.be3d.cz:8080/item/dc2c6dad-9c30-4a48-846b-b3dbea4d49a4/files/cover?width=220&height=220>
- Obr. 29: Cube 2, Společnost Cubify  
<http://static.makerwise.com/static/img/3d-printer/orig/312/cubify-cube-01.jpg>
- Obr. 30: CubeX Trio, Společnost Cubify  
[https://protein-publisher-prod.s3.amazonaws.com/uploads/medium\\_5f0J8JcwSLatAWyX9DmI](https://protein-publisher-prod.s3.amazonaws.com/uploads/medium_5f0J8JcwSLatAWyX9DmI)
- Obr. 31: Grafické znázornění procentuálního využití Rapid Prototypingu ve světě
- Obr. 32: Grafické znázornění procentuálního využití hobby 3D tiskáren
- Obr. 33: Grafické znázornění procentuálně nepoužívanějších značek 3D tiskáren
- Obr. 34: Rezidenční ateliér Tonlab, Praha

- Obr. 35: Open–source komunitní projekt samostojící tiskárny Illios 3D  
*<http://www.3ders.org/images/sla-hd-printer-1.jpg>*
- Obr. 36: Tiskárna Prusa-Mendel zakrytovaná MDF deskami  
*<http://forums.reprap.org/file.php?1,file=19214,filename=cabinet.jpg>*
- Obr. 37: Dřevěná knihovna s integrovaným bluetooth reproduktorem z mramoru, Studio Clique  
*[http://static.dezeen.com/uploads/2014/05/Clique-editions-at-Ventura-Lambrate-in-Milan\\_dezeen\\_6sq.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2014/05/Clique-editions-at-Ventura-Lambrate-in-Milan_dezeen_6sq.jpg)*
- Obr. 38: Princip workstation - mobilní stolek s úložným prostorem, Studio Ci  
*<http://www.designboom.com/tools/WPro/images/10v/ci1.jpg>*
- Obr. 39: Srovnání kvality tisku  
*[http://forums.reprap.org/file.php?178,file=15519,filename=close\\_up.JPG](http://forums.reprap.org/file.php?178,file=15519,filename=close_up.JPG)*
- Obr. 40: Ilustrativní grafické znázornění rozsahu řešení
- Obr. 41: Návrh únikového modulu z filmu Man Of Steel  
*[http://www.ironroosterstudios.com/\\_Media/mos003\\_med\\_hr.jpeg](http://www.ironroosterstudios.com/_Media/mos003_med_hr.jpeg)*
- Obr. 42: Workstation — tvarové řešení, vizualizace
- Obr. 43: Křídlové dveře tiskárny, vizualizace
- Obr. 44: Detail průhledového otvoru, vizualizace
- Obr. 45: Celkové řešení, vizualizace
- Obr. 46: Mobilitu tiskárny zajišťují kolečka, umístění v interiéru, vizualizace
- Obr. 47: Jednotlivé konstrukční části, vizualizace
- Obr. 48: Umístění tiskárny v krytu, vizualizace
- Obr. 49: Schéma výškových hodnot lidského těla v různých polohách  
*<http://www.vaartips.nl/images/ergonomie1.jpg>*
- Obr. 50: Různé ocelové profily  
*<http://www.prespor.sk/images/hutny%20material.jpg>*
- Obr. 51: Varianty nábytkových a přístrojových pojezdových koleček,  
*<http://www.navratilsro.cz/images/Pristrojova.png>*  
*<http://www.navratilsro.cz/images/Nabytkova.png>*
- Obr. 52: Pletená bužírka  
*<http://images.cableorganizer.com/techflex/nylon-expandable.jpg>*
- Obr. 53: Barevné varianty materiálu Perspex  
*<http://www.perspex.co.uk/getmedia/1b1bc546-5d57-49a8-80d1-7996068574ed/Perspex-Spectrum-LED/?width=942&height=411&ext=.jpg>*

## SEZNAM PŘÍLOH

[P1] Obsah datového CD-ROM 1

[P2] Obsah datového CD-ROM 2

## **PŘÍLOHA P I: OBSAH DATOVÉHO CD-ROM 1**

Příložený CD-ROM 1 obsahuje:

- Tuto bakalářskou práci ve formátu PDF a DOC



## **PŘÍLOHA P II: OBSAH DATOVÉHO CD-ROM 2**

Přiložený CD-ROM 2 obsahuje:

- Obrazovou dokumentaci bakalářského projektu