



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PROTOTYPU NABÍJECÍHO STOJANU METODOU FDM TISKU

PRODUCTION OF CHARGING DOCK ON FDM PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ VÁLEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Válek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba prototypu nabíjecího stojanu metodou FDM tisku

v anglickém jazyce:

Production of charging dock on FDM printer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popis funkce a požadovaných vlastností zvoleného prototypu. Zhodnocení možností výroby s orientací na metodu FDM. Návrh 3D modelu. Posouzení technologičnosti konstrukce součásti s ohledem na 3D tisk. Výroba prototypu a technicko-ekonomické zhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše problematiky
- volba metody řešení
- návrh 3D modelu
- zhodnocení technologičnosti konstrukce
- výroba prototypu
- technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.
2. CHOI, S.H. a S. SAMAVEDAM. Modelling and otimisation of Rapid Prototyping. Computers in industry. č. 47, s. 39-53. ISSN 166-3615.
3. NORTON, Robert L. Cam design and manufacturing handbook. New York: Industrial Press, 2002, 610 s. ISBN 0-8311-3122-5.
4. YAN, Xue a P GU. A review of rapid prototyping technologies and systems. Computer-Aided Design. roč. 28, č. 4, s. 307-318. ISSN 0010-4485.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Podstatou této bakalářské práce je popis zhotovení nabíjecího stojanu metodou FDM tisku. V práci je znázorněn proces, kterým musí vyráběný kus projít od virtuálního 3D návrhu, přes nastavení výroby v odpovídajícím softwaru až po jeho vlastní výrobu. Práce je ukončena ekonomickým zhodnocením a shrnutím vlastností procesu výroby.

Klíčová slova

Rapid Prototyping, model, Autodesk Inventor, FDM, 3D tisk, dobíjecí stojan

ABSTRACT

The essence of this bachelor's thesis is describe production of charging dock on FDM printer. The thesis virtually describes the whole process of manufacturing, from its 3D computer design, and setting up its production according to an applicable software, to its actual production. The thesis concludes with an economic evaluation and properties of the production process.

Keywords

Rapid Prototyping, Model, Autodesk Inventor, FDM, 3D print, Charging Dock

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁLEK, L. *Výroba prototypu nabíjecího stojanu metodou FDM tisku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba prototypu nabíjecího stojanu metodou FDM tisku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Lukáš Válek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Oskarů Zemčikovi, Ph.D. za zasvěcení do problematiky tématu a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
ÚVOD	9
1 FUNKCE NABÍJECÍHO STOJANU	10
1.1 Požadované vlastnosti prototypu.....	10
2 MOŽNOSTI VÝROBY	11
2.1 Metoda Fused Deposition Modeling - FDM	11
2.1.1 Možnosti a výhody technologie FDM	12
2.1.2 Materiály používané technologií FDM a jejich vlastnosti.....	13
2.2 Technologie vakuového lití.....	14
2.2.1 Přednosti technologie vakuového lití.....	15
3 NÁVRH MODELU	16
3.1 Autodesk Inventor	16
3.1.1 Použité příkazy při tvorbě modelu.....	16
3.2 Návrh konstrukce modelu	17
3.2.1 První varianta	19
3.2.2 Druhá varianta.....	19
3.2.3 Třetí varianta.....	20
4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE.....	21
4.1 Tvar součásti	21
4.2 Volba vhodného materiálu	21
4.3 Využití podpor	21
4.4 Podmínky geometrie součásti	22
5 VÝROBA PROTOTYPU	23
5.1 Program KISSlicer	23
5.2 Výběr vyráběné varianty	24
5.3 Výroba metodou FDM	27
5.4 Post-processing	28
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	30
6.1 Výpočet nákladů na výrobu prototypu metodou FDM	31
ZÁVĚR	32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	35

ÚVOD

Žijeme v době neustálého vývoje technických zařízení, jako jsou chytré telefony, PDA, navigace, hudební přehrávače, tablety a jiné moderní přístroje. Tato elektronická zařízení se stávají stále žádanějším zbožím, bez kterého si asi jen málokdo z nás již dokáže představit svůj život. Tyto přístroje přináší různé možnosti využití, jako snadná komunikace, připojení na internet, navigační systém, poslech hudby a v neposlední řadě fotografování, čímž dokáží usnadnit uživateli mnohé každodenní činnosti.

Veškerá tato zařízení má společný způsob přívodu energie, která je shromážděna v baterii každého přístroje. Výdrž baterií se neustále zvyšuje, ale díky značně rostoucí velikosti displeje je spotřeba energie výrazná. Baterie se neustále vybíjejí, a proto jim musí být energie opět dodána. K tomuto účelu slouží nabíjecí stojan, kam se jednoduše umístí zařízení pro pohodlné doplnění elektrické energie.

Tato práce popisuje zhotovení nabíjecího stojanu metodou FDM tisku. Díky tomuto additivnímu procesu je získána možnost výroby tvarově složitých součástí ve vysoké kvalitě za poměrně krátkou dobu [1].



Obr. 1 Nabíjení elektronických zařízení pomocí dokovacích stanic [2,3].

1 FUNKCE NABÍJECÍHO STOJANU

Nabíjecí stojan známý také pod názvem dokovací stanice je všestranný pomocník, který dokáže usnadnit každodenní použití elektronických přístrojů, jako jsou smartphony, tablety, palmtopy, hudební přehrávače, GPS navigace, e-knihy a další zařízení. Universálnost stojanu spočívá v možnostech jeho využívání. Po připojení přístroje nabíjecím kabelem funguje stojan jako dobíjecí stanice, zároveň lze použít pro připojení k počítači a snadno tak přenášet videa, mp3, fotografie a jiná data. Další nespornou výhodou je schopnost práce na přístroji při jeho dobíjení a tak je poskytnuto například pohodlné sledování filmů nebo prohlížení internetu, zatímco je k zařízení dodávána energie.

Současný trh nabízí velkou řadu různých dobíjecích stanic (viz. obr. 1.1), není však jednoduché najít právě takový stojan, který je ideální pro konkrétní elektronické zařízení a současně bude vyhovující představě i potřebám jednotlivých uživatelů.



Obr. 1.1 Ukázky různých druhů nabíjecích stojanů [4,5,6,7].

1.1 Požadované vlastnosti prototypu

Navrhovaný prototyp musí splnit určité podmínky, aby odpovídal požadovaným vlastnostem. Námi konstruovaný stojan bude určen pro uživatele mobilních telefonů značky Lenovo typu A760, A690, A660, A390 a pro jiné mobilní zařízení se souhlasnými rozměry a vstupem pro micro USB popřípadě mini USB konektor. Jedním z nejdůležitějších vlastností je praktičnost a dostatečná stabilita nabíjecího stojanu. Dalším požadavkem je originalita a tím předpokládaný netradiční design výrobku.

2 MOŽNOSTI VÝROBY

Stojan lze vyrobit z různých druhů materiálů, výběr nejvhodnějšího materiálu pro výrobu je ovlivněn podle druhu požadovaných vlastností. Výroba může být provedena například z elegantního dřeva pro svoji stylovost, ze slitin hliníku s výhodou lehkosti a zároveň odolností nebo z mnoha druhů plastových hmot s různorodými vlastnostmi.

Kromě druhu materiálu ovlivňuje výrobu spousta jiných aspektů, jako je dostupnost, cena, sériovost, tvar produktu a schopnost jeho výroby. Předpokládaná tvarová složitost navrhovaného prototypu vylučuje použití konvenčních metod. V našem případě bude nabíjecí stojan vyráběn metodou Fused Deposition Modeling, která je vhodná pro výrobu tvarově složitých prvků. Tato metoda je ideálním řešením k tvorbě prototypů, ale použití této technologie se nevyplatí při větším množství požadovaných kusů. Pro výrobu menších sérií by byla použita technologie vakuového lití (viz. 2.2) a při požadavku na větší sériovost by bylo vhodné vyrábět součást vstřikováním plastů do kovových forem.

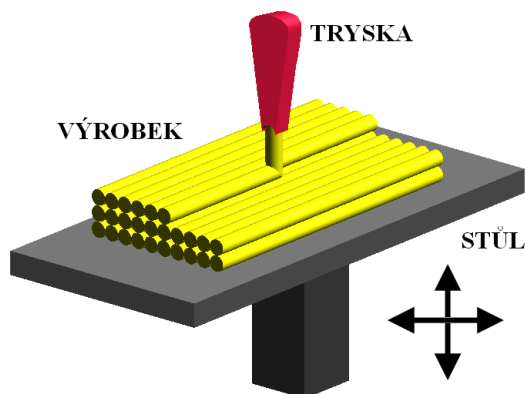
2.1 Metoda Fused Deposition Modeling - FDM

Rapid prototyping (RP) je soubor technologií výroby prototypů pomocí 3D tisku. Tento způsob výroby se začal vyvíjet před desítkami let. První produkce dílů metodou Rapid prototyping je datována kolem roku 1980. Od té doby již bylo vyvinuto více než 30 variant této technologie, využívající se v mnoha různých odvětvích [8,9,10].

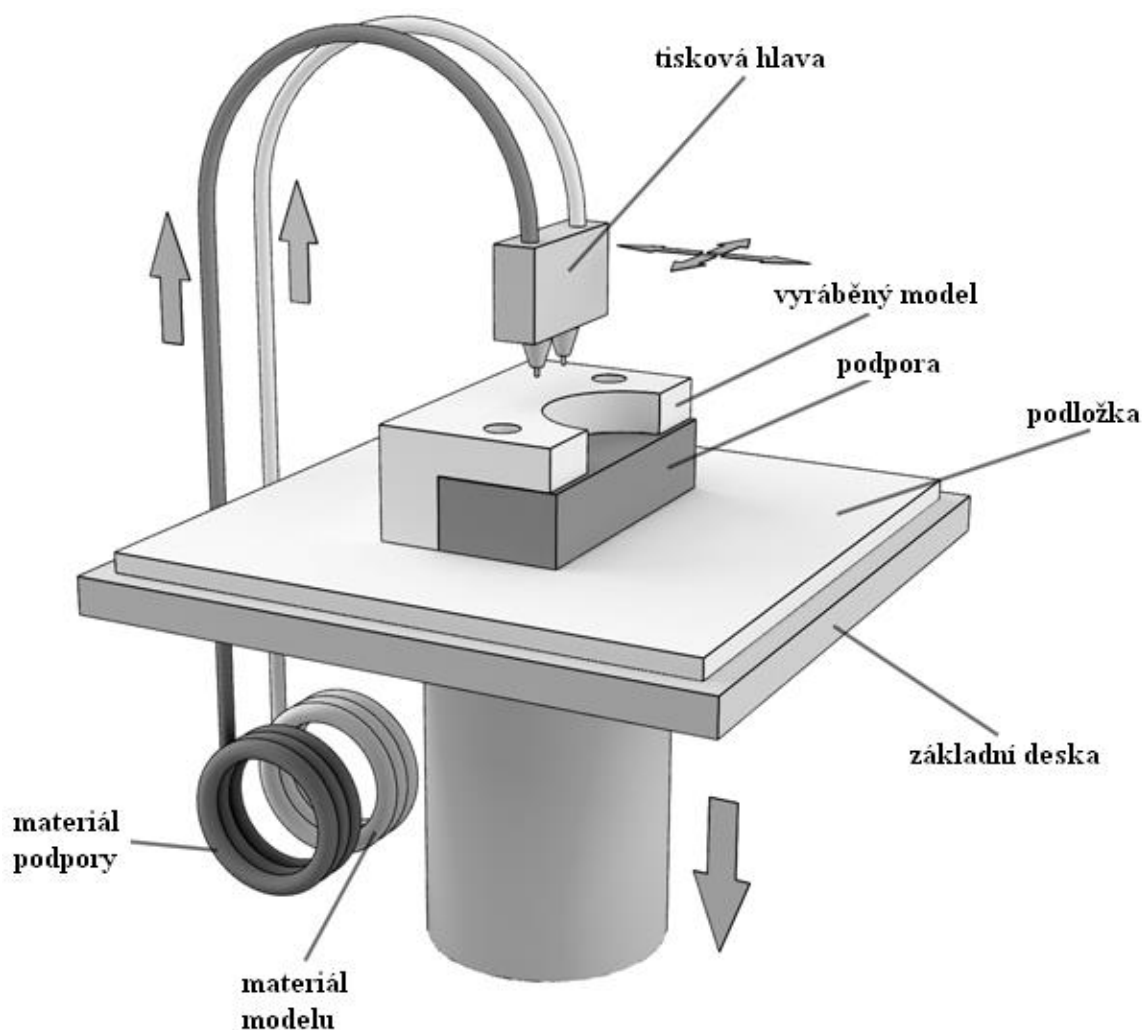
Jedna z metod technologie Rapid prototyping je metoda Fused Deposition Modeling (FDM), kterou vynalezl a patentoval v roce 1989 Scott Crump, spoluzakladatel firmy Stratasys, což je jeden z největších výrobců 3D tiskáren na světě [11].

FDM tiskárny pracují na principu rozložení virtuálního modelu do tenkých vrstev a jejich následné sestavení do reálného modelu v pracovním prostoru tiskárny. Materiál ve formě drátu je odvíjen z cívky a při průchodu tavící hlavicí dochází k roztavení tohoto materiálu. Model je stavěn na základní desce, která po dokončení každé vrstvy poklesne dolů právě o tloušťku dané vrstvy (viz. obr. 2.1). Cyklus neustálého kladení vrstev se opakuje, až je výrobek kompletní. Zjednodušeně se dá říct, že zařízení funguje na podobném principu jako tavná pistole [10,11,12,13].

FDM používá dva materiály ke spuštění tiskové úlohy: modelovací materiál, který představuje hotový kus, a podpůrný materiál, který se chová jako lešení. Jakmile je model dokončen, podpůrný materiál se odstraní a výrobek je připraven k dalšímu použití [13].



Obr. 2.1 Princip nanášení vrstev [14].



Obr. 2.2 Schéma principu metody FDM [15].

2.1.1 Možnosti a výhody technologie FDM

- Metodou Fused Deposition Modeling lze vyrobit téměř jakýkoliv tvar, včetně funkčních nerozebíratelných sestav.
- Technologie umožňuje výrobu mechanismů a jejich částí.
- Rychlé vytvoření dílů z 3D modelů - možnost získání funkčních částí v rozmezí hodin až dnů (podle složitosti a velikosti součástí).
- Velký rozsah výběru použitých materiálů pro výrobu součástí.
- Možnost provádět povrchové úpravy včetně pokovení součástí.
- FDM je moderní a velmi perspektivní technologie [12,13].

2.1.2 Materiály používané technologií FDM a jejich vlastnosti

Technologie FDM používá materiály ze skupiny termoplastů a vosky. Mezi nejčastěji používané termoplasty se řadí ABS a jeho deriváty, termoplastický polykarbonát (PC) a jeho deriváty a také materiál ULTEM 9085 [12,16].

ABS je levný a zároveň tvrdý termoplast s vysokou rázovou pevností, je jednoduše obrobitelný, ale nehodí se do venkovních podmínek, jelikož zde jeho vlastnosti degradují. Při použití ABS pro FDM tisk ztrácí minimálně 20% svých mechanických vlastností. Mezi deriváty ABS se řadí například ABSplus, který je mnohem stabilnější v ohledu deformací, smrštění i absorpce vlhkosti, je o 40% pevnější než standardní materiál ABS. Další derivát má název ABS-M30, ten je o 5 - 70% pevnější než standardní materiál ABS [12,16,17].

PC (polykarbonát) je pevný, odolný proti opotřebení a houževnatý termoplast. Je odolný proti nárazu a má vysokou pevnost v ohybu, pevnost spojení jednotlivých vrstev je velice vysoká a tím zaručuje delší životnost součástí. Díky své odolnosti proti tečení za vysokých teplot patří mezi nejlepší z termoplastů. Jeden z derivátů je sloučenina PC-ABS, kombinující pevnost PC a pružnost ABS, tím získává vynikající mechanické vlastnosti. Dalším z derivátů je biokompatibilní termoplast PC-ISO, který je tepelně odolný a velmi vhodný k použití ve farmaceutických, lékařských a potravinářských oborech [12,16,17].

PPSF/PPSU je materiál s největší teplotní a chemickou odolností z materiálů používaných technologií FDM. Ideální pro letecký, kosmický a automobilní průmysl, využívá se také pro lékařské účely [17].

ULTEM 9085 je vysoce výkonný materiál odolný působení plamene, vyvinutý pro dopravní, letecký, námořní a vesmírný průmysl. Z uvedených materiálů má nejprůzračnější poměr pevnosti k hmotnosti [17].

Vlastnosti popsaných materiálů jsou srovnány v tab. 2.1. Uvedené údaje jsou pouze orientační, ve srovnání s mechanickými vlastnostmi od jiných výrobců se tyto hodnoty mohou nepatrně lišit.

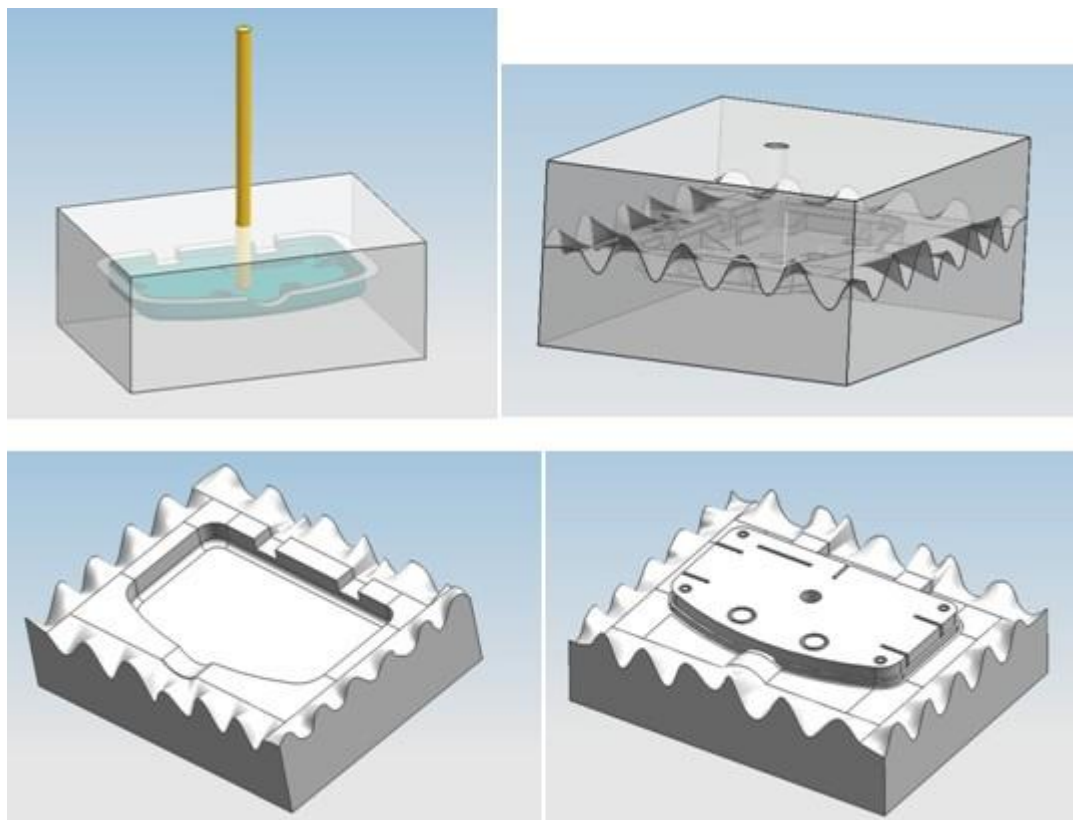
Tab. 2.1 Srovnání vlastností materiálů používaných technologií FDM [12,18].

Vlastnost Materiál	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Modul pevnosti v tahu [MPa]	Poměrné prodloužení [%]	Mez pevnosti v ohybu [MPa]	Modul pevnosti v ohybu [MPa]
ABS	22	1627	6	41	1834
ABSplus	36	2265	4	52	2198
ABS-M30	36	2413	4	61	2317
PC	68	2280	4,8	104	2234
PC-ABS	41	1917	-	68	1931
PC-ISO	57	998	4,3	90	2140
PPSF/PPSU	55	2068	3	110	2206
ULTEM 9085	72	2220	5,9	115	2507

2.2 Technologie vakuového lití

Technologie odlévání do silikonové formy ideálně doplňuje technologii 3D tisku metodou FDM. Díky uplatnění obou technologií je možnost vyrábět prototypové části v řádu jednotek až desítek kusů. Doba realizace vakuového lití je o něco delší než v případě technologie 3D tisku, ale výsledek je ohromující. Produkty vyrobené silikonovým tvářením mají kvalitu srovnatelnou s finálním výrobkem [19].

Princip odlévání do silikonové formy spočívá ve využití tzv. master modelu, k jeho výrobě je možné použít již zmiňovanou technologii FDM nebo může být vzorový model vyrobený jiným způsobem. Po pečlivé přípravě je silikon naléván kolem modelu, částečně ve vakuu, aby nedocházelo k zachycování vzduchových bublin mezi modelem a silikonem. Po vytvrzení je forma rozdělena podél dělicích rovin a vyjme se model, po kterém zůstane dutina pro vytváření kopií. Takto vyrobená forma pro lití je vícenásobně použitelná. Celý proces odlévání formy a odlévání jednotlivých odlitků probíhá ve vakuové komoře - odtud plyne název „vakuové lití“. Po vyjmutí odlitku z formy je provedena požadovaná povrchová úprava [19,20].



Obr. 2.3 Proces výroby silikonové formy pro vakuové lití [21].

Technologie odlévání do silikonové formy je vhodná zejména pro výrobu plastových prototypových dílů, dílů pro rozměrové a funkční zkoušky, designové studie nebo pro výrobu náhradních dílů, pro které již není dostupné původní výrobní zařízení. Tuto technologii lze rovněž použít pro výrobu malých sérií prototypových i finálních dílů (viz. obr. 2.4) [19].



Obr. 2.4 Ukázka tvorby výrobku pomocí vakuového lití [22].

2.2.1 Přednosti technologie vakuového lití

- Přesná výroba srovnatelná s přesností dílů vyrobených metodou vstřikování plastů.
- Snížení nákladů v porovnání se vstřikováním plastů (není nutné vyrábět kovové formy).
- Elastická forma umožňuje odlévat i tvarově složité, tenkostěnné modely, nebo modely s negativními úkosy.
- Srovnatelná kvalita dílů s konečnými produkty.
- Široký výběr materiálů, díky kterému lze dosáhnout požadovaných vlastností.
- Výběr z široké škály finálních povrchových úprav.
- Rychlá výroba menších sérií plastových dílů [19,23].

3 NÁVRH MODELU

V současnosti je na výběr velké množství programů pro práci s trojrozměrnou grafikou, jako například Blender, Wings 3D, Rhinoceros, SolidWorks, CATIA a mnoho dalších. V našem případě byl k vypracování návrhu součásti použit 3D CAD software Autodesk Inventor Professional 2010.

3.1 Autodesk Inventor

Program Autodesk Inventor je CAD (Computer Aided Design) aplikace firmy Autodesk, která je již mnoho let světově nejprodávanější strojírenskou 3D CAD aplikací. Program Autodesk Inventor obsahuje funkce pro adaptivní a parametrické 3D navrhování, tvorbu výkresové dokumentace, prezentace, fotorealistické vizualizace i animace a také ke správě dokumentů a konstrukčních dat [24,25].

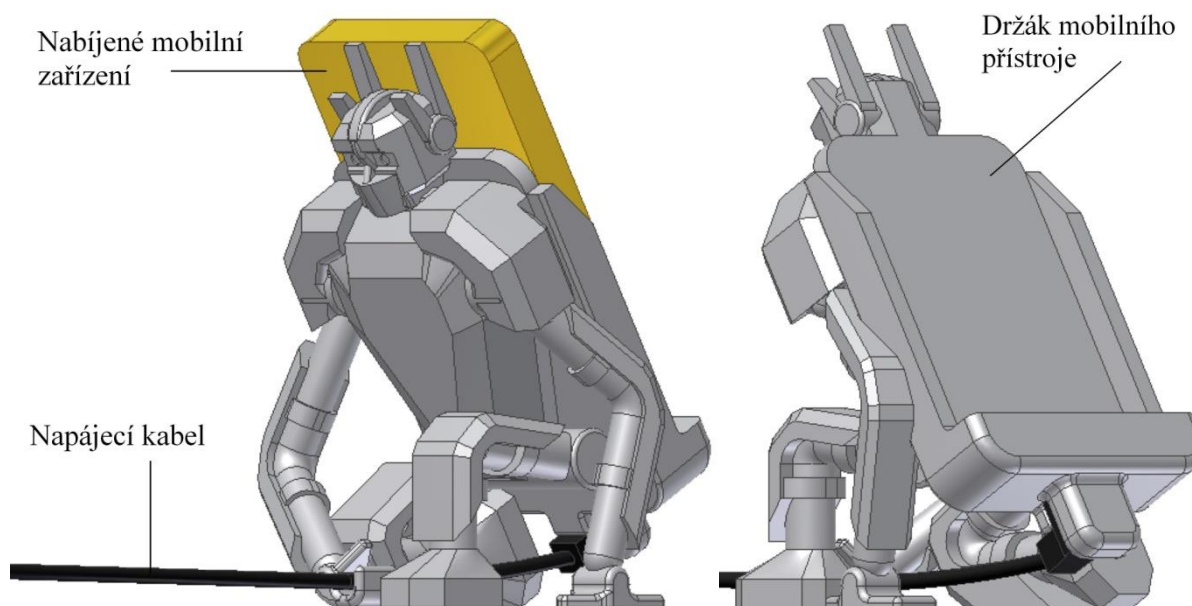
Základem konstruování v Inventoru jsou součásti (parts), jejichž geometrie může být odvozena od parametrických 2D náčrtů (sketch). Tyto součásti mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do sestav (assembly). Existuje vzájemná asociativita mezi modelem, sestavou a výkresem, tudíž při změně rozměrů, parametrů nebo geometrie je automaticky aktualizována celá sestava, včetně výkresové dokumentace (pohledy, řezy, detaily, kusovníky). Program Inventor dovoluje možnost automatizovaných změn - okamžité změny celé součásti jediným parametrem a tím lze snadno vytvářet různé varianty podobných součástí [25,26].

3.1.1 Použité příkazy při tvorbě modelu

- **Vysunutí** - Nástroj vytvoří těleso přidáním hloubky otevřenému nebo uzavřenému profilu v náčrtu. Nástrojem vysunout je možné i odebírat materiál z již vymodelovaných těles [26].
- **Zaoblit a zkosit** - Příkazy zaoblení a zkosení pracují s hranami 3D modelu. K dispozici máme tři typy zaoblení: konstantní, proměnné a napojení. Zaoblení i zkosení lze použít pro vnější i vnitřní hrany součásti [27].
- **Rotace** - Prvek k vytvoření tělesa rotací jednoho nebo více načrtnutých profilů kolem osy. Profily lze natočit v libovolném úhlu do 360 stupňů [26].
- **Zrcadlení** - Vytvoří zrcadlenou kopii jednoho nebo více prvků nebo celého tělesa ve stejných vzdálenostech na druhé straně roviny [26].
- **Tažení** - Vytváří se prvek nebo těleso tažením jednoho nebo více profilů náčrtu ve směru vybrané trajektorie [26].
- **Šablonování** - Slouží k vytvoření přechodového tvaru mezi dvěma nebo více náčrtů. Pomocí šablonování lze vytvářet nová tělesa [26].

3.2 Návrh konstrukce modelu

Pro design dobíjecí stanice je spousta možností, v našem případě byl zvolen stojan v podobě zakleknuté postavy robota nesoucí na zádech dock k umístění mobilního telefonu. Jako opěrné sloupy poslouží nohy a ruce robota, jeho záda svírají s horizontální rovinou úhel 60° z důvodu ideálního pozorování displeje při dobíjení. Levá ruka slouží jako podpora na boku stojanu, zatímco v pravé ruce bude robot přidržovat propojovací kabel (viz. obr. 3.1).



Obr. 3.1 Sestava dobíjecího stojanu s připojeným kabelem.

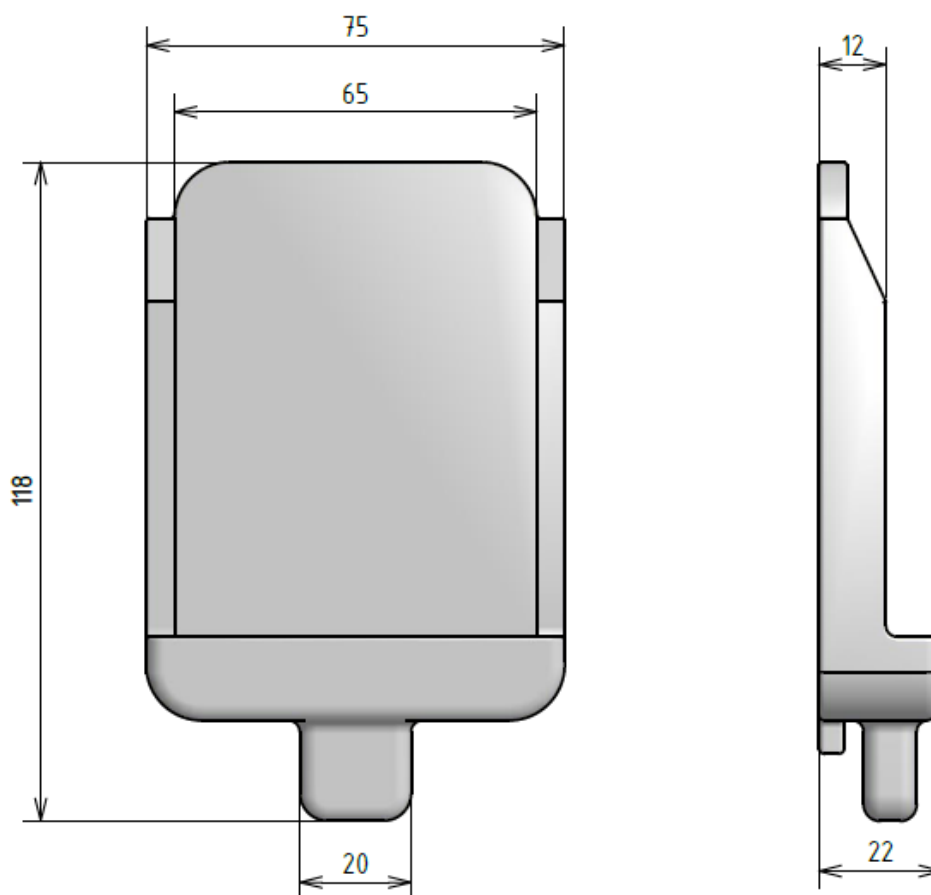
Na zádech robota je umístěný držák pro mobilní telefon ve výšce 12 mm a na jeho spodní části je mechanismus pro ukotvení konektoru. Model je přizpůsoben na použití micro USB i mini USB konektoru lomeného do 90° . V našem případě bude použit k propojení USB kabel 2.0/ micro USB lomený černé barvy (viz. obr. 3.2).



Obr. 3.2 Propojovací USB kabel 2,0/ micro USB lomený 90° M/M 1,8m.

Držák stojanu je svojí velikostí přizpůsoben pro rozměry zařízení, které bude ve stojanu nabíjeno (viz. obr. 3.3).

Přesné umístění přístroje do správné polohy v držáku zajišťují postranní vodící lišty.

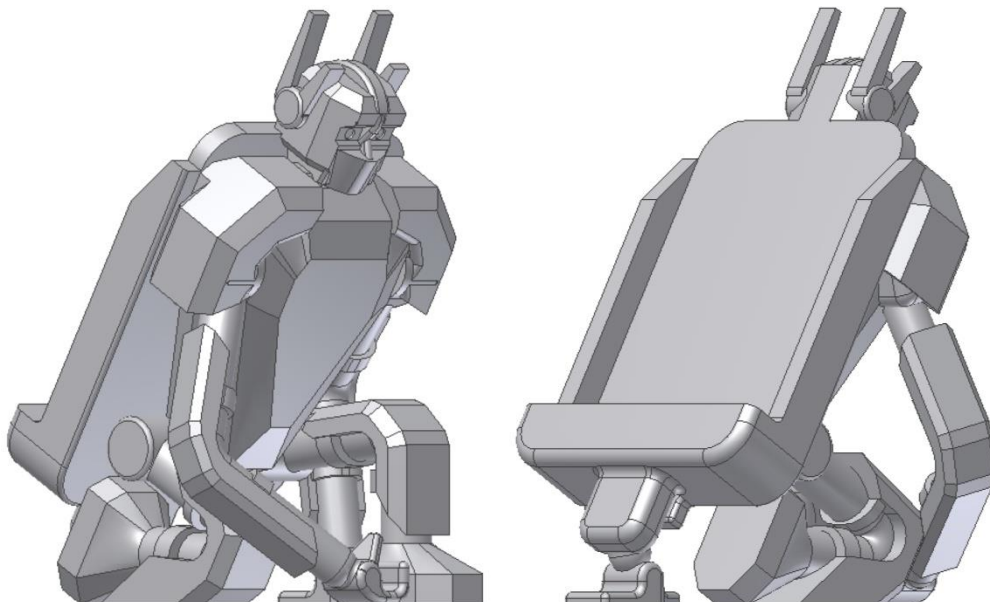


Obr. 3.3 Zobrazení držáku s jeho základními rozměry.

Při návrhu nabíjecího stojanu byly vypracovány tři varianty možného provedení, z nichž bude pro výrobu prototypu vybrána jedna, podle které bude nabíjecí stojan vyroben.

3.2.1 První varianta

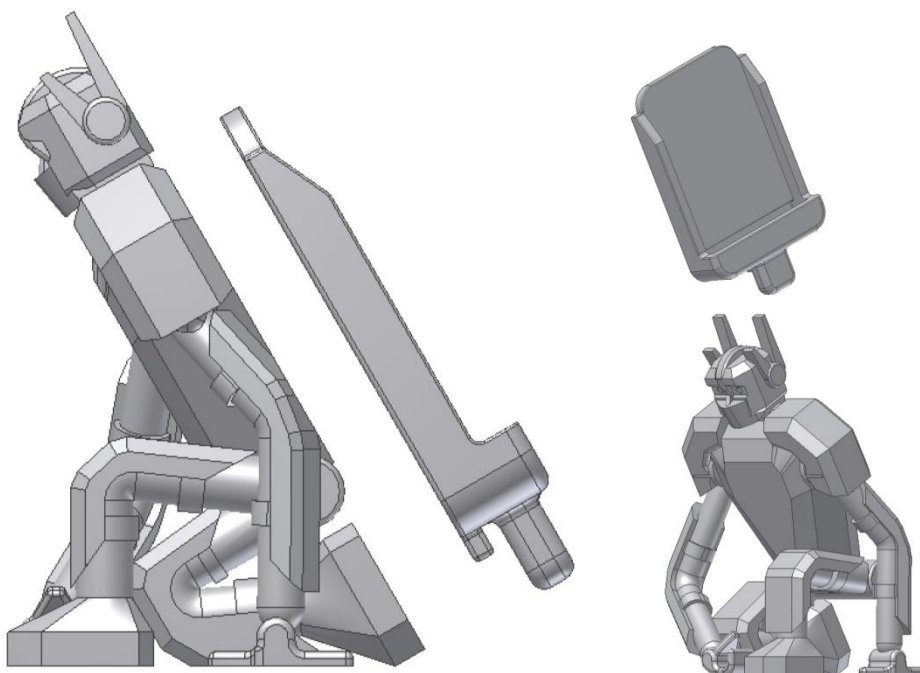
Stojan je vymodelován jako jedna celistvá součást (viz. obr. 3.4) o celkové výšce 138 mm a maximální šířce 94 mm.



Obr. 3.4 Návrh modelu nabíjecího stojanu - varianta první.

3.2.2 Druhá varianta

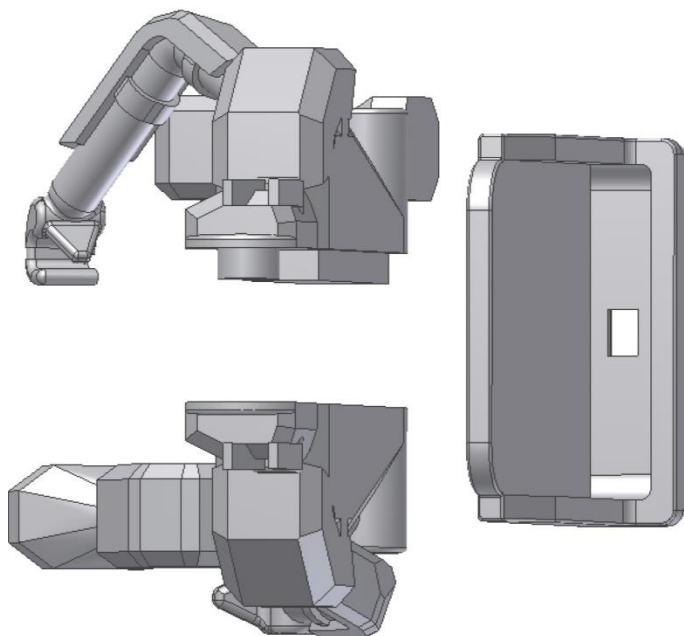
Tento způsob řešení spočívá v oddělení držáku od postavy robota, čímž je docíleno získání dvou částí (viz. obr. 3.5), které se budou vyrábět jednotlivě. Model musel být od první varianty nepatrně upraven posunutím levé ruky a hlavy od svých zad kvůli zajištění roviny a tak i snazší výrobě. Oproti předchozí variantě má tato nevýhodu v nutném přidání dalšího výrobního procesu - spojení obou částí v jeden celek.



Obr. 3.5 Návrh modelů nabíjecího stojanu - varianta druhá.

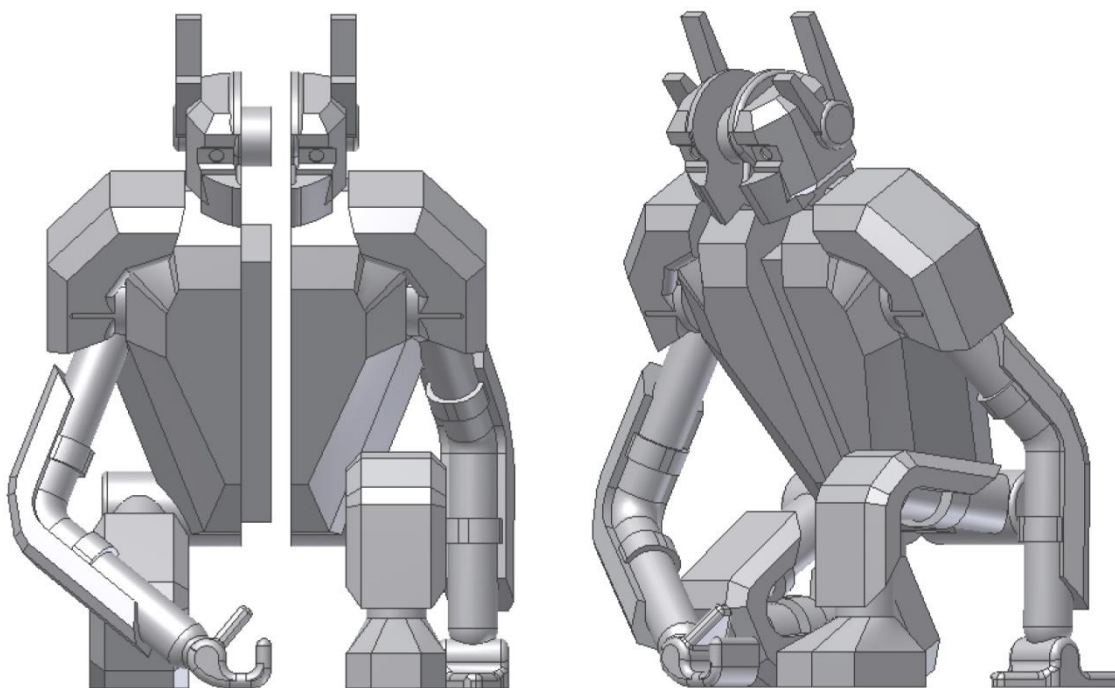
3.2.3 Třetí varianta

Třetí a poslední variantou možného způsobu výroby je rozdělení nabíjecího stojanu do třech částí (viz. obr. 3.6). Držák je oddělen od postavy robota stejně, jako v předchozí variantě, ale navíc je samotný robot rozdělen na poloviny.



Obr. 3.6 Části nabíjecího stojanu varianty třetí - pohled shora.

Samotné rozdělení robota do dvou částí je provedeno v ose Y (viz. obr. 3.7) přímo v polovině, aby byla zachována jeho souměrnost. Přesné spojení obou částí zajišťují vodiče umístěné v pravé polovině a zapadají do příslušných otvorů v levé části robota.



Obr. 3.7 Rozdělení postavy robota do dvou částí.

4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE

Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky nejen z hlediska funkce, spolehlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých součástí, ale musí také v plné míře respektovat hledisko efektivnosti výroby. Technologičnost je relativní vlastnost výrobku, protože je vždy ovlivněna konkrétními podmínkami výrobního procesu [28].

4.1 Tvar součástí

Díky použité výrobní technologii FDM tisku jsou tvarové možnosti téměř neomezené, ale i v případě výroby touto metodou platí, že tvarově složitější součásti jsou hůře realizovatelné a výroba potom většinou bývá obtížnější a tím také nákladnější. Jednou z možností při tisku složitějších, rozměrných, ale méně namáhaných tvarů je dělení, kdy je výrobek rozdělen na části již při zadávání do programu tisku, jak bylo řešeno v druhé a třetí variantě návrhu modelu stojanu. Po vytisknutí těchto dílů jsou polotovary slepeny, za předpokladu, že lepený spoj má požadovanou pevnost a není v exponované části namáhání.

4.2 Volba vhodného materiálu

Důležitým aspektem zásadně ovlivňující vlastnosti výrobku je volba použitého materiálu, který musí odpovídat požadavkům kladeným na vyráběnou součást. U dobíjecího stojanu není předpokládáno teplotní nebo chemické zatížení ani výrazné mechanické namáhání, přesto musí zvolený materiál vykazovat určitou odolnost proti těmto vlivům. Jedno z nejdůležitějších hledisek je dostupnost a cena materiálu, z tohoto důvodu byl vybrán termoplast Acrylonitrile butadiene styrene.

ABS je levný, tvrdý, houževnatý, odolný vůči mechanickému poškození, navíc stojan nebude zbytečně těžký díky jeho nízké hustotě, která je $1\,045\text{ kg/m}^3$. Další výhodou je, že tento plast lze snadno opracovávat broušením, vrtáním a ostatními běžnými technikami, které budou využity v post-procesu. Na stojan bude aplikován nástřík, což v případě použití ABS není problém včetně možného lakování výrobku do požadovaného odstínu. Materiál se nehodí do venkovních podmínek, kde jeho vlastnosti degradují, to ale výrobu nabíjecího stojanu nelimituje, jelikož nebude vystaven venkovním vlivům.

4.3 Využití podpor

Podpurný materiál je nutné použít u výrobků složitých tvarů, kde je příliš velký úhel vychýlení od svislé roviny nebo tam, kde část konstrukce není na co stavět a tisknutý materiál by tedy „visel“ v prostoru. Po vytvoření modelu se podpurný materiál odstraní, a to mechanicky nebo působením teploty (rozpustí se). Při výrobě jednoduchého tvaru součástí se lze vyhnout použití podpor a tím i jejich odstraňování, což celkovou výrobu usnadní, urychlí a díky tomu i finančně zvýhodní.

4.4 Podmínky geometrie součástí

Při tisku drobných modelů je vhodné umístit více součástí na podložku, aby bylo plně využito místa a schopností tiskárny. Jelikož vymodelované části stojanu nejsou drobné velikosti, není tohle řešení aktuální. Naopak je nutné věnovat se problému z jiného úhlu, jelikož vyráběný prototyp má vcelku velké rozměry, realizace tisku bude časově obsáhlá. Tisknutí zpomaluje nadměrná členitost a nesourodé rozložení ploch, kdy musí tisková hlavička přejíždět velké vzdálenosti mezi částmi tisku. Proto je výhodnější tisk celistvé plochy.

Dalším pravidlem pro 3D tisk je konstrukce široké základny pro pevné a stabilní uchycení modelu na vyhřívané podložce. Tudíž musí být zvolena správná orientace polohy součástí při jeho tvorbě.

Modelované součásti by měli obsahovat převážně svislé stěny, při vychýlení stěny od svislé roviny klesá kvalita spojení následujících vrstev. V případě nadměrného vychýlení stěny (více než 45°) se doporučuje použití podpůrného materiálu.

Při výrobě součástí metodou Fused Deposition Modeling by mělo být velmi omezené množství subtilních konstrukcí.

Snahou při modelování součástí pro 3D tisk je tvorba modelu takovým způsobem, aby výroba byla co nejplynulejší a tím i časově méně náročná. Z toho důvodu se provádí zaoblování hran. Při tisku nezaoblené hrany musí tavná hlavička díky náhlé změně směru zastavit svůj pohyb a tím se výroba prodlužuje.

Tisk s přemostěním volného prostoru na podpůrné konstrukce musí být co nejkratší.

Při vysokých požadavcích na jemnost povrchu je nutné snížit výšku kladené vrstvy materiálu, tím se sníží drsnost povrchu, ale naopak bude o to delší výroba. Jelikož u nabíjecího stojanu nejsou kladeny vysoké nároky na kvalitu povrchu, bude výška (tloušťka) jednotlivé vrstvy nastavena na 0,33 mm.

5 VÝROBA PROTOTYPU

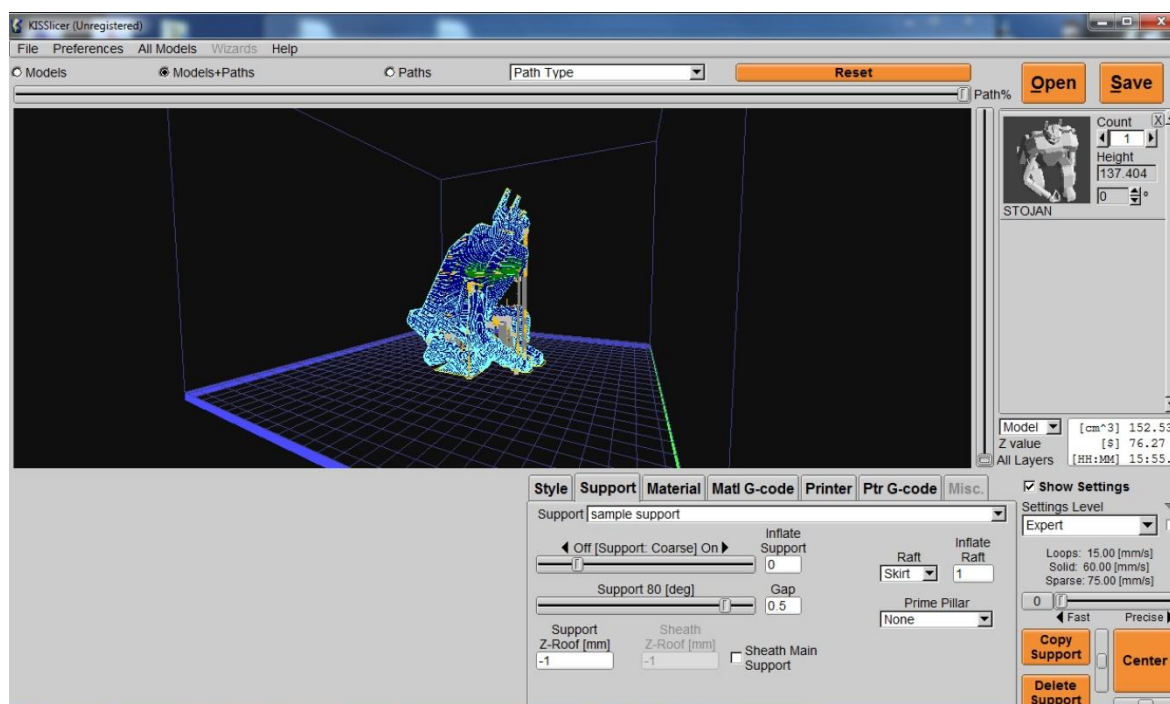
Před samotnou výrobou prototypu je nutný výběr vhodné varianty, proto jsou všechny vymodelované součásti v programu Autodesk Inventor uloženy ve formátu STL a následně exportovány pro CAM processing, kde budou porovnány vymodelované varianty a zvolena jedna z nich k výrobě. Poté se na základě zvolených parametrů (krok, hustota tisku, použití podpor apod.) vytvoří zdrojový kód pro tisk modelu v 3D tiskárně REPRAP.

5.1 Program KISSlicer

K tvorbě programu pro tisk součásti na 3D tiskárně existuje velké množství programů, například výrobce 3D tiskáren Stratays poskytuje ke svým tiskárnám programy CatalystEX, Print Wizard nebo Insight. Mezi open source software patří například Slic3r nebo KISSlicer. Z uvedených programů pro vytvoření zdrojového kódu byl pro svou dostupnost vybrán program KISSlicer.

Program KISSlicer je rychlý, nenáročný a uživatelsky jednoduchý program. Jeho základní verze obsahuje všechny potřebné součásti pro tisk na 3D tiskárnách s jednou tiskovou hlavou. Vstupem do programu je uzavřený objemový model součásti ve formátu STL a jeho výstupem je zdrojový kód pro tisk součásti v tiskárně.

Po vložení souboru modelu do programu je umístěn model na virtuální prostor 3D tiskárny, poté jsou zvoleny parametry tisku, jako je použití podpor, hustota tisku atd. Na základě těchto zadaných parametrů program rozloží model na tenké vrstvy vzdálené od sebe hodnotou zadaného kroku a pro jednotlivé vrstvy vytvoří dráhy tiskové hlavy. Uživatelské prostředí programu KISSlicer je možné vidět na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Uživatelské prostředí programu KISSlicer.

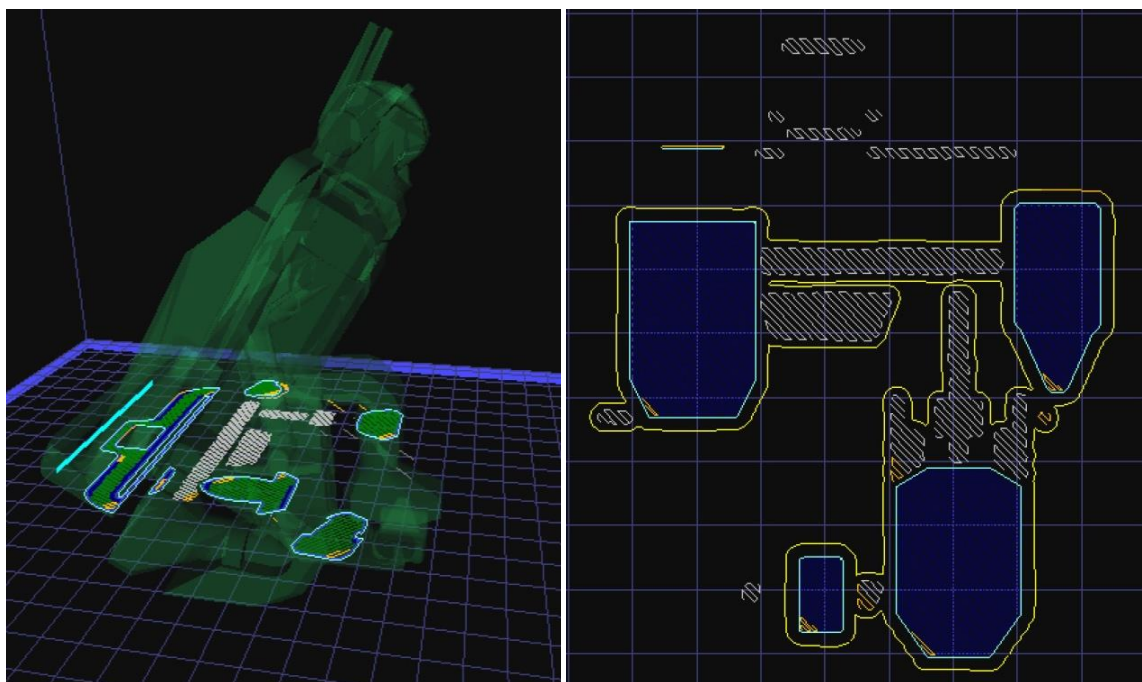
5.2 Výběr vyráběné varianty

Jelikož byly vymodelovány tři možnosti řešení nabíjecího stojanu, je potřeba zvolit jednu z nich, která bude vyrobena. Všechny modely jsou převedeny do formátu STL a odeslány do programu KISSlicer, kde se nastaví parametry tisku a program zobrazí, jak budou vytištěné součásti vypadat.

Pro všechny tři varianty by měli platit stejné podmínky tisku, aby rozhodování bylo objektivní. Jelikož nejsou u nabíjecího stojanu kladeny vysoké nároky na kvalitu povrchu, bude výška (tloušťka) jednotlivé vrstvy nastavena na 0,33 mm. Je nutné zohlednit ve výběru nejvhodnější varianty předpokládanou dobu výroby jednotlivých součástí, možnosti defektů při tisknutí a v neposlední řadě složitost opracování a případné kompletace v post-procesu.

Varianta první

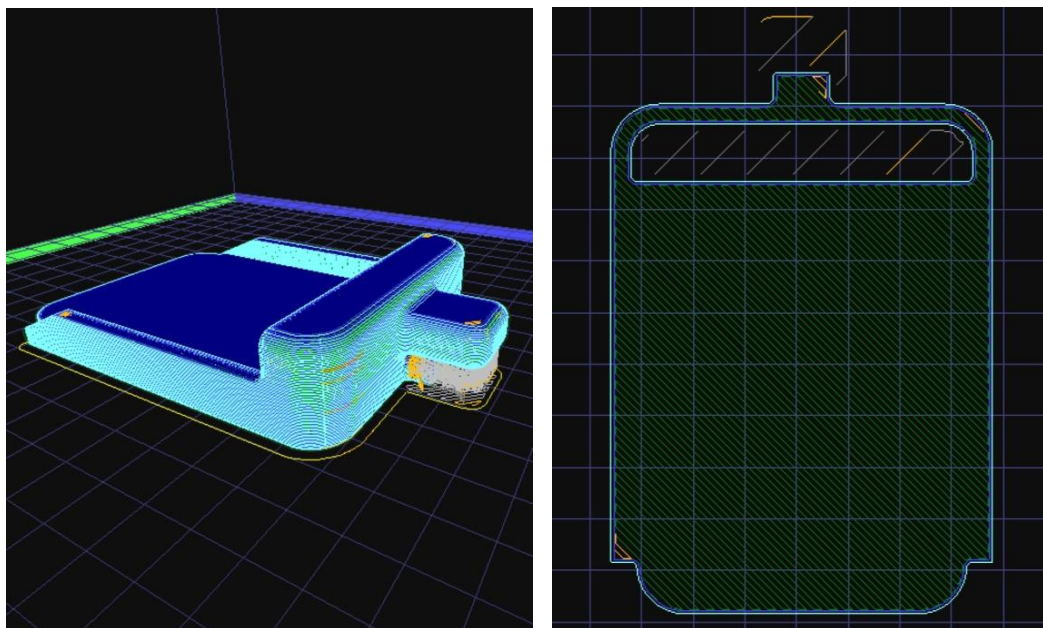
U první varianty, kdy je stojan jedna celistvá součást, je model umístěn na virtuální prostor 3D tiskárny v poloze, jakou bude zaujímat při své funkci. To však není zrovna výhodné, díky nedostatečně rozlehlé základně na podložce. Další nevýhodou je nadměrná členitost ploch a nutnost použití velkého množství podpůrného materiálu (viz. obr. 5.2). Nabíjecí stojan je vysoký téměř 140 mm, díky čemuž hrozí poškození stěn při tisku. Program KISSlicer na základě všech zadaných parametrů vyhodnotil dobu tisku součásti přibližně na 7 hodin a to v případě použití pouze nejdůležitějších podpor.



Obr. 5.2 Ukázka vrstev stojanu a zobrazení základny.

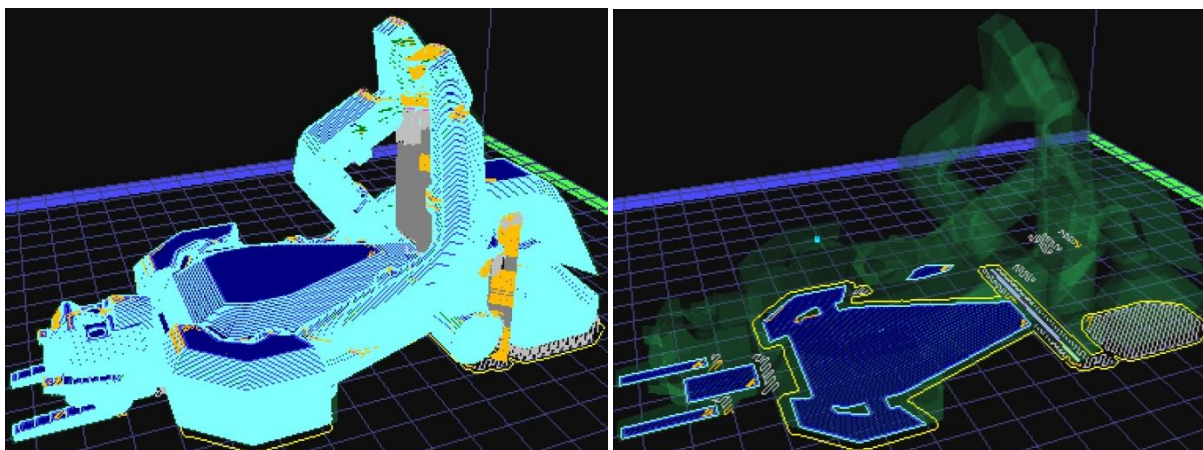
Varianta druhá

V druhé variantě byl model rozdělen na dvě části, díky tomu i samotný tisk musí probíhat ve dvou etapách. Tisk držáku by měl proběhnout bez jakýchkoli problémů, je to součást o malé výšce s kvalitní základovou plochou (viz. obr. 5.3). Díky jednoduchosti konstrukce bude využito vcelku malého množství podpůrného materiálu, tomu také naznačuje vypočtená doba tisku pohybující se kolem jedné hodiny a čtyřiceti minut.



Obr. 5.3 Zobrazení polohy držáku na podložce a průřez součástí.

Následný výrobní proces postavy robota je již složitější i časově náročnější oproti držáku. Při tisku bude robot ležet na zádech, to zajistí dobrou základnu na rozdíl od první varianty. Sníží se také využití podpůrného materiálu, který bude využit převážně k dobré stavbě a uchycení končetin (viz. obr. 5.4). Program odhadnul čas tisku součásti na 4 a půl hodiny.

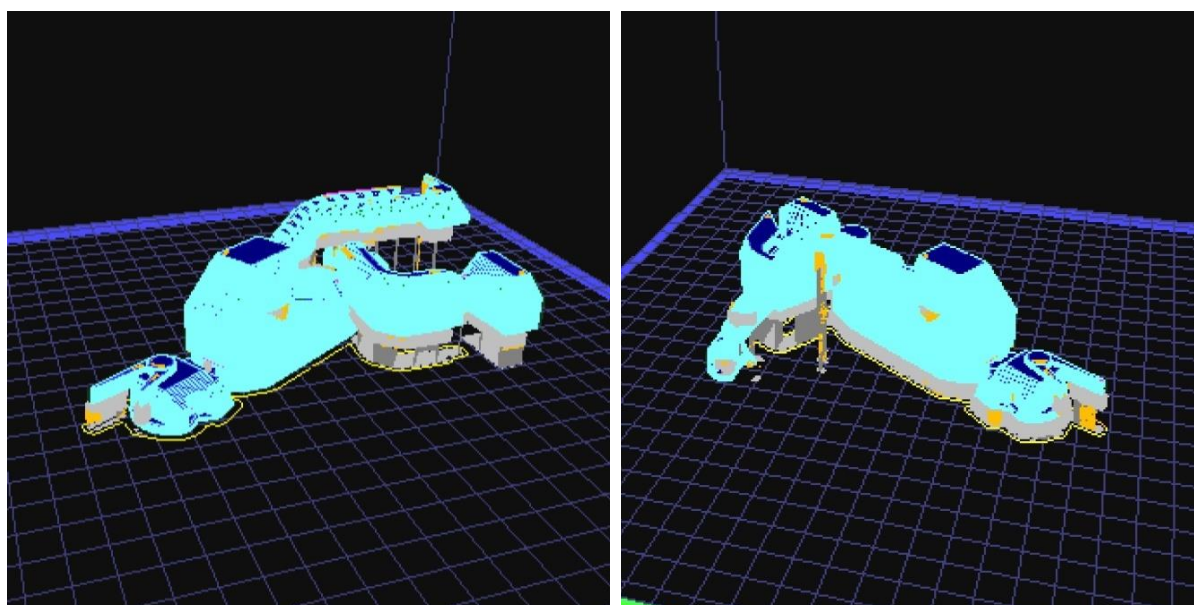


Obr. 5.4 Zobrazení postavy robota na podložce a jeho základny.

Obě části nabíjecího stojanu by při použití druhé varianty trvalo vytisknout dohromady kolem šesti hodin, což je o hodinu méně než u předcházející metody.

Varianta třetí

V poslední z variant je návrh výroby nabíjecího stojanu ve třech krocích. Proces tisku držáku je naprosto shodný, jako u předchozí metody. Změna se projeví pouze v procesu výroby postavy robota, která je rozdělena do dvou částí (viz. obr. 5.5). Tímto budou odstraněny nevýhody vznikající při tisku objemné součásti. Na druhou stranu bude větší práce v post-procesu, kvůli nutnému spojení částí robota. Programem KISSlicer byla stanovena doba tisku pro levou část na dvě a půl hodiny, pravá část robota obsahuje více podpůrného materiálu a proto se čas k jeho vytisknutí pohybuje kolem necelých třech hodin.



Obr. 5.5 Pravá i levá polovina robota v programu KISSlicer.

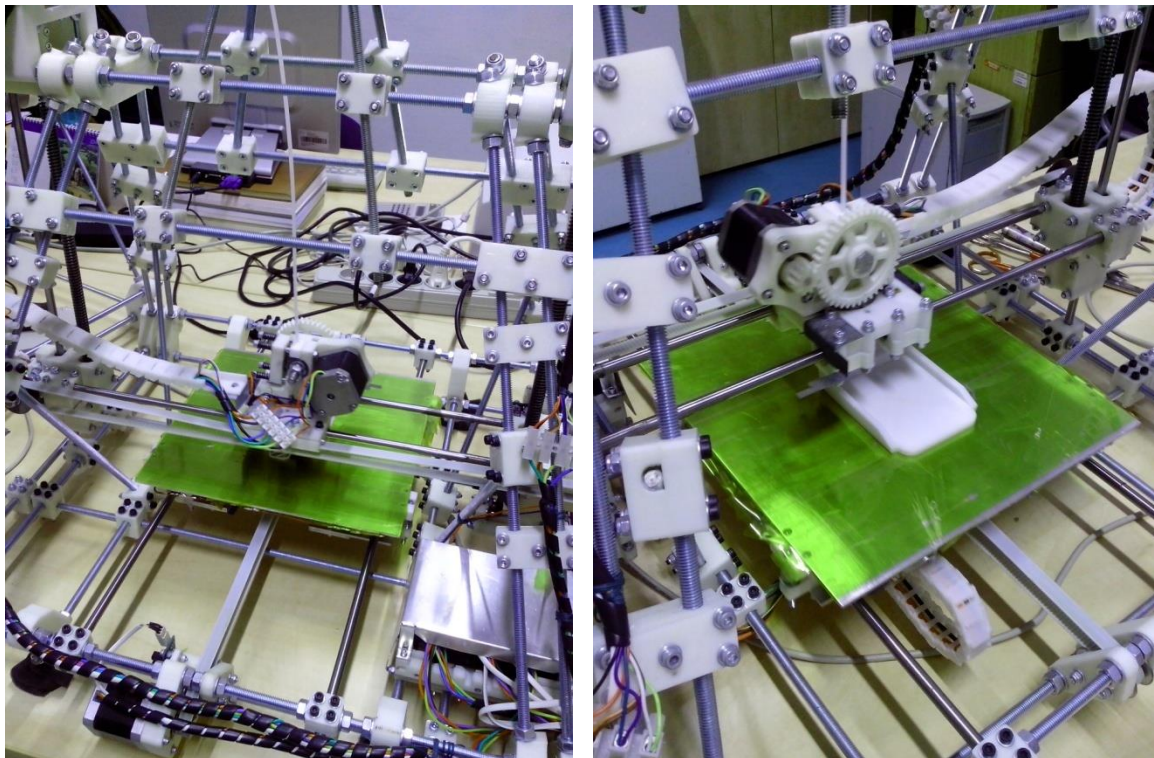
Doba tisku držáku je jako ve druhé variantě přibližně jedna hodina a čtyřicet minut. Obě poloviny postavy robota mohou být vytisknuty za zhruba pět a půl hodiny. Samotný tisk této varianty by tedy trval okolo sedmi hodin, které by byly rozděleny do třech etap tisku.

Zvolení varianty pro výrobu prototypu

Po shrnutí pozitivních i negativních vlastností všech navrhovaných metod byla pro výrobu prototypu nabíjecího stojanu zvolena varianta druhá, tedy tisk dvou součástí - držáku a postavy robota. Oproti první metodě je sice nutné po vytisknutí ještě spojit obě části v jeden celek, ale pro vybranou variantu hovoří jiné aspekty, jako široká základna pro pevné a stabilní uchycení modelů nebo také menší využití podpůrného materiálu. Zvolená varianta s číslem 2 by podle výpočtů softwaru KISSlicer měla být vytisknuta za nejkratší dobu (přibližně šest hodin), což výběr právě této metody též ovlivnilo.

5.3 Výroba metodou FDM

Po výběru vhodné varianty je v programu KISSlicer vytvořen zdrojový kód, který se odešle do 3D tiskárny a ta podle něj vytvoří součást (viz. obr. 5.6).



Obr. 5.6 3D tiskárna při probíhající výrobě držáku.

Držák byl vytištěn bez jakýchkoli problémů a v odpovídající době, jaká byla vypočtena softwarem KISSlicer. Je to součást s jednoduchou konstrukcí, také díky tomu se při tisku nevyskytly žádné chyby (viz. obr. 5.7).



Obr. 5.7 Držák s podporou.

Dalším krokem byl tisk postavy robota (viz. obr. 5.8). Oproti držáku je tento model složitější s mnohými prvky, které vyžadují podporu. Realizace tisku dopadla celkem uspokojivě až na pár nedokonalostí, které se objevily. Díky nedostatečné podpoře se v některých místech narušila struktura a vznikl tak drsný, zvrásněný a nevzhledně vypadající povrch. Tyto drobné chyby budou odstraněny v post-procesu při dokončovacích operacích.



Obr. 5.8 Vytisknutá postava robota s podpurným materiálem.

5.4 Post-processing

Po vytisknutí obou částí prototypu nabíjecího stojanu musí být odstraněn podpurný materiál. Tato operace se koná odlámáním ručně, pomocí kleští nebo jiných nástrojů.

Po odstranění podpurného materiálu byly obě části prototypu obroušeny smirkovými papíry různých drsností.

Po vybroušení do postačující kvality povrchu byl proveden nástřik krycí vrstvy. Tato krycí vrstva plní ochranou i estetickou funkci. Nástřik obou částí nabíjecího stojanu byl aplikován rychleschnoucí barvou ve spreji značky COLORIT, jež je určena k nástřiku na kovový, dřevěný i plastový povrch.

Pro nástřik držáku byla zvolena stříbrná barva a na postavu robota byl aplikován nástřik matně černé barvy se zlatými doplňky po stranách a na hrudi (viz. obr. 5.9).

Jako poslední operace potřebná k úplnému dokončení prototypu bylo zkompletování nabíjecího stojanu. V úvahu přišly dvě možnosti, jak spojit části výrobku dohromady, pomocí samořezných šroubů nebo přilepením. Byl zvolen způsob přilepení držáku k postavě robota pomocí kontaktního lepidla Pattex.

Po úspěšném spojení v jeden celek, je zasunut do spodní části držáku micro USB konektor.



Obr. 5.9 Kompletní prototyp nabíjecího stojanu.

Nyní jen stačí připojit mobilní telefon do držáku prototypu (viz. obr. 5.10), kde dojde k nasunutí na micro USB konektor a mobilnímu zařízení může být ihned dodávána energie.



Obr. 5.10 Nabíjecího stojan se zapojeným mobilním telefonem.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na výrobu prototypu metodou Fused Depositing Modeling se skládají z nákladů na vlastní tisk modelů a z nákladů související s Post-processing pro dokončení výrobku. Průměrné náklady na výrobu dobíjecího stojanu metodou FDM byly vypočteny podle vztahu (6.1):

$$N_C = N_T + N_{PP} \quad (6.1)$$

Kde: N_C celkové náklady na výrobu prototypu [Kč],
 N_T náklady na tisk součástí [Kč],
 N_{PP} náklady na Post-processing [Kč].

Náklady na tisk součástí N_T jsou vlastně náklady na použitý materiál a skládají se z nákladů na tisk držáku a tisk postavy robota. Náklady na tisk součástí byly vypočteny podle vztahu (6.2):

$$N_T = N_{TD} + N_{TR} \quad (6.2)$$

Kde: N_T náklady na tisk součástí [Kč],
 N_{TD} náklady na tisk držáku [Kč],
 N_{TR} náklady na tisk robota [Kč].

Náklady na tisk jednotlivých součástí se vypočítají pomocí ceny za 1 cm³ ABS plastu a objemu využitého materiálu, podle vztahu (6.3):

$$N_{TS} = N_M \cdot V_S \quad (6.3)$$

Kde: N_{TS} náklady na tisk součásti [Kč],
 N_M náklady za 1 cm³ ABS materiálu [Kč],
 V_S objem vytisknuté součásti [cm³].

Náklady související s obdobím Post-processing jsou oproti nákladům na tisk prototypu vcelku malé. Nejsou však zanedbatelné. Náklady tvoří pořizovací cena smirkových papírů, barvy ve spreji a kontaktního lepidla. V období Post-processing byly použity tři druhy smirkových papírů, sprej COLORIT a lepidlo Pattex. Náklady na Post-processing byly vypočteny podle vztahu (6.4):

$$N_{PP} = N_{SP} + N_N + N_L \quad (6.4)$$

Kde: N_{PP} náklady na Post-processing [Kč],
 N_{SP} náklady na koupi smirkových papírů [Kč],
 N_N náklady za nástřik prototypu [Kč],
 N_L náklady za slepení prototypu [Kč].

Jelikož na prototyp nebyl spotřebován kompletní obsah barvy ve spreji ani celé lepidlo, v nákladech proto není zahrnuta celá částka, ale pouze poměrná část z ceny.

$$N_L = 1,20 \text{ Kč}$$

$$N_N = 5,40 \text{ Kč}$$

$$N_{SP} = 3,90 \text{ Kč}$$

Cena ABS plastu je přibližně 550 Kč/kg, z čehož vyplývá, že cena za cm^3 je 0,575 Kč.

$$N_M = 0,575 \text{ Kč}$$

$$V_D = 40,8 \text{ cm}^3$$

$$V_R = 99,1 \text{ cm}^3$$

6.1 Výpočet nákladů na výrobu prototypu metodou FDM

Náklady na Post-processing:

$$N_{PP} = N_{SP} + N_N + N_L = 3,90 + 5,40 + 1,20 = 10,50 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk držáku:

$$N_{TD} = N_M \cdot V_D = 0,575 \cdot 40,8 = 23,46 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk postavy robota:

$$N_{TR} = N_M \cdot V_R = 0,575 \cdot 99,1 = 56,98 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk součástí:

$$N_T = N_{TD} + N_{TR} = 23,46 + 56,98 = 80,44 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu prototypu:

$$N_C = N_T + N_{PP} = 80,44 + 10,50 = 90,94 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na výrobu prototypu nabíjecího stojanu byly vypočteny na 90,94 Kč. Tato hodnota je však nepřesná, jelikož do výpočtů nebylo zahrnuto mnoho důležitých aspektů, jako je cena provozu FDM tiskárny, cena za práci při obsluze tiskárny a za čas při práci na Post-processing.

Při výpočtu hodnoty nákladů obsahující veškeré zmíněné operace by konečná částka za výrobu prototypu byla mnohem vyšší.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce popisuje výrobu prototypu nabíjecího stojanu využitím moderní, aditivní technologie Rapid Prototyping. V modelačním softwaru Autodesk Inventor 2010 byly vytvořeny návrhy virtuálních 3D modelů. Po zvolení vhodné varianty výroby prototypu byl zhotoven metodou Fused Deposition Modeling.

V první části práce se nachází popis nabíjecího stojanu a teorie možných způsobů výroby. Následuje návrh modelu a představení třech možných variant tvorby prototypu. Poté je uvedena technologičnost konstrukce pro 3D tisk součástí metodou FDM.

V praktické části je popsána volba nejvhodnější varianty výroby pomocí simulačního programu KISSlicer. Po zvolení způsobu provedení následuje popis samotné výroby prototypu včetně post-procesu.

Ukončením práce je technicko-ekonomické zhodnocení s výpočtem vynaložených nákladů pro zhotovení prototypu.

Pro budoucí výrobu obdobných součástí by bylo vhodné zlepšit stabilitu uchycení micro USB konektoru v držáku. Dále je možné snížit výšku kladené vrstvy materiálu tisku pro docílení jemnějšího povrchu. V případě výroby většího množství těchto nabíjecích stojanů by bylo finančně výhodnější využití technologie vakuového lití.

Ze všech poznatků vyplývá, že v současné době je možné zhotovení dobíjecí stanice přesně podle vlastních představ i potřeb. Díky rychle se rozvíjející technologii 3D tisku nemusí být uživatel elektronických zařízení odkázán na velkoprodukční trh. S trochou kreativity si každý může vyrobit svůj originální mobile dock za přijatelnou cenu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. O 3D tisku. JOSEF, Průša. *Josefprusa* [online]. 2011 [vid. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
2. Bezdrátové nabíjení Nokie Lumie 820 a 920. In: LUKES, Jindrich. *WMMANIA* [online]. 2012 [vid. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://wmmania.cz/clanky/recenze/bezdratove-nabijeni-nokie-lumie-820-a-920-prakticky-test/>
3. Griffin powerdock 5 charging dock. In: *MIKESHOUTS* [online]. 2013 [vid. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://mikesounds.com/griffin-powerdock-5-charging-dock/>
4. Galaxy universal multimedia desktop dock. In: *SAMSUNG* [online]. Ridgefield Park, NJ, 2013 [vid. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.samsung.com/us/mobile/cell-phones-accessories/EDD-D200BEGSTA>
5. MOBILEFUN, online retail, Birmingham, United Kingdom. *Samsung GALAXY S3 case compatible dual charging dock* [online]. [vid. 2014-04-17]. Dostupné z <http://www.mobilefun.co.uk/samsung-galaxy-s3-case-compatible-dual-charging-dock-p35464.htm>
6. MOBILEFUN, online retail, Birmingham, United Kingdom. *Cover-mate desktop charging dock for micro USB android smartphones* [online]. [vid. 2014-04-17]. Dostupné z <http://www.mobilefun.co.uk/cover-mate-desktop-charging-dock-for-micro-usb-android-smartphones-p37616.htm>
7. TABLET-NEWS, free web templates. *Best HP touchpad accessories* [online]. [vid. 2014-04-17]. Dostupné z <http://tablet-news.net/2011/06/best-hp-touchpad-accessories/>
8. EFUNDA, Inc., Sunnyvale, CA. *Rapid Prototyping: An Overview* [online]. [vid. 2014-04-24]. Dostupné z http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm.
9. INTECH, Open Access Company., Rijeka, Croatia. *Medical Applications of Rapid Prototyping - A New Horizon* [online]. [vid. 2014-04-26]. Dostupné z http://cdn.intechopen.com/pdfs/20116/InTech-medical_applications_of_rapid_prototyping_a_new_horizon.pdf.
10. GEBHARDT, A., *Rapid prototyping*. 1st ed. p. cm., Carl Hanser Verlag, Munich 2003, 379 s., ISBN 3-446-21259-0.
11. 3D-TISK, spol. s.r.o., Brno, ČR. *Rozhovor s vynálezcem 3D tisku* [online]. [vid. 2014-04-26]. Dostupné z <http://www.3d-tisk.cz/s-scott-crump-exkluzivni-rozhovor-se-vynalezcem-3d-tisku-a-zakladatelem-firmy-stratasys/>
12. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. *3D tisk technologii FDM* [online]. [vid. 2014-04-26]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>
13. PK MODEL, spol. s.r.o., Praha, ČR. *Technologie 3D tisku* [online]. [vid. 2014-04-26]. Dostupné z <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>

14. File:FDM by Zureks.png. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [vid. 2014-04-26]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png
15. FDM: Fused Deposition Modeling. In: *Swiat druku 3D* [online]. 2013 [vid. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://swiatdruku3d.pl/fdm-fused-deposition-modeling/>
16. AUTOMATIZACE TECHNICKÉ PŘÍPRAVY VÝROBY: Rapid Prototyping. In: VOTOČEK, Jaroslav. *Technomat* [online]. 2012 [vid. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_ATPT_PR_03_CZE_Votocek_Rapid_Prototyping.pdf
17. MATERIALS: FDM Thermoplastics. *RedEye: Giving you more than 3D parts* [online]. U.S., 2008 [vid. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.redeyeondemand.com/fdm-thermoplastics/>
18. SVĚTLÍK, David. *Výroba náhradního ozubeného kola metodou RP* [online]. Brno, 2013 [vid. 2014-05-02]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/26755/2013_BP_SV%C4%9ATL%C3%84DK_134131_OPUS.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. VUT.
19. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. *Vakuové lití FDM* [online]. [vid. 2014-05-03]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/vakuove-liti.aspx>
20. MATERIALISE, spol. s.r.o., Ústí nad Labem, ČR. *Vakuové lití* [online]. [vid. 2014-05-03]. Dostupné z <http://www.materialise.cz/vakuove-liti>
21. LIU, Jack. The Silicone mold Vacuum Casting Process. *Zhyfoundry* [online]. 2012 [vid. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.zhyfoundry.com/the-silicone-mold-vacuum-casting-process/>
22. Vacuum Casting & Silicon Molding. *WB Engineering* [online]. 2014 [vid. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://wb-3d.com/physical-prototyping/vacuum-casting-silicon-molding/>
23. VAKUOVÉ LITÍ. PROCHÁZKA, Pavel. *PP Model hobby* [online]. Šimanov, 1992 [vid. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.pp-model-hobby.cz/vakuove_liti.html
24. Autodesk Inventor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 2014 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor
25. Autodesk Inventor: 2D i 3D konstruování jednoduše. MICHL, Vladimír. *CAD Studio a.s.* [online]. Praha, 2014 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
26. AUTODESK WIKIHELP, *Nápověda k produktu Autodesk Inventor* [online]. [vid. 2012-05-14]. Dostupné z <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>.
27. CAD: cvičení 5. *VUT v Brně: Ústav konstruování* [online]. Brno, 2006 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/0CD/cad_cv5.pdf
28. ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. Brno, 2007 [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam
3D	Three Dimensional/prostorový
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
CAD	Computer Aided Drawing
CAM	Computer Aided Manufacturing
FDM	Fused Deposition Modeling
PC	Polykarbonát
PEPRAP	Replicating Rapid-prototype
RP	Rapid Prototyping
STL	Souborový formát pro ukládání prostorových těles

Symbol	Jednotka	Popis
N_C	[Kč]	Celkové náklady na výrobu prototypu
N_L	[Kč]	Náklady za slepení prototypu
N_M	[Kč]	Náklady za 1cm^3 ABS materiálu
N_N	[Kč]	Náklady za nástřik prototypu
N_{PP}	[Kč]	Náklady na Post-processing
N_{SP}	[Kč]	Náklady na koupi smirkových papírů
N_T	[Kč]	Náklady na tisk součástí
N_{TD}	[Kč]	Náklady na tisk držáku
N_{TR}	[Kč]	Náklady na tisk robota
N_{TS}	[Kč]	Náklady na tisk součásti
V_D	$[\text{cm}^3]$	Objem vytisknutého držáku
V_S	$[\text{cm}^3]$	Objem vytisknuté součásti
V_R	$[\text{cm}^3]$	Objem vytisknuté postavy robota