



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PROTOTYPU DRŽÁKU GPS NA 3D FDM TISKÁRNĚ

PRODUCTION OF GPS HOLDER ON FDM 3D PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Šebesta

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Vít Šebesta
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

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 držáku GPS na 3D FDM tiskárně

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce obsahuje jak rešeršní část zvolené problematiky, tak konstrukci a výrobu funkčních plastových dílů na 3D FDM tiskárně. Autor rovněž provede technické a ekonomické zhodnocení vytvořeného výrobku.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše zvolené problematiky,
- konstrukční návrh držáku,
- výroba držáku,
- zhodnocení a doporučení autora.

Seznam doporučené literatury:

GEBHARDT, Andreas. Understanding additive manufacturing: rapid prototyping - rapid tooling - rapid manufacturing. Munich: Hanser, c2012, ix, 164 s. ISBN 978-1-56990-507-4.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005, 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

CHUA, Chee Kai., Kah Fai. LEONG a Chu Sing. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ. Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve. Vyd. 1. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2010, 207 s. ISBN 978-80-5-3-0548-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a následným vytvořením modelu na GPS za pomoci 3D FDM tiskárny. Díky programu Autodesk Inventor Professional 2015 byly vytvořeny tři modely, jež byly ekonomicky a technicky posouzeny. Následně byl vybrán model č. 3 k podrobnějšímu rozboru. V této práci se také pojednává o důležitých metodách 3D tisku a vhodnosti použití různých materiálů jako např. ABS a PLA.

Klíčová slova

3D FDM tisk, ABS plast, GPS držák, rapid prototyping, mechanismus držáku GPS

ABSTRACT

This bachelor thesis is dealing with design and production of a model holder for GPS using 3D FDM printer. Three models were created by the Autodesk Inventor Professional 2015 and they were economically and technically assessed. Then model No.3 was chosen for detailed analysis. The important methods of 3D printing and appropriateness of using different materials such as ABS and PLA are also discussed in this thesis.

Key words

3D FDM printing, ABS plastic, GPS holder, rapid prototyping, mechanism of GPS holder

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEBESTA, V. *Výroba prototypu držáku GPS na 3D FDM tiskárně*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 38 s. 0 příloh. Ing. Oskar Zemčík Ph. D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba prototypu držáku GPS na 3D FDM tiskárně** vypracoval (a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Titul Jméno Příjmení (editujte
dvojklikem na pole)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce, jímž byl Ing. Oskar Zemčík, Ph. D., za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, zvláště pak za strávený čas na konzultacích.

Dále děkuji své rodině za podporu při studiu a také specialistovi firmy IAC panu Radku Vicenikovi za rady a informace.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 TECHNOLOGIE 3D TISKU.....	9
1.1 Základní rozdělení metod 3D tisku	9
1.1.1 Metoda FDM.....	9
1.1.2 Metoda SLA.....	10
1.1.3 Metoda ProJet	11
1.1.4 Metoda SLS	11
2 NEJČASTĚJŠÍ TYPY MATERIÁLŮ PRO FDM	13
2.1 ABS plast	14
2.2 PLA plast.....	14
2.3 PC plast	17
2.4 PET plast	17
2.5 typy 3D FDM tiskáren	18
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	19
3.1 Autodesk Inventor Professional 2015	19
3.2 Návrhy variant řešení	19
3.2.1 Varianta č. 1	19
3.2.2 Varianta č. 2.....	21
3.2.3 Varianta č. 3	22
4 ROZBOR ŘEŠENÍ Č. 3.....	25
4.1 Tvar a pevnost výplně.....	25
1.2 Podpory	26
1.3 Směr vláken.....	26
1.4 Náčrt řešení č.3.....	27
1.5 Mechanické vlastnosti	30
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	32
5.1 Srovnání cen výroby	32
ZÁVĚR.....	35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	36
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	38

ÚVOD

Tato problematika byla vybrána zejména kvůli zajímavosti předmětu a možnosti práce na 3D tiskárně. S tématem této bakalářské práce se spolupracovalo s ústavem strojírenské technologie na VUT a firmou IAC jejíž pobočka sídlí v Hodoníně.

Cílem práce je navržení držáku na GPS a následné vytisknutí na 3D tiskárně. Tato práce se zaměřuje na seznámení se základními vlastnostmi materiálů používaných pro 3D tisk a metodami, jenž se v současnosti pro 3D tisk využívají. Tento GPS držák je určen do auta, upevnění je konstruováno na čelní sklo. Důležitou součástí je ovšem i posouzení, zda se výroba součástí metodou FDM ekonomicky vyplatí.

O samotný tisk držáku se postaral Ing. Oskar Zemčík Ph.D., dodatečné součástky nutné pro funkčnost jako pružiny a šrouby byly objednány přes internet.

Co se týče historie, pojem GPS (global position system) je v dnešní době světově známý. Vzniknul v druhé polovině 20. století americkými vzdušnými silami a námořnictvem. Předchůdcem systému GPS byl systém TRANSIT který sloužil k určování polohy vesmírných družic, ten však nebyl schopný stálého měření polohy. Kvůli tomuto nedostatku se v roce 1973 vzdušné síly USA rozhodly sloučit družicové navigační projekty Timation a 621B do jednoho programu NAVSTAR – GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System). [1]

1 TECHNOLOGIE 3D TISKU

Zpočátku se 3D tisk primárně označoval jako Rapid Prototyping (rychlá výroba prototypů) a dodnes se s tímto označením můžeme setkat. Před příchodem dostupných tiskáren se totiž výlučně používal pro výrobu prototypů.

Postup při tisknutí 3D modelu začíná u převedení formátu IAM do G-code nebo jiného formátu vhodného pro tisk na 3D tiskárnách. Následně se na tiskárně nastaví parametry tisku, tvar výplně, tloušťka stěn aj.. Po zadání tisku a vytisknutí součásti je nutno objekt očistit od podpor a případných nedokonalostí jako jsou otřepy. V případě nutnosti je možno použít brusný papír na finální dokončení.

1.1 Metody 3D tisku vhodné pro GPS držák

FFF (nebo FDM) – tisk funkčních modelů roztaveným plastem

SLA (nebo DLP) – vytvrzování fotocitlivé pryskyřice

SLS – laserové sintrování plastového prachu

DMLS – sintrování kovového prachu

Solidshape – tisk voskových modelů

ProJet (MJM) – tisk křehkých plnobarevných modelů z prášku

Mcor – tisk křehkých plnobarevných modelů z papíru

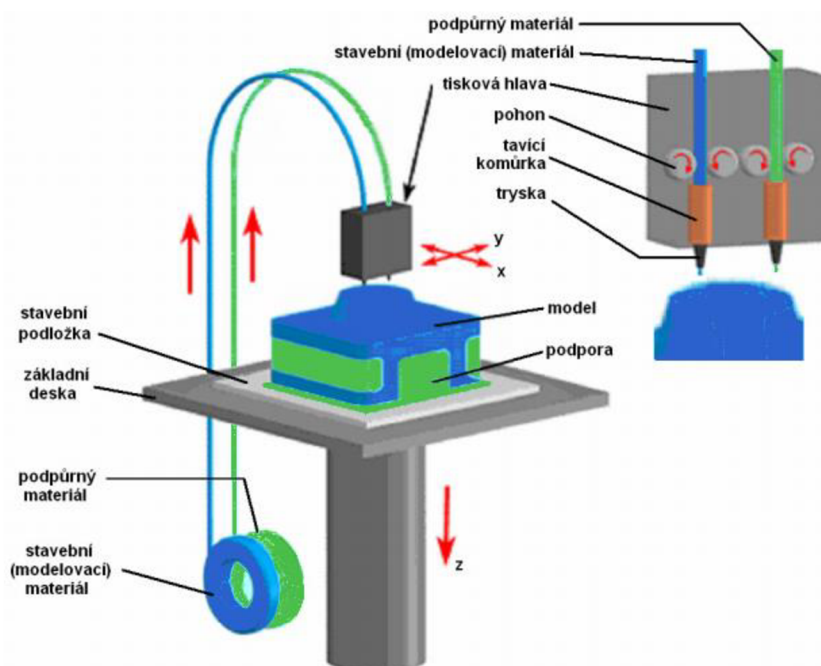
1.1.1 Metoda FDM

Fused Deposition Modeling (FDM), je jednou z nejrozšířenějších metod profesionálního 3D tisku, která zároveň stála u zrodu celého hnutí levných 3D tiskáren, jež využívají její odvozeniny (například FFF používaná v projektu RepRap) rozšířené po expiraci původního patentu na FDM v roce 2009.

FDM je technologií aditivní výroby, kterou na konci osmdesátých let dvacátého století vyvinul a v roce 1989 patentoval S. Scott Crump, pozdější zakladatel společnosti Stratasys, jež má tento pojem zajištěn ochrannou známkou.

Princip FDM spočívá v tavení plastu nebo kovu ve formě vlákna uvnitř extruzní hlavy, která taveninu vytlačuje na podložku a svým pohybem ve dvou osách postupně nanáší velmi tenkou vrstvu materiálu v rovině horizontálního průřezu budoucího výrobku. Po nanesení celé vrstvy se podložka sníží o tloušťku vrstvy ve vertikální ose a postupné nanášení pokračuje nanovo až do vytvoření celého produktu.

Nejčastěji používanými materiály pro FDM jsou termoplasty ABS a PLA. V profesionálních aplikacích jsou využívány další materiály jako polykarbonáty nebo speciální termoplasty typu Ultem. [2]



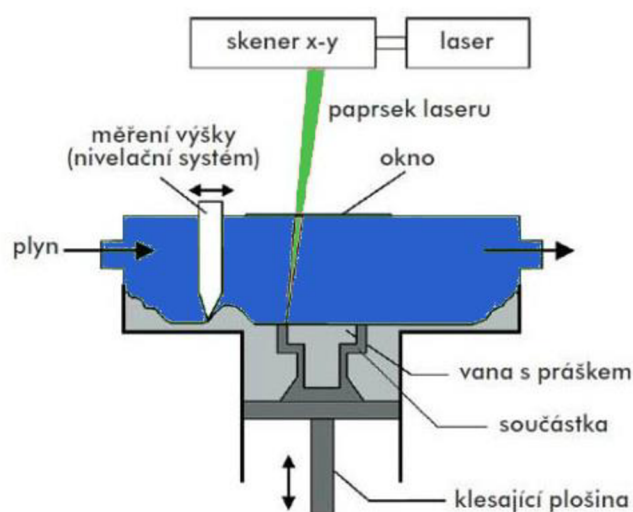
Obr 1.1 Princip metody FDM [3]

1.1.2 Metoda SLA

Druhou zkratkou je SLA (z anglického *Stereolithography*). Trochu se podobá FDM, používá však práškový plastový materiál, který je udržován ve „vaně,“ místo aby byl nanášen tam, kde je třeba. CO₂ laser potom skenuje prášnou lázeň, přičemž ho počítač zapíná a vypíná podle toho, kde má prášek ztuhnout.

Laserové teplo zvyšuje teplotu prášku až po bod, kdy se začne tavit a následně se efektivně slinuje s předchozí vrstvou prášku. Jakmile vrstva vytuhne, vana mírně klesne a po povrchu je rozprášena nová vrstva před tím, než laser opět proskenuje obrysy dílu.

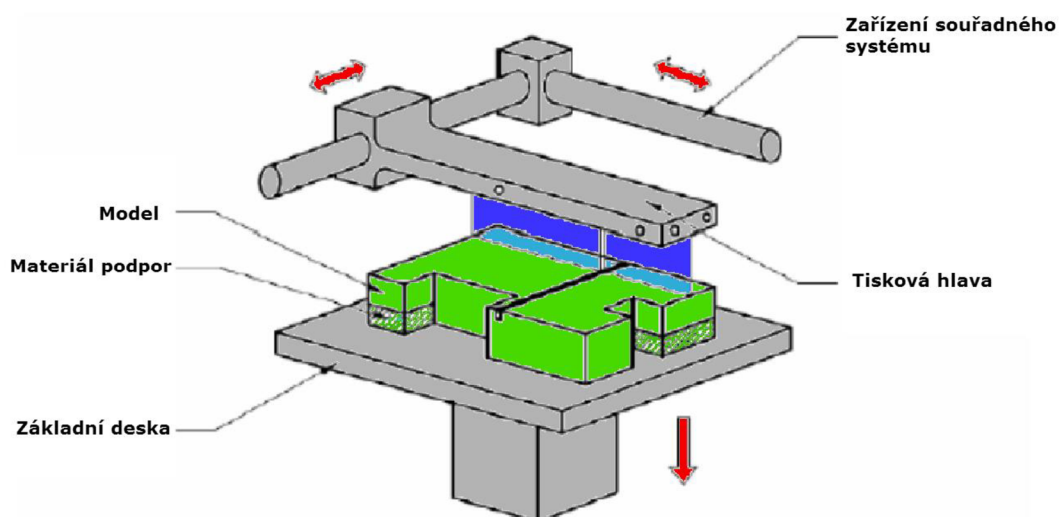
SLS zaručuje vysokou přesnost díky velmi tenkým vrstvám při tisku (od 0,02 mm). Pomocí této metody je možné získat ty nejpevnější modely díky možnosti spékat například i kovový prášek. Lze ale použít i celkem širokou škálu dalších práškových materiálů, kromě nylonu třeba sklo, keramiku, nástrojovou a nerezovou ocel, bronz, titanové slitiny, kobalt-chrom molybdenové slitiny, speciální kompozity apod.. [4]



Obr 1.2 Metoda SLA[4]

1.1.3 Metoda ProJet

ProJet používá kompozitní prach na určených místech spojený pojídlem a barvami. Nevýhoda takto vyrobených součástek je složitý postup při ručním dokončování modelu, např. impregnace pryskyřicí pro větší pevnost. Kvůli mikroskopickému prachu u ProJet procesu, který se snadno dostane do vzduchu, je třeba být extrémně obezřetný před jeho vdechnutím. Pro metodu ProJet lze použít jako materiál pouze kompozitní prach. Cena tiskárny se pohybuje přibližně od čtyřset tisíc až po miliony korun. [5]



Obr 1.3 Metoda ProJet [6]

1.1.4 Metoda SLS

SLS je jednou z nejstarších, ale velmi efektivních metod výroby prototypů. Využívá vysoce výkonný laserový paprsek k tavení a spékání jemných zrn tiskového materiálu do požadovaného tvaru. Tato technologie nabízí řadu výhod. Pro tisk lze použít široké spektrum komerčních materiálů, dodávaných v práškové formě – plasty, kov, či dokonce

2 MATERIÁLY PRO FDM

Existuje mnoho variant plastů pro 3D tisk jako jsou: ABS plast, ABSi, ABSplus, PC, ABS-M30, ABS-M30i, ABS-ESD7, ULTEM 9085, PC-ISO, Nylon 12 aj. Materiál se prodává v drátech o průměru 1,7–3 mm navinutých na válec o váze 0,5–1 kg. Pro kvalitní výtisk je nutné nastavit tiskové podmínky s ohledem na materiálové charakteristiky požadovaného materiálu, které jsou vždy udávány výrobcem v materiálovém listu. Mezi nejdůležitější patří teplota tavení T_m (melting temperature), teplota skelného přechodu T_g (glass transition) a koeficient smrštění. Důležitou vlastností materiálu je pevnost v tahu, kterou lze ovlivnit správnou orientací dílu při tisku a kvalitním spojením jednotlivých vrstev. Další vlastností je pevnost v ohybu, na kterou je nutné brát ohled zejména při tisku cyklicky namáhaných dílů. Vlastnosti materiálů se mohou v závislosti na výrobcu značně odlišovat. Podrobné materiálové charakteristiky a odpovídající zkušební normy lze nalézt v datových listech jednotlivých výrobců. [8]

Tab. 2.1 Rozdělení materiálů podle mech. vlastností [9], [10]

Materiál	ABS	ABSi	ABS plus	PC	ABS-M30	PLA	ULTEM 9085	PET	Nylon 12
Pevnost v tahu [MPa]	22	37	37	68	36	50	71.64	140	48.26
Modul pevnosti v tahu [MPa]	1627	1920	2320	2280	2413	3500	2200	3500	1310
Poměrné prodloužení na mezi kluzu [%]	6	4.4	3	4.8	4	6	5.9	2.5	6.5
Pevnost ohybu [MPa]	41	62	53	104	61	80	115.1	80	68.95
Modul pružnosti v ohybu [MPa]	1834	1920	2250	2230	2320	4000	2500	2507	1310
Teplota skel. přechodu T_g [°C]	105	116	108	161	108	65	186	76	178
Teplota měknutí [°C]	90	86	96	138	96	60	153	70	75

2.1 ABS plast

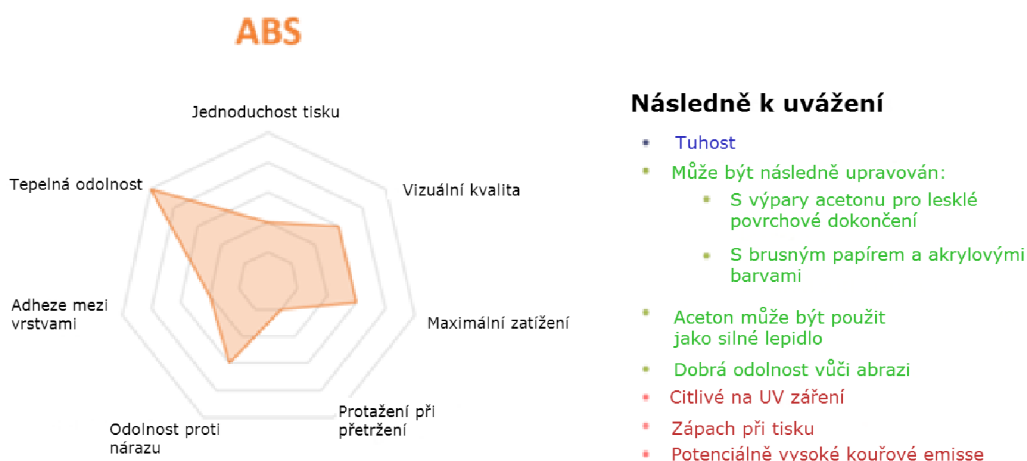
Typů ABS je mnoho, každý typ má své specifické vlastnosti a proto jsou následující údaje obecné pro všechny ABS plasty.

Akrylonitrilbutadienstyren (ABS), je termoplastický materiál o hustotě $1\,045\text{ kg/m}^3$, používaný pro stavbu modelů na 3D tiskárnách. Jeho výhodou je tuhost, odolnost proti nízkým i vysokým teplotám a chemikáliím (kyseliny, uhlovodíky, oleje) a zdravotní nezávadnost. Díly z ABS je možné lepit rozpouštědlovými a polyakrylátovými lepidly.

Jedná se o jeden z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tisk metodou extruze polymeru, včetně technologie FDM, při níž mu zdatně sekunduje taktéž populární PLA.

Vzhledem k tomu, že se tento plast vyrábí z ropy, části lidí nevoní. Je také nutná vyhřívaná podložka. To znamená, že některé tiskárny pomocí ABS nemohou spolehlivě tisknout.

Materiál není biologicky rozložitelný, je však pevnější než PLA (z ABS se vyrábí i stavebnice Lego). Tiskne se při $\sim 220\text{--}260\text{ }^\circ\text{C}$ a dochází k deformaci. Cena drátu se pohybuje okolo 576 Kč/kg bez dph, cena granulátu je $2,2\text{ €/kg}$ tj. $58,37\text{ Kč/kg}$. [12], [13]



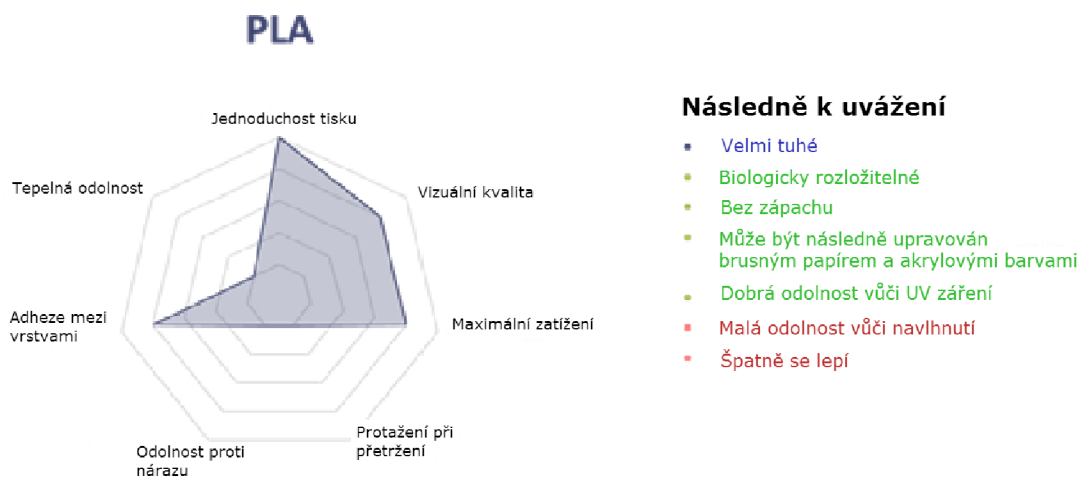
Obr 2.1 Vlastnosti materiálu ABS [11]

2.2 PLA plast

Polylactid acid (PLA) je vedle ABS nejpoužívanějším materiálem pro 3D tisk metodou extruze termoplastu, včetně originální technologie FDM, oblíbený především mezi domácími kutily a na školách. Tento termoplastický polyester je získáván z obnovitelných zdrojů, např. z kukuřičného nebo bramborového škrobu a je biologicky odbouratelný. Pro účely 3D tisku je dodáván obvykle ve formě drátu o průměru $1,75\text{ až }3\text{ milimetry}$.

Ve srovnání s ABS je snadněji a rychleji zpracovatelný při stejných výchozích podmínkách, nicméně výrobky z něj jsou výrazně méně odolné vůči vyšším teplotám (začíná měknout již kolem šedesáti stupňů Celsia, zatímco ABS má hranici této tzv. „glass transition temperature“ až na sto stupních). Na rozdíl od ABS není PLA tolik náchylné k deformacím a vadám vlivem chladnutí vytištěného materiálu, nevyžaduje tedy striktně použití vyhřívané podložky. Subjektivní výhodou PLA nad ABS je mezi některými domácími uživateli fakt, že PLA při tavení produkuje vůni připomínající smažení rostlinného oleje, zatímco ABS je při tavení cítit jako pálený plast. Z materiálového

hlediska jsou výrobky z PLA oproti ABS méně pružné a mají vyšší lesk. Cena drátu je zhruba 473.6 Kč/kg, zatímco cena granulátu je 123.4 Kč/kg. [14]



Obr 2.2 Vlastnosti materiálu PLA [11]

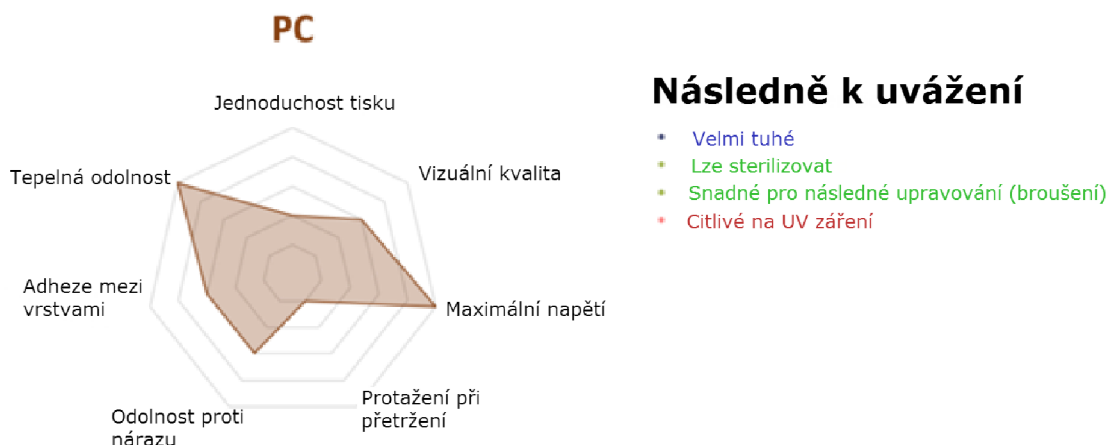
Porovnání ABS a PLA

Tab. 2.2 Porovnání plastů ABS a PLA [12]

Materiál:	ABS	PLA
Vyrobeno z	Petrolej	Rostlinný původ (škrob)
Klíčové vlastnosti	Je tvrdší a odolnější vůči nárazu. Proto se často používá k výrobě mechanických součástí a součástí vystavených působení přírodních živlů	Obvykle umožňuje snadnější tisk
Dostupnost:	Velmi běžné, prodává se dlouhou dobu	Méně dostupné, ale nejpopulárnější mezi bioplasty
Zápach	Někteří uživatelé si u vlákna ABS stěžují na silný plastový zápach, nicméně při použití v tradičních 3D tiskárnách toto vlákno zapáchá méně než permanentní popisovač	Vlákno PLA je známé svým sladkým/kukuřičovým zápachem
Pevnost	Je pevné, odolné vůči nárazu a tuhé. Lze je mírně ohnout	Pevné, ale při ohnutí křehčí než vlákno ABS. Při ohnutí je pravděpodobnější, že praskne
Teplotní nastavení	210-260°C	175-220°C
Použití	Platforma HBP je doporučována	Platforma HBP není vyžadována
Následné zpracování	Lze je řezat, plnit a lepit. Pomocí acetonu lze vyhladit a nablýskat jeho povrch	Lze je řezat, plnit a lepit. Aceton na ně nepůsobí
Zranitelnost	Je méně zranitelné vůči vlhkosti a slunečnímu světlu nebo přehřátí při zpracování. Obvykle je stabilnější a odolnější vůči chemikáliím	Je zranitelné vůči vlhkosti a slunečnímu světlu nebo přehřátí při zpracování. V případě přehřátí se může prohnout
Vzhled	Obvykle je lesklé, ale záleží na typu	K dispozici jsou průsvitné verze
Ekologie a recyklace	Vlákno ABS je označeno recyklačním kódem 7, což znamená, že přestože je jeho recyklace možná, řada středisek pro recyklaci je nepřijímá. Střediska pro recyklaci nyní vlákna ABS přijímají a obvykle je recyklují stejně jako dřevoplast nebo jiné materiály	Vlákno PLA je bioplast, což znamená, že se pomalu postupně znehodnocuje. K dispozici jsou služby recyklace a komerčního kompostování, které však ze strany zákazníka vyžadují určité menší úsilí

2.3 PC plast

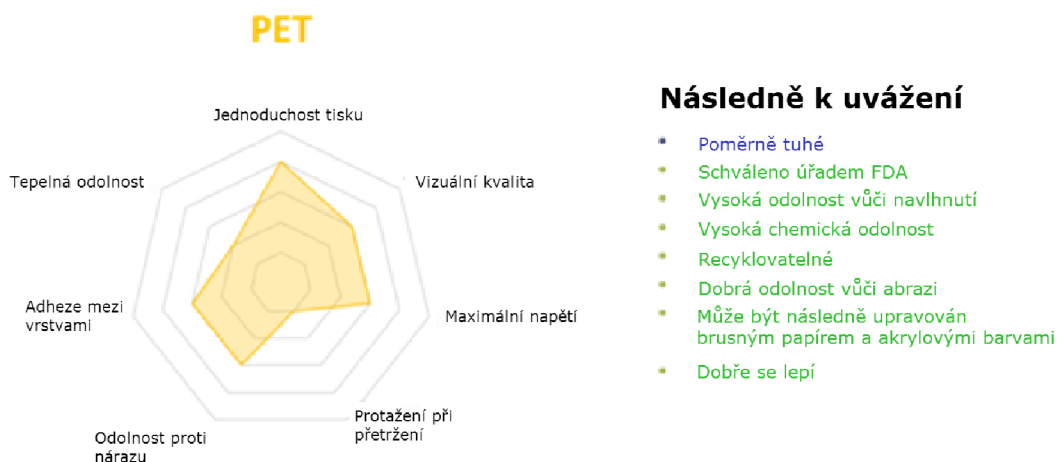
Polykarbonát je další z používaných termoplastů. Má velice dobrou odolnost proti nárazům a dobrou tepelnou odolnost. PC je nejtvrdější plast používaný pro 3D tisk. Výhoda je zachování ohebnosti i za studena. Nevýhoda je vyšší bod tání materiálu. Největší užití je pro tisk transparentních prototypů. Polykarbonát spolu s materiálem nylon a ASA jsou nejhůře tisknutelné materiály ze všech dostupných. Teplota zpracování 230 – 280°C. Cena polykarbonátové struny je 1,5 Kč/g (drát). [15]



Obr 2.3 Vlastnosti materiálu PC [11]

2.4 PET plast

Polyetylen tereftalát. Vyznačuje se nemačkovostí a nízkou navlhavostí. Pružnější, mechanicky odolnější materiál než ABS. Materiály pro 3D tisk označované jako PET většinou nemají to samé složení jako PET lahve. Výrobci si chrání chemické složení jejich PET materiálu. Teplotní odolnost materiálu 70 – 80°C. Teplota zpracování 220 – 260°C. Cena 0,8 Kč/g (drát). [15]



Obr 2.4 Vlastnosti materiálu PET [11]

2.5 typy 3D FDM tiskáren

3D tiskárna original prusa I3 MK2 je open source tiskárna, která podporuje více než 12 druhů materiálů s pracovní plochou 25×21×20 cm a výškou vrstvy od 0,05 mm. Na rozdíl od tiskáren s uzavřeným prostředím je zde vyhřívána pouze podložka, aby nedošlo k velikým rozdílům teplot na rozhraní plast – podložka. U tohoto modelu také není nutné udržovat tiskovou plochu (nutnost nanášení lepidel, čištění skla). [16]



Obr. 2.5 Tiskárna original prusa I3 MK2 [16]

3D tiskárna Fortus 450mc patří do skupiny 3D tiskáren s uzavřeným prostředím, kde si na tisknutou součást není možno v průběhu tisknutí sáhnout. Tento model tiskárny tiskne modely do velikosti 40,6×35,5×40,6 cm. Tento typ tiskárny podporuje 9 druhů materiálů. [15]



Obr. 2.6 Tiskárna Fortus 450mc [17]

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V dnešní době existuje mnoho programů pro tvorbu 3D modelů, jako např. SolidWorks, Rhinoceros, CATIA aj., v tomto případě byl neméně vhodný program Autodesk Inventor Professional 2015 zvláště z důvodu jednoduchého ovládání a snadného přístupu.

3.1 Autodesk Inventor Professional 2015

Autodesk Inventor je strojírenský 2D/3D CAD program firmy Autodesk, sloužící pro tvorbu prototypů. Využívá parametrické, adaptivní a přímé modelování součástí a sestav, z nichž je následně generována výkresová dokumentace (pohledy, detaily, řezy...). Program pracuje se souborovými formáty IPT (součásti), IAM (sestavy), IDW/DWG (výkresy) a IPN (prezentace). Podporuje ale i import a export CAD dat z řady dalších formátů (např. STEP, IGES, Solidworks, CATIA, Pro/E a dalších).

Inventor je určen pro operační systém Windows. Aktuální verze jsou k dispozici i v češtině. Lokalizace zahrnuje jak uživatelské rozhraní programu, tak jeho dokumentaci. Kromě uživatelského rozhraní nabízí Inventor široké možnosti programování pomocí API (.NET/C++).

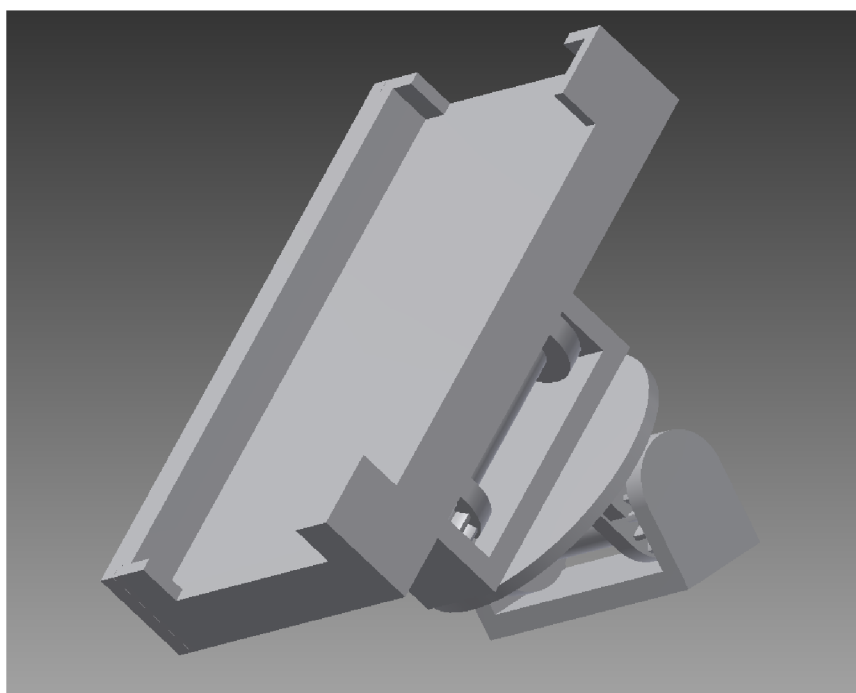
Vedle komerční licence Inventoru existují i jeho výukové verze (EDU); studentské licence Inventoru Professional jsou zdarma. [18]

3.2 Návrhy variant řešení

Cílem bylo vytvořit držák na GPS a posoudit ho z technologického hlediska. Ovšem je nutno přihlídnout i k otázce snadné výroby a estetického hlediska.

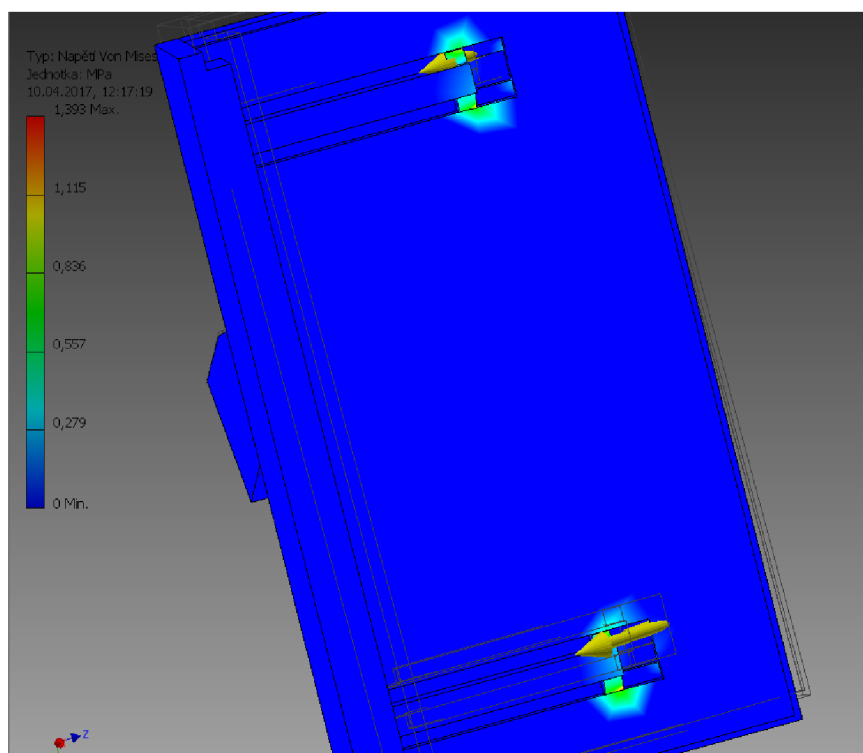
3.2.1 Varianta č. 1

Rozměry první varianty vychází z předpokladu, že mobilní telefon nebo zařízení s navigací GPS musí být širší než vymodelovaná součást, ovšem nesmí přesahovat výškou. Otevírání hlavy funguje na principu kolejnic, které jsou stahovány pružinou.

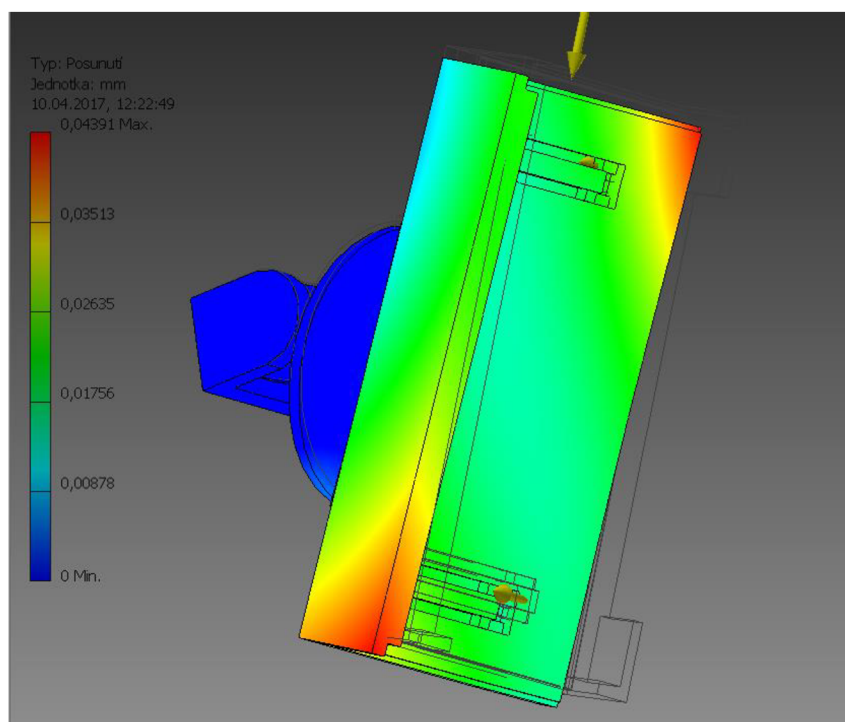


Obr 3.1 Varianta č.1

Na obrázcích 3.2 a 3.3 lze vidět jak vypadá napětí v této variantě. Maximální hodnota napětí je 1.39 MPa a maximální posuv je přibližně 0.05 mm. Tato možnost je nevhodná pro výrobu na 3D tiskárně zvláště kvůli časové náročnosti na tisk a množství spotřebovaného materiálu. Ovšem výroba metodou forem by v tomto případě byla ideální, jelikož se jedná o jednoduché tvary.



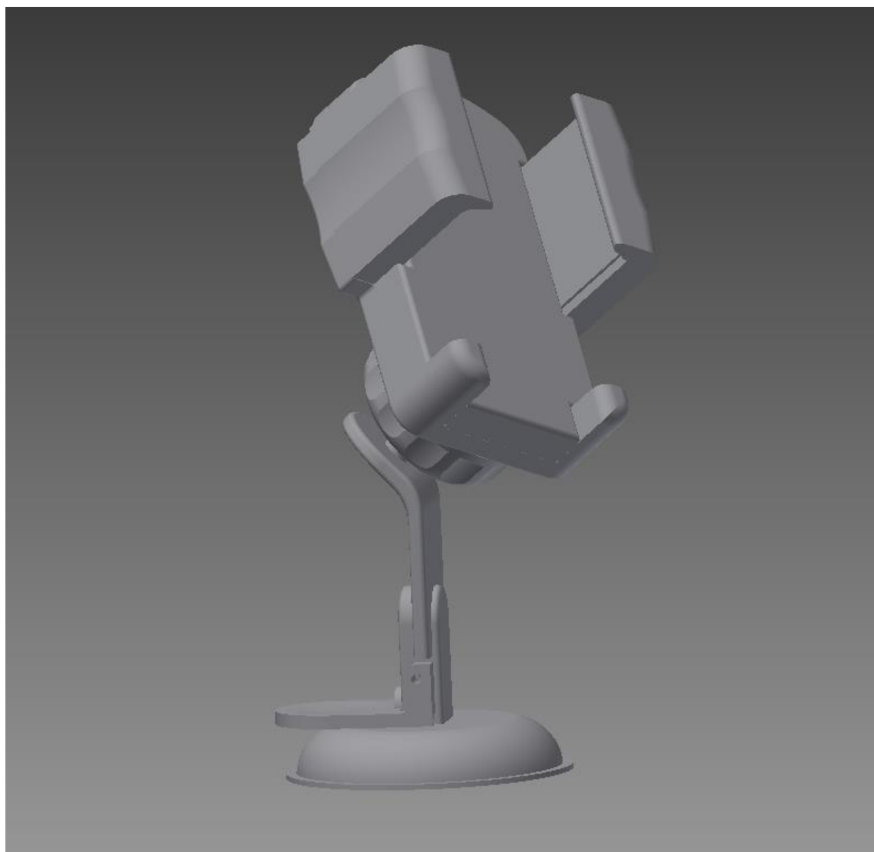
Obr 3.2 Napětí varianty č.1



Obr 3.3 Posuv varianty č.1

3.2.2 Varianta č. 2

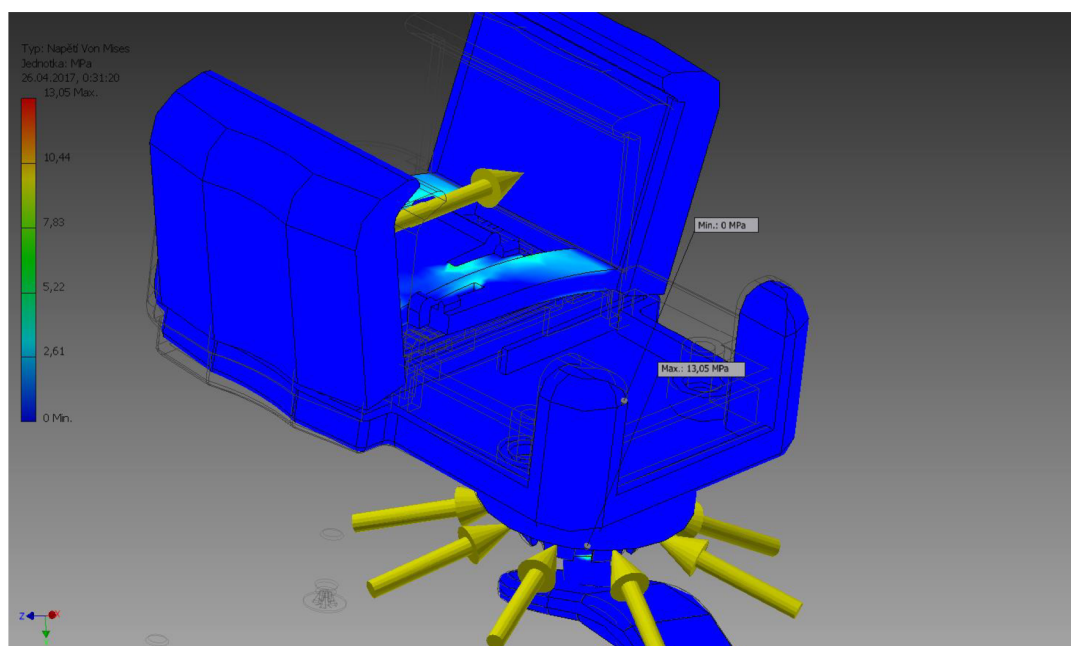
Tato varianta je propracována ze všech nejlépe a v rámci loňského roku již byla vytisknuta a je funkční. Princip otevírání držáku spočívá v drobných zubech, které vyvíjí odpor proti otevírání či zavírání. Samotné natáčení hlavy spočívá v kloubu, který se pohybuje kolem koule, tento kloub možno za pomoci svěrných segmentů znehybnit. Finální zachycení na skle auta je vyřešeno pomocí vakua, které se vytvoří po spuštění páky.



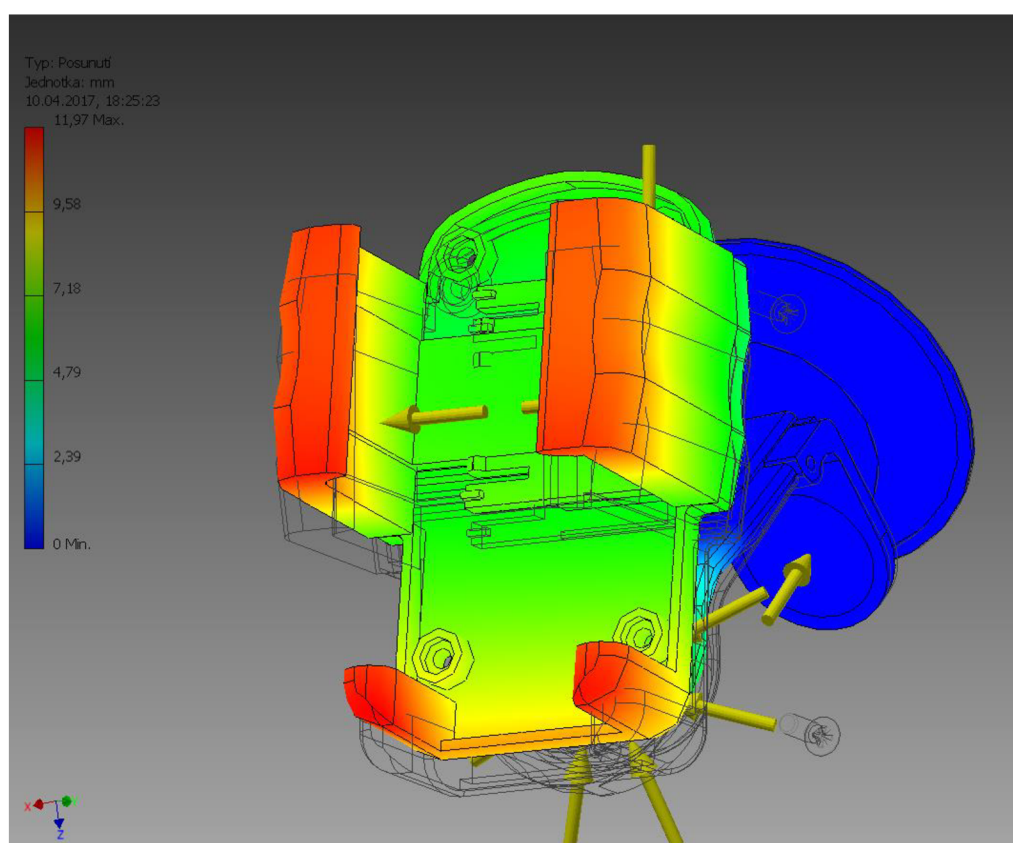
Obr 3.4 Varianta č. 2

Varianta č. 2 se v současnosti používá, mezi její nevýhody pro výrobu na 3D tiskárně patří hlavně časová náročnost na tisk, množství materiálu a životnost. Tento držák je výhodnější pro tvorbu pomocí forem, mohou však nastat problémy při formování malých profilů jako zuby, jenž zamezují pohybu.

Na obrázcích níže (obr 3.5 a obr 3.6) lze vidět maximální napětí a posuv při zatížení. Maximální hodnota redukovaného napětí Von Mises je 13.05 MPa, to znamená, že při porovnání s mezí pevnosti materiálu ABS tento držák odolá i většímu zatížení. Posun, jenž nastane při zatížení, je 11.97 mm. Výpočty pro zatížení jsou pouze orientační, kdyby bylo zapotřebí dokonale přesných výpočtů, bylo by nutno využít výpočtový software jako např. Ansys.



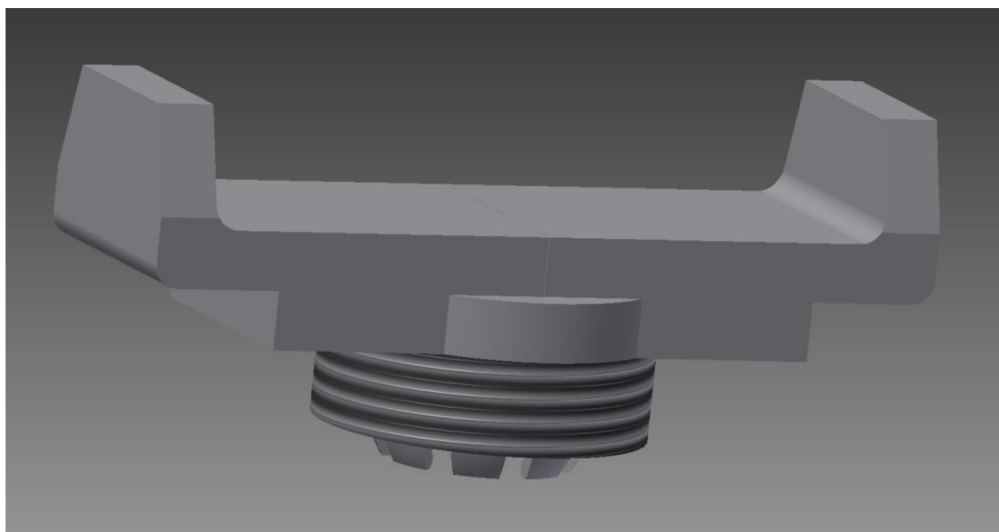
Obr 3.5 Napětí varianty č.2



Obr 3.6 Posuv varianty č.2

3.2.3 Varianta č. 3

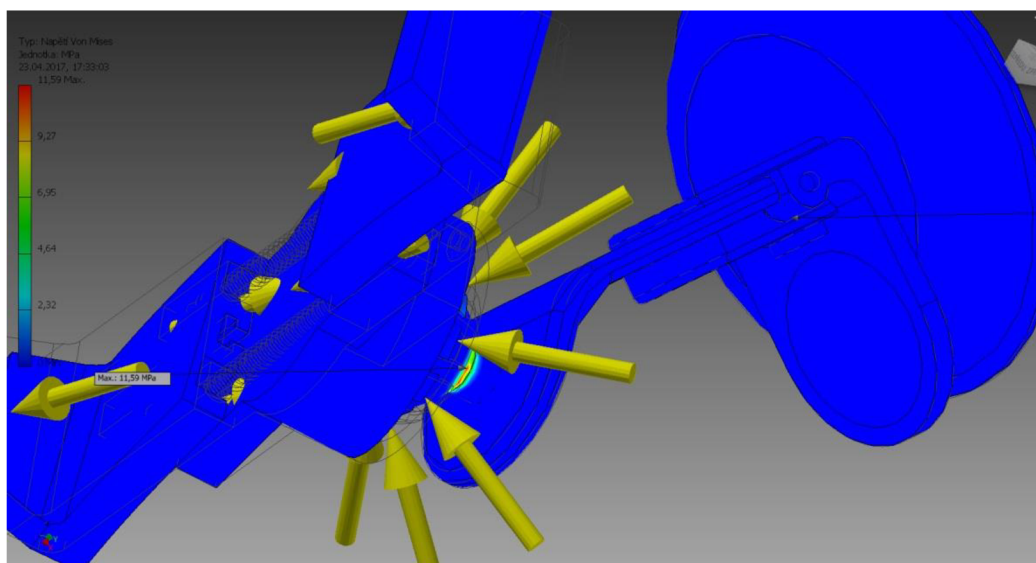
Poslední varianta je na první pohled z hlediska materiálu nejspornější. Princip pohybu spočívá v pružině, jež se nachází mezi dvěma držáky, které se pohybují na kolejnicích. Samotné natáčení a zajištění hlavy je stejné jako u varianty č. 2.



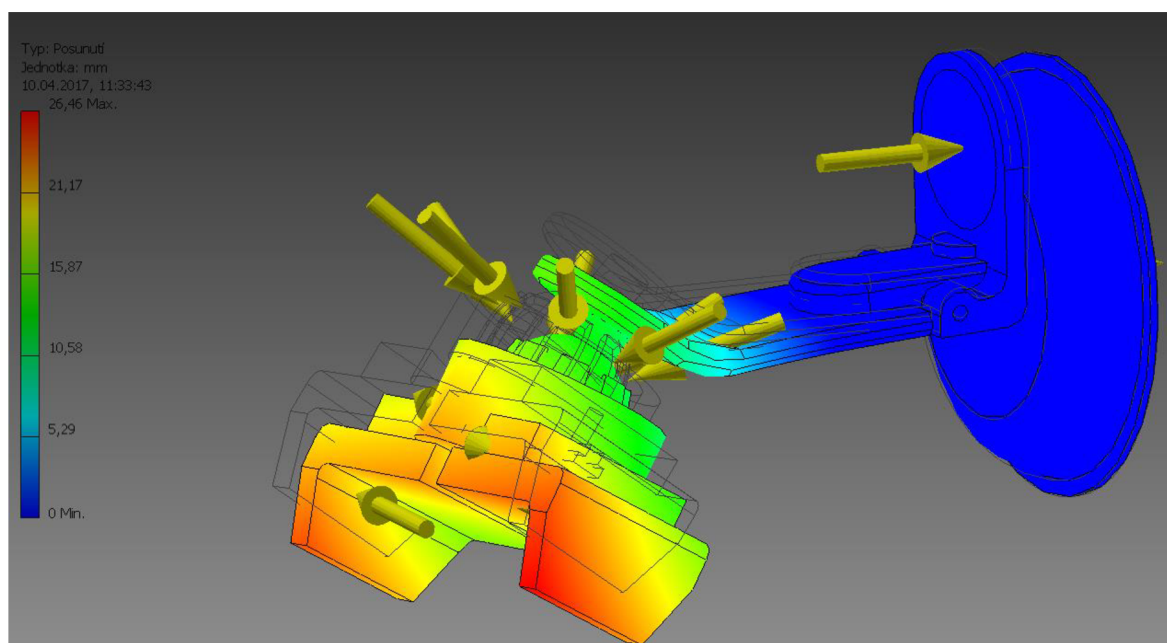
Obr 3.7 Varianta č. 3

Tato varianta byla navržena jako kombinace první a druhé varianty. Problémy mohou nastat při špatném zvolení pružiny, jež bude mít příliš malou tuhost a tudíž nebude mít dostatečnou sílu udržet telefon na místě.

Na obr 3.8 a obr 3.9 lze vidět maximální redukované napětí Von Mises (11.59 MPa) a posun (26.46 mm) varianty č. 3. U napětí se jedná o čísla malá vzhledem k materiálu, a proto prototyp dané zatížení vydrží.



Obr 3.8 Napětí varianty č.3



Obr 3.9 Posuv varianty č.3

Srovnání variant:

V tabulce 3.1 níže je srovnání použitých variant. Podle parametrů lze logicky vyvodit, že varianta tři je při porovnání ekonomické a technické stránky nejvýhodnější. Tabulka 3.1 je vztahena na materiál ABS.

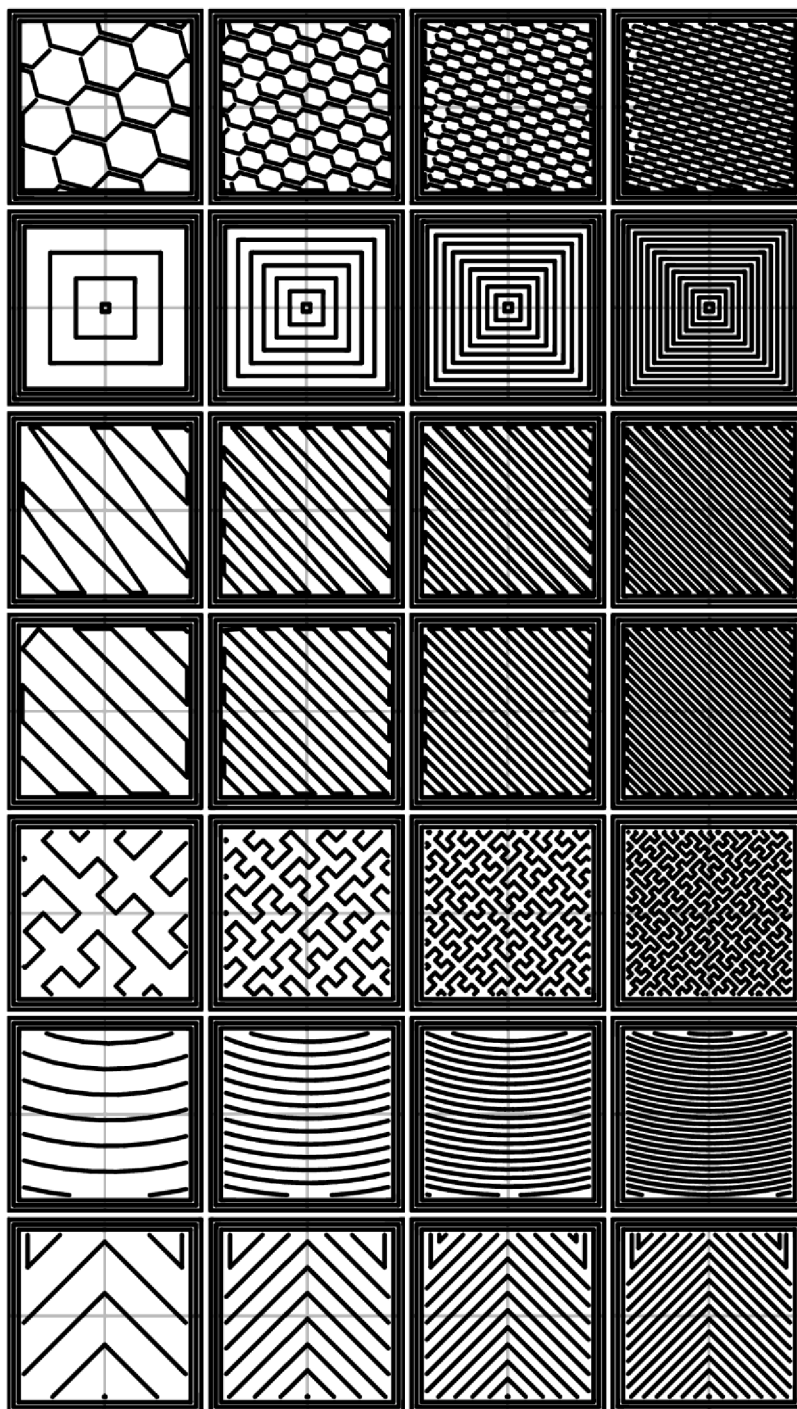
Tab. 3.1 Porovnání variant

	Varianta č. 1	Varianta č. 2	Varianta č. 3
Čas výroby	14h 12min	7h 35min	4h 45min
Objem výrobku	207.8 cm ³	69.1cm ³	38.4cm ³
Hmotnost výrobku	0.22 kg	0.076 kg	0.042 kg
Přibližná cena mat.	110 Kč	38 Kč	21 Kč
Maximální napětí	1.39 MPa	13.05 MPa	11.59 MPa

4 ROZBOR ŘEŠENÍ Č. 3

4.1 Tvar a pevnost výplně

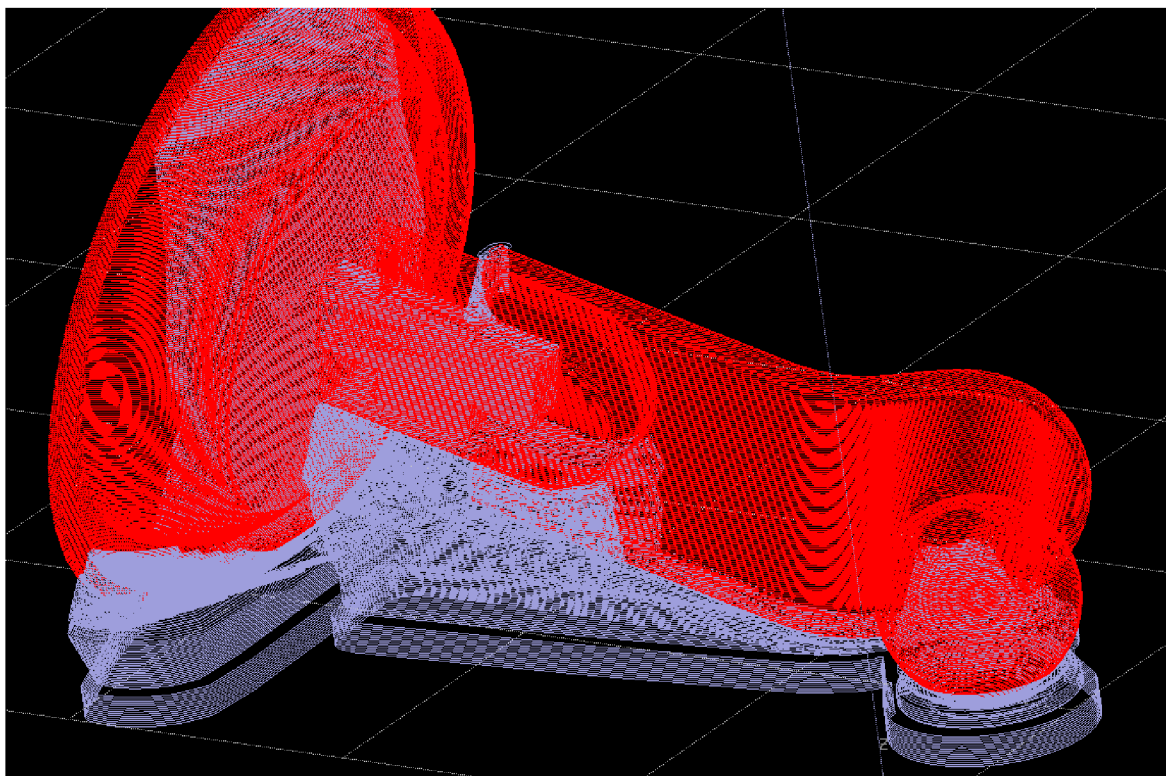
Je zapotřebí zvážit několik parametrů pro zvolení tvaru výplně jako jsou pevnost objektu, čas tisku a množství spotřebovaného materiálu. Lze předpokládat, že pro složitější tvar výplně bude zapotřebí více tahů, a proto zabere i více času a materiálu. Program Slic3r nabízí několik variant tvarů výplně, které jsou na obr. 4.1 [19]



Obr. 4.1 Tvary výplně s různou hustotou zaplnění [19]

4.2 Podpory

Na obr. 4.2 lze vidět, kde jsou zapotřebí podpory – jedná se o úseky, které by nebylo možno vytisknout, pokud by roztavený plast nemohl spočinout na podpoře a zatuhnout. Podpory se po vytisknutí součásti odlomí a povrch tělesa se následně upraví dokončovací metodou jako je např. broušení smirkovým papírem.

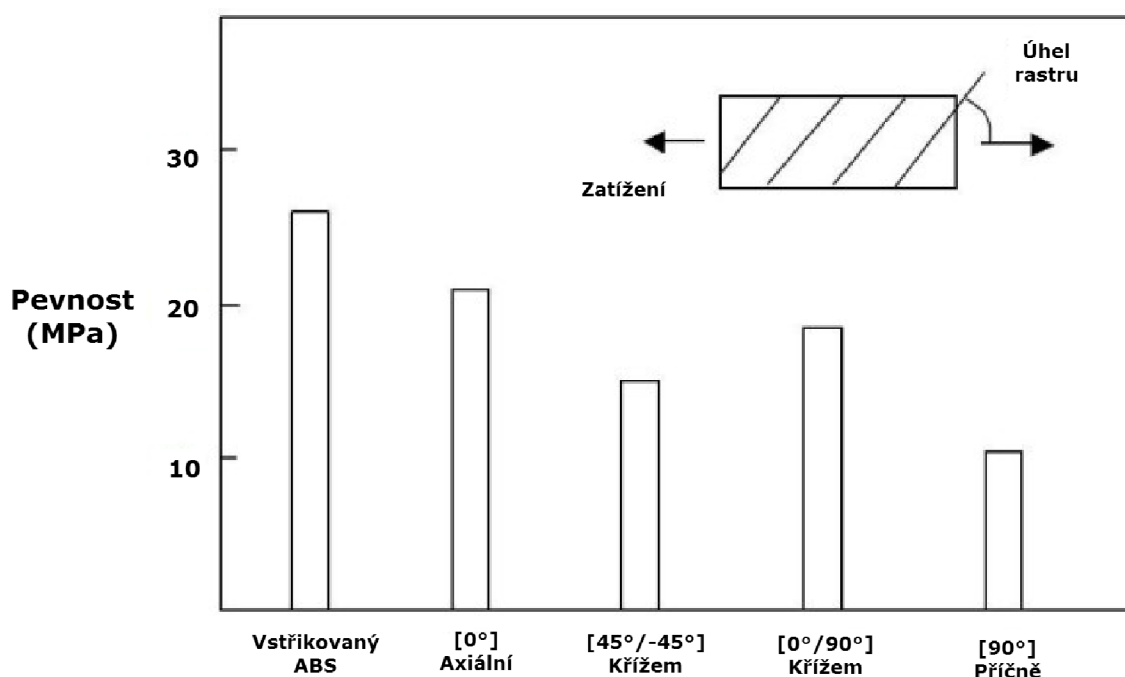


Obr 4.2 Ukázka tisknutého objektu (červená) s podporou (šedá)

4.3 Směr vláken

Díky tomu, že se při stavbě natavuje pouze přidávaný drát, do celé součásti se vnáší méně tepla. To má příznivý vliv hlavně na přesnost výrobku. Zároveň je ale množství tepla dostatečné k vytvoření kvalitního spoje mezi vlákny.

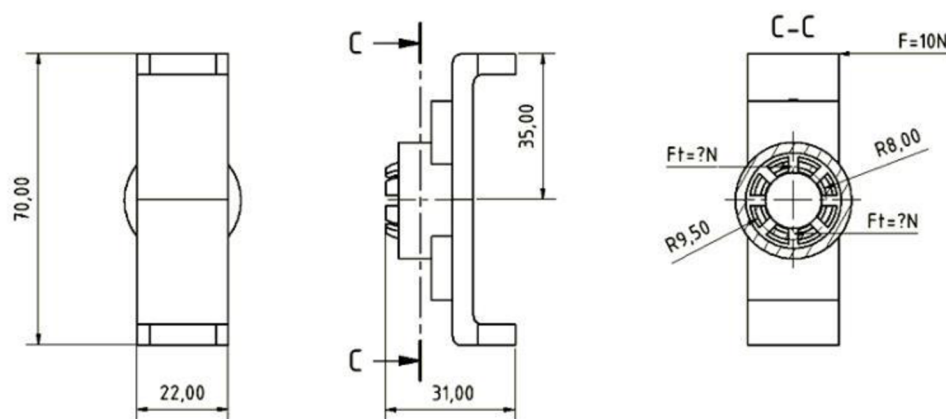
Technologie Fused Deposition Modeling staví součást postupně nanášením „vláken“. Výsledné mechanické vlastnosti tak jsou závislé i na způsobu kladení těchto vláken. Rozhodující je použitý rastr a vzdálenost mezi jednotlivými vlákny. Tato mezera se standardně ponechává nastavena jako „= 0“. Při jakékoli kladné hodnotě nedochází ke vzniku spojení mezi vlákny, velmi rychle klesají parametry materiálu a ten se rozpadá na několik částí. Naopak výhodné může být nastavení záporné mezery, kdy se vlákna jakoby mírně překrývají. Toto by však nemělo překročit 0,05 mm, poté vzrůstá pevnost, ale naopak to může negativně ovlivnit přesnost nebo kvalitu povrchu. Šířka nanášeného vlákna neovlivňuje pevnost součásti. Má ale vliv na časovou náročnost stavby a kvalitu povrchu. Pokud je na vyráběné součásti tenká stěna, šířka vlákna by měla být pokud možno celým dělencem tloušťky stěny. [20]



Obr 4.3 Srovnání pevnosti vstříkovaného ABS P300 s tím samým typem plastu, ale naneseným metodou Fused Deposition Modeling (různé směry kladení vláken) [20]

4.4 Náčrt řešení č.3

Na obr. 4.4 byla otočná hlava zatížena ze strany silou $F=10\text{ N}$ jako příklad situace, kdy se ruka snaží otočit přichycený mobil o 90° .



Obr 4.4 Náčrt zatížení hlavy držáku

$$M: F \times L - F_t \times R = 0 \quad (4.1)$$

Pomocí momentové rovnice (4.1) lze vypočítat třecí sílu působící na otočnou kouli od každého segmentu a následně z rovnice (4.2) dopočítat, že normálová síla $F_n=15.625\text{ N}$. Třecí koeficient pro rozhraní ABS plast a pryž se pohybuje kolem $f=0.35$, ten udává zda bude pohyb na rozhraní obtížný či snadný.

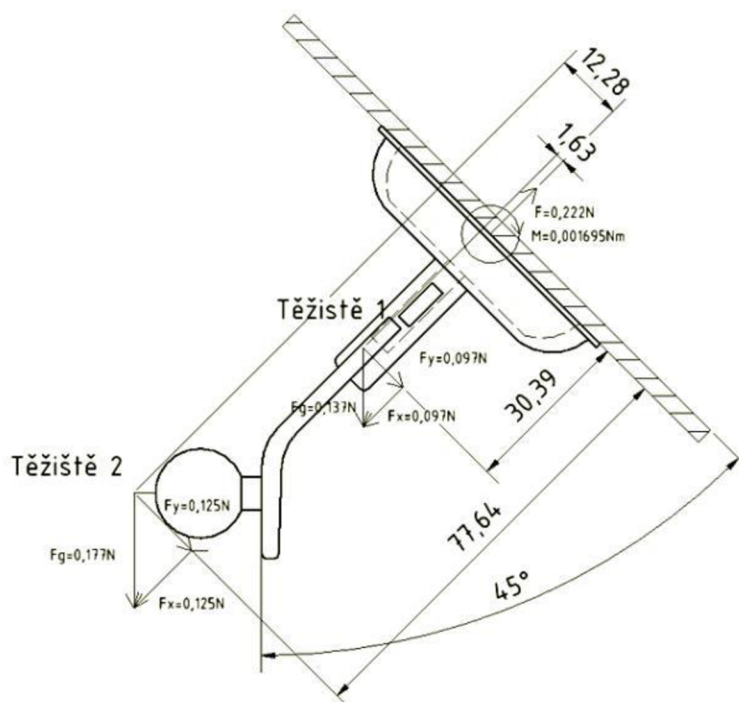
$$F_t = F_n \times f \quad (4.2)$$

Výpočet podtlaku, jenž je nutný pro udržení tělesa na skle, se spočítá takto, přičemž je známo že úhel alfa je 45° :

$$F_g = m \times g \quad (4.3)$$

$$F_y = F_g \times \cos \alpha \quad (4.4)$$

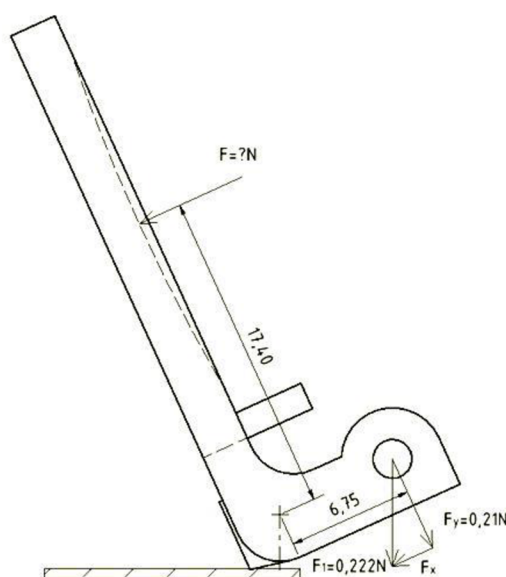
Musí se ovšem do výpočtů započítat i vibrace a nárazy auta, kde hraje roli gravitace, a proto se výsledná síla vynásobí koeficientem $k=5$. Potom síla, jež působí na šoupátko ve vakuovém prostoru, bude $F=1,1\text{N}$



Obr 4.5 Náčrt těla držáku a jeho upevnění na čelní sklo auta

Pomocí síly F_y a pomocí momentových rovnic lze dopočítat, jak velkou silou musí člověk působit na střed pojistné páčky. Dochází zde ke tření mezi podložkami, je ovšem tak malé, že jej lze zanedbat, stejně tak se mohou zanedbat i síly gravitační a normálové. Pomocí rovnice (4.5) se dopočítá, že síla nutná k otočení páčky, po vynásobení vibračním koeficientem, je $F=0,41\text{N}$.

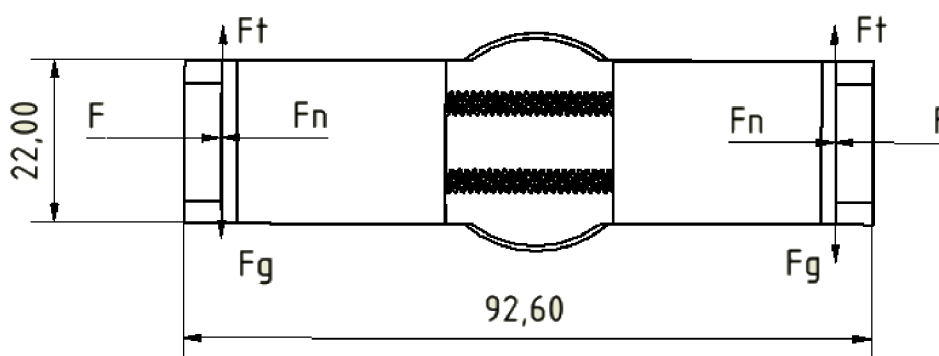
$$M: F \times r > F_y \times R \quad (4.5)$$



Obr 4.6 Náčrt pojistné páčky

Následně je nutno provést výpočty na pružiny, které zajišťují odpor při rozevírání svíracích pacek. Z obšírné nabídky pružin byla vybrána tažná pružina s číslem 04/8/3 od firmy Hennlich, jež patří do skupiny pružin vyrobené z nerezové oceli dle EN 10270-3 (1.4310). Pružiny jsou upevněny do drážek ze spodní strany svíracích pacek. S pomocí výrobního listu pružiny bylo zjištěno, že síla pro maximální rozevření pacek bude $F_m=6.9$ N. Síla nezatížených pružin, tj. když packy nejsou rozevírány, je $F_0=0.83$ N. Tuhost pružiny je $0,25$ N/mm tj. v přepočtu 250 N/m.

Podle rovnice 4.2 a 4.3 lze zjistit, jaká je nutná minimální síla $F_t=0.711$ N pro udržení mobilu v držáku, je-li hmotnost telefonu $0,2$ kg. Jelikož se jedná o dva povrchy, na kterých působí tření, síla F_t bude polovina síly F_g . Tato síla musí být menší než síla F_m , aby bylo zajištěna funkčnost držáku. Pro třecí koeficient je zde uvažováno rozhraní krytu mobilu a gumy pro zajištění vyššího tření $f=1$. Při jízdě autem mohou nastat vibrace, jež dodatečně zatěžují držák a telefon. Podle třecí síly je zřejmé, že sevření vydrží přetížení 6 G, na takové přetížení se obvykle držáky na mobily konstruuji.

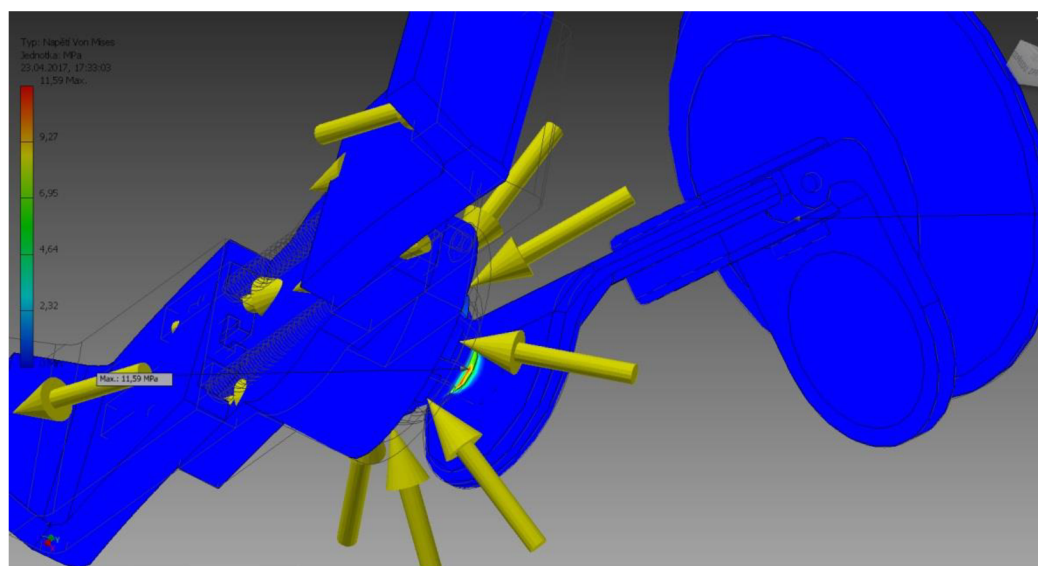


Obr. 4.7 Náčrt svírání pacek a pružin

4.5 Mechanické vlastnosti

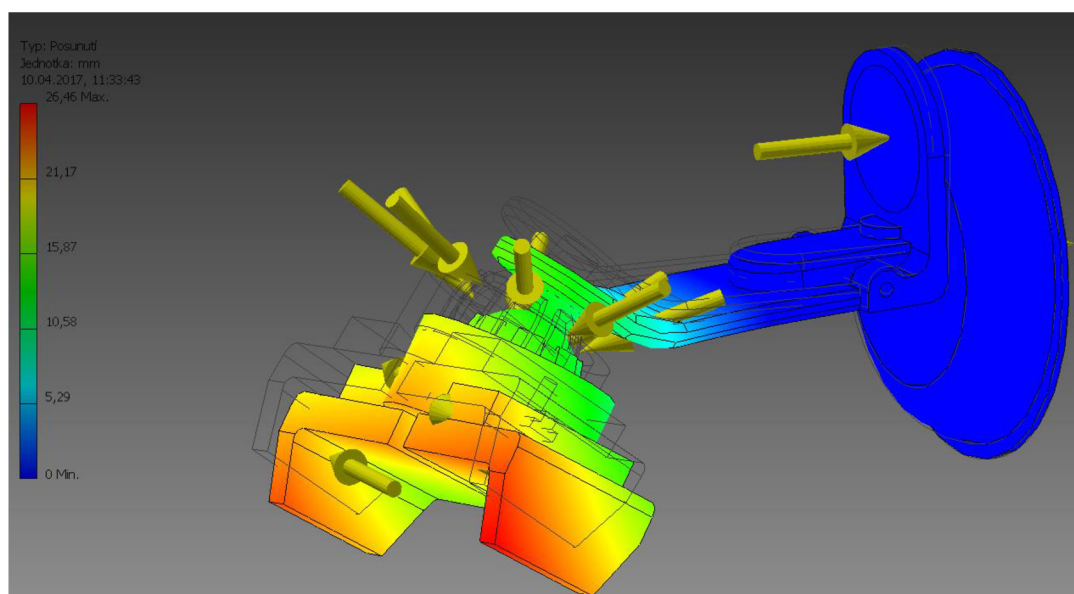
Na obr 4.7 lze spatřit namáhání spoje. Podle očekávání největší napětí se nachází na krčku koule. Vysoké hodnoty napětí se ovšem nacházejí i na patách svíracích segmentů, proto je velmi důležité součásti spojovat opatrně. Napětí na patách poroste s utahovacím momentem pojistného kroužku, jenž zajišťuje zvýšení třecí síly mezi segmenty a koulí, což způsobí zamezení pohybu.

Pokud by nastala situace, kdy telefon vypadne z držáku, pravděpodobně by byla na vině nízká tuhost nebo porucha pružiny, která ovšem lze snadno nahradit. Podle napěťové charakteristiky k poškození pacek nedojde, avšak daná varianta je počítána pro zatížení od mobilu a nehledí na lidský faktor, proto by se s držákem mělo zacházet opatrně.



Obr 4.8 Napětí varianty č.3

Na obr 4.8 lze vidět, jak moc se prohne celý držák po přichycení na sklo auta.

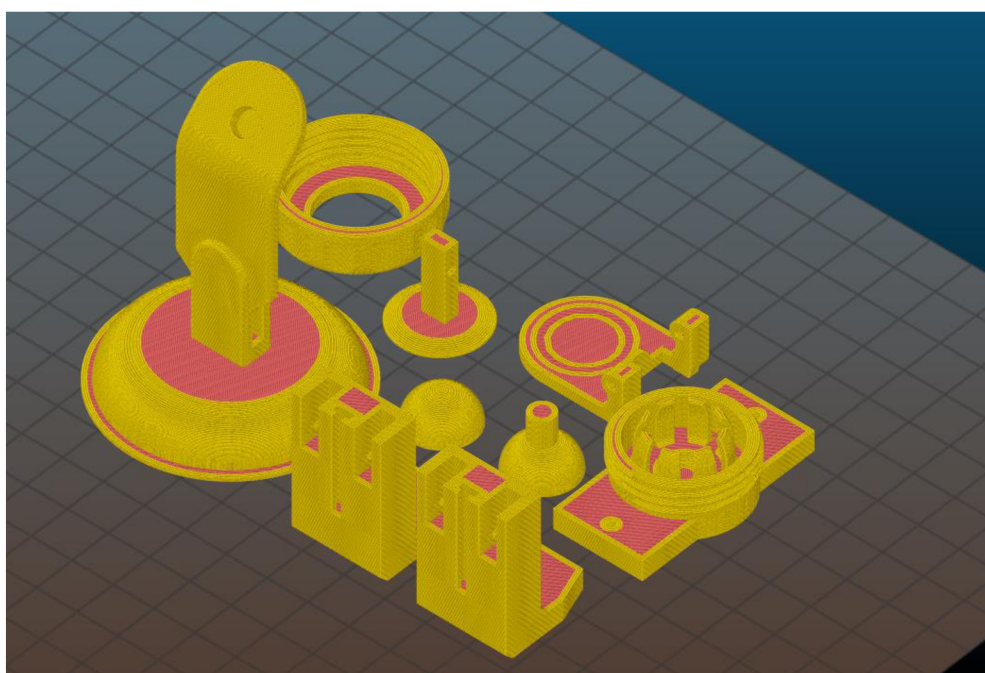


Obr 4.9 Posuv varianty č.3

Po vytvoření modelu v programu Autodesk Inventor Professional 2015 se soubory uložily do formátu stl. a následně spustily v programu Slic3r, v němž bylo zapotřebí nastavit správný typ materiálu, z něhož se bude tisknout, a tvar výplňové mřížky.

Pomocí programu CatalystEX 4.2 byl vytvořen obr. 4.2, na kterém lze spatřit podpory (šedá) a těleso na tisk (červená). Je zřejmé, že tímto způsobem vytisknuté těleso by bylo velmi těžko zbavitelné všech podpor bez porušení tisknutého tělesa, a proto byl model otočen tak, aby k tomu nedošlo, viz. obr. 4.10.

Pomocí programu Slic3r byl vytvořen obr. 4.10 na němž lze vidět rozestavení součástí na podložce, jak budou následně vytisknuty. V této fázi je důležité uvažovat, jakým způsobem je nevhodnější tisknout pro omezení plýtvání materiálem na podporách a snadný přístup k podporám pro jejich následné jednoduché odstranění.



Obr 4.10 Rozložení součástí na desce 3D tiskárny

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V technicko-ekonomickém zhodnocení se probírá, zda byl prvek správně konstrukčně navržen a kolik bude stát jeden kus metodou FDM nebo tvorbou pomocí silikonových forem. Jedná se o prototyp držáku, proto je nutné pro formy vytvořit master model, což je první model, podle kterého se vytvoří forma.

U třetí varianty se musí zejména z technického hlediska jevit svírací segmenty, jenž obepínají kouli, jako nevhodné z důvodu snadného porušení, avšak právě proto byly v kořenech vyztuženy zkosením, aby nedocházelo k lámání. Pro správné mechanické vlastnosti se musí koule, kolem níž se otáčí hlava, rozdělit na dvě části, jelikož dohromady by je 3D tiskárna nikdy nevytiskla správně – na kouli by bylo příliš velké vroubkování.

Ekonomickou stránku projektu u 3D tisku ovlivňuje několik faktorů, jako jsou cena materiálu, provozní cena a počet vyráběných produktů.

Čas tisku řešení č.3 byl zjištěn pomocí programů Slic3r, kde byla soustava převedena do formátu G-code a následně byl tento formát otevřen v programu Pronterface, jenž přímo ukazuje přibližný čas tisku. Výrobek se bude tisknout zhruba 4 hodiny 43 minut 47 sekund.

Cena 1kg ABS vhodného pro tisk se pohybuje mezi 400 - 600 Kč proto využijeme aritmetický průměr a zvolíme cenu jednoho válce ABS jako 500 Kč. Známe-li hustotu a hmotnost, lze snadno dopočítat, jaký tento válec bude mít objem – 957cm^3 .

Druhým materiálem byl zvolen materiál ULTEM 9085, jenž je po stránce mechanických vlastností zdatnější než ABS. Jeho cena za 1 kg se však pohybuje okolo 275 \$ (podle aktuálního kurzu měny $1\$ = 25,37\text{ Kč}$) tj. zhruba 6977 Kč. Hustota tohoto materiálu je 1.34 g/cm^3 a proto 1 kg materiálu má objem 746.27 cm^3 . Cena granulovaného plastu se pohybuje okolo 627,5 Kč/kg.

Provozní cena 3D tisku je proměnlivá, za hodinu se pohybuje mezi 230 – 1500 Kč. Pro výpočty níže se počítá s hodnotou 250 Kč/hod.

Vytvářený model má celkový objem $35368,286\text{ mm}^3$. Ceny se počítají pouze na výrobu plastového základu, jakékoli další součástky jako pružiny a šrouby, se musí počítat zvlášť. [21]

5.1 Srovnání cen výroby

Náklady na výrobu varianty tři z ABS plastu jsou následující:

Náklady na materiál – 21 [Kč]

Náklady na tisk – 1188 [Kč]

Celkové náklady – 1209 [Kč]

Náklady na výrobu varianty tři z materiálu ULTEM 9085 jsou:

Náklady na materiál – 293 [Kč]

Náklady na tisk – 2043 [Kč]

Celkové náklady – 2336 [Kč]

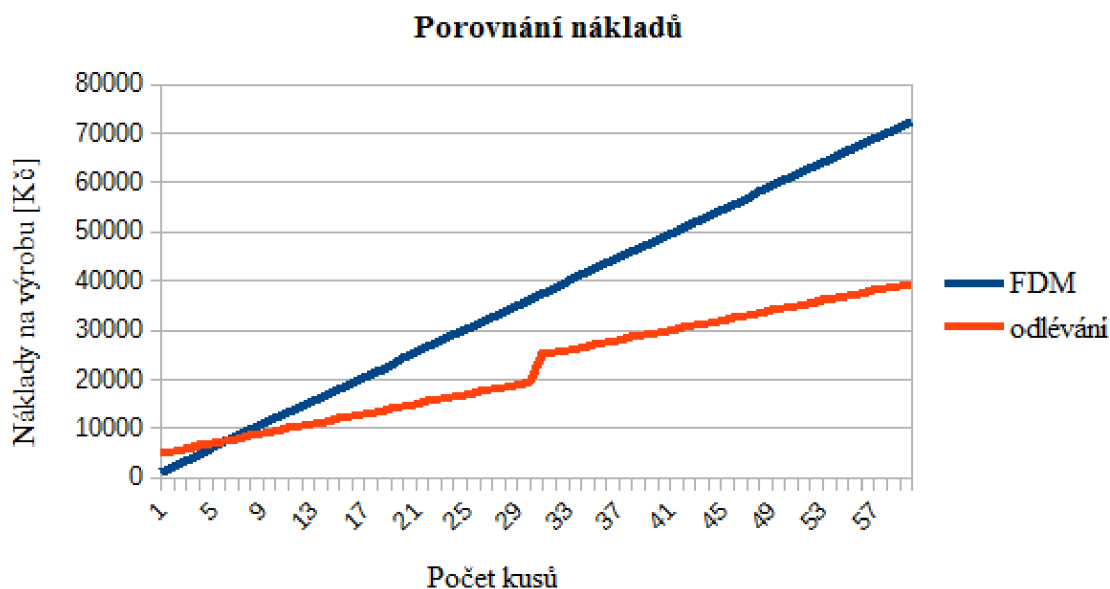
Porovnání metody FDM a metody odléváním do silikonových forem

Jeden kilogram silikonu stojí zhruba 400 Kč a na tvorbu celé formy bude zapotřebí asi 8 kg tj. 3200 Kč. Cena za odlévaný materiál se pohybuje mezi 300 - 600 korunami, pro výpočty bude použita cena 500 Kč. Výroba prvního modelu, podle kterého se udělá forma, vychází na 1300 Kč. V součtu náklady na první odlitek budou činit 5000 Kč.

Na tabulce porovnání cen vytvořené v programu LibreOffice Calc jde detailněji vidět, kde jsou skoky v cenách a kdy se metoda FDM přestává vyplácet. Grafické znázornění je níže pro snadnější přehlednost. Daný přehled byl modelován u metody FDM pro materiál ABS zatímco u silikonových forem pro materiál AXSON PX223 z toho důvodu, že silikonové formy by nevydržely teploty, při kterých se ABS vstříkuje do formy. Životnost formy je odhadována na 30 kusů.

Podle grafu a tabulky lze snadno odvodit, že metoda odléváním je výhodnější od sedmého kusu.

Graf 5.1 Grafické porovnání nákladů



Tab. 5.1 Porovnání cen

Poč. kusů	Cena metodou FDM [Kč]	Cena metodou silikonových forem [Kč]	Poč. kusů	Cena metodou FDM [Kč]	Cena metodou silikonových forem [Kč]
1	1209	5000	31	37479	25000
2	2418	5500	32	38688	25500
3	3627	6000	33	39897	26000
4	4836	6500	34	41106	26500
5	6045	7000	35	42315	27000
6	7254	7500	36	43524	27500
7	8463	8000	37	44733	28000
8	9672	8500	38	45942	28500
9	10881	9000	39	47151	29000
10	12090	9500	40	48360	29500
11	13299	10000	41	49569	30000
12	14508	10500	42	50778	30500
13	15717	11000	43	51987	31000
14	16926	11500	44	53196	31500
15	18135	12000	45	54405	32000
16	19344	12500	46	55614	32500
17	20553	13000	47	56823	33000
18	21762	13500	48	58032	33500
19	22971	14000	49	59241	34000
20	24180	14500	50	60450	34500
21	25389	15000	51	61659	35000
22	26598	15500	52	62868	35500
23	27807	16000	53	64077	36000
24	29016	16500	54	65286	36500
25	30225	17000	55	66495	37000
26	31434	17500	56	67704	37500
27	32643	18000	57	68913	38000
28	33852	18500	58	70122	38500
29	35061	19000	59	71331	39000
30	36270	19500	60	72540	39500

ZÁVĚR

V této práci se pojednává o třech různých typech držáků do auta na GPS. V rešeršní části práce se pojednává o metodách tisku na 3D tiskárnách a vhodných materiálech pro tisk. Je v ní uvedeno porovnání materiálů z hlediska pevnosti, pružnosti a teplotní odolnosti.

Experimentální část se zaměřuje na jeden ze tří modelů držáků, jenž byl posouzen z ekonomického a technického hlediska a u nějž byly vypočítány ceny za výrobu pro dva různé materiály. Rovněž bylo porovnáno, zda výroba přes silikonové formy bude výhodnější, popřípadně od kolikátého kusu.

Shrnutí výsledků:

- Vytisknutý model funguje za normálních podmínek ($T=20^{\circ}\text{C}$, $p=101325\text{Pa}$) a za předpokladu, že nedochází k příliš velikým vibracím vozidla.
- Při porovnání hmotností a doby tisku vyšlo, že třetí varianta je nejvhodnější pro výrobu
- Materiál ABS je u daného prototypu v porovnání s ULTEM 9085 o 22.5 % ekonomicky výhodnější
- Metoda FDM je pro kusovou výrobu výhodnější než tvorba přes silikonové formy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Historie a vznik systému GPS. BERUNA WEB [online]. Beruna, 2000 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.beruna.cz/text-historie-a-vznik-systemu-gps/>
2. Fused Deposition Modeling. 3D-tisk: aditivní výroba & rapid prototyping [online]. Nová média, 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
3. Rapid Prototyping. SlidePlayer [online]. SlidePlayer.cz Inc., 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/4023333/>
4. Rychlá výroba prototypů. F1NEWS.cz [online]. F1NEWS.cz, 2013 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://f1news.autoroad.cz/technika/45427-rychla-vyroba-prototypu-klic-k-intenzivnim-aerodynamickym-programum-v-f1-video>
5. Základy 3D tisku. Prusa3d [online]. Prusa Research s.r.o, 2014 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
6. Metody Rapid Prototyping. Aditivní technologie [online]. Brno: UST–obor obrábění, 2017 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf
7. Informace o technologiích 3D tisku. Easy CNC [online]. 4ISP spol. s.r.o., 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/informace-o-technologieich-3d-tisku/>
8. A model research for prototype warp deformation in the FDM process. Home-Springer [online]. Springer International Publishing, 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-006-0556-9>
9. FDM materiály. Profesionální 3D tisk a průmyslové 3D tiskárny Stratasys – 3D tisk kovu [online]. Tecnotrade obráběcí stroje, 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.objet.cz/materialy/fdm-materialy>
10. Polylactic acid. MakeItFrom.com [online]. 7329873 Canada Ltd., 2009 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide/>
11. Přehled základním materiálů pro FDM technologii. FUTUR3D [online]. Praha: FUTUR3D, 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>
12. Mitsubishi Chemical, Verbatim [online]. Orckid, 2014 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.verbatim-europe.cz/cz/3D/abs-vs-pla/?con=50>
13. ABS. 3D-tisk: aditivní výroba & rapid prototyping [online]. Nová média, 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/abs/>
14. PLA. 3D-tisk: aditivní výroba & rapid prototyping [online]. Nová média, 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/pla/>
15. Přehled dostupných materiálů. Na3D.cz [online]. Pržno: Na3D.cz, 2013 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/materialy/>

16. 3D tiskárna Original Prusa i3 MK2S. Prusa Research s.r.o. [online]. Prusa Research, 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.prusa3d.cz/>
17. MCAE Systems, s. r. o. Fortus 380mc a 450mc [online]. Snadný Web, 2015 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/produkty/fortus-380mc-a-450mc/>
18. Inventor. CADwiki [online]. CADforum, 2013 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>
19. Infill Patterns and Density. Slic3r Manual [online]. Aleph Objects, 2011 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://manual.slic3r.org/expert-mode/infill>
20. 3D tisk-metody. 14220.cz [online]. 14220.cz, 2013 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>
21. Ceník služeb. 3D TISKÁRNA: Rapid Prototyping [online]. Turnov: Webnode, 2010 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.3dtiskarna.cz/cenik-sluzeb/>
22. GEBHARDT, Andreas. Understanding additive manufacturing: rapid prototyping, rapid tooling, rapid manufacturing. Cincinnati: Hanser Publishers, c2012. ISBN 156990507X.

Způsoby citací jednotlivých zdrojů, členění, odkazy v textu, příklady, uvádí norma ČSN ISO 690 v aktualizovaném vydání ze dne 1. března 2011, dostupná k nahlédnutí v areálové knihovně FSI VUT v Brně.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
3D	Three Dimensional
FDM	Fused Deposition Modeling
DLP	Digital Light Projection
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
SLS	Selective Laser Sintering
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA	Polylaktid
GPS	Global Position System
PC	Polycarbonate
PET	Polyetylen tereftalát
CAD	Computer Aided Design
UV	Ultraviolet
FDA	Food and Drug Administration
NAVSTAR	Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System
MJM	MultiJet Modeling

Symbol	Jednotka	Popis
F	[N]	síla
F_x	[N]	síla ve směru x
F_y	[N]	síla ve směru y
F_n	[N]	normálová síla
F_t	[N]	třecí síla
m	[kg]	hmotnost
r	[m]	vzdálenost r
R	[m]	vzdálenost R
M	[Nm]	moment
g	[ms ⁻²]	gravitační zrychlení
f	[-]	koeficient tření
k	[-]	vibrační koeficient