



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 DRŽADLA V INTERIÉRU VOZIDLA NA 3D FDM TISKÁRNĚ

Production of interior car handle prototype on 3D FDM printer

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK KAŠŠÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Kaššák

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 držadla v interiéru vozidla na 3D FDM tiskárně

v anglickém jazyce:

Production of interior car handle prototype on 3D 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 součástí 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 2014/2015.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa venuje problematike výroby prototypu držadla v interiéri vozidla metódou Fused Deposition Modeling. Prvá časť práce sa venuje stručnému prehľadu výroby prototypu pomocou technológie Rapid prototyping 3D tlačenia, pomocou metódy FDM a materiálom používaných metódou FDM. Druhá časť práce sa venuje návrhu 3D modelu v programe Autodesk Inventor 2014, samotnou výrobou prototypu, zhodnotením technologickej konštrukcie a technicko-ekonomickému zhodnoteniu nákladov.

Kľúčové slová

Rapid prototyping, Fused Deposition Modeling, držadlo v interiéri vozidla, FDM, 3D tlač, ABS

ABSTRACT

This bachelor this processes the issue of manufacturing of a prototype of handle for the car interior using method fused deposition modeling method. First part of this is dedicated to a brief overview of prototype manufacturing using rapid prototyping technology , with FDM 3D printing and materials used by FDM method. Second part is dedicated to design of 3D model using AutoDesk Inventor 2014 software, prototype manufacturing itself, evaluating of construction technologicality and technological-economic evaluation of manufacturing costs.

.

Key words

Rapid prototyping, Fused Deposition Modeling, interior car handle, FDM, 3D printing, ABS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŠŠÁK, M. *Výroba prototypu držadla v interiéru vozidla na 3D FDM tiskárně*. Brno 2015: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Výroba prototypu držadla v interiéri vozidla na 3D FDM tlačiarňi vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

Kaššák Marek

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Oskarovi Zemčíkovi, Ph.D. z VUT FSI v Brne za cenné pripomienky, venovaný čas a rady pri vypracovaní tejto práce. Ďalej by som rád poďakoval svojej rodine a priateľom za podporu pri štúdiu na vysokej škole.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PREHLÁSENIE.....	6
POĎAKOVANIE	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1 TECHNOLÓGIA RAPID PROTOTYPING	10
1.1 Metódy technológie RP	10
1.2 Metóda Fused Deposition Modeling.....	12
1.3 Materiály používané technológiou FDM a ich vlastnosti	13
2 POPIS FUNKCIE VYRÁBANÉHO PROTOTYPU	14
2.1 Požadované vlastnosti prototypu	14
3 NÁVRH MODELU	15
3.1 Autodesk Inventor.....	15
3.2 Návrh konštrukcie modelu	15
3.2.1 Prvý variant.....	16
3.2.2 Druhý variant	17
3.2.3 Tretí variant.....	18
4 TECHNOLOGIČNOSŤ KONŠTRUKCIE	19
4.1 Tvar súčasti	19
4.2 Voľba vhodného materiálu	19
4.3 Využitie podpôr	19
4.4 Podmienky geometrie súčasti	19
5 VÝROBA PROTOTYPU	20
5.1 Výber vyrábanej varianty.....	20
5.2 Simulácia mechanického zaťaženia modelu	20
5.3 Program KISSlicer	22
5.4 Nastavenie parametrov tlače	23
5.5 Výroba metódou FDM.....	24
5.6 Post-processing	25
5.7 Montáž vyrobeného prototypu.....	26
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....	27
6.1 Výpočet nákladov pre metódu 3D FDM tlače	27
6.2 Náklady výroby pre metódu vákuového liatia do silikónovej formy	28
6.3 Porovnanie metód pre kusovú výrobu	29
ZÁVER	31
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	32
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	34
ZOZNAM PRÍLOH.....	35

ÚVOD

Téma bakalárskej práce je výroba prototypu držadla v interiéri automobilu metódou 3D tlače. Hlavná prednosť metódy 3D tlače je rýchla kusová výroba tvarovo zložitých výrobkov, ktorých výroba konvenčnými metódami je zložitá alebo nereálna. Metóda 3D tlače má široké spektrum využiteľnosti a využíva sa v mnohých odvetviach priemyslu, čo pozitívne prispieva pri jej ďalšom rozvoji. V medicíne sa používa na výrobu protéz alebo implantátov, vo vojenskom priemysle sa rozvíja výroba plne funkčných zbraní a náhradných dielov priamo na miestach vojnových konfliktov, vo vesmírnom priemysle sa uvažuje o stavbe obývacích jednotiek na Marse pomocou 3D tlače, vo stavebnom priemysle sa tento rok podarilo postaviť čínskej firme Winsun 5-poschodovú budovu zo segmentov vyrobených na 3D tlačiarňami.

Rapid Prototyping je súbor technológií výroby prototypov pomocou 3D tlače, ktoré vytvárajú predmety postupným kladením vrstiev materiálu (kovové prášky, termoplasty a pod.) na seba rozličnými spôsobmi (nanášanie nataveného materiálu, vytvrdžovanie laserom, laserové spekanie prášku a pod.) Tieto technológie sú využívané na výrobu modelov a aj finálnych výrobkov. [1]

Cieľom práce je výroba prototypu držadla v interiéri automobilu na 3D FDM tlačiarňi. Na začiatku sa práca venuje rešeršou problematiky tlače metódou FDM, porovnaním tejto metódy s ďalšími technológiami Rapid Prototypingu a materiálom používaných metódou FDM, ich mechanickým vlastnostiam a možnostiam použitia. V nasledujúcich kapitolách sa práca venuje návrhu 3D modelu, ktorý je konštruovaný s ohľadom na jeho budúce použitie. Pred výrobou je navrhnutý model posúdený z hľadiska technologicnosti konštrukcie súčasti s ohľadom na 3D tlač. Samotná výroba sa venuje určeniu vhodného spôsobu tlače, výrobe prototypu a jeho mechanickej úprave. Práca je zakončená porovnaním výrobných nákladov pomocou metódy FDM s metódou vákuového liatia do silikónovej formy.

1. TECHNOLOGIA RAPID PROTOTYPING

História technológie Rapid Prototyping začala v 80. rokoch minulého storočia, kedy bola vyvinutá technika stereolitografie. Na rozdiel od konvenčných metód obrábania, kde je materiál odoberaný, je u tejto technológie materiál po vrstvách pridávaný. Cieľom tejto technológie je vytvorenie reálneho modelu z počítačových dát v čo najkratšom čase a s vysokou kvalitou, čo má za následok zrýchlenie procesu vývoja výrobku. Technológia umožňuje už v etape vývoja overiť funkciu, dizajn a ergonómiu vyvíjaného výrobku a taktiež sa využíva na výrobu finálnych výrobkov, keď sa jedná o malý počet kusov alebo pri výrobe súčastí klasickými technológiami ťažko vyrobiteľných. [1,2]

Technológia Rapid Prototyping sa v súčasnej dobe používa pre vytvorenie priestorových modelov zložitých objektov s cieľom získania názornej predstavy o návrhu a tvare, ku kontrole dizajnu navrhovaného objektu, v oblasti výroby foriem a nástrojov, pri vývoji výrobku, ku overeniu a optimalizácii výrobku, ku simuláciám v oblastiach namáhania (obr. 1.1), prúdenia, koncepčného konštruovania, dizajnu a archiváciu 3D objektov. [1,2]



Obr 1.1 Farebné zobrazenie výsledkov simulácie napätia na súčasti.[3]

Základom technológie je 3D geometrický model, vytvorený v CAD programe alebo odmeraný priestorovým skenerom, ktorý je prevedený do príslušného formátu (najčastejšie formát STL). Získané dáta sú načítané do špeciálneho programu (napr. KISSlicer, CatalystEX), kde je virtuálny model rozrezaný priečnymi rezmi s definovaným nastavením vzdialenosti jednotlivých vrstiev. Ďalej je navrhnutá podporná konštrukcia pre vytváranie modelu a pre oddelenie modelu od nosnej dosky. [1,2]

1.1. Metódy technológie RP

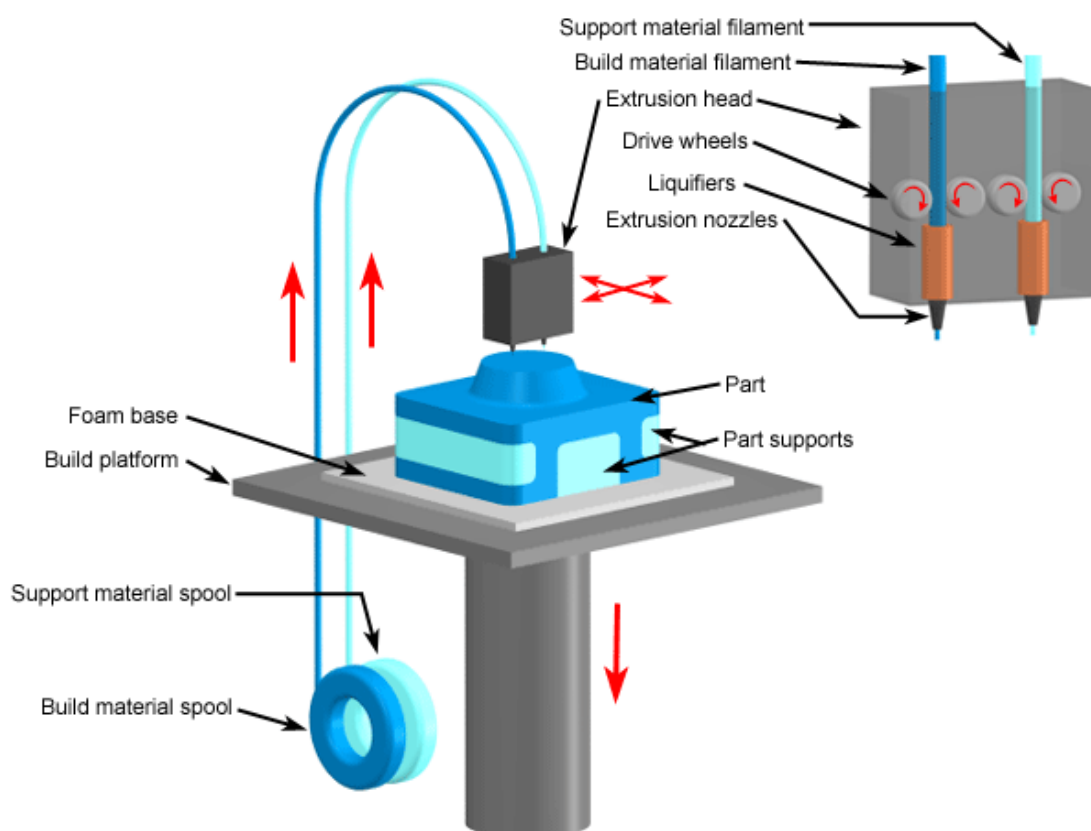
Metódy technológie Rapid Prototyping sa delia z hľadiska výrobného postupu, podľa systému pridávania vrstiev s použitím alebo bez použitia laseru a s vytvrdzovaním bod po bode alebo po vrstvách. V nasledujúcej tabuľke (Tab. 1.1) sú metódy rozdelené z hľadiska použitého materiálu, tabuľka taktiež obsahuje hrúbku nanášanej vrstvy materiálu a výhody a nevýhody jednotlivých metód. [1]

Tab.1.1 Rozdelenie metód technológie RP. [1,4,5]

Metóda	Materiál modelu	Hrúbka vrstvy[mm]	Výhody	Nevýhody
SLA	Fotopolymer	0,05-0,15	Presné detaily a tenké steny akosť povrchu, široký výber materiálu	Fotopolymer vykazuje toxické vlastnosti, výkonný laserový zdroj, malá tepelná odolnosť dokončovacie vytvrdzovanie modelu
SGC	Fotopolymer, nylon	0,05-0,15	Model sa stavia bez podpôr, poškodené vrstvy sa odfrézujú	Výkonný laserový zdroj, malý výber materiálov pre model
SLS	Polyamid, polykarbonát, nylon, vosk, kovové prášky	0,05-0,15	Výkonný laserový zdroj, široké spektrum materiálov, nenatavený prášok slúži ako podpora	Priestorovo a energeticky náročné zariadenie, nebezpečenstvo rozptýlenia kovového prášku, pórovitosť modelu- nutnosť dokončovacích operácií, drsný povrch podpôr
DMLS	Kovové prášky	0,05-0,15	Nespotrebovaný prášok je z 98 % znovu využitý, široké spektrum využitia, výkonný laserový zdroj	Priestorovo a energeticky náročné zariadenie, nebezpečenstvo rozptýlenia kovového prášku, pórovitosť modelu- nutnosť dokončovacích operácií, drsný povrch podpôr
3DP	Prášok, pojivo	0,05-0,15	Možnosť farebnej tlače, rýchla stavba modelu	Nižšia presnosť modelu, horšia kvalita povrchu
LOM	Papier s jednostranným pojivom	0,05-0,15	Model má podobnú štruktúru ako drevo, ľahko obrábatelný, tvarovo stály	Výkonný laser, produkcia nežiaducich výparov, nižšia presnosť súčasti, pracné odstraňovanie podpôr
FDM	ABS, ABS+, vosk, polykarbonát	0,05-0,15	Niekoľko druhov materiálov, neprítomnosť škodlivých emisií	Model nemá rovnaké mechanické vlastnosti v rôznych smeroch, dokončovacia operácia- odstránenie podpôr
MJM	Termopolymer, akrylátový fotopolymer	0,05-0,15	Veľmi tenké vrstvy materiálu, neprítomnosť škodlivých emisií	Model nemá rovnaké mechanické vlastnosti v rôznych smeroch, dokončovacia operácia- odstránenie podpôr

1.2. Metóda Fused Deposition Modeling

Metóda využíva k výrobe modelu natavovanie termoplastického materiálu, navinutého na cievke vo forme drôtu. Vlákna materiálu, nanášaného pomocou vyhrievanej trysky sústavou kladiek, vytvárajú po vrstvách na nosnú dosku požadovaný model (Obr. 1.2). V tryske, pohybujúcej sa v rovine X, Y, je materiál modelu natavený na teplotu o 1 °C vyššiu, ako je jeho teplota tavenia. To spôsobí, že pri vzájomnom styku s povrchom vytváraného modelu sa vlákna vzájomne spojujú a vytvárajú požadovanú ultratenkú vrstvu, ktorá okamžite tuhne. Medzi materiály použiteľné pre túto metódu patria netoxický ABS, ABS+ plast, polykarbonát, elastomér či vosk. Pri metóde sa nepoužíva laser a všetky parametre tlače sú nastavené v software tlačiarne. Dáta získané z 3D návrhu modelu v CAD programe vo formáte *.stl sú importované do programu Kisslicer alebo CatalystEX, kde sú ďalej nastavené napr. typ podpôr, spôsob vyplnenia objemu modelu, typ zariadenia, hrúbka vrstiev alebo orientáciu modelu v pracovnom priestore tlačiarne. Výrobky, ktoré sú vytlačené z materiálu na rozpustnej báze, sú po ukončení procesu tlače ponorené do špeciálneho roztoku, ktorý rozpustí nepotrebný materiál vo forme podpôr. V prípade jednotného materiálu použitého ako na stavbu modelu, tak na stavbu podpôr, je nutné mechanicky odstrániť všetky podpory. Výhoda metódy spočíva v možnosti výroby funkčného prototypu približujúceho sa vlastnosťami konvenčným produktom s minimálnym odpadom vo forme podpôr. Nevýhodou metódy je obmedzená presnosť daná tvarom a priemerom výstupnej trysky vyrábaného modelu. Z dôvodu princípu metódy a vlastností materiálu behom chladnutia nie je možné urýchliť proces výroby. Zmrštenie vyrábanej súčasti je možné čiastočne odstrániť vhodným nastavením v softwari, čo kladie nároky na skúsenú obsluhu [1,2,4,5].



Obr 1.2 Princíp FDM tlače.[6]

1.3. Materiály používané technológiou FDM a ich vlastnosti

Technológia FDM vytvára modely z termoplastov ABS, polykarbonátu (PC) a ich derivátov, polyfenylsulfon (PPSU/PPSF) a z materiálu ULTEM 9085.

ABS je pevný a odolný termoplast, ktorý vyniká odolnosťou proti nárazu, vynikajúcou rozmerovou stabilitou a robustnosťou. Je vhodným riešením pre koncepčné modelovanie, testovanie funkcií a overovanie výroby. Termoplast ABS+ je jedným z jeho derivátov a vyznačuje sa vyššou stálosťou pri deformácii, zmrštení a absorpcii vlhkosti. Ďalší jeho derivát je materiál ABS-M30, ktorý je o 25 % až 70 % pevnejší ako štandardný ABS a hodí sa pre výrobu koncepčných prototypov a overovanie výroby. Termoplast ABS-M30i je materiál biokompatibilný s vynikajúcimi mechanickými vlastnosťami vhodný pre lekárske a potravinársky priemysel. [7,8]

PC má vynikajúce mechanické vlastnosti ako ABS, ale má vyššiu odolnosť proti nárazu a znáša vyššie teploty. PC-ABS je derivátom PC a je jeden z najpoužívanejších priemyslových termoplastov, pretože kombináciou pevnosti PC a pružnosti ABS sa dosahujú vynikajúce mechanické vlastnosti a tepelná odolnosť. Ďalším derivátom je PC-ISO, ktorý je podobne ako ABS-M30i biokompatibilný a sterilizovateľný gama radiáciou alebo etylenoxidom. [7,8]

PPSU/PPSF je termoplast s vysokou tepelnou a chemickou odolnosťou a zaručuje výrobu dielov, ktoré sú rozmerovo presné a s dostatočnou presnosťou predpovedajú chovanie koncového produktu. Produkty je možné sterilizovať pomocou plazmovej a chemickej sterilizácie alebo žiarením. [8,9]

ULTEM 9085 je vysoko výkonný termoplast pre priamu digitálnu výrobu RP. Je ideálny pre aplikáciu v dopravnom priemysle vzhľadom na jeho vysoký pomer pevnosti ku hmotnosti. [8,9]

V nasledujúcej tabuľke (Tab. 1.2) sú porovnané jednotlivé mechanické vlastnosti materiálov používaných technológiou FDM.

Tab 1.2 Mechanické vlastnosti materiálov. [7,8,9]

Materiál	Mechanické vlastnosti				
	Medza pevnosti v ťahu [MPa]	Modul pevnosti v ťahu [MPa]	Pomerné predĺženie [%]	Medza pevnosti v ohybe [MPa]	Modul pevnosti v ohybe [MPa]
ABS	22	1627	6	41	1834
ABS+	36	2265	4	52	2198
ABS-M30(i)	36	2413	4	61	2317
PC	68	2280	4,8	104	2234
PC-ABS	41	1917	6	68	1931
PC ISO	57	998	4,3	90	2140
PPSU/PPSF	55	2068	3	110	2206
ULTEM 9085	72	2220	5,9	115	2507

2. POPIS FUNKCIE VYRÁBANÉHO PROTOTYPU

Vyrábaný prototyp držiaku v interiéri automobilu, ktorý sa dá nazvať aj ako stropné madlo, sa nachádza v každom osobnom dvojstopovom dopravnom prostriedku, ale aj v niektorých priemyselných dopravných prostriedkoch. Má dve hlavné funkcie, prvá a jeho najdôležitejšia funkcia je pomoc cestujúcim pri vystupovaní z automobilu. Pri vyššie postavených automobiloch nie je vystupovanie príliš namáhavé, pretože polohová energia vystupujúceho sa príliš nemení a držiak slúži hlavne ako oporný bod. Pri nižšie postavených automobiloch je energia potrebná pre vystúpenie z automobilu podstatne väčšia a vystupujúci prenáša časť svojej váhy na toto držadlo a to mu zaručuje bezpečnejšie a jednoduchšie vystúpenie z vozidla. Stropné madlo využívajú pri vystupovaní hlavne fyzicky menej zdatní ľudia alebo ľudia trpiaci chorobou, ktorá obmedzuje ich pohyb. Ďalšou funkciou stropného madla je pridržiavanie sa pri rizikových situáciách alebo dopravných nehodách.

Tvar držiaku v interiéri automobilu je najviac ovplyvnený konkrétnym výrobcom automobilov a hlavne celkovým konceptom zariadenia interiéru. Poznáme dva typy madla na strop automobilu, jednoduché stropné madlo, montované na pevno alebo stropné sklopné madlo (Obr 2.1).



Obr 2.1 Stropné sklopné madlo.

2.1. Požadované vlastnosti prototypu

Vyrábaný prototyp držiaku v interiéri automobilu musí spĺňať niekoľko základných podmienok pre správnu funkciu. Tvar držiaku musí byť jednoduchý, bez ostrých hrán, ktoré by mohli spôsobiť rezné rany na ruke, priestor medzi stropom a madlom musí byť dostatočne veľký, aby sa tam zmestila aj robustnejšia ruka a prierez chytanej časti madla nesmie byť ani veľmi malý, z pevnostných dôvodov, a ani veľmi veľký, kvôli zachyteniu ruky o madlo.

3. NÁVRH MODELU

Na trhu je v dnešnej dobe viacero programov prispôsobených pre prácu s trojrozmernou grafikou, ako napríklad SolidWorks, CATIA, Rhinoceros a ďalšie. Pre návrh modelu držadla v interiéri automobilu bol použitý 3D CAD software Autodesk Inventor Professional 2014, ktorý je pre študentov voľne stiahnuteľný v študentskej verzii.

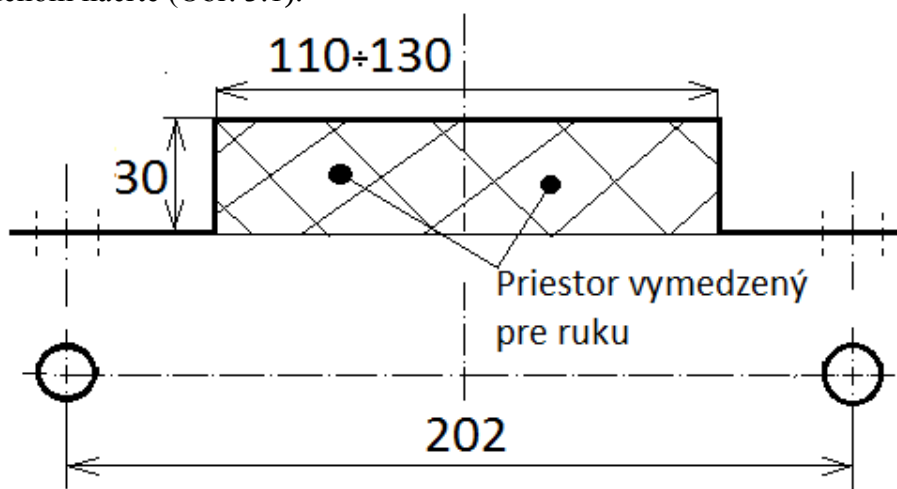
3.1. Autodesk inventor

Autodesk Inventor je strojárenský 2D/3D CAD (Computer Aided Design) program firmy Autodesk, navrhnutý pre tvorbu digitálnych prototypov, ktorý využíva parametrické, adaptívne a priame modelovanie súčastí a zostáv. Tento program dopĺňujú aplikácie pre koncepcné navrhovanie, analýzy a simulácie, vizualizácie, riadenie projektov, správu dokumentov a ďalšie. [10,11]

Základ konštruovania v Inventore tvoria súčasti (parts), ich geometria môže byť odvodená od parametrických 2D náčrtov (sketch). Tieto súčasti potom môžu byť kombinované a viazané rôznymi typmi väzieb do zostáv (assembly). Pri zmene kóty, parametru alebo geometrie je automaticky pregenerovaná a aktualizovaná celá 3D zostava, spolu s jej výkresovou dokumentáciou (pohľady, rezy, details, kusovníky). Vedľa štandardných nástrojov pre tvorbu objemových a povrchových 3D modelov obsahuje Inventor taktiež funkcie pre modelovanie plechových súčastí, zvarencov, oceľových konštrukcií. [11,12]

3.2. Návrh konštrukcie modelu

Návrh prototypu držiaku v interiéri auta vychádza zo základných parametrov, ktoré treba dodržať pre správnu funkčnosť. Výrobok bude montovaný na strop automobilu a bude na pevne uchytený dvoma skrutkami, ktorých osová vzdialenosť je 202 mm. Ďalší dôležitý parameter je vzdialenosť ruky stropného madla od stropu vozidla, ktorý sa v rôznych automobiloch minimálne rozlišuje a pohybuje sa okolo hodnoty 30 mm, čo bude naša východzia hodnota. Posledný parameter je šírka chytanej časti stropného držiaku, ktorý je stanovený s ohľadom na príjemné uchopenie držiaka a na výrobu, kde by predimenzovanie tohto parametru komplikovalo a predražovalo výrobu. Jeho hodnota sa bude pohybovať v rozmedzí 110 mm až 130 mm. Parametre sú pre predstavu zhrnuté v jednoduchom náčrte (Obr. 3.1).

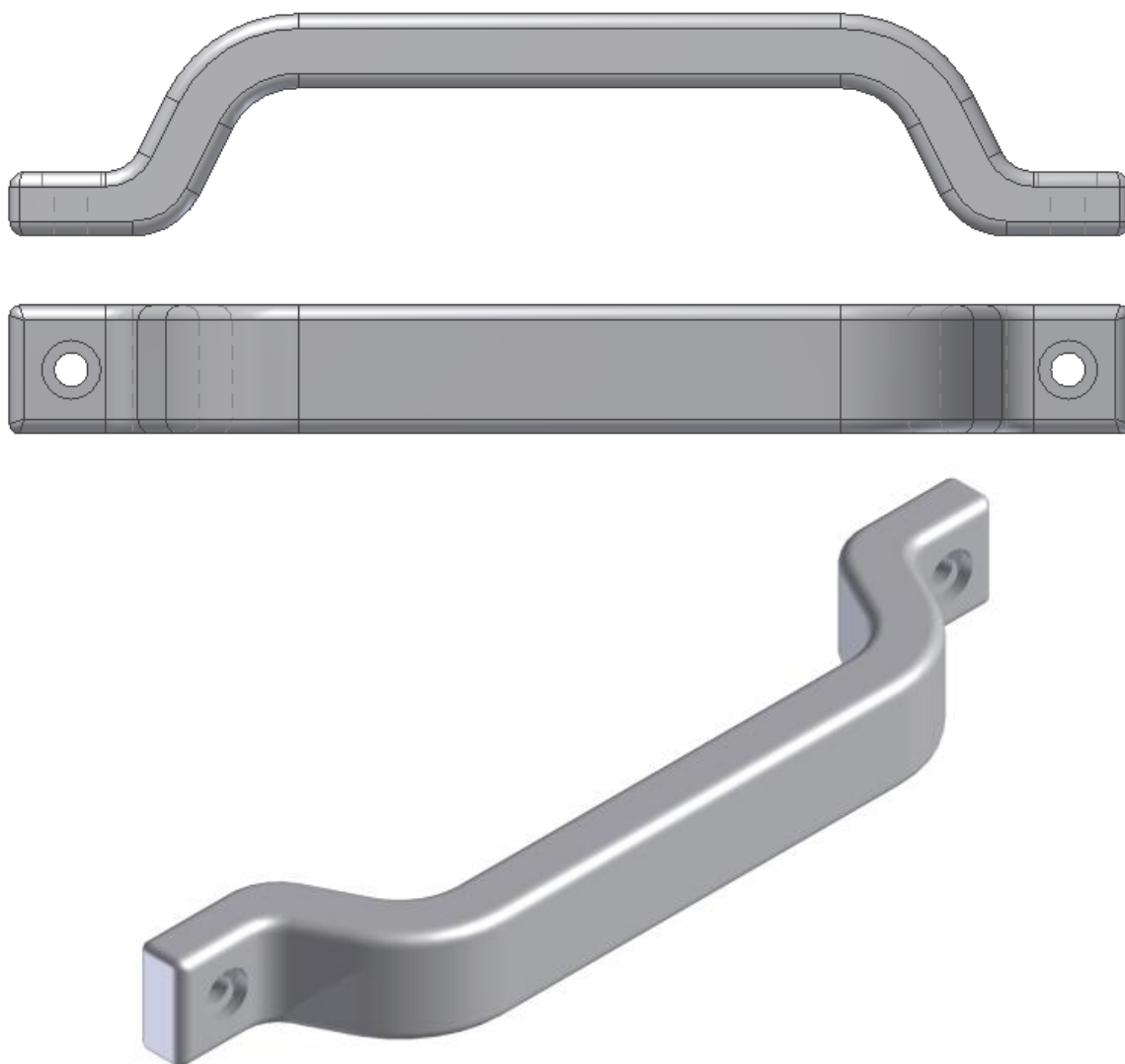


Obr. 3.1 Základné parametre pre návrh modelu.

Dizajn madla v automobile by mal vychádzať z celkového konceptu automobilu, pre ktorý je navrhovaný, čo je Škoda Favorit ročník 1990. Interiér automobilu je ladený do čiernej farby s jednoduchými hranatými líniami. Všetky ostré hrany madla musia byť z bezpečnostných dôvodov zaoblené.

3.2.1. Prvý variant

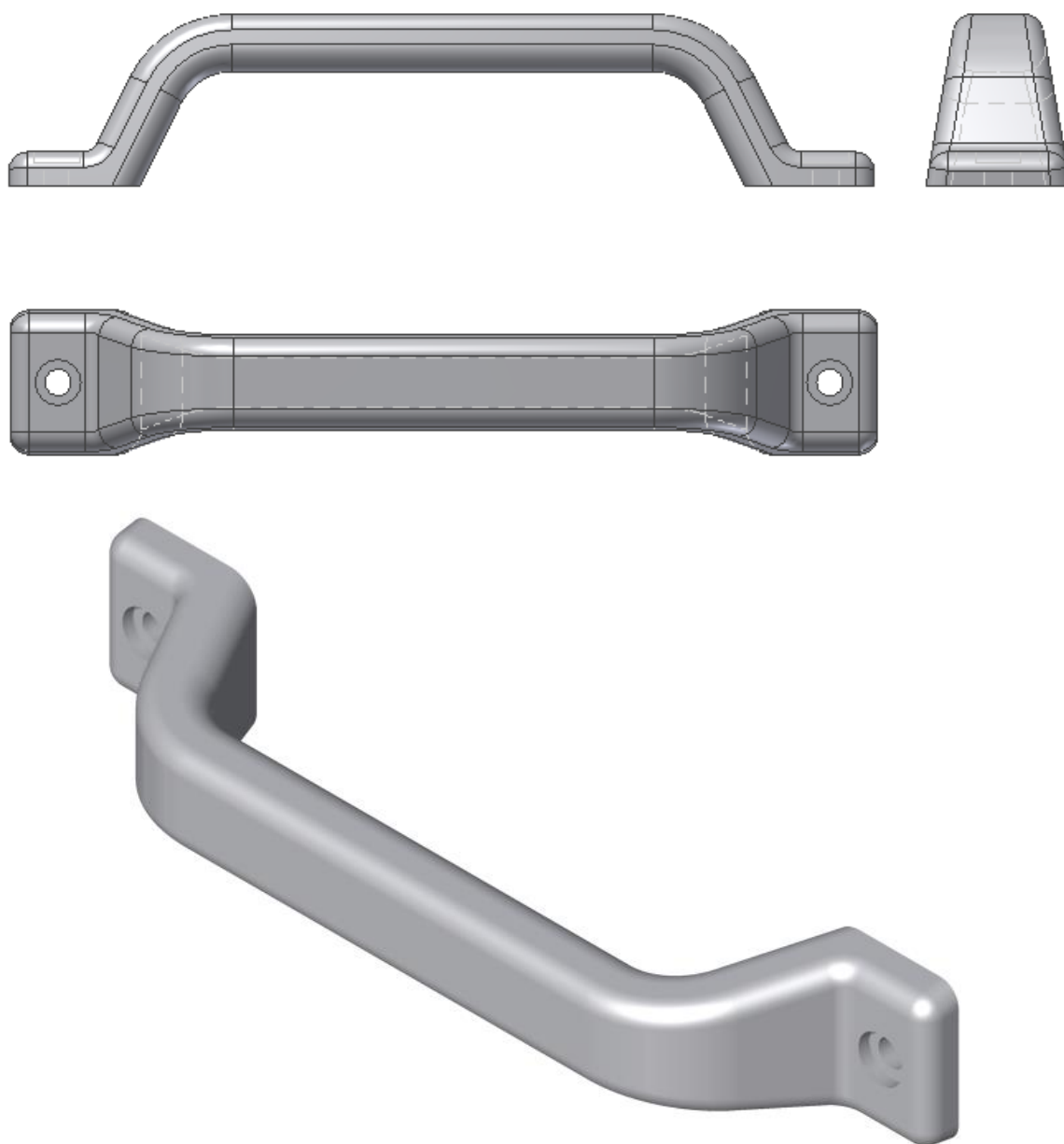
Návrh modelu prvého variantu začal 2D náčrtom otvor s určenou osovou vzdialenosťou, ďalší krok bol 2D náčrt, ktorý bol vytvorený v rovine kolmej na prvý náčrt v smere osovej vzdialenosti otvorov. V tomto náčrte vznikol základný tvar navrhovaného modelu, ktorý bol pomocou funkcie „vysunutie“ prevedený do 3D podoby. Následne boli účelovo zaoblené hrany pomocou funkcie „zaoblenie“ a vytvorené otvory pre uchytenie. Otvory majú priemer 7 mm a majú valcové zahĺbenie o priemere 12 mm a výšku 3 mm. Model (Obr. 3.2) spĺňa všetky podmienky pre správnu funkčnosť a jeho najväčšie rozmery sú 227 x 45 x 26 mm.



Obr. 3.2 Návrh modelu držiaku v interiéri automobilu- prvý variant.

3.2.2. Druhý variant

Postup návrhu druhého variantu je podobný, ako postup návrhu prvého variantu s niekoľkými rozdielmi v náčrte, ktorý určuje hlavný tvar súčasti. Vysunutím tohto náčrtu vznikol 3D model, ktorý bol následne pomocou funkcie „zošikmenie“ zošikmený o 10° z oboch strán tak, že model sa rovnomerne rozširuje pod uhlom 10° po celej výške od vrchnej chytanej časti až po spodnú časť. Nasledovalo zaoblenie hrán, ktoré je pod väčším polomerom ako pri prvom variante a vytvorenie otvorov, potrebných na uchytenie stropného madla. Najväčšie rozmery modelu sú 227 x 45 x 38 mm a navrhovaný variant spĺňa všetky podmienky pre správnu funkčnosť.



Obr. 3.3 Návrh modelu držiaku v interiéri automobilu- druhý variant.

3.2.3. Tretí variant

Tretí variant je tvarovo odlišný od prvých dvoch návrhov a jej hlavný tvar určuje horná kruhová línia tiahnuca sa celým prierezom modelu. Najprv bola vytvorená polovica modelu pomocou funkcie „šablónovanie“ a následne bola pomocou funkcie „zrkadlenie“ dotvorená druhá polovica súčasti. Šablónovanie vyžadovalo vytvorenie dvoch profilov, ktoré definovali tvar súčasti a dvoch trajektórií pre spresnenie tvaru súčasti. Poslednou úpravou modelu bolo vytvorenie otvorov pre montáž držiadla na strop vozidla. Najväčšie rozmery modelu sú 230 x 54 x 26 mm a navrhovaný variant spĺňa všetky podmienky pre správnu funkčnosť.



Obr. 3.4 Návrh modelu držiaku v interiéri automobilu- tretí variant.

4. TECHNOLOGIČNOSŤ KONŠTRUKCIE

Technologičnosť konštrukcie je daná súhrnom vlastností technicko-ekonomického charakteru, ktoré majú zaistiť optimálne podmienky nielen z hľadiska funkcie, spoľahlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých súčastí, ale musí taktiež v plnej miere rešpektovať hľadisko efektívnosti výroby. Technologičnosť je relatívna vlastnosť výrobku, pretože je vždy ovplyvnená konkrétnymi podmienkami výrobného procesu. [13]

4.1. Tvar súčasti

Pre Rapid Prototyping je základom 3D model vytvorený v softwari Autodesk Inventor 2014. Model je navrhnutý tak, aby spĺňal základné funkcie výrobku. Základným parametrom pre výrobu je osová vzdialenosť otvorov, potrebných pre namontovanie výrobku do automobilu. Pri použití metódy FDM tlače sú tvarové možnosti výrobku takmer neobmedzené, ale výroba tvarovo zložitejších súčastí býva zdĺhavejšia čím sa zvyšujú výrobné náklady. Vzhľadom na pevnostné požiadavky musí byť výrobok vyrobený v jednom kuse.

4.2. Voľba vhodného materiálu

Voľba vhodného materiálu je dôležitým aspektom pri výrobe a je závislá na konečnom použití výrobku. Pre výrobu držiaku v interiéri automobilu sú zohľadnené hlavne mechanické vlastnosti materiálu, cena a dostupnosť. Vzhľadom na použitie výrobku nemusí mať vybraný materiál vysokú tepelnú ani mechanickú odolnosť. Z týchto dôvodov bol vybraný materiál ABS, celým názvom Acrylonitrile butadiene styrene.

ABS je pevný a odolný termoplast s vynikajúcou odolnosťou proti nárazu, rozmerovou stabilitou a robustnosťou. Je ľahko opracovateľný brúsením, vŕtaním a ostatnými bežnými technikami. Na ABS plast je možné aplikovať nástrek čo je pre dokončovacie práce vyhovujúce.

4.3. Využitie podpôr

Podporný materiál je pomocný materiál pri výrobe modelov, ktoré sú tvarovo zložité. Tento materiál podopiera časti modelu, kde časti konštrukcie nie je na čo stavať a tak by viseli voľne vo vzduchu. Najlepšie je, keď je výrobok tvarovo jednoduchý a logicky správne umiestnený pri výrobe tak, aby sa podpory nemuseli používať, čím sa vylúči dokončovacia práca pri ich odstraňovaní a celkový proces sa zjednoduší a urýchli a tým sa znížia celkové náklady výroby. Podporný materiál sa odstraňuje mechanicky alebo pôsobením teploty.

4.4. Podmienky geometrie súčasti

Čas výroby súčasti na 3D tlačiarňi je závislý na geometrickej zložitosti modelu. Navrhnuté modely sú tvarovo jednoduché a celistvé, s dvomi otvormi a potrebnými zaobleniami.

Dôležitým krokom pred výrobou modelu je správna orientácia polohy súčasti na pracovnej ploche 3D tlačiarne, ktorá ovplyvňuje použitie podporného materiálu. Súčasť by mala byť orientovaná tak, aby sa tlačili zvislé steny, v opačnom prípade pri vysokom uhle vychýlenia steny od zvislej roviny treba uvažovať nad použitím podpory.

Zaoblenie hrán plochy, na ktorej je teleso položené na pracovnej ploche musí byť dostatočne veľké vzhľadom na výšku nanášanej vrstvy. Pri malom zaoblení, vzhľadom na výšku nanášanej vrstvy materiálu, môže nastať situácia, keď program v prvej vrstve navrhne tri línie podporného materiálu a v ďalšej vrstve iba jednu líniu a tak vznikne voľný priestor, nad ktorým sa ukladá ďalší materiál a ten nemá na čom schnúť a tak preteká do voľného priestoru a narušuje ďalšie vrstvenie a tým pádom sa zhoršuje kvalita výsledného výrobku. Takýto jav je spôsobený exponenciálnym zmenšením šírky podpory vzhľadom na jej narastajúcu výšku.

Výška tlačenej vrstvy materiálu určuje jemnosť povrch vyrábanej súčasti a je volená podľa potreby kvality povrchu. Zmenšením tejto vrstvy dosiahneme lepšiu akosť povrchu, ale taktiež predlžujeme dobu výroby.

5. VÝROBA PROTOTYPU

Výroba prototypu držadla v interiéri automobilu zahŕňa výber variantu z navrhovaných možností. Výber bude zohľadňovať podmienky technologicnosti konštrukcie a tvar návrhu, ktorý sa bude hodiť do interiéru automobilu. Po výbere bude model podrobený simulácii mechanického zaťaženia v softvare Autodesku Inventor 2014. Následne bude model prevedený do formátu STL a exportovaný pre CAM processing. Na základe zvolených parametrov (krk, hustota tlače, použitie podpôr a pod.) bude vygenerovaný spôsob tlače modelu v 3D tlačiarňi RepRap.

5.1. Výber vyrábaného variantu

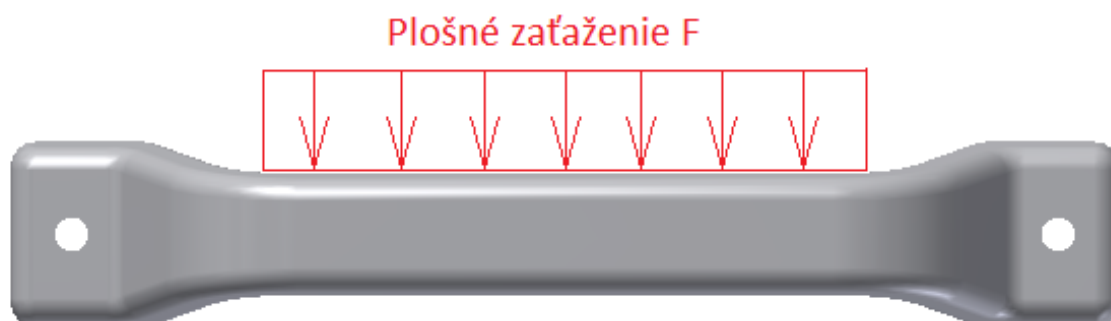
Všetky navrhnuté varianty sú vhodné pre montáž do interiéru automobilu a je potrebné vybrať ten najsprávnejší variant. Po zhodnotení pozitívnych aj negatívnych vlastností všetkých navrhovaných metód bol pre výrobu prototypu držadla v interiéri vozidla vybraný druhý variant.

Dizajn prvého variantu je vhodný pre montáž, ale malý polomer zaoblenia hrán nevyhovuje z hľadiska možností výroby na FDM tlačiarňi. Kruhový tvar modelu tretieho variantu nesúhlasí s hranatými líniami interiéru automobilu Škoda Favorit a do interiéru by nevhodil. Druhý variant má dizajnové požiadavky, je dostatočne robustný a jeho výroba je realizovateľná.

5.2. Simulácia mechanického zaťaženia modelu

Výrobok bude mechanicky zaťažovaný a preto bola vytvorená jednoduchá pevnostná analýza. Najprv bol nastavený materiál modelu ABS plast a v jeho fyzikálnych vlastnostiach bola upravená hodnota medze pevnosti ťahu na 22 MPa. Ďalej bola spustená funkcia „Pevnostná analýza“ a vytvorená simulácia. Následne boli zvolené pevné väzby a parametre zaťaženia a to veľkosť, miesto a smer zaťaženia. Držadlo bude skrutkami upevnené o strop automobilu a tak plochy otvorov boli nastavené ako pevné väzby. Veľkosť zaťaženia bola nastavená na 2000 N, čo je približne sila pôsobiaca na 200 kg. Vychádzali sme z predpokladu, že pri vystupovaní prenášame približne 50 % svojej váhy na držadlo a tak vystupujúci s váhou 100 kg zaťažuje držadlo váhou 50 kg. Pre simuláciu

bolo zvolené 4-krát väčšie zaťaženie, čím bol navýšený bezpečnostný faktor. Držadlo bude namontované na zvislú plochu a tak bude zaťaženie pôsobiť v smere gravitačnej sily na hornú plochu držadla (Obr. 5.1).

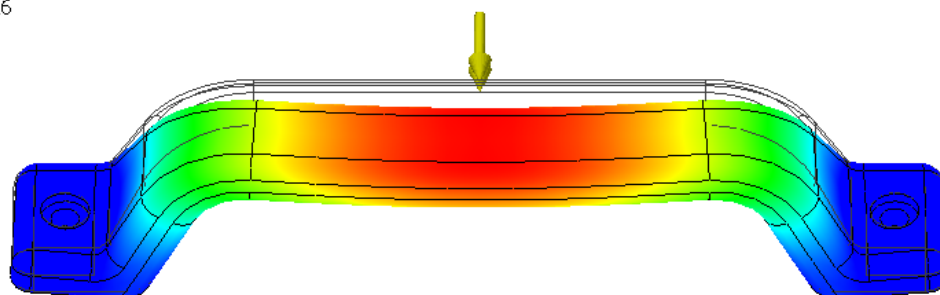
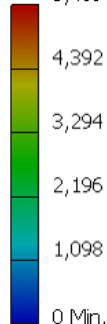


Obr. 5.1 Pôdorys plošného zaťaženia držadla.

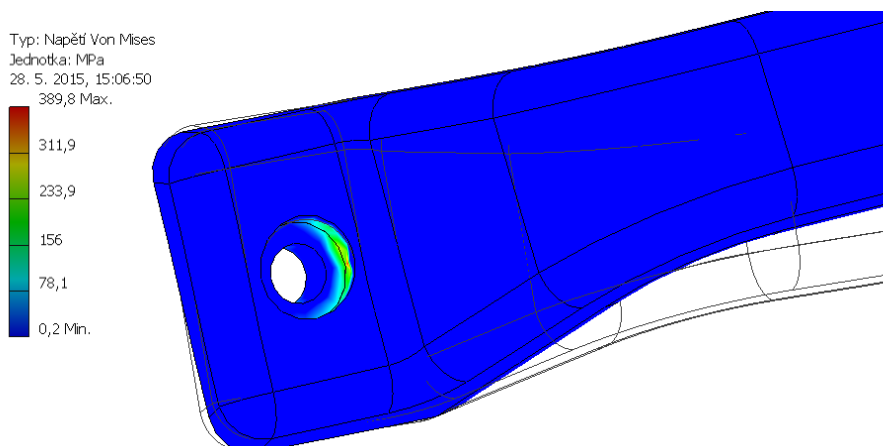
Modul Pevnostnej analýzy nie je plnohodnotným výpočtovým nástrojom. Tento modul slúži konštruktérovi ako „jednoduchý“ nástroj pre overenie návrhu, či neobsahuje hrubé chyby, či niekde nedochádza ku zbytočnému plytvaniu materiálom a obecné – či je jeho návrh životaschopný. Analýzy z modulu pevnostnej simulácie by nemali byť podkladom pre verifikáciu experimentálnych dát, odhaľovaniu chýb u už existujúcich výrobkov alebo pre kombinované analýzy. Pre takéto účely je potreba použiť dedikovaný výpočtový software, ako je napr. Autodesk Simulation. [14]

Po nastavení všetkých parametrov bola spustená simulácia a po jej skončení sme dostali potrebné výsledky. Pri zaťažení sa držadlo deformuje v smere pôsobenia sily a vzniká ohyb, ktorého maximálna odchýlka od nezaťaženého modelu je 5,489 mm (Obr. 5.2). Najväčšie ekvivalentné napätie vzniká v mieste upevnenia držadla o strop vozidla (Obr. 5.3) a jeho hodnota je 389,8 MPa. Táto simulácia neukázala žiadne hrubšie chyby navrhovaného modelu.

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
27. 5. 2015, 22:53:16
5,489 Max.



Obr. 5.2 Spektrálne zobrazenie posunutia zaťaženého držadla.



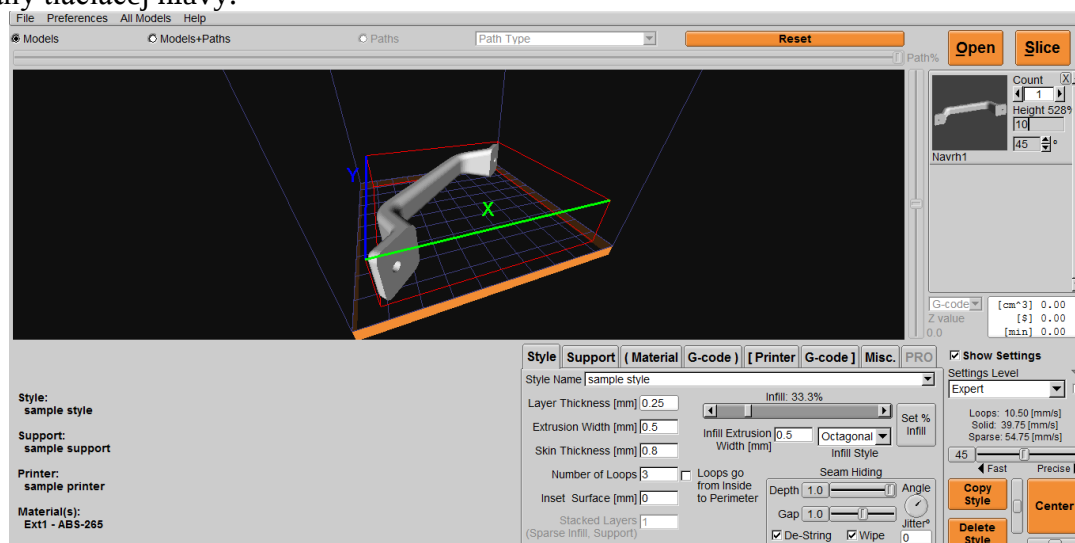
Obr. 5.2 Spektrálne zobrazenie ekvivalentného napätia zaťaženého držiadla.

5.3. Program KISSlicer

Existuje niekoľko programov použiteľných ku tvorbe programu tlače súčasti na 3D tlačiarňi (CatalystEX, Print Wizard, Insight, atd.). Medzi dostupné programy patrí napríklad Slic3er alebo KISSlicer. Z uvedených programov bol pre svoju dostupnosť zvolený program KISSlicer, ktorý vytvorí zdrojový kód tlače.

Program KISSlicer je rýchly a ľahko použiteľný program. Základná verzia obsahuje všetky potrebné funkcie pre tlač na 3D tlačiarňi. Vo verzii PRO je možné tlačiť viac súčastí na jednu pracovnú plochu a použitie dvoch tlačiacich hláv, čo prináša možnosť použitia dvoch rozdielnych materiálov alebo farieb materiálov. Vstupom do programu je objemový model súčasti vo formáte STL a výstupom je zdrojový kód pre tlač súčasti v 3D tlačiarňi. [15]

Po výbere vyrábaného variantu je model exportovaný do formátu STL otvorený v programe KISSlicer a automaticky umiestnený do pracovného prostredia programu (Obr. 5.4) Následne je nastavená orientácia uloženia modelu v prostredí a zvolené parametre tlače, ako použitie podpôr hustota tlače, rýchlosť tlače, výška nanášanej vrstvy a podobne. Na základe zvolených parametrov program rozloží model na tenké vrstvy obsahujúce dráhy tlačiacej hlavy.



Obr. 5.4 Užívateľské prostredie programu KISSlicer.

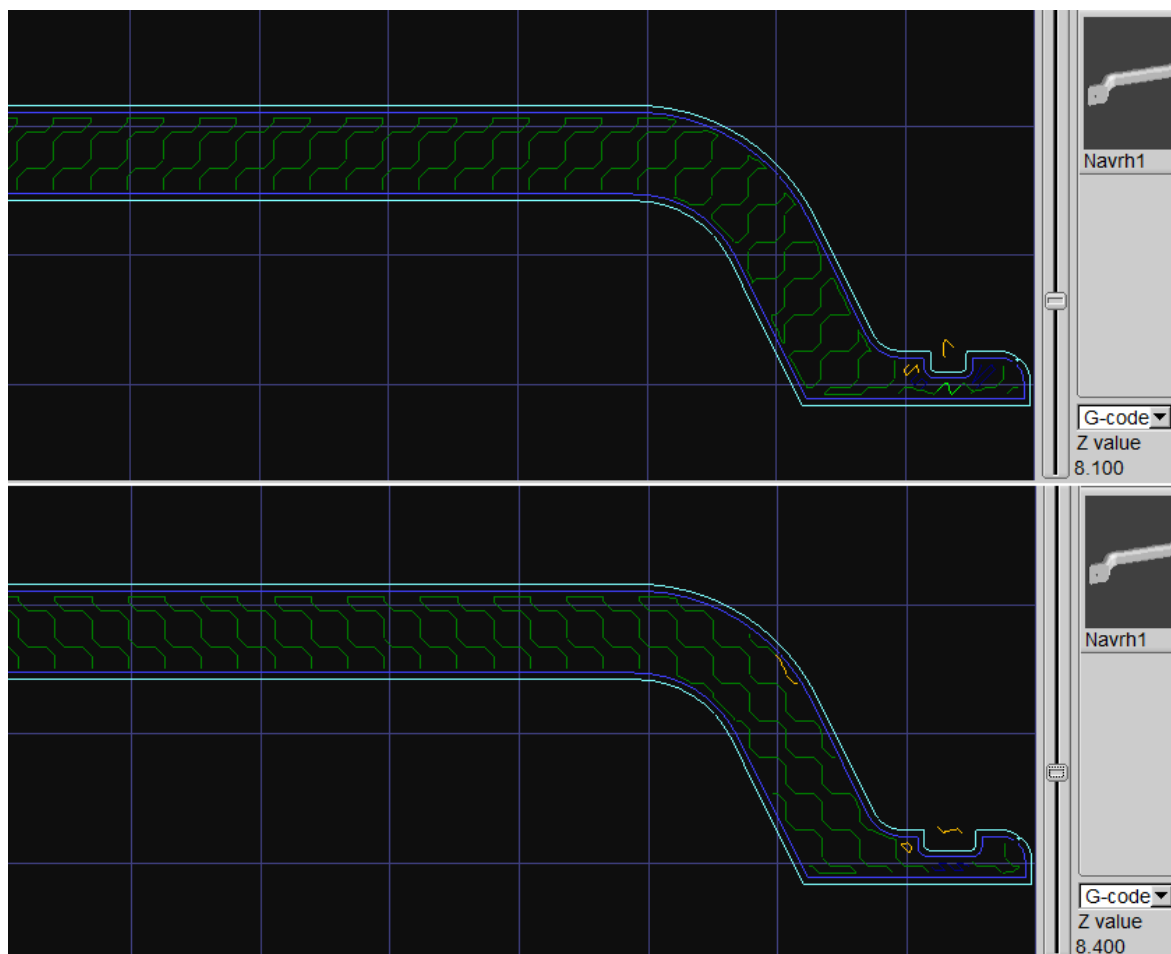
5.4. Nastavenie parametrov tlače

Layer Thickness (hrúbka vrstvy)

Hrúbka nanášanej vrstvy určuje posunutie hlavy v ose Z pre tlač ďalšej vrstvy. Hrúbka vrstvy ovplyvňuje kvalitu povrchu vyrobenej súčasti a dĺžku výrobného času a tak treba hľadať optimálne nastavenie kroku aby bola dosiahnutá vysoká efektivita výrobného procesu. Pre prototyp držadla bola zvolená hrúbka nanášanej vrstvy 0,3 mm.

Infill Style (štýl výplne)

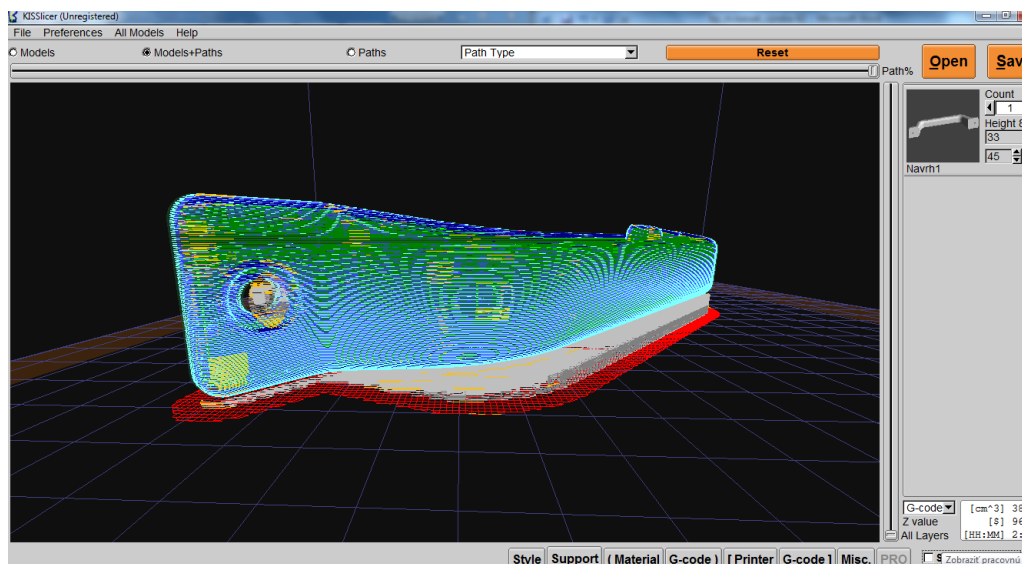
Nastavenie parametru „Infill Style“ najviac ovplyvňuje budúce mechanické vlastnosti vyrobeného prototypu a taktiež dĺžku výrobného procesu. Princíp spočíva v systéme kladenia buď veľmi tesných alebo riedkych „húseníc“ materiálu. Vyrábaná súčasť bude mechanicky namáhaná a tak by bolo optimálne nastavenie plnej 100 % výplne, ale z rozmerových dôvodov by hrozilo roztekanie materiálu a tak bola zvolená 33,3 % hustota výplne. Tento štýl tvorí jadro súčasti, je osemuholníkového tvaru a každá nasledujúca vrstva sa mení natočením o 90° (Obr. 5.5). Obal tvorí plne zaplnená štruktúra, ktorá zaručuje tuhosť a odolnosť povrchu.



Obr 5.5 Osemuholníková štruktúra dvoch po sebe tlačených vrstiev.

Support (podpora)

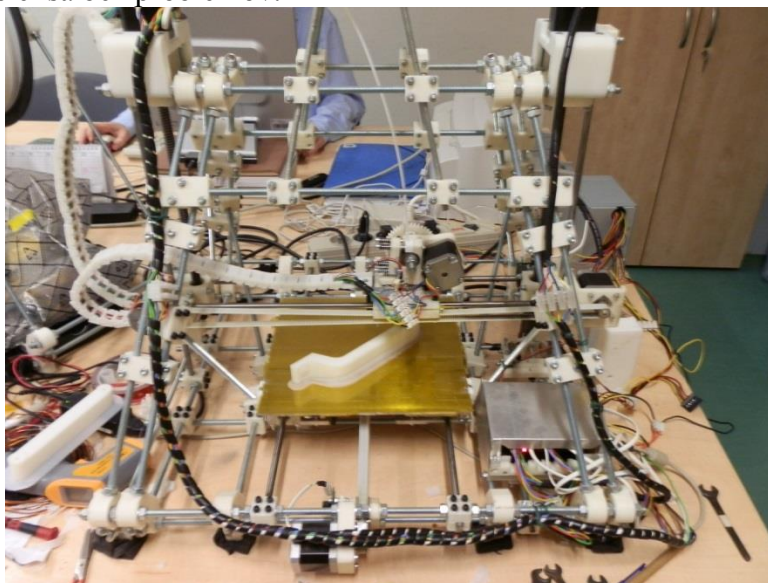
Podpory sú generované automaticky a sú dôležité pre tlač zložitých geometrických tvarov. Ich štruktúra je tvorená hrubou sieťou, na ktorej je vytváraný nepravidelný tvar súčasti. Bez podpory by hrozil rozpad a deformácia geometrie výrobku. Po vygenerovaní programu vznikli tri podpory, a to hlavná podpora, ktorá slúži ako základňa a dve podpory dier (Obr. 5.6).



Obr 5.6 Model držadla s vygenerovanými podporami.

5.5. Výroba metódou FDM

Po vhodnej konfigurácii parametrov tlače je vytvorený zdrojový kód, ktorý je odoslaný do 3D tlačiarne a po nahriatí tlačiacej hlavy a pracovnej dosky odštartoval samotný proces tlače prototypu držadla (Obr. 5.7), ktorý je samostatne riadený a automaticky ukončený po poslednej vytlačenej vrstve. Pre výrobu súčasti bola použitá open source RepRap 3D tlačiareň u pána Ing. Oskara Zemčíka Ph.D., na VUT FSI v Brne. Celý proces trval 4,5 hodiny a zaobišiel sa bez problémov.



Obr 5.7 Model držadla počas priebehu tlače na RepRap 3D tlačiarne.

5.6. Post-processing

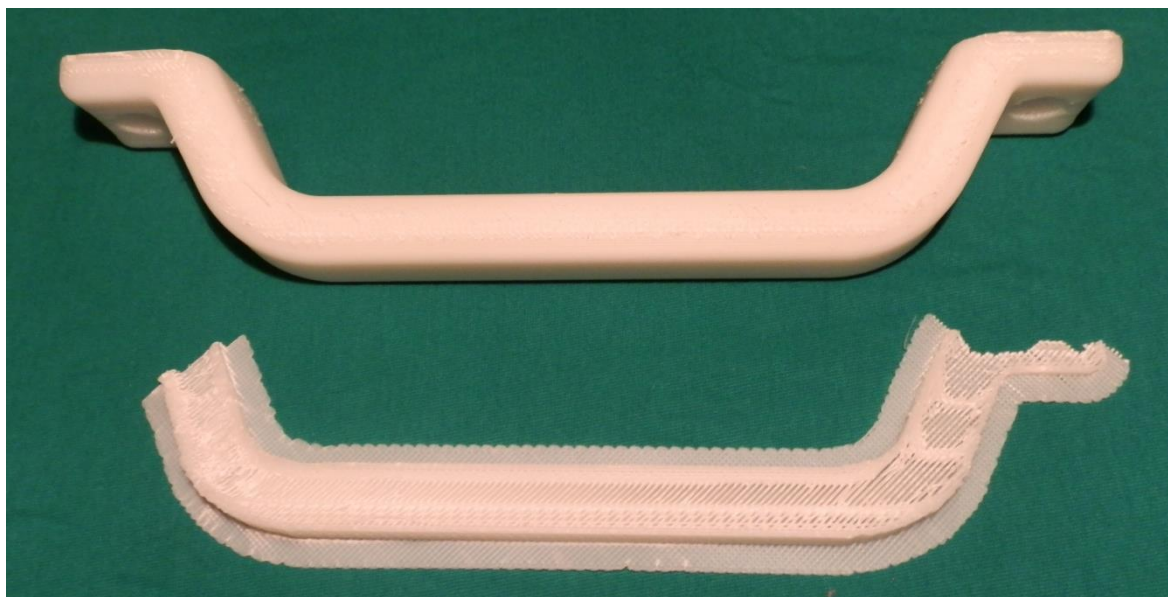
Po dokončení procesu tlače bol výsledný model (Obr. 5.8) odstránený z pracovnej podložky tlačiarne a nasledovalo mechanické odstránenie podpôr, opracovanie a nástreky povrchu výrobku a samotná montáž držadla do interiéru automobilu.



Obr. 5.8 Výsledný výrobok pred opracovaním.

Odstránenie podpôr

Na odstránenie podpory bol použitý orezávací plátkový nožík. Po narezaní jednej strany držadla bola podpora postupným ťahaním a narezávaním oddelená. Naším cieľom bolo odstránenie podpory v celistvom stave, čo sa skoro podarilo (Obr. 5.9). Na obrázku je viditeľný spôsob vyplnenia podpory. Podpora zanechala na povrchu nerovnosti, ktoré sa musia obrúsiť. Podpory v ovroroch boli odstránené pomocou skrutiek, ktoré boli našróbované do podporného materiálu. Ich jemným nahýbaním sa podpory oddelili od držadla a po ich odstránení bol proces na konci.



(Obr. 5.10). Odstránená podpora a držadlo po odstránení podpory.

Povrchová úprava

Po odstránení podporného materiálu bolo držadlo obrúsené šmirgl'ovými papiermi rôznych drsností. Brúsenie bolo vykonávané pomalými ťahmi aby nedochádzalo ku zahrievaniu plastu, čo by mohlo spôsobiť deformácie. Ako prvé boli obrúsené miesta, z ktorých sa odstránil podporný materiál a následne aj ostatné plochy. Na brúsenie boli použité šmirgl'ové papiere so zrnitosťou P150, P180, P280 a P320.

Po vybrúsení do postačujúcej kvality povrchu bol spravený nástrek farby, ktorá určí konečnú podobu držadla. Na nástrek bola použitá univerzálna rýchlo schnúca farba v spreji od firmy Tech Aerosol. Farba je čierna s matným odtieňom a je použiteľná na drevo, kovy, plasty keramikú a sklo. Bola nanášaná 3-krát v jemných vrstvách aby nedochádzalo ku zatekaniu prebytočnej farby pri intervaloch schnutia 20 min. Na obr. 5.11 je zobrazená finálna podoba držadla po vyschnutí poslednej vrstvy nanášanej farby.



Obr. 5.11 Finálna podoba prototypu držadla do interiéru automobilu.

5.7. Montáž vyrobeného prototypu

Vyrobená súčasť bola pomocou dvoch skrutiek úspešne namontovaná do automobilu Škoda Favorit (Obr. 5.12).



Obr. 5.12 Namontovaný prototyp držadla v interiéru automobilu Škoda Favorit.

6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

V technicko-ekonomickom zhodnotení boli vypočítané výrobné náklady pre metódu FDM a pre metódu vákuového liatia do silikónovej formy a následne porovnané pre kusovú výrobu o veľkosti 50 kusov.

6.1. Výpočet nákladov pre metódu 3D FDM tlače

Prototyp držadla bol vyrobený na open source RepRap 3D tlačiareň u pána Ing. Oskara Zemčíka Ph.D. a cena jednej hodiny tlače na tejto tlačiarňi je 25 Kč. Cena ABS plastu je približne 550 Kč za jeden kilogram čo je približne 0,60 Kč za 1 cm³ materiálu. Samotná tlač trvala približne 4,5 h a bol použitý materiál o objeme približne 90 cm³. Pre výpočet boli použité nasledujúce vzorce.

Celkové náklady na 3D tlačiarňi:

$$N_C = N_P + N_M$$

Kde: N_Ccelkové náklady na tlač súčasti [Kč],

N_Pnáklady na chod tlačiarne [Kč],

N_Mnáklady na materiál [Kč].

Náklady na chod tlačiarne:

$$N_P = t_P \cdot N_{PH}$$

Kde: t_Pcelkový čas tlače [h],

N_{PH}náklady na jednu hodinu tlače [Kč].

Náklady na materiál:

$$N_M = V_M \cdot N_{MCK}$$

Kde: V_Mobjem použitého materiálu [cm³],

N_{MCK}náklady na jeden centimeter kubický materiálu [Kč].

Zhrnutie jednotlivých položiek:

$$t_P = 4,5 \text{ h} \quad N_{PH} = 25 \text{ Kč} \quad V_M = 90 \text{ cm}^3 \quad N_{MCK} = 0,60 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladov na chod tlačiarne:

$$N_P = t_P \cdot N_{PH} = 4,5 \cdot 25 = 112,5 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladov na materiál:

$$N_M = V_M \cdot N_{MCK} = 90 \cdot 0,60 = 48 \text{ Kč}$$

Výpočet celkových nákladov na 3D tlačiarňi:

$$N_C = N_P + N_M = 112,5 + 36 = 160,5 \text{ Kč}$$

Celková cena tlače na RepRap 3D tlačiarňi bola 160,5 Kč, ale táto cena je príliš malá, pretože náklady na jednu hodinu chodu tlačiarne neodpovedajú bežnej trhovej cene a pri kusovej výrobe by bol model vyrobený so 100 % zaplnením jadra, zatiaľ čo my sme ho vyrobili s 33,3 % zaplnením. Trhová cena jednej hodiny tlače sa pohybuje okolo hodnoty 200 Kč a model vyrobený s plným jadrom by mal objem približne 110 cm^3 a jeho výroba by trvala približne 6 hodín. Pre výpočet nákladov použijeme rovnaké vzťahy ako pri prvom výpočte.

Zhrnutie jednotlivých položiek:

$$t_P = 6 \text{ h} \quad N_{PH} = 200 \text{ Kč} \quad V_M = 110 \text{ cm}^3 \quad N_{MCK} = 0,60 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladov na chod tlačiarne:

$$N_P = t_P \cdot N_{PH} = 6 \cdot 200 = 1200 \text{ Kč}$$

Výpočet nákladov na materiál:

$$N_M = V_M \cdot N_{MCK} = 110 \cdot 0,60 = 66 \text{ Kč}$$

Výpočet celkových nákladov na 3D tlačiarňi:

$$N_C = N_P + N_M = 1200 + 66 = 1266 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pre výrobu jedného kusu držadla na 3D tlačiarňi sú 1266 Kč a sú podstatne vyššie ako náklady potrebné na tlač nášho prototypu.

6.2. Náklady výroby pre metódu vákuového liatia do silikónovej formy

Pre zrovnanie nákladov s našou metódou výroby držadla na 3D tlačiarňi bola zvolená metóda vákuového liatia do silikónovej formy. Oslovili sme firmu MCAE Systems s požiadavkou o vytvorenie cenovej ponuky pre výrobu nášho držadla do interiéru automobilu. Konkrétne ceny jednoduchšej formy sú uvedené v tabuľke 6.1.

Tab. 6.1 Cenová ponuka firmy MCAE Systems.

Náklady na Master model	3 200 Kč
Náklady na výrobu formy	5 000 Kč
Náklady na odliatie jedného kusu	500 Kč
Priemerná životnosť formy	25 ks

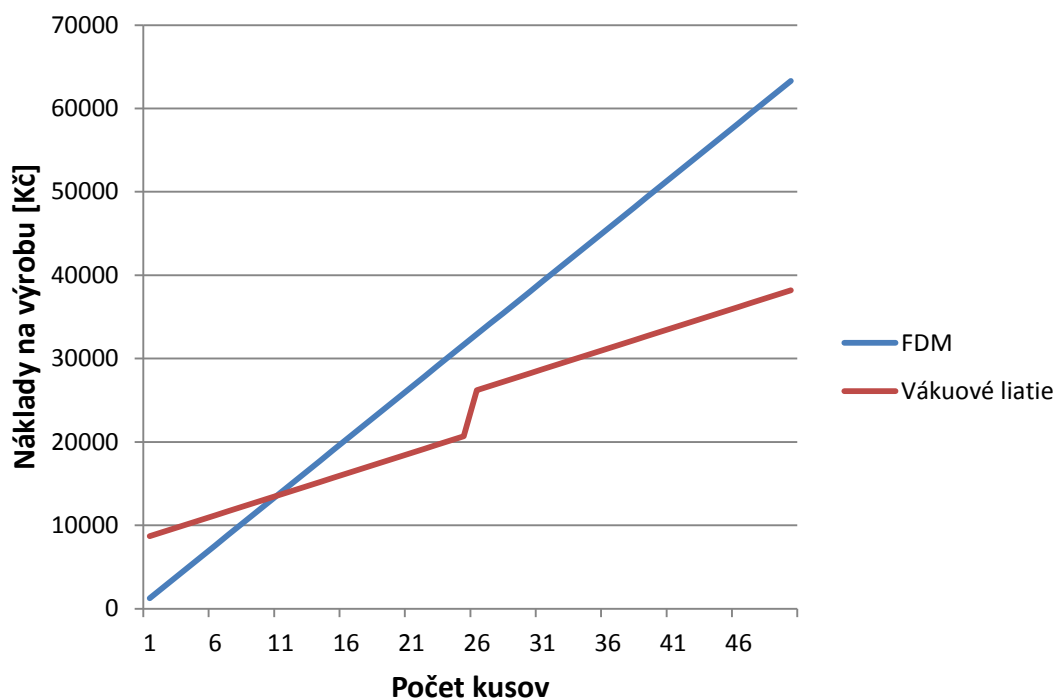
6.3. Porovnanie metód pre kusovú výrobu

Do výrobných nákladov neboli započítané niektoré úkony, ktoré sú súčasťou výroby a to náklady na návrh modelu a náklady na postprocessing. Tieto náklady sú potrebné pri oboch metódach a pre porovnanie efektivity kúskej výroby sú teda irelevantné.

Výpočet kúskej výroby metódou vákuového liatia do silikónovej formy bol spravený v programe Microsoft Excel. Na výrobu prvého kusu boli započítané všetky náklady a na výrobu ďalších boli ku tejto sume pripočítané už iba náklady na odlíatie jedného kusu a pri výrobe 26 súčasti bola ešte pripočítaná suma za výrobu ďalšej formy. Výroba bola stanovená na 50 kusov a v tabuľke 6.2 sú zobrazené náklady na jednotlivý počet vyrábaných súčastí a na obrázku 6.1 je znázornené ich grafické porovnanie.

Tab. 6.2 Vypočítané náklady.

Náklady na výrobu [Kč]			Náklady na výrobu [Kč]		
Počet kusov	FDM	Vákuové liatie	Počet kusov	FDM	Vákuové liatie
1	1266	8700	26	32916	26200
2	2532	9200	27	34182	26700
3	3798	9700	28	35448	27200
4	5064	10200	29	36714	27700
5	6330	10700	30	37980	28200
6	7596	11200	31	39246	28700
7	8862	11700	32	40512	29200
8	10128	12200	33	41778	29700
9	11394	12700	34	43044	30200
10	12660	13200	35	44310	30700
11	13926	13700	36	45576	31200
12	15192	14200	37	46842	31700
13	16458	14700	38	48108	32200
14	17724	15200	39	49374	32700
15	18990	15700	40	50640	33200
16	20256	16200	41	51906	33700
17	21522	16700	42	53172	34200
18	22788	17200	43	54438	34700
19	24054	17700	44	55704	35200
20	25320	18200	45	56970	35700
21	26586	18700	46	58236	36200
22	27852	19200	47	59502	36700
23	29118	19700	48	60768	37200
24	30384	20200	49	62034	37700
25	31650	20700	50	63300	38200



Obr. 6.1 Grafické porovnanie nákladov

Z vypočítaných nákladov je zrejmé, že výroba metódou 3D FDM tlače je efektívnejšia ako výroba metódou vákuového liatia do silikónovej formy do výroby jedenásteho kusu.

Záver

Cieľom tejto práce bola výroba prototypu držadla v interiéri automobilu na 3D FDM tlačiarňi.

V prvej časti práce je opísaná technológia Rapid Prototyping, jej história, možnosti, použitie a základy. Táto metóda zahŕňa rôzne technológie, ktoré sa odlišujú použitím laseru a spôsobom vytvrdzovania materiálu. Ich výhody a nevýhody sú zhrnuté v tabuľke kde je taktiež uvedený používaný materiál a hrúbka nanášanej vrstvy. Popis metódy FDM- Fused Deposition Modeling je podrobnejší a obsahuje základnú schému používania a postup pri jej použití. Metóda využíva niekoľko materiálov, ako ABS, ABS+, PC alebo ich kombináciu PC-ABS. V práci sú popísané ich fyzikálne vlastnosti a ich použitie v priemyselnej výrobe.

Následne sme sa zoznámili s funkciou vyrábaného prototypu a so základnými podmienkami, ktoré museli byť dodržiavané pre správnu funkčnosť vyrábaného držadla.

Ďalšia časť práce sa zaoberá návrhom rôznych variant pre tlač a je realizovaná v študentskej verzii programu Autodesk Inventor 2014. Vymodelované sú tri varianty, ku každej je stručne opísaný postup modelovania a následne je vybraná jedna možnosť s ktorou sa ďalej pracuje. Výber prebieha s ohľadom na možnosti tlače, technologičnosť konštrukcie a dizajn súčasti.

Vybraný model je prevedený do formátu STL a načítaný do programu KISSlicer. V tomto programe sú nastavené parametre tlače, ako hrúbka jednej nanášanej vrstvy, zaplnenie jadra modelu, rýchlosť pohybu trisky a podobne. Po nastavení všetkých parametrov sú vygenerované dráhy tlače vo forme G-kódu, ten je poslaný do 3D FDM RepRap tlačiarne a po zahriatí trisky a podložky je odštartovaná výroba.

Po ukončení výroby je model mechanický oddelený od pracovnej plochy tlačiarne. Následne sú odstránené podpory, povrch modelu je opracovaný šmirgl'ovým papierom, nastriekaný čiernou farbou a nakoniec namontovaný do automobilu Škoda Favorit. Celý tento proces je zdokumentovaný.

V poslednej časti je výroba zhodnotená z ekonomickej stránky a nami použitá metóda je porovnaná s metódou vákuového liatia do silikónovej formy. Je zistené, že výroba metódou FDM je efektívnejšia iba pri malej kusovej výrobe v rádoch jednotiek. Pri zvyšovaní výroby jej efektivita klesá, a tak je lacnejšie použiť metódu vákuového liatia.

Metóda FDM je vhodná pre výrobu prototypov alebo tvarovo zložitých súčastí, ale musí sa ešte vyvíjať, aby bola výhodná pre výrobu viacerých kusov alebo malých sérií tvarovo jednoduchých výrobkov, kde sa používajú konvenčné metódy obrábania.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. ŘASA, Jaroslav a KEREČANINOVÁ Zuzana. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. Listopad 2008. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
2. NAVRÁTIL, Robert. Rapid Prototyping. [online]. Leden 2000. [vid. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/index.html>
3. 3D tisk – aplikace. [online]. Květen 2013. [vid. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-aplikace>
4. PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
5. ŘASA, Jaroslav a KEREČANINOVÁ Zuzana. Nekonvenční metody obrábění 10. díl. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. Prosinec 2008. [vid. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>
6. Fused Deposition Modeling. CustomPartNet [online]. 2008 [vid. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>
7. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. 3D tisk technologií FDM [online]. [vid. 2015-05-18]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>
8. JELÍNEK, J. Analýza mechanických vlastností plastových materiálů pro 3D tisk. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D..
9. MATERIALS: FDM Thermoplastics. RedEye: Giving you more than 3D parts [online]. U.S, 2008 [vid. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.redeyeondemand.com/fdm-thermoplastics/>
10. Autodesk Inventor: 2D i 3D konstruování jednoduše. MICHL, Vladimír. CAD Studio a.s. [online]. Praha, 2014 [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
11. AUTODESK WIKIHELP, Náповěda k produktu Autodesk Inventor [online]. [vid. 2015-05-20]. Dostupné z <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>.
12. Autodesk Inventor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 2014 [vid. 2015-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor
13. ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění. Vysoké učení technické v Brně [online]. Brno, 2007 [vid. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>

14. Pevnostní analýza v AIP 2. díl: Význam a zaměření modulu Pevnostní analýza. ZAHRADNÍK, Radek. [Http://www.autodeskclub.cz/](http://www.autodeskclub.cz/) [online]. 2013 [vid. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.autodeskclub.cz/clanek/6189-pevnostni-analyza-v-aip-2-dil-vyznam-a-zamereni-modulu-pevnostni-analyza>

15. KISSlicer [online]. Leden 2012. [vid. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://kisslicer.com/index.html>

Zoznam použitých symbolov a zkratiek

Symbol	Jednotka	Popis
N_C	[Kč]	Celkové náklady na tlač súčasti
N_P	[Kč]	Náklady na chod tlačiarne
N_M	[Kč]	Náklady na materiál
t_p	[h]	Celkový čas tlače
N_{PH}	[Kč]	Náklady na jednu hodinu tlače
V_M	[cm ³]	Objem použitého materiálu
N_{MCK}	[Kč]	Náklady na jeden centimeter kubický materiálu

Skratka	Význam
2D	Dvojrozmerný
3D	Trojrozmerný
3DP	Three Dimension Printing
ABS	Akrylonitrilbutadienstyrenu
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
FSI	Fakulta strojného inžinierstva
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
REPRAP	Replicating Rapid-prototype
RP	Rapid Prototyping
SGC	Solid Ground Curing
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Vstupní formát dat 3D tiskárny

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 Výkresová dokumentácia modelu

Príloha 1

