



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA NÁHRADNÍHO DÍLU KLIKY
AUTOMOBILU I20 METODOU FDM TISKU**

PRODUCTION OF A REPLACEMENT PART OF THE I20 CAR HANDLE WITH THE FDM PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adrián Borovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Adrián Borovský
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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

Výroba náhradního dílu kliky automobilu i20 metodou FDM tisku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V úvodní části autor nejprve vypracuje rešerši zvolené problematiky, zaměřenou na kliku automobilu i20, rok výroby 2011 a způsob výroby prototypu s využitím 3D tisku. Následně vytvoří model náhradního dílu ve zvolené CAD aplikaci. Provede kontrolní výpočty zatížení metodou MKP a navrhne technologii výroby prototypu kliky s využitím 3D FDM tiskárny.

Součástí práce bude i technicko–ekonomické zhodnocení a doporučení autora pro případnou další aplikaci.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše zvolené problematiky
- návrh tělesa kliky
- kontrolní výpočet zatížení kliky
- výroba prototypu
- technicko ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. Vrabc Martin Technologie obrábění s využitím CAD/CAMsystemů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002, 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN978-80-251-1773-6.

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.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom a výrobou funkčného dielu automobilu Hyundai i20, konkrétne kľučky od dverí, ktorá bola používaním poškodená. Cieľom je vyrobiť technicky a ekonomicky vhodnú variantu kľučky, ktorá bude spĺňať technické požiadavky na prevádzku a bude môcť konkurovať originálu.

Kľúčové slová

3D tlač, aditívna technológia, FDM, FFF, rapid prototyping

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the design and manufacture of a functional part of the Hyundai i20 car, specifically the door handles that have been damaged by wear. The aim is to produce a technically and economically suitable variant of the handle, that will meet the technical requirements for operation and will be able to compete with the original.

Kľúčové slová

3D print, additive manufacturing, FDM, FFF, rapid prototyping

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BOROVSKÝ, Adrián. *Výroba náhradního dílu kliky automobilu i20 metodou FDM tisku*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136904>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Oskar Zemčík.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Výroba náhradného dílu kliky automobilu Hyundai i20 metódou FDM tisku vypracoval samostatne pod dozorom vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a zdrojov, ktoré sú v práci citované a uvedené v zozname použitých zdrojov.

Miesto, dátum

Adrian Borovský

POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať vedúcemu práce Ing. Oskarovi Zemčíkovi Ph.D., za pomoc, cenné rady a ochotu pri tvorbe záverečnej práce. Ďakujem za nápady a inšpirácie ktoré mi počas tvorby práce náramne pomohli.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ADITÍVNE TECHNOLOGIE A REVERZNÉ INŽINIERSTVO	10
2 FUSED DEPOSITION MODELING.....	11
2.1 Technológia FDM	11
2.2 Konštrukcia 3D FDM tlačiarne	13
2.2.1 Karteziánsky typ	13
2.2.2 Delta typ	13
2.2.3 Polárny typ.....	14
2.2.4 3D tlač pomocou robotického ramena (SCARA).....	14
2.3 Tlačová hlava (hotend) 3D FDM tlačiarne.....	15
2.3.1 Funkcia hotendu	15
2.3.2 Tryska	15
2.3.3 Výchrevný blok	16
2.3.4 Teplotná sonda.....	16
2.3.5 Chladič.....	16
2.3.6 Extrudér (podávač)	17
Priamy extrudér	17
Bowden extrudér	17
2.4 Technologické parametre 3D FDM tlače	18
2.4.1 Teplota trysky a dosky.....	19
2.4.2 Rýchlosť tlače.....	19
2.4.3 Výška vrstvy	19
2.4.4 Typ výplne.....	19
2.4.5 Okraje	20
2.5 Programy používané pri tvorbe modelu	20
2.5.1 ANSYS workbench	21
2.5.2 PrusaSlicer	21
2.6 Použitá 3D tlačiareň Ender 3 v2.....	22
2.7 Materiály	24
2.7.1 Polylactic acid (PLA)	24
2.7.2 Akrylonitril butadien styren (ABS)	25
2.7.3 Polyetylen tereftalát (PET)	26
2.7.4 Nylon (PA)	26
2.7.5 Termoplastický polyuretan (TPU).....	27
2.7.6 Polykarbonát (PC)	27
2.7.7 Polyetyléntereftalát – glykol (PET-G).....	27
3 NÁVRH MODELU	28
3.1 Sken modelu kľučky.....	28
3.2 Posúdenie technologickosti modelu	28
3.2.1 Mosty	29
3.2.2 Previsy	29

3.2.3	Ostré hrany	30
3.2.4	Presnosť rozmerov	30
3.2.5	Výška vrstvy	30
3.3	Vplyv výšky vrstvy na čas tlače	30
3.4	Voľba výplne	30
3.5	Výsledný model	31
3.6	Použitý materiál	31
4	SIMULÁCIA ZÁŤAŽE KĽUČKY	32
4.1	Deformácia	32
4.2	Napätie	34
5	VÝROBA MODELU	35
5.1	Preprocessing	35
5.2	Tlač modelu	35
5.3	Postprocessing	36
5.3.1	Odstránenie technologických prídavkov	36
5.3.2	Mechanické povrchové úpravy	36
5.3.3	Zlepenie modelu	37
5.3.4	Tmelenie modelu	37
5.3.5	Natretie farbou	38
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	39
6.1	Technické zhodnotenie	39
6.2	Ekonomické zhodnotenie	39
7	ZÁVER	42
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	43
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	46
	ZOZNAM PRÍLOH	48

ÚVOD

Technológia rapid prototyping zaznamenáva prudký rozvoj a preniká do rôznych oblastí priemyslu ale aj ľudských činností vôbec. Svoju cestu započala v 80. rokoch minulého storočia. Do tejto kategórie patria technológie ktoré vyrábajú výrobky nekonvenčným aditívnym spôsobom. Táto technológia vyrába daný model pomocou nanášania materiálu v presnej geometrii a nie jeho odoberaním ako pri konvenčných obrábaniach. Je to stále pomerne mladá a nie úplne preskúmaná metóda výroby a stále sa vyvíjajú nové materiály, spôsoby a miesta kde sa dá využiť práve aditívnych technológií. Najnovšie sa 3D tlač experimentálne začala používať v stavebníctve kde je schopná tlačiť betón na stavbu budov.

3D FDM tlač je aditívna technológia pri ktorej do trysky prúdi materiál, ktorý tryska nataví na požadovanú teplotu a tento materiál je následne nanášaný na ohriatu podložku 3D tlačiarne, kde vzniká po jednotlivých vrstvách prototyp. Táto metóda 3D tlače pracuje s množstvom materiálov rôznych atribútov, spravidla sú materiály pre 3D tlač termoplasty.

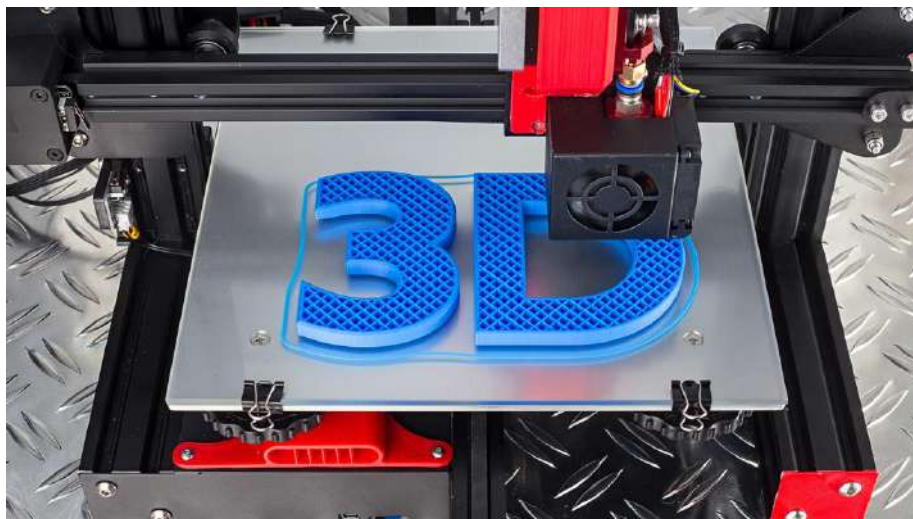
Cieľom tejto práce je navrhnuť a vyrobiť kľučku automobilu Hyundai i20. Po poškodení originálnej kľuky na automobile bolo niekoľko variantov ako komponent nahradiť, jednou z nich je priame nahradenie kľučky u autorizovaného predajcu alebo zakúpiť lacnú náhradu ktorá sa kvalitou, farbou, funkčnosťou nepribližuje originálu. Mojou úlohou je celkovo zhodnotiť možnú výrobu tejto kľučky pomocou aditívnej technológie FDM 3D tlače za použitia zvolených materiálov.

1 ADITÍVNE TECHNOLOGIE A REVERZNÉ INŽINIERSTVO

K moderným trendom vo výrobe prototypových dielov patria hlavne aditívne technológie. Podľa použitej technológie sa v zariadeniach ktoré využívajú Rapid Prototyping používajú: ftopolymery, termoplasty, kovové prášky a špeciálne upravený papier. Pomocou tejto technológie je možné vytvárať vonkajšie aj vnútorné tvary výrobkov nech sú akokoľvek zložité, to prináša priamu výrobu už komplexne navrhnutých výrobkov, úsporu výrobných nákladov, skrátenie výrobnéj doby, zvýšenie spoľahlivosti. Tento spôsob umožňuje vytvárať rôzne druhy výrobkov ktoré by inak nebolo možné vyrobiť konvenčnými spôsobmi výroby. Vstupom pre výrobu je virtuálny model vytvorený v CAD systéme [1,2].

Technológia rapid prototyping prestáva byť dominantou iba pri automobilovom a leteckom priemysle ale začala prerastať aj do odvetví zdravotníctva a spotrebného priemyslu. Pri tvorbe modelov nie je potrebné pracovať s technickou dokumentáciou a výkresmi súčasti, keďže celý návrh je digitálny a dá sa s ním pracovať, dáta týchto modelov je možné zdieľať a vylepšovať svoje nápady pomocou internetu a ďalších ľudí spojených touto technológiou. Rapid prototyping je stále moderný smer, ktorý sa rozvíja a je veľkou pomocou silou pri výrobe nových prototypov [3].

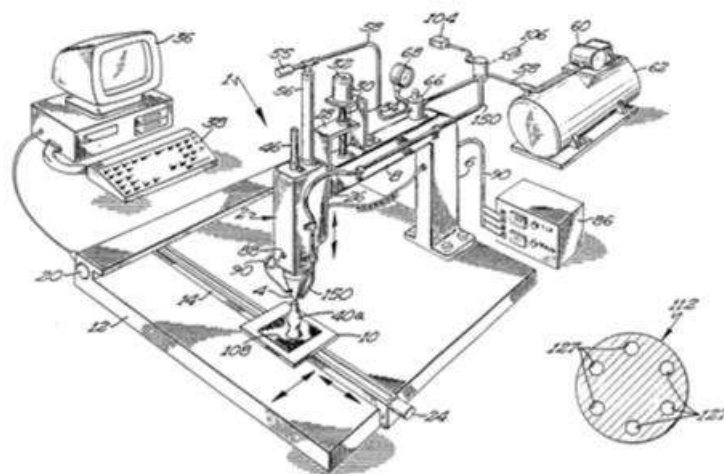
Reverzné inžinierstvo je proces pri ktorom sa z fyzického modelu dostávajú dáta do počítača. Táto technológia umožňuje meranie dát daných modelov veľmi rýchlo a efektívne v porovnaní s klasickými postupmi merania, tým je dosiahnuté veľké šetrenie času ktorý môže byť investovaný do iných úkonov pri výrobe výrobku. Táto doba môže byť skrátená z dní na hodiny alebo pri zložitých modeloch ktoré by boli merané klasickými metódami aj týždeň, je možné toto obdobie skrátiť na hodiny maximálne dni [3].



Obr.1 Ukážka 3D tlače [4].

2 FUSED DEPOSITION MODELING

Technológia FDM 3D tlače bola vyvinutá počiatkom 80 rokov minulého storočia, cieľom bola rýchla a efektívna výroba prototypov. Za jej vynálezcu sa považuje Steven Scott Crump, ktorý je aj spoluzakladateľom spoločnosti Stratasys, Ltd. V roku 1989 si nechal svoj nápad patentovať. Tento jeho patent mal expiráciu do roku 2009, po roku 2009 sa táto metóda rozšírila do širokej verejnosti a dnes si už každý môže vytvoriť 3D virtuálny model a potom ho pomocou 3D tlačiarne vytlačiť. Po expirácii patentu v roku 2009 je používaná skratka FFF (Fused Filament Fabrication) pretože označenie FDM (Fused Deposition Modeling) je registrované ochrannou známkou pre konvenčné firmy [5].

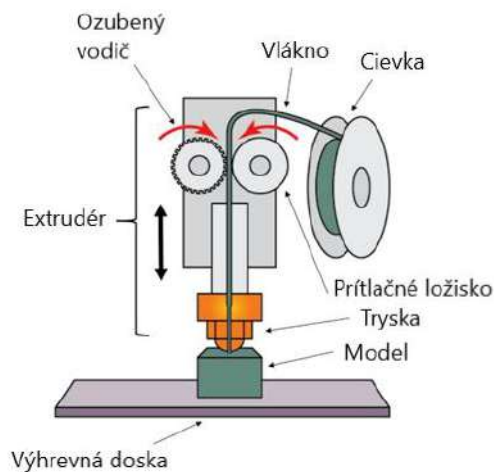


Obr.2 Schéma patentu S.S Crumpa [6].

2.1 Technológia FDM

Spôsob metódy FDM spočíva v tavení termoplastického materiálu, ktorý je vo forme drôtu kruhového tvaru navinutý na kotúči, z ktorého je tento materiál odoberaný a vtlačovaný do výhrevnej trysky. Následne je materiál nanášaný po jednotlivých vrstvách na podložku. Nanášaním jednotlivých vrstiev je postupne vymodelovaný model. Pri tejto metóde je potrebné použiť podpory, ktoré sa po výrobe modelu odstránia buď mechanicky alebo chemickým odstránením. Metóda je nehlukná a materiály, s ktorými pracuje sú netoxické [3].

Materiál je formou drôtu navinutý na cievkach a je vkladáný do zariadenia pomocou kaziet. Zariadenie obsahuje 2 kazety, jednou kazetou sa dávkuje stavebný materiál a druhou podporový materiál. Materiál je pomocou kladky vtlačovaný do výhrevnej trysky, kde sa materiál zohreje do polotekutého stavu. Materiál stavebný a podporový sú vytlačované striedavo. Materiál takto zohriaty a následne vytlačený na podložku je teplotou okolitého prostredia ochladený. Tryska sa pohybuje po rovine X a Y, pomocou týchto dvoch rovín dokončuje 1 celú vrstvu súčasti. Následne sa celá hlava zdvihne o hrúbku vrstvy po ose Z smerom hore a pokračuje v tavení ďalšej vrstvy, takto sa proces opakuje až kým nie je prototyp vytlačený. Po dokončení všetkých vrstiev je prototyp spolu s podložkami a podporami odstránený z pracovného priestoru a podľa typu použitého materiálu sa odstránia podpory buď to mechanicky (ABS materiál) alebo chemicky ak sú použité rozpustné podpory. Vyrobenu súčasť je možné následne obrábať a povrchovo upravovať. Tieto modely väčšinou slúžia ako testovacie vzorky pre design nových alebo inovovaných výrobkov [3].



Obr.3 Schéma FDM 3D tlače podľa [7]

Výhodou tejto technológie je jej ekonomickosť. Pri tvorbe modelu vzniká iba malé percento odpadu a to odpad z podpôr a z okrajov modelu. Je možné využiť veľkú škálu materiálov, či už termoplastických alebo kovových. Materiály sú netoxické a nezávadné, takže nepotrebujú žiadne špeciálne zaobchádzanie [5].

Nevýhodou je presnosť tlače, ktorú udáva priemer trysky a použitý materiál. Výroba týchto prototypov je zväčša časovo náročná. Výrobu modelu nie je možné nijak urýchliť kvôli nutnosti natavenia materiálov a ich následného vytlačenia na podložku. S vlastnosťou materiálu je spojená ďalšia nevýhoda, ktorou je zmrštenie počas chladnutia. Dá sa odstrániť vhodným nastavením v programom, v ktorom sa pracuje [3,5].



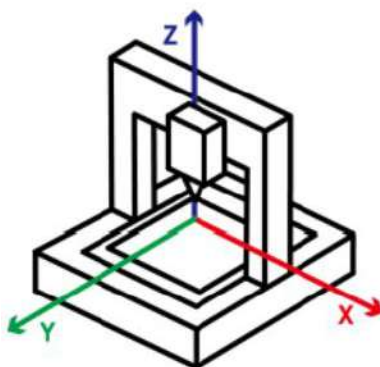
Obr.4 Deformácia pri tlači modelu [8].

2.2 Konštrukcia 3D FDM tlačiarne

2.2.1 Karteziánsky typ

Je to najrozšírenejší typ 3D tlačiarňí na trhu. Je založená na karteziánskom súradnicovom systéme v matematike, kde sa využívajú 3 osy, ktorými sú os X, Y a Z. Pri karteziánskom type tlačiarne sa rozlišujú 2 kinematické pohyby. Prvý je pohyb tlačovej hlavy v smere osy X a Z. V smere Z sa hlava pohybuje len pri dokončení danej vrstvy prototypu a posunie sa presne o výšku vrstvy. Tlačová podložka vykonáva pohyb iba v smere osy Y [9,10].

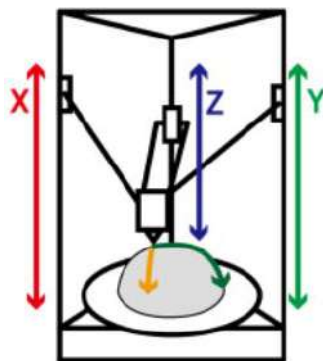
Výhodou karteziánskeho typu je jednoduché riadenie tlačiarne. Oproti typu delta, po vytlačení prototypu sú detaily a povrch kvalitnejšie. Nevýhodou je dlhší čas tlače a nedokonalé kruhové objekty [11].



Obr.5 Karteziánsky typ tlačiarne [12].

2.2.2 Delta typ

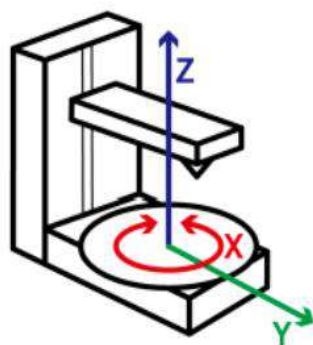
Tieto 3D tlačiarne sú čoraz častejšie viditeľné na trhu. Pracujú s karteziánskym súradným systémom. Ide o kruhovú tlačovú dosku, ktorá je kombinovaná s extrudérom, ktorý je upevnený v troch trojuholníkových bodoch. Každý z týchto bodov sa následne pohybuje nahor a nadol, čím určuje smer a polohu tlačovej hlavy. Tlačiarne typu delta boli navrhnuté tak, aby urýchlili proces tlače a znížili výrobný čas prototypov. Tlačiarne delta typu sa moc nelíšia od tlačiarňí karteziánskeho typu. Rozdiel je iba v možnosti pohybu každého bodu voči podložke. V karteziánskych 3D tlačiarňach sa prvky môžu pohybovať iba jedným smerom, zatiaľ čo tlačiarne delta 3D sa hlava tlačiarne môže pohybovať akýmkoľvek smerom pričom je tlačový zásobník nehybný [10].



Obr.6 Delta typ tlačiarne [12].

2.2.3 Polárny typ

Polárne 3D tlačiarne nie sú určené súradnicami X, Y a Z, ale uhlom a dĺžkou. To znamená že, doska tlačiarne sa otáča a pohybuje súčasne, pričom extrudér sa pohybuje nahor a nadol. Hlavnou výhodou polárnych tlačiarní je využívanie iba 2 motorov, zatiaľ čo karteziánske využívajú 3. Z dlhodobého hľadiska má polárna tlačiareň vyššiu energetickú účinnosť a dokáže vyrobiť väčšie modely pri menšom priestore. Hlavnou nevýhodou je neprítomnosť vyhrievanej tlačovej dosky [10,11].



Obr.7 Polárny typ tlačiarne [12]

2.2.4 3D tlač pomocou robotického ramena (SCARA)

Robotické ramená sa najčastejšie používajú na montáž komponentov na priemyslových výrobných linkách najmä v automobilovom priemysle. SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) sa začala začleňovať do procesu 3D len nedávno. Je to typ tlačiarne, kde je na robotickom ramene umiestnená tlačová hlava. Tieto ramená sa nevyužívajú pri klasickej 3D tlači prototypov a modelov, ale skôr pri experimentálnej tlači domov a budov. Ide o technológiu, ktorá stále zostáva vo fáze vývoja. Aj keď SCARA nie je bežný proces pre FDM 3D tlač, tak sa táto metóda začína používať čoraz viac. Dôvodom je, že proces nie je fixný na tlačovú dosku, vďaka čomu sa stáva mobilnejší. Flexibilita polohovacej hlavy 3D FDM tlačiarne je kľúčová pri vytváraní zložitejšej štruktúry. Treba však spomenúť, že výsledná kvalita týchto výtlačkov nie je tak kvalitná ako pri konvenčných karteziánskych tlačiarniach [10,11].



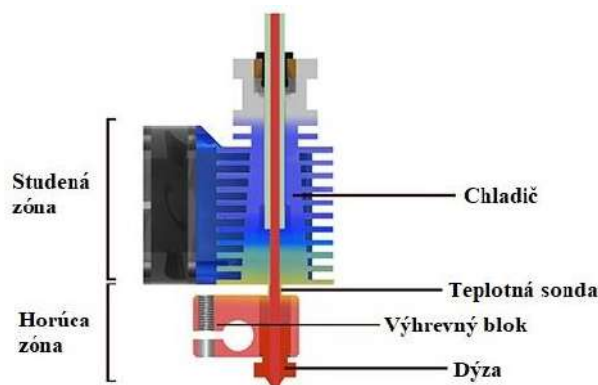
Obr.8 SCARA typ tlačiarne [13].

2.3 Tlačová hlava (hotend) 3D FDM tlačiarne

Tlačová hlava je jednou zo základných častí 3D tlačiarne. Napriek svojej zjavnej jednoduchosti je najzložitejším článkom celej 3D tlačiarne. Pri výbere tlačovej hlavy existuje viacero možností, ako aj množstvo príslušenstva pre každú z nich. Neexistuje dokonalá tlačová hlava pre všetky materiály a aplikácie. Z tohto dôvodu je výber správnej tlačovej hlavy podmienený preferenčným využitím, ktoré udáva 3D tlačiareň alebo materiálmi, ktoré sa budú pri tlačení používať. Tlačová hlava sa delí na spodnú časť tzv. hotend a vrchnú, v ktorej sa nachádza podávač (extrudér) a krokový motor. [14].

2.3.1 Funkcia hotendu

Hotend je prístroj určený na roztavenie a vytlačenie vlákna materiálu pred jeho uložením do konštrukčného priestoru. Vždy pracuje s extrudérom, či už pri priamej alebo nepriamej (bowden) montáži. Celková funkčnosť pozostáva z extrudéra, ktorý tlačí vlákno do komory, kde sa roztaví dôsledkom vytvoreného tlaku. Takto roztavený materiál vychádza cez otvor, kde pri ukladaní na tlačovú dosku stuhne. Keďže je vlákno natavované na dosku je potrebné, aby si udržalo maximálnu tuhosť pred tým, než dosiahne teploty tavenia. Aby to bolo možné, musia byť v tlačovej hlave 2 základné odlišné časti. A to studená a horúca časť, pričom prechod medzi jednotlivými časťami musí byť spravidla čo najkratší [15].



Obr.9 Schéma hotendu podľa [16].

2.3.2 Tryska

Dýza alebo inak tryska je úplne posledný článok hotendu. Cez ňu je roztopený materiál vytlačovaný na tlačovú dosku. Trysky sa dajú jednoducho vymieňať a je možné pomocou jednej 3D tlačiarne tlačiť rôzne kvality modelov. Trysky 3D tlačiarne sa rozlišujú na základe používaného materiálu a priemeru trysky. Trysky pre 3D tlačiarne sú k dispozícii v rôznych priemeroch od 0,1 do 2,0 mm. Priemerom trysky sa tiež ovplyvňuje výška vrstvy aj rýchlosť tlače modelu. Maximálna výška vrstvy by nemala presiahnuť 80 % priemeru trysky. Napríklad tryska o priemere 0,4 mm má odporúčanú maximálnu výšku vrstvy 0,32 mm. Trysky sa delia na malé: priemer pod 0,4 mm a veľké nad 0,4 mm [17].

Všeobecne, väčšina hotendov používa trysku o priemere 0,4 mm, pretože je to brané ako ideálny kompromis medzi kvalitou a časom tlače. V niektorých prípadoch sa používajú menšie priemery, ktoré môžu byť v určitých prípadoch lepšie. Nesmie sa ale zabudnúť na vlastnosť plastov, ktoré si zachovávajú značnú viskozitu po roztavení, takže pri menších priemeroch je potrebné použiť oveľa väčší tlak. Pod hranicou 0,25 mm je potrebný tlak tak vysoký, že nie je možné tlačiť niektoré plasty s vyššou viskozitou. Pri priemeroch nad 0,8 mm je obmedzenie spôsobené schopnosťou hotendov roztaviť dostatočný objem materiálu na udržanie správnej extrúzie [15,17].

Tab.1. Porovnanie vlastností materiálov trysky pre 3D tlač [17].

Materiál	Tepelná vodivosť λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Hustota ρ [kg.m ⁻³]	Teplota tavenia T _m [°C]
Hliník	237	920	2700	660
Mosadz	120	385	8400	850
Oceľ	50	460	7850	850
Meď	386	390	8900	1064

2.3.3 Výchrevný blok

Je to časť hotendu, ktorý zodpovedá za prenos tepla do trysky a horúcej zóny. Členia sa hlavne podľa teploty na normálnu a vysokú teplotu. Štandardným materiálom pri výrobe výchrevného bloku je hliník. Je najekonomickejší, ale odoláva teplotám iba do 300 °C. Vysokoteplotné bloky sa vyrábajú z poniklovanej medi a vydržia teplotu do 500 °C [15].

2.3.4 Teplotná sonda

Teplotná sonda sa nachádza vo výchrevnom bloku a jej úlohou je meranie jeho teploty. Existuje veľa typov sond s rôznymi tvarovými faktormi a parametrami. Je to prvok, ktorý je v prípade poškodenia veľmi ťažké vymeniť, pretože okrem tvarových faktorov môže byť nutné taktiež upraviť firmvér tlačiarne alebo pridať ďalšie komponenty pre správnu funkčnosť nahradzovaného dielu. Najbežnejšie sú 3 typy sond, ktorými sú [15].:

- Termistor: Je to najbežnejšia sonda s vysokou presnosťou pri nízkych teplotách. Pri pohľade na cenu je veľmi ekonomicky výhodnou voľbou. Nevýhodou však je, že je vhodný iba do teploty 285 °C.
- Termočlánok: Umožňuje presné meranie vysokých teplôt. Na druhej strane nedokáže s vysokou presnosťou súčasne merať vysoké a nízke teploty. Cena týchto zariadení je väčšinou nízka, ale na svoju funkčnosť vyžadujú ďalšie elektronické zariadenia na konverziu signálu. Hlavnou nevýhodou je, že sú veľmi citlivé na elektromagnetický šum, takže zdrojové zapojenie musí byť ošetrené tienením.
- Sondy PT100: Takmer úplne nahradili využívanie termočlánkov. Umožňujú meranie teploty až do 500 °C, pričom je to kombinácia výhod, ktoré obsahujú termočlánky a termistory. Ich cena je rádovo vyššia a taktiež vyžadujú ďalšie elektronické komponenty na ich funkčnosť.

2.3.5 Chladič

Hlavná funkcia chladiča je ochladzovať horúcu zónu hotendu. Je dôležité, aby bola ich kvalita a výkon čo najvyššia, najmä pri používaní pri vysokých teplotách alebo pri používaní polymérov s nízkou teplotou tavenia ako napríklad PLA. Ak sa v 3D tlačiarne používa priamy extrudér je ďalšou dôležitou funkciou zabránenie prenosu tepla. Existujú kompaktné extrudéry, ktorých samotné telo funguje ako chladič. Týmto spôsobom dopomáhajú v ochladzovacom procese. Najčastejším materiálom pre výrobu chladičov je hliník [15,18].

2.3.6 Extrudér (podávač)

Extrudér je časť tlačiarne, ktorá zabezpečuje pohyb a spracovanie plastového vlákna. Nachádza sa v hornej tzv. Studenej časti. Zvyčajne sa skladá z krokového motora na poháňanie pohybu vlákna, odvalovacej skrutky alebo ozubeného kolesa namotaného na hriadeľ motora. Motor slúži na prenos pohybu pružinou, zaťažené vodiace kladky na udržanie tlaku a hadičky na vedenie vlákna na miesto určenia [19].

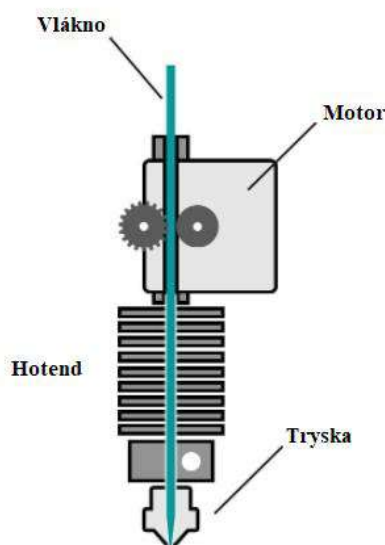
Pri 3D tlači sa používajú 2 typy extrudérov, ktorými sú priamy a bowdenový. Obidva varianty extrudéra zabezpečujú podávanie vlákna do tlačovej hlavy. Líšia sa však spôsobom akým vtláčajú vlákno do hotendu [19].

Priamy extrudér

Extrudér s priamym pohonom je inštalovaný s hotendom a tlačí vlákno priamo do trysky. To znamená že, všetky časti, ktoré spracúvajú vlákno sú na jednom mieste tlačovej hlavy. Tento spôsob usporiadania extrudéra umožňuje presnejšie ovládanie prísunu materiálu do výhrevného bloku a tým dokáže lepšie regulovať množstvo vtláčaného materiálu do tlačovej hlavy.

Výhody: Lepší prietok materiálu. Keďže je extrudér umiestnený na tlačovej hlave, motor ľahšie pretlačí materiál cez trysku. Je možné využívať aj slabšie motory kvôli krátkej vzdialenosti medzi extrudérom a tryskou. Priame extrudéry sú kompatibilné so širokou škálou materiálov určených pre 3D tlač.

Nevýhody: Väčšia záťaž na tlačovú hlavu, pretože je extrudér namontovaný na hotende, čo má za príčinu väčšiu hmotnosť hlavy. S tým súvisí väčšia spotreba energie, zvýšené opotrebovanie ozubených remeňov a ložísk a taktiež aj zníženie rýchlosti tlače [20].

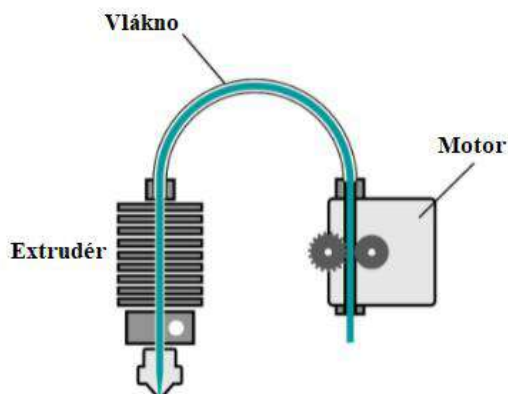


Obr.10 Priamy extrudér podľa [20].

Bowden extrudér

Bowdenový extrudér je umiestnený na ráme tlačiarne. Zvyčajne sa nachádza na konci tlačového ramena. Materiál je privádzaný pomocou bowdenovej trubice. Extrudér je umiestnený nad horúcim koncom tlačovej hlavy. Nevyužíva sa žiadna PTFE trubica, hoci niektoré tlačiarne ju využívajú na vedenie vlákna do extrudéra. Umiestnením extrudéra mimo tlačovú hlavu na rám tlačiarne znižuje hmotnosť tlačovej hlavy, čím sa zvyšuje stabilita. Zvýšenie stability znižuje pravdepodobnosť zvlňenia a iných nedokonalostí pri tlači spôsobených kolísaním na osy X a Y.

Je možná rýchlejšia pohyblivosť tlačovej hlavy, čím sa priamo zvyšuje rýchlosť tlače. Bowdenov extrudér potrebuje na svoju činnosť výkonnejší motor. Flexibilné a kompozitné vlákna môžu mať za následok zvýšeného trenia pridaním PTFE hadice vyššiu šancu priľnutia materiálu k stenám hadice. Tým môžu spôsobiť dokonca aj zablokovanie alebo poškodenie hadice, ktorú je nutné následne vymeniť [21].



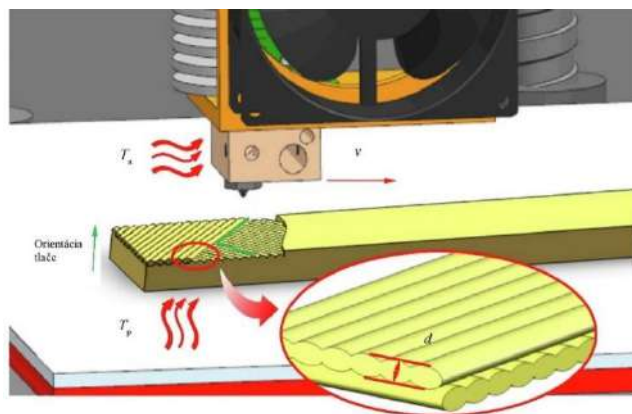
Obr.11 Bowdenov extrudér podľa [20].

2.4 Technologické parametre 3D FDM tlače

Parametre 3D FDM tlače výrazne ovplyvňujú mechanické vlastnosti vytlačených modelov. Podľa doterajších výsledkov boli ako hlavné ovplyvňujúce parametre opísané tieto:

- Teplota trysky (T_n)
- Teplota dosky (T_p)
- Rýchlosť tlače (v)
- Výška vrstvy (d)
- Typ výplne
- Spôsob tlače obrysu

Teplota trysky a dosky ovplyvňuje tavenie materiálu a kryštalizáciu tuhnutia tlačných modelov. Rýchlosť tlače sa vzťahuje na rýchlosť akou sa pohybuje tlačová hlava, ktorá ovplyvňuje tvar prierezu nanášaných materiálov. Hrúbka vrstvy je vertikálna výška každej jednej nanesej vrstvy pri tvorbe modelu, čo má vplyv na pórovitosť a medzivrstvovú priľnavosť [22].



Obr.12 Parametre 3D FDM tlače (T_n , T_p , v , d) [23].

2.4.1 Teplota trysky a dosky

Teplota je jeden z najdôležitejších parametrov pri 3D tlači, ktorý závisí hlavne od používaného materiálu. Každý materiál má vlastné teplotné požiadavky, ktoré sú chemicky veľmi odlišné. Niektoré sú vyrobené zo zmesí škrobov ako napríklad PLA a iné ako ABS stoja na olejovom základe. Chemické zloženie daného filamentu priamo ovplyvňuje teplotu skleného prechodu. Ide o teplotu, pri ktorej sa tuhý a krehký filament natočený na cievke stáva gumeným. Vďaka roztaveniu filamentu je následne možné pomocou trysky započat prvú vrstvu modelu. Keďže všetky materiály majú inú teplotu skleného prechodu, nie je možné tlačiť všetky materiály pri rovnakej teplote [24].

Okrem definovania teploty pre určitý filament je veľmi podstatná aj teplota dosky, na ktorú sa daný model tlačí. Táto teplota dosky slúži na podporu pomalého chladnutia a zníženia deformácií pri chladnutí materiálu. Materiál po vytlačení na dosku začína chladnúť a pri rýchlom chladnutí nastáva zmršťovanie. Výhrevná doska tiež zabezpečuje vyššiu príľnavosť materiálov, takže prvá vrstva dobre prilne na dosku a počas tlače sa model neuvolíni z lôžka. Nastavenie správnej teploty pri tlači je jeden z kľúčových aspektov dosiahnutia dokonalého výtlačku [24].

2.4.2 Rýchlosť tlače

Rýchlosť tlače nie je jednoduchý parameter. Existuje veľa možných nastavení rýchlosti tlače ako napríklad: rýchlosť pohybu hlavy, rýchlosť tlače vonkajšej/vnútornej steny, rýchlosť tlače spodnej a hornej vrstvy atď. Možnosť upravovať rýchlosť veľkej škály parametrov rýchlostí zabezpečuje zlepšenie kvality tlače, rozmerovú presnosť a znižovanie deformácií. Rýchlosť je priamo spojená s kvalitou, presnosťou a pevnosťou modelu. Pri nastavovaní parametrov rýchlosti je cieľom nájsť dokonalú rovnováhu medzi všetkými faktormi [25].

Problémy vznikajúce pri príliš rýchlej tlači sú hlavne slabá príľnavosť vrstiev, posun vrstiev, slabá výplň, zvlhnutie a premostenie. Rýchlosť tlače sa ale dá dosiahnuť aj iným spôsobom ako len zvýšením rýchlosti. Je možné použiť väčšiu trysku, tlač s vyššou hrúbkou vrstvy alebo zníženie percenta výplne [26].

2.4.3 Výška vrstvy

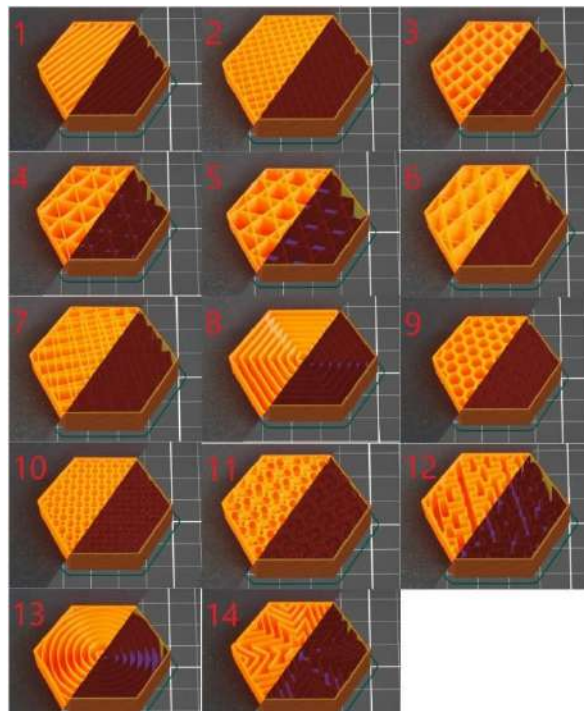
Ide o parameter, ktorý má oveľa väčší vplyv na výsledok tlače než by sa mohlo zdať. Pri správnom použití tohto nastavenia sa zvýši rýchlosť, kvalita a plynulosť tlače. Jeden z najčastejších dôvodov zmeny nastavenia výšky vrstvy je práve rýchlosť tlače. To znamená, že vyššia výška vrstvy má za následok menej tlačných vrstiev, aby bola dosiahnutá rovnaká celková výška modelu. Platí, že zvýšenie výšky vrstvy má za následok zníženie rozlíšenia a kvality tlače. Výšku vrstvy je možné optimalizovať pre každý model individuálne tak, aby bola dosiahnutá najlepšia rýchlosť tlače a pritom stále zachovávala určité rozlíšenie a kvalitu. Tento parameter je niečo, čo sa musí posudzovať individuálne na každej tlačiarni, pretože efektívna tlač si vyžaduje veľa doladovania [27].

2.4.4 Typ výplne

Výplň tlače znamená percentuálne zaplnenie vnútornej časti modelu. 0 % znamená nezaplnený priestor tj. Bez výplne, čo môže spôsobiť deformácie v podobe dier alebo priehlbín na vonkajšom plášti modelu. Naopak, 100 % výplň znamená úplnú výplň modelu. Málakedy sa používa úplná výplň, pretože je časovo aj materiálovo veľmi náročná. Mechanické vlastnosti plne vyplneného modelu v porovnaní s modelom s primeranou výplňou sa nelíšia. Výplň presahujúca 40 % sa príliš často nepoužíva, iba v prípadoch, kedy má byť model veľmi pevný. Výplň ovplyvňuje hlavne pevnosť a húževnatosť modelu. Čím viac percentuálna výplň, tým je model pevnejší [28].

Možnosti výplní:

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Priamočiare | 8. Sústredné |
| 2. Zarovnané priamočiare | 9. Voštinové |
| 3. Mriežka | 10. 3D plást |
| 4. Trojuholníkové | 11. Gyroid |
| 5. Hviezdicové | 12. Hilbertová krivka |
| 6. Kubické | 13. Archimedean chords |
| 7. Linky | 14. Oktagramová špirála |



Obr.13 Vzory výplní – podľa [28].

2.4.5 Okraje

Okrajové vrstvy modelu majú spravidla väčší rozmer ako model. Zabezpečujú lepšie a pevnejšie prichytávanie modelu na dosku. Väčšinou sa využíva pri tlači vysokých a tenkých modelov, kde je potrebné zaistiť, aby sa model vplyvom svojej výšky a váhy nedeformoval. Popríklad, aby sa úplne nezlomil alebo pri materiáloch, ktoré majú vysokú teplotnú rozťažnosť. Okraje sú po skončení tlače z modelu odstraňované [29].

2.5 Programy používané pri tvorbe modelu

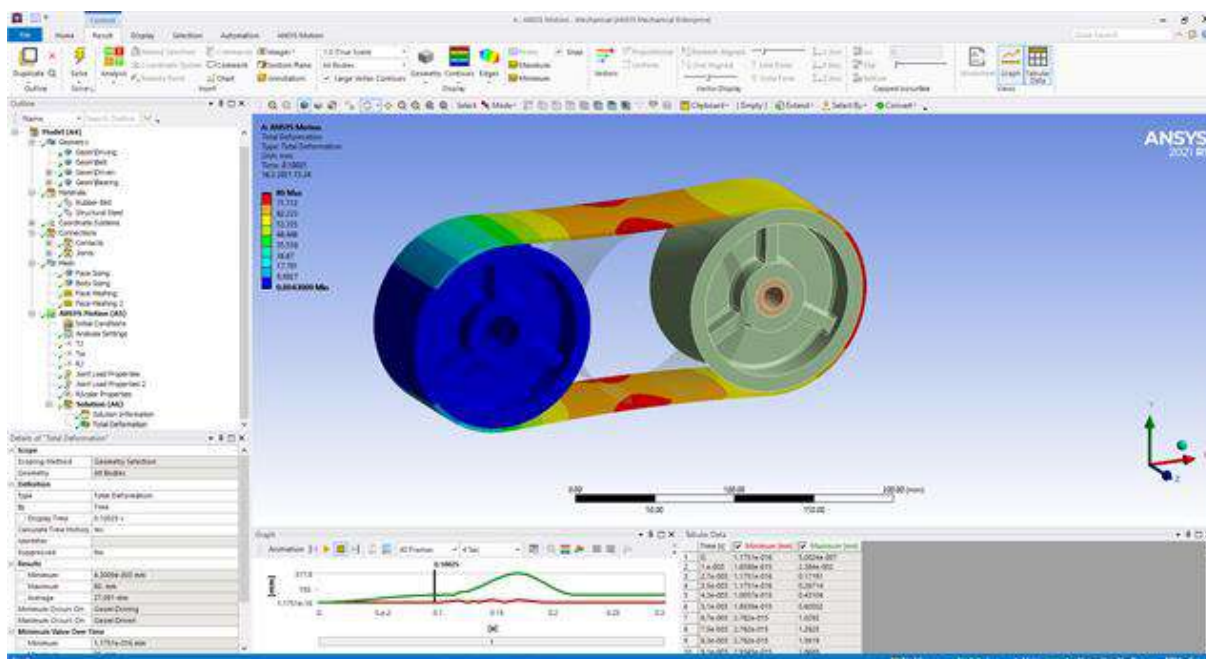
V súčasnosti je už nepredstaviteľné navrhovať nové výrobky bez použitia digitálnych postupov. Možnosť spracovania informácií v digitálnom svete umožňuje riešiť všetky etapy výroby tzv. product life cycle management (PLM). Ide o najkomplexnejší popis životného procesu výrobku až k produkčnej sfére. Pod pojmom PLM sa nachádza napríklad: Computer aided design (CAD), Computer aided manufacturing (CAM), Product data manager (PDM) atď [30].

2.5.1 ANSYS workbench

Spoločnosť ANSYS, Inc. Vznikla v roku 1970. Celosvetovo vyvíja a predáva simulačný softvér, ktorý sa dá použiť na rôznorodú činnosť. Je používaný inžiniermi a dizajnérmi. Taktiež je určený pre výskumníkov či študentov a celú akademickú obec [31].

ANSYS je jedným z najväčších simulačných programov, ktorý ponúka veľké portfólio inžinierskeho simulačného softvéru. Vďaka nemu je možné odhaliť mnohé nedokonalosti výrobku ešte pred samotným zavedením do výroby. Týmto spôsobom sa zvyšuje kvalita produktov, ktoré sa dostávajú k zákazníkovi. ANSYS ponúka komplexný softvérový balík, ktorý pokrýva celý rozsah fyziky a poskytuje prístup ku všetkým odvetviám inžinierskej simulácie [32].

ANSYS workbench je platforma, ktorá tvorí integrovanú simulačnú štruktúru. Umožňuje používateľovi prepojiť jednotlivé časti simulácie a zaistiť ich automatizované predávanie dát. ANSYS ponúka možnosť simulovania statických konštrukcií, elektrických modelov, tekutín, zvuku, vibrácií a mnohých ďalších [33].



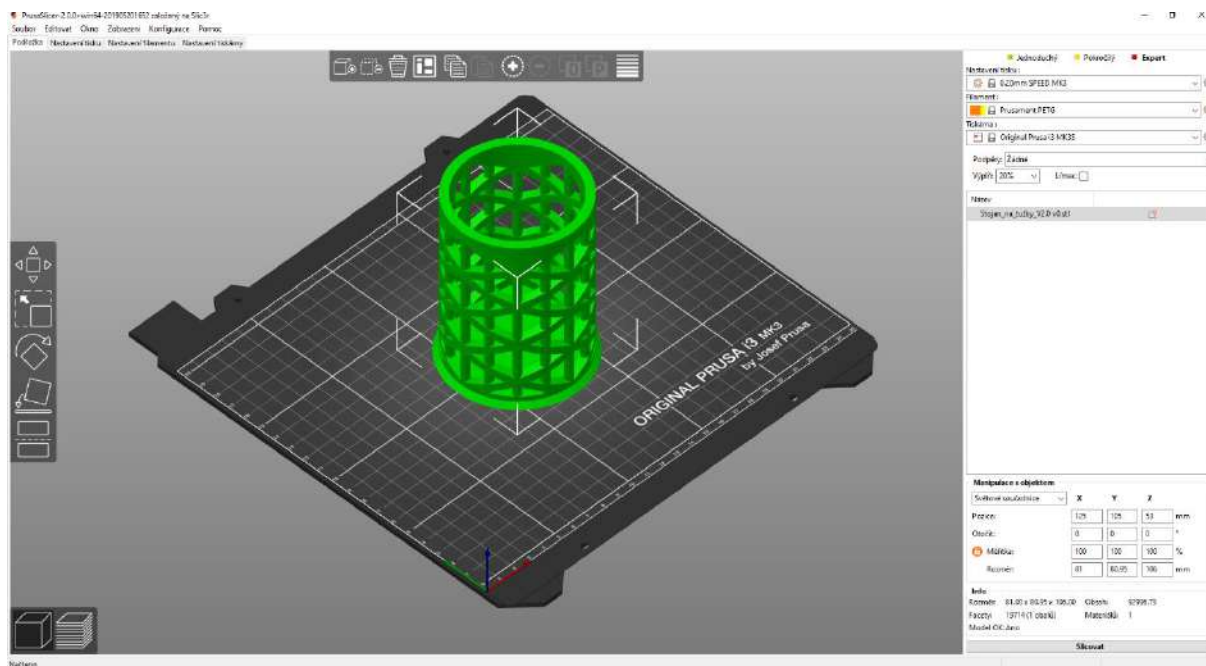
Obr.14 Ukážka prostredia ANSYS workbench [34].

2.5.2 PrusaSlicer

S rastúcim dopytom po 3D technológiách vznikol v roku 2011 projekt Slic3r pod vedením Alessandra Ranellucima. Hlavným cieľom bol transfer pre prípravu dát na 3D tlač. Slic3r sa rýchlo rozšíril medzi užívateľov. Dostal sa aj k Josefovi Prusovi, ktorý v roku 2016 vytvoril vlastnú verziu s názvom Slic3r PE (Prusa Edition), ktorá bola vydaná cez GitHub. Postupom rokov a ďalším vývojom sa softvér stále viac odchyľoval od pôvodného systému. Až v roku 2019 bol premenovaný na PrusaSlicer [35].

Funkcia systému spočíva v otvorenom zdrojovom kóde tzv. G-kód (prevedený 3D model do kódu), ktorý obsahuje informácie o tlači daného modelu. Tento kód popisuje druh súradníc, optimálne trasy tlačovej hlavy, výšku vrstvy, teplotu tlače, rýchlosť tlače, podporný materiál apod [36].

Pri práci so softvérom je prvým dôležitým krokom importovanie daného modelu do sliceru. Následne je nastavovaná tlač a to: hustota výplne, vzor výplne, nastavenie rýchlosti tlače, vrstvy, perimetre, filament a ďalej je možné pridávať alebo upravovať rôzne modifikátory. Po korekcií všetkých nastavení sú tieto informácie o modeli prenesené do 3D tlačiarne, ktorá ich spracuje a následne začne tlačiť [37].



Obr.15 Ukážka prostredia PrusaSlicer [38].

2.6 Použitá 3D tlačiareň Ender 3 v2

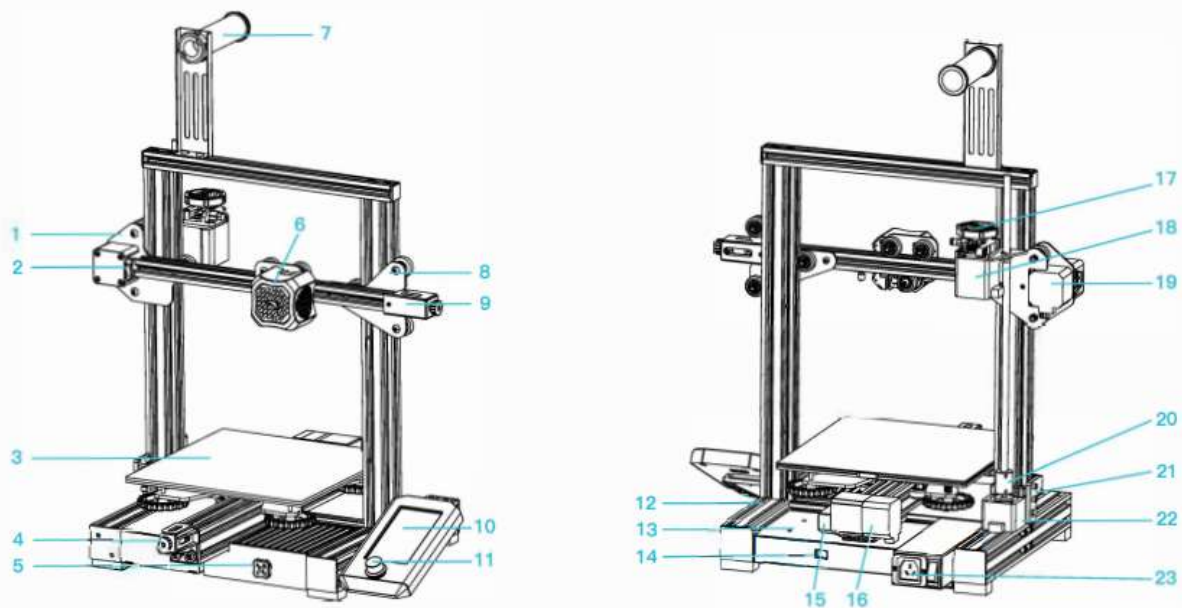
Ender 3 bola osvedčená a kvalitná 3D tlačiareň od spoločnosti Creality. Pri tlači kľuky bola použitá druhá generácia tejto úspešnej tlačiarne Ender 3 v2. V pomere ceny a výkonu bola táto tlačiareň najlepšou možnosťou kúpi.

Obsahuje základovú dosku TMC2208. Oproti prvej generácii má väčší display, nový typ výhrevného telesa, ľahkú výmenu filamentu dodávaného vo forme cievok. Tlačiareň je dodávaná v podobe stavebnice, ktorú je nutné pomocou manuálu poskladať [39].

Všetky parametre tlačiarne sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Parametre 3D tlačiarne Ender 3 v2 podľa [39].

Model	Ender 3 v2
Hmotnosť (kg)	10
Technológia tlače	FDM
Plocha tlače (mm)	220x220x250
Priemer filamentu (mm)	1,75
Rýchlosť tlače (mm/s)	180
Výška vrstvy (mm)	0,1 – 0,4
Upload súborov	USB 2.0 alebo SD karta
Použiteľné materiály	PETG, PLA, ABS, ASA, TUP, FLEX, PVA
Celkový výkon (W)	350
Priemer trysky (mm)	0,4
Formát súboru	STL, OBJ, AMF
Špecifikácia výkonu	Vstup: AC 115/230V 50/60Hz, Výstup: DC 24V
Teplota dosky (°C)	≤ 100
Teplota trysky (°C)	≤ 250
Počítačový operačný systém	Windows XP, Vista, 7, 10, MAC, Linux



- | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Sada osy XE | 9. Napínak osy X | 17. Indikačné tlačidlo |
| 2. Koncový spínač osy X | 10. Obrazovka | 18. Motor osy E |
| 3. Tlačová podložka | 11. Prepínač | 19. Motor osy X |
| 4. Napínač osy Y | 12. Základňa tlačiarne | 20. Spojka |
| 5. Krabica na náradie | 13. Napájanie | 21. Koncový spínač osy Z |
| 6. Sada trysiek | 14. Regulátor napätia | 22. Motor osy Z |
| 7. Držiak materiálu a cievky | 15. Koncový spínač osy Y | 23. Vypínač a zásuvka |
| 8. Pasivny blok osy Z | 16. Motor osy Y | |

Obr.16 Popis častí Ender 3 v2 podľa [39].

2.7 Materiály

Väčšina materiálov, ktoré sa používajú na 3D FDM tlač sú termoplasty. Ide o plasty, ktoré sa svojim zohriatím dajú formovať, pričom nestrácajú svoje mechanické vlastnosti. Aktuálne je na trhu veľké množstvo materiálov a ich farebných kombinácií. Medzi najzakladanejšie radíme PLA, ABS, PET, Nylon (PA), TPU, PC, PET-G, ale existuje ich omnoho viac. [40].

2.7.1 Polylactic acid (PLA)

V preklade kyselina polymliečna (PLA), ktorá sa veľmi líši od všetkých ostatných termoplastov. Je to preto, že je vyrábaná z obnoviteľných zdrojov ako je kukuričný škrob alebo cukrová trstina. Naopak, väčšina plastov pochádza z neobnoviteľných zásob ropy. Plasty vyrobené z biomasy sa nazývajú bio plasty. Vlastnosti PLA sú zrovnateľné k plastom ako je polypropylén (PP) alebo polyetylén (PE). Výroba PLA je relatívne nákladovo efektívna a práve vďaka tomu je veľmi dostupná a rozšírená v oblasti 3D tlače. Je to jeden z najpoužívanejších materiálov pre 3D tlač. PLA má nízku teplotu skleného prechodu, čo spôsobuje, že modely vyrobené týmto materiálom nie sú vhodné do teplého prostredia [41].

Vlastnosti PLA sú uvedené v tabuľke 3

Tab. 3 Vlastnosti kyseliny polymliečnej PLA podľa [42].

Teplota trysky (°C)	180-230
Teplota podložky (°C)	20-60
Nutnosť podložky	Nepovinná
Komora pri tlači	Nepovinná
Prilnavosť prvej vrstvy	Dobrá prilnavosť
Absorpcia vlhkosti	Áno
Yongov modul (Gpa)	3,5
Modul pružnosti (Gpa)	4
Pevnosť v ohybe(Mpa)	80
Pomer pevnosti k hmotnosti (kN*m/kg)	40
Pevnosť v ťahu (Mpa)	110
Teplota skleného prechodu (°C)	60
Deformácia pri teplote (°C)	65
Teplota tavenia (°C)	160
Tepelná kapacita(J/kg*K)	1800
Tepelná vodivosť (W/m*k)	0,13

2.7.2 Akrylonitril butadien styren (ABS)

ABS plasty patria do skupiny technických plastov, ktorých spracovanie je zložitejšie ako pri iných bežných termoplastoch. Najbežnejšie formy sú polyetylén a polypropylén. Skratka ABS pochádza z troch monomérov: akrylonitril, butadien a styrén. Akrylonitril sa používa práve kvôli svojej tvrdosti a pevnosti voči rôznym chemickým vplyvom a taktiež pre jeho stabilitu pri vysokých teplotách. Butadien poskytuje húževnatosť pri akejkol'vek teplote, kde pri nízkych teplotách nie je tak krehký ako iné plasty. Styren je zodpovedný za zaistenie mechanickej tuhosti a odolnosti. ABS termoplasty sa dnes vyrábajú polymeráciou styrenu a akrylonitru pri prítomnosti polybutadienu. Kvalita ABS sa líši v závislosti na potrebách trhu a tvaru požadovaného modelu. Hlavné prísady používané pri výrobe ABS plastov sú nižšie [43].

- Zmäkčovadlá: sú to prísady ktoré sú zodpovedné za stabilitu zlúčeniny a pomáhajú predĺžiť životnosť produktu.
- Katalyzátory: Podporujú proces tvrdnutia a pomáhajú posilňovať výslednú zlúčeninu pridaním väčšieho mechanického alebo elektrického odporu.
- Pigmenty: Slúžia na úpravu farebných kombinácií.
- Mazivá: Pomáhajú pri miešaní jednotlivých zložiek zlúčeniny

Tab. 4 Vlastnosti ABS podľa [42].

Teplota trysky (°C)	210-250
Teplota podložky (°C)	80-110
Nutnosť podložky	Povinná
Komora pri tlači	Doporučuje sa
Prilnavosť prvej vrstvy	Drobné problémy
Absorpcia vlhkosti	Ano
Yongov modul (Gpa)	2,4
Modul pružnosti (Gpa)	2,2
Pevnosť v ohybe(Mpa)	67
Pomer pevnosti k hmotnosti (kN*m/kg)	31-80
Pevnosť v ťahu (Mpa)	37-110
Teplota skleného prechodu (°C)	105
Deformácia pri teplote (°C)	100
Teplota tavenia (°C)	-
Tepelná kapacita(J/kg*K)	1470
Tepelná vodivosť (W/m*k)	0,17

2.7.3 Polyetylen tereftalát (PET)

Ide o termoplastický polyester. Vo svojom pôvodnom stave ide o bezfarebné vlákno krištáľovo čistého materiálu. Pri ohrievaní či ochadzovaní mení svoje vlastnosti. Je pružnejší a mechanicky odolnejší než ABS. Materiály označované ako PET nemajú to isté chemické zloženie ako PET fľaše. Tento materiál sa až tak nevyužíva pre technológiu 3D tlače, pretože jeho tlač je pomerne náročná. Je to najrozšírenejší plast na svete. Teplotná odolnosť materiálu je v rozmedzí 70-80 °C a teplota spracovania je 220-260 °C [44, 45, 46].

2.7.4 Nylon (PA)

Nylon ako jeden z mála termoplastov je výbornou voľbou pri tlači technických modelov, ktoré musia odolávať teplotám a mechanickej námahe. Ide o veľmi odolný, pevný a všestranný materiál, ktorý sa môže používať vo veľkej škále odvetví. Tlač nylonom je náročnejšia, pretože je hydrofobný a pohlcuje vlhkosť. Pri tlači musí byť vlákno úplne suché inak vznikajú v modeli bubliny. Suché vlákno je schopné tlačiť modely, ktoré sú úplne hladké s lesklým povrchom. Doporučená teplota trysky je 250 °C a teplota podložky 90 °C [47, 48].

2.7.5 Termoplastický polyuretan (TPU)

Je to veľmi flexibilný materiál s veľkou odolnosťou voči chemickým látkam. TPU má skvelú príľnavosť na podložku. Práve príľnavosť je jeden zo zásadných problémov pri tlači akýchkoľvek flexibilných materiálov. Ďalším problémom je ťažké dávkovanie extrúderom. Existuje viacero typov TPU termoplastov, ktoré sa rozdeľujú podľa SHORE stupnice (stupnica tvrdosti) [49].

2.7.6 Polykarbonát (PC)

Tento materiál sa radí medzi najodolnejšie materiály používané pri 3D tlači. Jeho vlastnosti sa využívajú hlavne pri spojení s ABS materiálom. Vďaka odolnosti sa využíva v automobilovom priemysle. Vďaka jeho veľkej rezistencii voči nárazom je vhodný na namáhané časti automobilov. Má vysokú odolnosť voči tepelnej deformácii až do 150 °C, dobré chemické izolačné vlastnosti a taktiež je elektroizolačný. Doporučená teplota hlavy je 250-290 °C a podložky 100-130 °C [50].

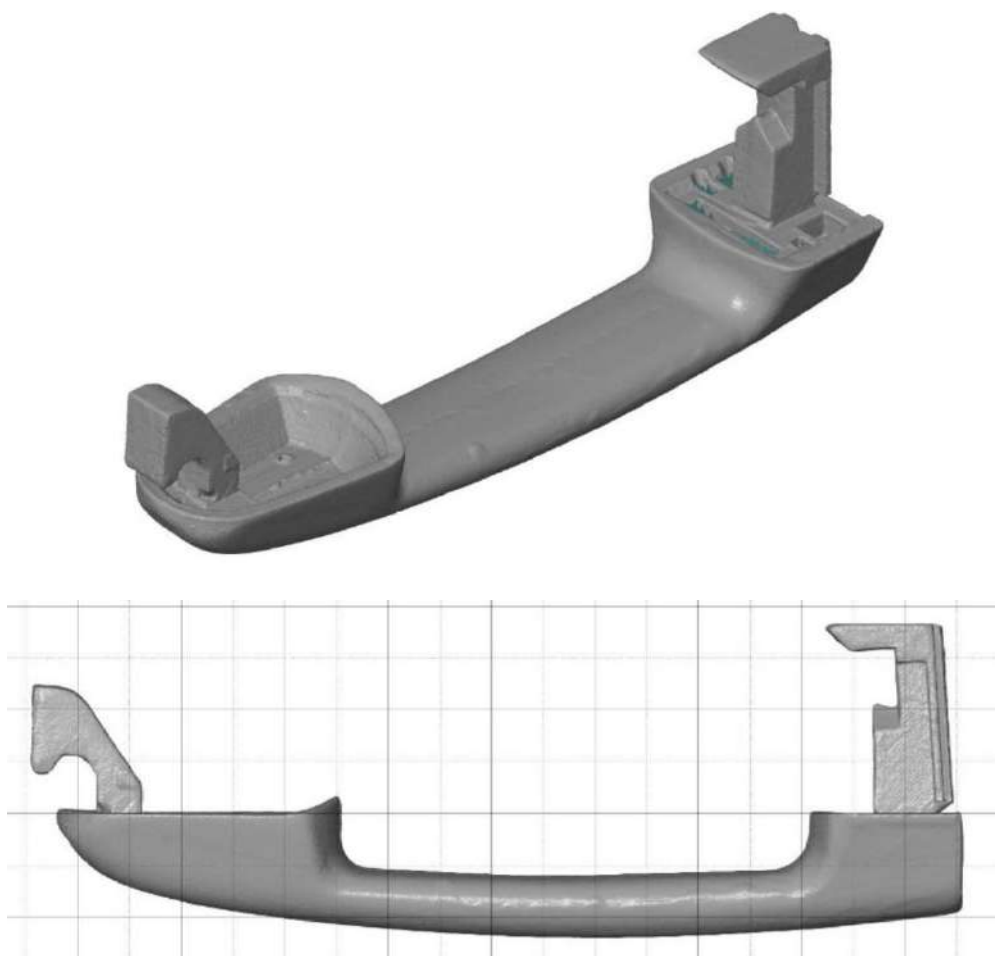
2.7.7 Polyetyléntereftalát – glykol (PET-G)

PET-G je upravená verzia PET, kde G predstavuje modifikovaný glykol. Glykol sa pridáva do PET počas polymerácie. Takto modifikovaný PET je odolnejší proti nárazom a jeho použitie je oveľa ľahšie ako jeho základná verzia PET. PET-G kombinuje vlastnosti materiálov ABS a PLA. ABS je nositeľom tvrdosti a tepelnej odolnosti a vďaka PLA sa tlač stáva jednoduchá. Je recyklovateľný. Doporučená teplota hlavy je 210-235 °C a podložky 45-60 °C [51].

3 NÁVRH MODELU

3.1 Sken modelu kľučky

Prvotná myšlienka tvorby modelu spočívala v nameraní a následnom zhotovení virtuálneho modelu v CAD systéme Inventor 2022. Pre uľahčenie práce bol zvolený postup tvorby modelu pomocou 3D skeneru DAVID SLS-3 HD, ktorý dokázal naskenovať model s presnosťou 0,08 mm. Výsledný virtuálny model zo skeneru niesol koncovku stl. Tento model je vhodné použiť na slicovanie v programe PrusaSlicer. Avšak, pre overenie výpočtom pomocou metódy konečných prvkov je tento typ súboru nevhodný. Overenie pomocou MKP bolo zhotovené v programe ANSYS, pre ktorý bolo potrebné súbor stl. Konvertovať na solid, ktorý už je možné použiť ako vstup. Celkové skenovanie modelu zabralo 30 minút.



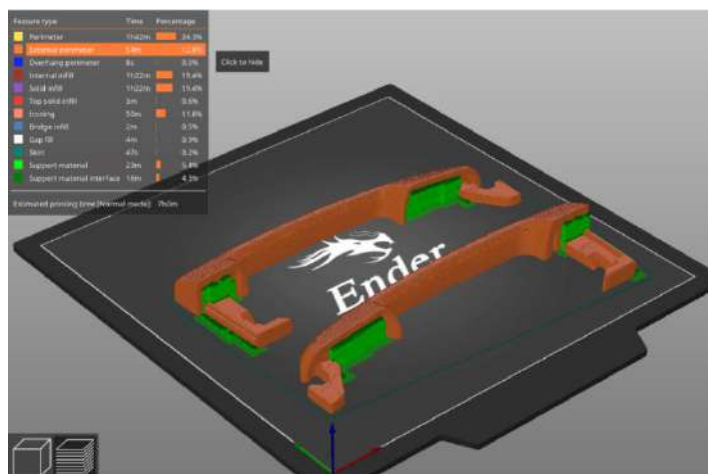
Obr.17 Výstup naskenovanej kľučky.

3.2 Posúdenie technologickosti modelu

Pri posúdení technologickosti modelu je nutné, aby bola zaistená vyrobiteľnosť kľučky. Pri 3D tlači sa zisťuje či je vôbec tlačiareň schopná vytlačiť požadovaný tvar. V opačnom prípade je nutné určité časti upraviť. Tieto časti sú importované do výpočtových programov. Následne je overené, či je daný model vhodne navrhnutý a či je usposobený na činnosť, ktorú má spĺňať. V tomto prípade bolo potrebné zistiť, či je kľučka schopná prevádzky bez trvalých deformácií.

3.2.1 Mosty

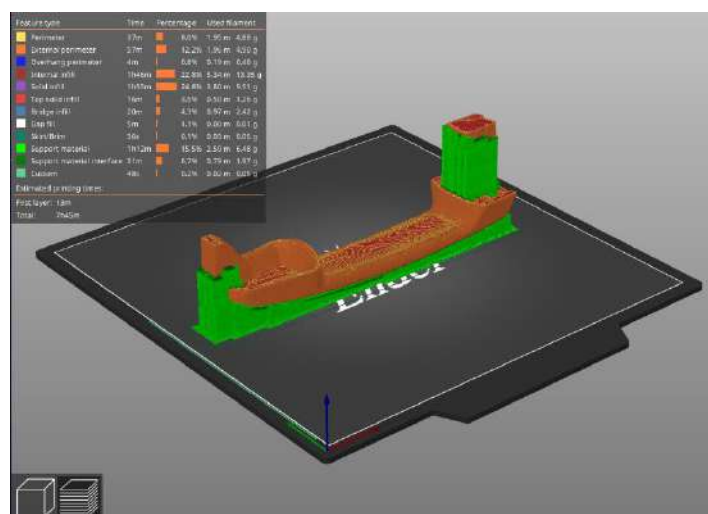
Kľučka bola najskôr rozdelená na 2 samostatné telesá stredovým rezom. Následne plocha tohto rezu tvorila spodnú časť pri tvorbe modelu. Táto možnosť tlaču bola zvolená kvôli minimalizácii vzniku mostov, kde by bol materiál tlačný do vzduchu. Tento problém je možné vyriešiť pridaním tlačových podpôr, ktoré poskytujú podpornú plochu pre časti modelu, ktoré by inak boli tlačené do vzduchu (Obr.18). Po zhotovení modelu sú tieto podpory odstránené. Keďže použitá tlačiareň Ender3 v2 má iba 1 extrudér, nie je možné tlačiť rozpustné podpory. Z tohto dôvodu bolo po vytlačení nutné tieto podpory odstrániť mechanicky. Po mechanickom odstránení bude mať model horší povrch. V prípade kľučky rozdelenej na 2 telesá boli podpory potrebné použiť iba v oblasti mostov. Povrch týchto otvorov nijak esteticky neznehodnocuje výsledný model.



Obr.18 Ukážka tlaču s podporami v miestach mostov.

3.2.2 Previsy

Previsy na spodnej strane modelu boli vyriešené už spomínaným rozdelením na 2 samostatné telesá. Týmto bola eliminovaná nutnosť prídania podpôr aj zo spodnej strany. Ak by bola kľučka tlačaná vcelku, bolo by nutné pridať podporu kvôli previsom vzniknutým dôsledkom rádiusov na kľučke. Na obr.19 je znázornená kľučka s potrebnými podporami na previsoch (znázornené zelenou) pri tlači vcelku.



Obr.19 Ukážka tlaču s podporami v miestach previsov.

3.2.3 Ostré hrany

Na tele kľučky sa nachádzajú ostré hrany, s ktorými by mohla mať tlačiareň problém. Avšak po overení možnosti vytlačenia v PrusaSlicer a následnom prototypovom vytlačení kľučky bolo posúdené, že tieto ostré hrany nepotrebujú dodatočné ošetrovanie. Hlava tlačiarne nie je schopná naniesť materiál do pravých uhlov, a práve preto sú nahradzované minimálnymi polomerami.

3.2.4 Presnosť rozmerov

Na modeli sa nenachádzajú žiadne funkčné/normalizované rozmery, ktoré by bolo treba ošetriť ako napríklad otvory pre matice.

3.2.5 Výška vrstvy

Výška vrstvy bola stanovená podľa dostupnosti tlačovej trysky. Bola použitá tryska 0,4 mm. V rámci časovej náročnosti a potrebných detailov ide o vhodnú alternatívu trysky.

3.3 Vplyv výšky vrstvy na čas tlače

Výška vrstvy ovplyvňuje mnohé faktory pri tlači 3D modelov, ako napríklad mechanické vlastnosti, estetickosť modelu a ekonomickosť výroby. Z tohto dôvodu je nutné zvoliť, čo najlepšiu alternatívu, aby boli tieto faktory výsledného výrobku najlepšie.

Tab.5 Čas tlače pri 25 % výplni

Výška vrstvy [mm]	Čas tlače
0,05	15h 10min
0,1	9h 4min
0,2	6h 1min
0,3	5h 13min
0,4	4h 32min

3.4 Voľba výplne

Voľba výplne sa určuje podľa toho, akým spôsobom bude model namáhaný. Kľučka bude namáhaná silou pri otváraní dvier, takže výplň musí odolať vonkajším vplyvom. Z tohto dôvodu bol vybraný vzor výplne gyroid. Poskytuje podporu modelu vo všetkých 3och smeroch pôsobenia síl pri otváraní dvier. Hustota výplne bola zvolená na 25 %.

Tab.6 Váha kľučky v závislosti na hustote výplne

Hustota výplne [%]	Váha modelu [g]
15	39,88
20	42,75
25	45,43
30	48,23
35	50,92

3.5 Výsledný model

Výsledný model bol zhotovený zlepením dvoch rozdelených častí dokopy, následne boli nutné povrchové úpravy ako napríklad odstránenie podpôr, mechanická úprava povrchu, tmelenie a natretie na požadovanú farbu.

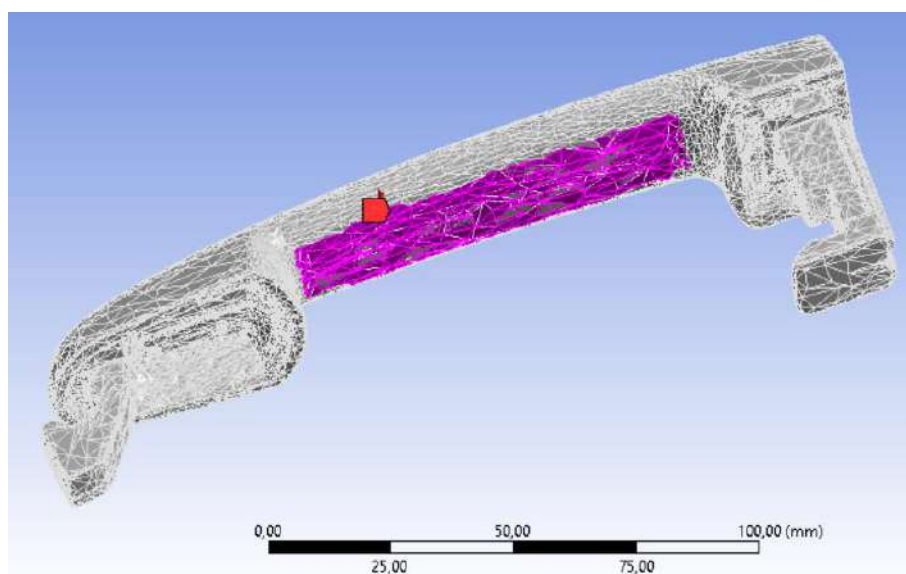
3.6 Použitý materiál

Pri návrhu materiálu bolo nutné uvažovať všetky aspekty, ktoré ovplyvňujú danú kľučku. Keďže je to časť vozidla ktorá je na vonkajšej karosérii treba uvažovať vplyvy počasia ako napríklad dážď alebo slnečné žiarenie. Požiadavky kladené na materiál musia spĺňať hlavne odolnosť voči opotrebeniu, takže pevný a silný materiál. Musí byť zaistená odolnosť voči vode pri zlom počasi. Nie je možné použiť napríklad PVA kvôli jeho rozpustnosti vo vode. Materiály ako nylon a HIPS nie je dobré použiť z hľadiska ich ceny. Výber materiálu bol zúžený na 3 materiály a to ABS, PLA a PET-G. Po úvahe o možnostiach použitia rôznych materiálov boli vybrané práve tieto 3. Materiál bol podávaný do hotendu pomocou cievky, z ktorej sa materiál odvíjal. ABS bolo vybrané vďaka svojej vysokej odolnosti voči poškodeniu a možnosti dobrej povrchovej úpravy. PLA bolo vybrané z dôvodu dobrých vlastností pri tlači a PET-G je vhodná alternatíva medzi týmito dvoma materiálmi. Má podobné mechanické vlastnosti ako ABS a zároveň sa dá ľahko tlačiť. Technické listy od PrusaPloymers k materiálom sú priložené v prílohách 1, 2, 3.

4 SIMULÁCIA ZÁŤAŽE KĽUČKY

Simulácia bola vygenerovaná programom ANSYS. Pre overenie výdrže kľučky pri bežnej prevádzke bola použitá metóda konečných prvkov (MKP). MKP je numerická metóda, ktorá slúži na vytvorenie simulácií priebehov napätia, deformácií, frekvencií, prúdenia tepla atď. Princíp spočíva v diskretizácii spojeného kontinua s určitým počtom prvkov. Je využívaná na kontrolu už navrhnutých modelov, u ktorých sa stanovuje najkritickejšie miesto možnej trvalej deformácie.

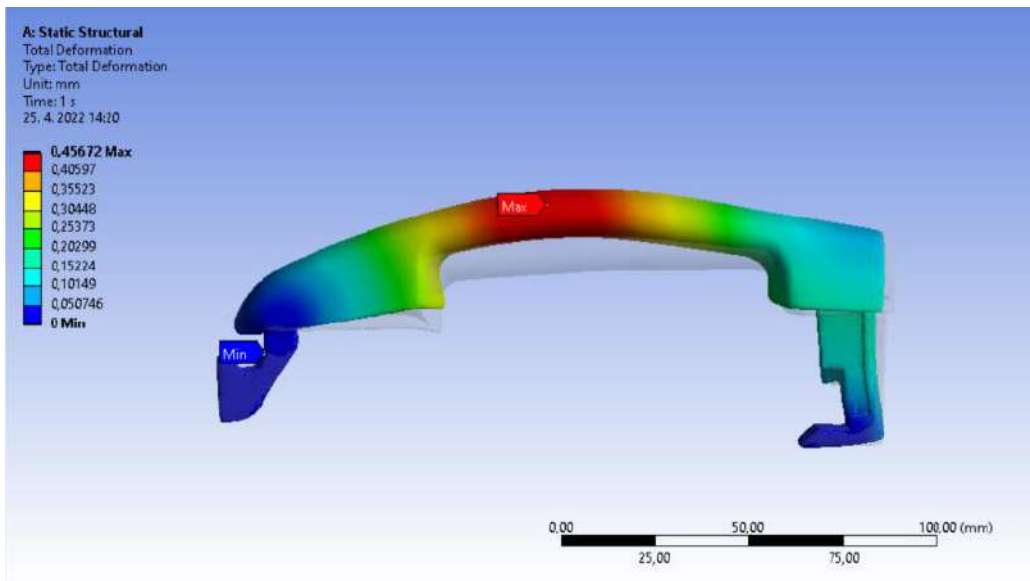
Cieľom kontroly MKP bolo určenie maximálneho napätia a deformácie kľučky. Kontrola prebehla v programe ANSYS. Pôsobisko sily bolo simulované plochou odpovedajúcou úchopu kľučky ľudskou rukou pri otváraní dverí. Sila potrebná na otvorenie dverí bola stanovená na $F = 150 \text{ N}$. Táto sila odpovedá prevádzkovej potrebnej sile na otvorenie vnútorného mechanizmu. Vstupný materiál pre kontrolu bol ABS z knižnice materiálov ANSYS workbench.



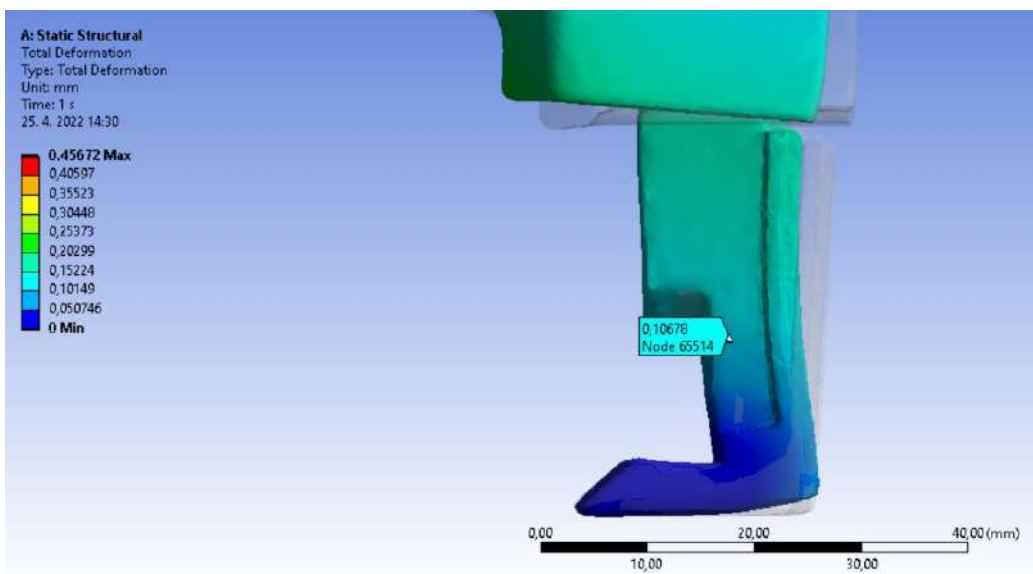
Obr.20 Rozloženie sily pôsobiacej na kľučku.

4.1 Deformácia

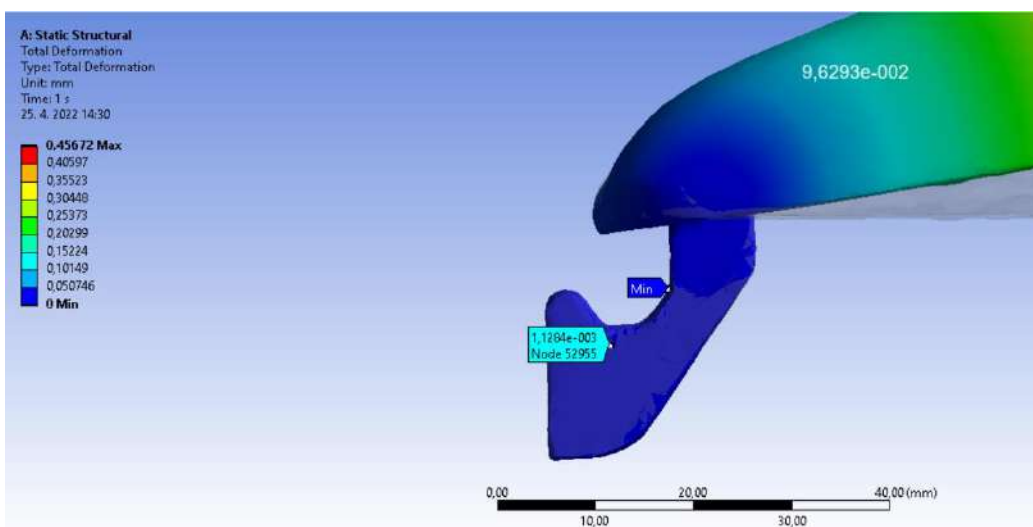
Po použití sily 150 N rozloženej po spodnej ploche kľučky, simulácia vypočítala maximálne miesto deformácie. Toto miesto je označené červenou farbou. Na tomto mieste je model najviac namáhaný deformáciou (viď Obr.21). Táto hodnota deformácie odpovedá 0,46 mm. Je to nepatrná deformácia a ľudským okom skoro nepozorovateľná. Okrem maximálnej deformácie na chrbte kľučky sa objavujú deformácie aj v častiach mechanizmu, ktorým sa dvere otvárajú (viď Obr.22). Táto deformácia je nepatrná a preto nie je potrebné uvažovať nad pridaním alebo zmenou materiálu. Hodnota deformácie v tomto mieste sa pohybuje okolo 0,1 mm. Druhá strana zaväzbovej časti kľučky, kde sa tiež zisťovala deformácia v okolí „válčeka“ (viď Obr.23) je skoro nulová, keďže sa kľučka bude iba otáčať okolo a nebude priamo namáhaná. V tomto mieste sa taktiež nachádza minimálna deformácia celého modelu.



Obr.21 Celková deformácia modelu.



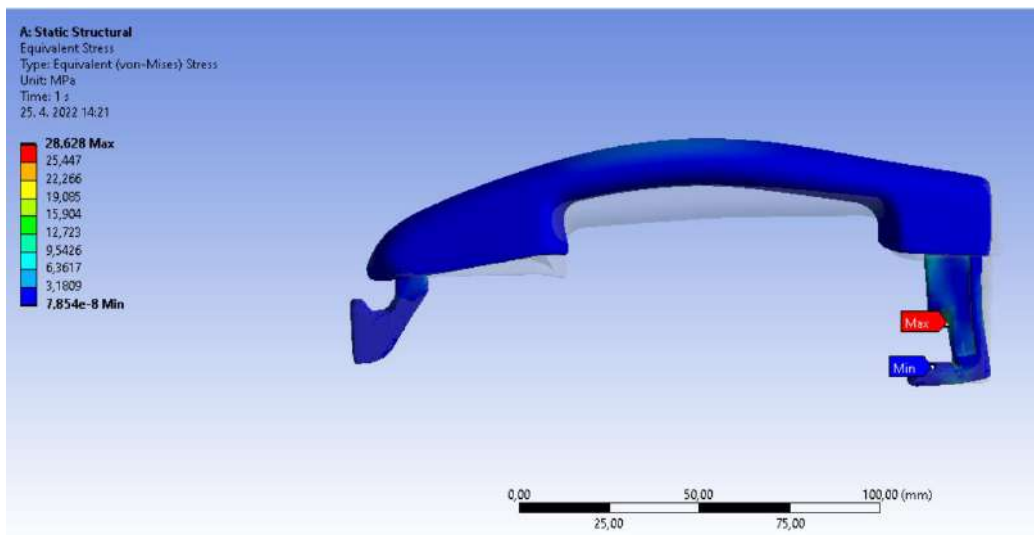
Obr.22 Deformácia mechanizmu otvárajúceho dvere.



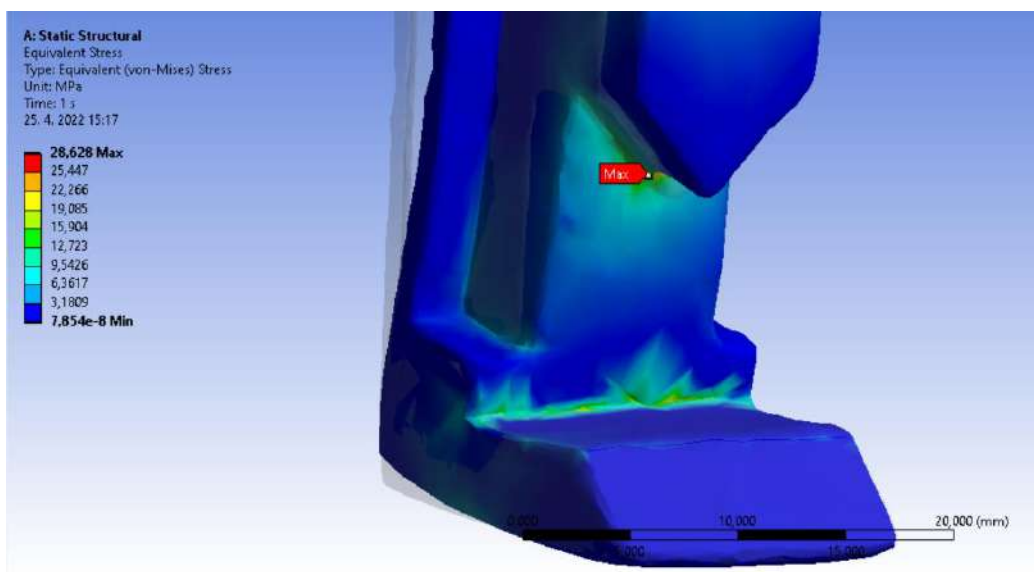
Obr.23 Deformácia mechanizmu otočnej väzby.

4.2 Napätie

Po zistení deformácií kľučky bolo taktiež potrebné simulovať napätie, ktoré sa na nej nachádza. Toto napätie bolo na celom tele kľučky minimálne (viď Obr.24). Jediné miesta so zvýšeným napätím sú v oblastiach ostrých hrán a prechodov na háčiku slúžiaceho na otvorenie dverí (viď Obr.25). Toto napätie odpovedá hodnote 28,6 MPa a v porovnaní s medzou pevnosti materiálu ABS – 50 MPa je v poriadku.



Obr.24 Celkové napätie modelu.



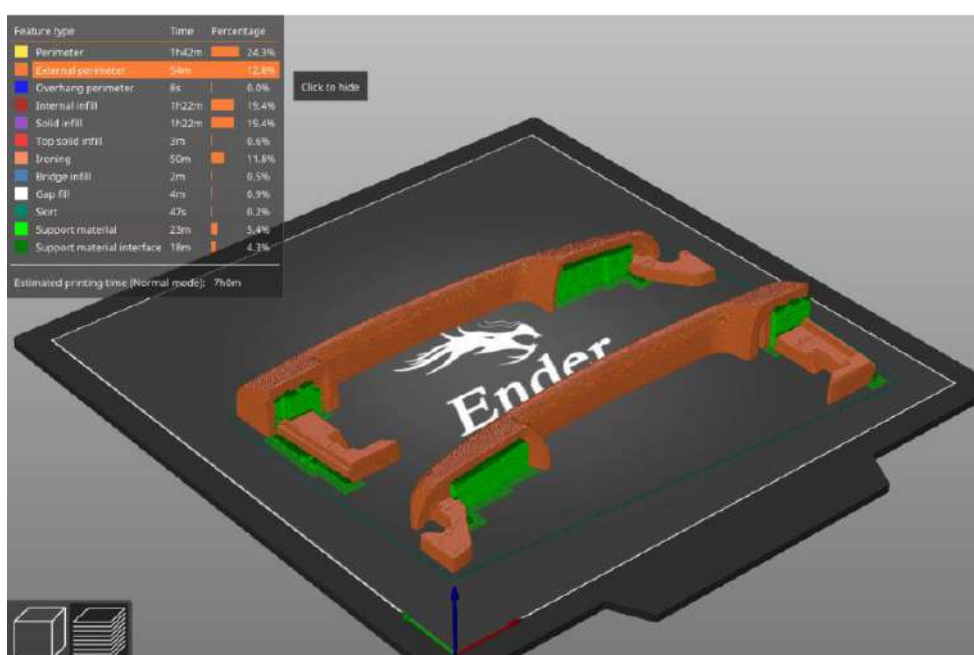
Obr.25 Maximálne napätie v mieste ostrých hrán.

5 VÝROBA MODELU

5.1 Preprocessing

Pred začiatkom tlače bolo nutné previesť model na G-kód, ktorý je možné použiť ako vstup pre 3D tlač. Výstup skenu modelu bolo stl. Tento formát je možné použiť pre tvorbu G-kódu. CAM program bol zvolený PrusaSlicer 2.4.1, ktorý je v základnej verzii voľne dostupný firmou Prusa Research a.s. Použité nastavenia pri 3D tlači boli vyhodnotené programom ako vhodný variant tlače daného modelu.

Model bol pri tlači rozdelený na 2 samostatné telesá. Rez modelu sa stal prvou vrstvou pri tlačení. Tento variant bol použitý z dôvodu zamedzenia potreby podpôr na previsoch. Podpory boli potrebné iba na mosty v okolí vnútorných mechanizmov kľučky (vid' Obr.26). Takto vygenerovaný model sa následne „naslicoval“ a previedol do G-kódu. Vygenerovaný G-kód bol pomocou SD karty importovaný do 3D tlačiarne.



Obr.26 Rozloženie modelu pri tlači.

5.2 Tlač modelu

Pri uvažovaní prototypovej výroby kľučky z 3och materiálov je nutné zmeniť nastavenia tlače pri zmene jednotlivých materiálov. Napríklad, pri ABS musí byť teplota trysky a podložky väčšia ako pri PLA. Tlač bola realizovaná na už spomínanej tlačiarni od spoločnosti Creality, Ender 3 v2 s hladkou tlačovou podložkou. Tlačiareň je vhodná na tlač všetkých troch materiálov, kde tryska aj tlačová doska dokázali vyvinúť požadovanú teplotu na úspešnú tlač prototypov. Pri tlači bol taktiež použitý 3D lak na podložky pre lepšie priľnutie materiálu k podložke a kvôli zamedzeniu nežiadúceho odlepovaniu materiálu z podložky. Pri tlači bez použitia laku vznikali deformácie dôsledkom odlepovania materiálu.

Ďalšie parametre tlače sú uvedené v Tab.7.

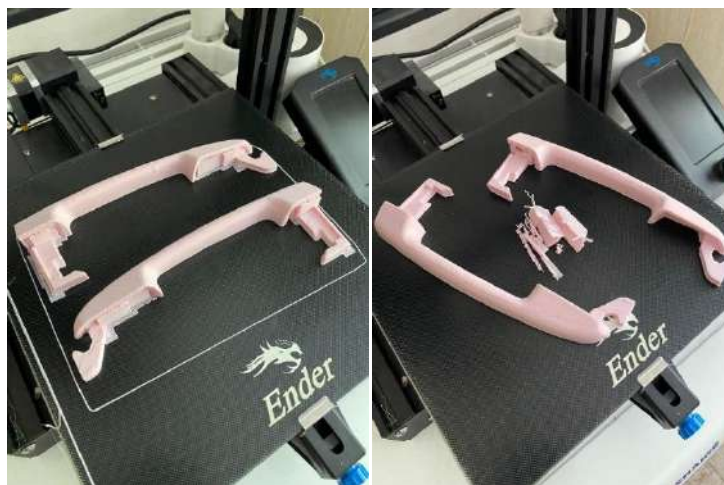
Tab. 7 Parametre tlače pri jednotlivých materiáloch

Parameter tlače	ABS	PET-G	PLA
Výška vrstvy [mm]	0,4	0,4	0,4
Teplota trysky [°C]	245	220	200
Teplota dosky [°C]	90	60	60
Typ výplne	Gyroid	Gyroid	Gyroid
Hustota výplne [%]	25	25	25
Typ podpôr	Priamočiare	Priamočiare	Priamočiare
Spätný chod [mm]	1,8	1,8	1,8
Celkový čas tlače [h,min]	4,56	4,56	4,56

5.3 Postprocessing

5.3.1 Odstránenie technologických prídavkov

Po vytlačení modelu je nutné odstrániť technologické prídavky, ktoré boli použité iba v miestach, kde vznikali mosty. Podpory sa dali jednoducho ručne odstrániť. Ich mechanické odstránenie ale zanechalo povrch nerovnomerný. Keďže je ale tento povrch z vnútornej časti kľučky, neboli potrebné ďalšie povrchové úpravy týchto miest. Na obr.27 je vidieť model pred a po odstránení podpôr.



Obr.27 Pred a po odstránení technologických prídavkov (PLA).

5.3.2 Mechanické povrchové úpravy

Povrchové úpravy po tlači boli potrebné z dôvodu nutnosti natretia kľučky na požadovanú farbu a nerovnosti povrchu po tlači. Kľučky boli očistené a následne mechanicky povrchovo upravené pomocou brúsneho papiera. Bol použitý brúsny papier so zrnitosťou P180, ktorý zanecháva povrch relatívne hladký a pripravený na ďalšie operácie výroby ako napríklad natieranie farbou.



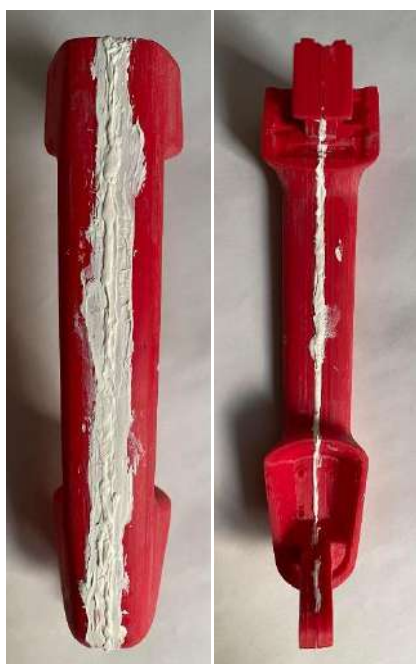
Obr.28 Porovnanie opracovaného povrchu modelu (hore, vpravo) s neopracovaným (PET-G).

5.3.3 Zlepenie modelu

Po odstránení technologických prídavkov na mostoch a mechanických povrchových úpravách bolo potrebné rozdelený model zlepiť dokopy. Pri lepení bolo použité lepidlo určené na plasty. Po nanesení potrebnej vrstvy lepidla boli časti kľučky vložené do zveráku. Toto upnutie bolo garanciou že sa 2 časti kľučky pri lepení neposunú a nevzniknú tam prechody medzi jednotlivými rezmi. Taktiež bola pomocou zveráku dosiahnutá minimálna šírka diery, ktorá môže pri lepení vzniknúť.

5.3.4 Tmelenie modelu

Ďalšou úpravou bolo vyplnenie priestoru medzi jednotlivými časťami zlepeného modelu. Pri zlepení týchto dvoch plôch vznikala medzera, ktorá by po natretí bola viditeľná. Viditeľnosť tejto medzery bola eliminovaná plastovým tmelom, ktorý po aplikácii a následnom obrúsení zanechal povrch hladký a pripravený na ďalší krok výroby.



Obr.29 Zatmelenie medzery medzi plochami.

5.3.5 Natretie farbou

Po mechanických povrchových úpravách a zatmelení modelu ho bolo nutné natrieť požadovanou farbou. Pred nanosením požadovanej farby bol ešte model natretý základovou farbou, aby naň druhá vrstva lepšie pril'nula. Farba, ktorá je použitá na automobile je ale patentovaná a nedá sa voľne namiešať. Preto bol spôsob nanosenia farby na model zvolený formou spreju voľne dostupného na trhu. Kódové označenie farby je BH Electric red – lesklý pastelový odtieň, ktorý sa používa pri modeloch Hyundai i10 a i20.



Obr.30 Model po natretí požadovanou farbou.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

6.1 Technické zhodnotenie

Pri návrhu bolo zhotovené technologické posúdenie celého modelu na základe, ktorého bola vyhodnotená najlepšia alternatíva tlače a boli vykonané potrebné úpravy. Vďaka týmto úpravám sa zlepšila vyrobiteľnosť modelu pomocou FDM 3D tlače. Prídavný materiál pri tlači bol použitý iba v oblasti mostov, keďže model bol rozdelený na dve samostatné telesá a tým sa zamedzila nutnosť použitia podporného materiálu na previsoch. Pri tlači bol použitý 3D lak od výrobcu LAISEVEN COSMETIC, vďaka ktorému materiál lepšie priľnul na tlačovú dosku a nevznikali deformácie pri odliepaní materiálu od dosky. Po vytlačení modelu bolo nutné zhodnotiť ďalšie faktory, ktoré vizuálne ovplyvňujú daný model. Vysoká drsnosť povrchu a viditeľnosť jednotlivých nanosených vrstiev materiálu boli odstránené mechanicky za pomoci brúsneho papiera. Po vyhládení povrchu boli stykové plochy pri tlači opracované tak, aby na nich držalo lepidlo a lepšie k sebe časti modelu priľnuli. Taktiež bolo potrebné zraziť hrany týchto plôch z dôvodu nutnosti použitia plastového tmelu na vyrovnanie povrchu po zlepení. Po týchto úpravách bol model pripravený na ďalšiu časť výroby a to striekanie požadovanou farbou. Najskôr bola nanosená základová farba, ktorá pripravila vhodný podklad na uchytenie už spomínanej farby electric red BH. Po nastriekaní a celkovom zhodnotení postupu bola kľučka vhodná na odskúšanie. Mechanické vlastnosti kľučky vyhovovali, vnútorný mechanizmus bol rovnaký ako pri originálnej kľučke. Pri originálnych kľučkách boli zákazníci nespokojní s výdržou tohto mechanizmu, keďže sa ešte v záručnej dobe lámali a bola nutná ich výmena. Z dlhodobého hľadiska nie je možné túto kľučku otestovať, keďže by bol nutný väčší časový úsek na používanie, aby bolo možné toto tvrdenie pri modeli vyrobenom na 3D tlačiarni overiť alebo vyvrátiť popřípade navrhnúť potrebné úpravy a vylepšenia. V porovnaní so sériovou výrobou je proces výroby kľučky na 3D tlačiarni nevýhodný z časového a ekonomického hľadiska. Touto aditívnou technológiou by bola vhodná výroba súčiastky, ktorá už nie je voľne dostupná na trhu ako napríklad časti veteránov. Taktiež je vhodné použiť túto metódu výroby len pre malosériovú výrobu, popřípade tlač prototypov a ich následné skúšky.

6.2 Ekonomické zhodnotenie

Celkové náklady na tlač boli počítané z nákladov na prevádzku tlačiarne, ceny práce personálu a spotrebovaného materiálu. Náklady na prevádzku tlačiarne boli počítané zo vzťahu 1.1:

$$N_t = t_{AS} \cdot (N_{hp} + C_e) \text{ [€]} \quad (1.1)$$

$$N_t = 4,56 \cdot (0,07 + 0,01) = 0,36 \text{ €}$$

Kde: t_{AS} [hod]	strojný čas
N_{hp} [€/hod]	náklady na hodinu prevádzky stroja
C_e [€/hod]	náklady na elektrickú energiu

Hodinové náklady na prevádzku stroja sú vypočítané z nákupnej ceny stroja, doby odpisu a nákladov na údržbu, ktoré činia 10 % z ceny stroja. Náklady na hodinovú prevádzku sú počítané pomocou vzťahu 1.2:

$$N_{hp} = \frac{1,1 \cdot C_s}{o_s} \text{ [€/hod]} \quad (1.2)$$

$$N_{hp} = \frac{1,1 \cdot 260}{4016} = 0,07 \text{ €/hod}$$

Kde: C_s [€] nákupná cena stroja
 O_s [hod] odpis stroja

Doba odpisu stroja bola určená podľa vzťahu 1.3:

$$O_s = d_p \cdot h_z \cdot z \text{ [hod]} \quad (1.3)$$

$$O_s = 251 \cdot 8 \cdot 2 = 4016 \text{ hod}$$

Kde: d_p [-] počet pracovných dní
 h_z [hod] pracovná doba zmeny
 z [-] zmennosť prevádzky

Spotreba elektrickej energie udávaná výrobcom je 0,1 kWh a cena elektrickej energie pre ročné obdobie od 25.3.2022 od Západoslovenskej energetiky je 0,1006 €/kWh. Náklady na elektrickú energiu boli vypočítané podľa vzťahu 1.4:

$$C_e = P \cdot E \text{ [€/hod]} \quad (1.4)$$

$$C_e = 0,1 \cdot 0,1006 = 0,01 \text{ €/hod}$$

Kde: P [kWh] spotreba elektrickej energie
 E [€/kWh] cena elektrickej energie

Náklady na materiál boli vypočítané pomocou vzťahu 1.5: (množstvo spotrebovanej farby, tmelu a lepidla bola odhadnutá)

$$N_m = C_n \cdot h_s \text{ [€]} \quad (1.5)$$

$$N_m = 29,99 \cdot 0,05181 = 1,55 \text{ €}$$

$$N_l = C_l \cdot h_l \text{ [€]}$$

$$N_l = 6 \cdot 0,01 = 0,06 \text{ €}$$

$$N_b = C_t \cdot h_t \text{ [€]}$$

$$N_b = 5 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ €}$$

$$N_f = C_f \cdot h_f \text{ [€]}$$

$$N_f = 20 \cdot 0,08 = 1,6 \text{ €}$$

$$N_c = N_m + N_l + N_b + N_f = 3,31 \text{ €}$$

Kde: C_n [€/kg] cena materiálu
 h_s [kg] hmotnosť spotrebovaného materiálu
 N_l [€/kg] cena lepidla
 h_l [kg] hmotnosť spotrebovaného lepidla

N_b [€/kg]	cena tmelu
h_b [kg]	hmotnosť spotrebovaného tmelu
N_f [€/kg]	cena farby základovej a červenej
h_f [kg]	hmotnosť spotrebovanej farby
N_c [€]	celková cena spotrebovaných materiálov

Cena práce personálu je zložená z hodinovej mzdy a počtu obsluhovaných strojov. Náklady na požadovaný personál budú vypočítané pomocou vzťahu 1.6:

$$N_p = \frac{C_p}{p} \text{ [€]} \quad (1.6)$$

$$N_p = \frac{10}{10} = 1,00 \text{ €}$$

Kde: C_p [€/hod]	hodinová mzda
p [ks]	počet strojov

Celkové náklady na výrobu jednej kľučky automobilu Hyundai i20 boli vypočítané pomocou vzťahu 1.7:

$$N = N_c + N_t + N_p \text{ [€]} \quad (1.7)$$

$$N = 3,31 + 0,36 + 1,00 = 4,67 \text{ €}$$

7 ZÁVER

V úvodnej časti práce bola spracovaná rešerš aditívnych technológií a technológie 3D FDM tlače a jej použitia v praxi. Následne boli opísané jednotlivé typy tlačiarní, ktoré sa v praxi využívajú. Popis samotného fungovania jednotlivých častí 3D tlačiarní a taktiež aj jednotlivé parametre, ktoré ovplyvňujú 3D tlač. V bakalárskej práci boli využité dva programy, ktoré sú opísané v ďalšej časti teórie práce. Na záver teoretickej časti boli opísané jednotlivé možné varianty použitia materiálov pri 3D tlači.

Praktická časť práce začína návrhom modelu, posúdenia technologickosti a jej optimalizáciu, aby bol dosiahnutý čo najjednoduchší proces výroby. Pri posudzovaní technologickosti modelu bolo nutné preskúmať celú problematiku 3D tlače a posúdiť možnosti, ktorými sa dal daný model vytlačiť. Bola zvolená tlač modelu na 2 samostatné telesá rozdelené stredom po celej dĺžke kľučky. Následne boli zvolené materiály, z ktorých sa bude daný model vyrábať. Vybrané materiály boli ABS, PLA a PET-G.

Samotné vytvorenie modelu bolo vykonané pomocou 3D skeneru, ktorý dokázal model veľmi presne naskenovať. Výstupom zo skenera bolo stl., ktoré ale nebolo možné použiť ako vstup pre simulačný program ANSYS. Z tohto dôvodu, pred kontrolou pomocou metódy konečných prvkov bolo nutné previesť tento súbor na solid, ktorý už je kompatibilný s CAD/CAM systémami. Pri kontrole konečných prvkov bola uvažovaná normálová prevádzková sila o hodnote 150 N a bolo pozorované správanie kľučky pod týmto zaťažením. Boli vyzozorované možné deformácie a miesta s najväčším napätím.

V ďalšej časti bolo potrebné previesť model na formát vhodný pre 3D tlačiareň. Na preprocessing bol zvolený program PrusaSlicer 2.4.1, kde boli pridané technologické prídavky v podobe podporných plôch a výplne pri mostoch modelu a zvolené parametre tlače. Následne bol model „naslicovaný“ a prevedený na G-kód. Tento G-kód bol následne nahraný na prenosné zariadenie – SD kartu a tá bola vložená do 3D tlačiarni. Tlač prebiehala podľa predstáv a bez problémov. V rámci postprocesingu boli z modelu manuálne odstránené technologické prídavky. Kvalita povrchu po odstránení prídavkov bola horšia, ale z estetického hľadiska to neprekážalo, keďže sa tento povrch nachádza na vnútornej strane kľučky, ktorá bude skrytá po namontovaní do dvier auta.

Posledná časť práce sa zaoberá technicko-ekonomickým zhodnotením celého procesu tlače. V technickom zhodnotení bola posúdená náročnosť výroby a kvalita výsledného výtlačku. V ekonomickom zhodnotení boli vypočítané náklady na prevádzku tlačiarni, materiálu a obsluhy. Z týchto čiastočných nákladov boli vypočítané celkové náklady na výrobu jednej kľučky, ktoré predstavujú 4,67 €.

Tieto náklady na výrobu nemožno porovnávať s veľkosériovou výrobou, kde sa tieto komponenty lisujú. Použitie 3D FDM tlače by bolo vhodné pri malosériovej výrobe, kde je možnosť skúšať prototypy a ich vlastnosti alebo pri výrobe dielov, ktoré už nie sú dostupné, ako napríklad diely veteránov. Pri osobnej výrobe poškodených komponentov je 3D tlač veľmi vhodná alternatíva ak cena originálneho náhradného dielu prevyšuje finančné možnosti danej osoby. Originálna výmena kľučky v autorizovanom servise bola stanovená na 140€. V porovnaní z touto cenou stanovenou autorizovaným servisom je to veľmi vhodná alternatíva osobnej výroby.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. EVEKTOR. [online]. 2017 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.evektor.cz/cz/rapid-prototyping>
 2. Aditivní technologie: metody Rapid Prototyping [online]. Brno [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tehnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf. Prezentácia. VUT Brno.
 3. PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
 4. D&D ENTERPRISES. Additive Manufacturing 3D Printing [online]. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.ddent-usa.com/additive-manufacturing-3d-printing/>
 5. Fused Deposition Modeling: Most Common 3D Printing Method [online], 2013. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/39810-fused-deposition-modeling.html>
 6. Why did RepRap pick FDM and not another 3D printing technique? [online], 2013. [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://reprage.com/post/44316648000/why-did-reprap-pick-fdm-and-not-another-3d-printing>
 7. BŘOUŠEK, L. Tepelné úpravy povrchu po 3D FDM tisku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
 8. MANUFACTUR3D. Common Problems in 3D Printing & How to Resolve Them [online]. 2018 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://manufactur3dmag.com/common-problems-in-3d-printing-how-to-resolve-them-part-i/>
 9. ALL3DP. The Types of FDM 3D Printers in 2022 [online]. 2022 [cit. 2022-02-12]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/>
 10. 3D NATIVES. The 4 Types of FFF / FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar) [online], 2017. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/en/four-types-fdm-3d-printers140620174/#!>
 11. 3D SOURCED. The 4 Types of FDM 3D Printer Explained (Cartesian, Delta, Polar & Scara) [online], 2021. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/types-of-fdm-3d-printer-cartesian-delta/>
 12. Sub-Categories of 3D Printers [online], 2018. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Sub-Categories-of-3D-Printers-Wakimoto-2018_fig2_344929048
 13. IMAKR. 3D PotterBot SCARA V4 [online]. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.imakr.com/3d-potter/4072-3d-potterbot-scara-v4-1>
 14. FILAMENT2PRINT. Direct extrusion and Bowden systems [online]. 2020 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: https://filament2print.com/gb/blog/94_bowden-direct-extrusion.html
 15. FILAMENT2PRINT. How to choose the correct hotend [online]. 2020 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: https://filament2print.com/gb/blog/96_How-to-choose-the-correct-hotend.html
 16. FILAMENT2PRINT. Direct extrusion and Bowden systems [online]. 2020 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: https://filament2print.com/gb/blog/94_bowden-direct-extrusion.html
-

-
17. 3DJAKE. Sprievodca tryskami pre 3D tlačiarne [online]. 2020 [cit. 2022-02-17].
Dostupné z: <https://www.3djake.sk/info/prirucka/sprievodca-tryskami-pre-3d-tlaciarne>
 18. ALL3DP. 3D Printer Fan – Do I Really Need One? [online]. 2019 [cit. 2022-02-17].
Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-fans-do-i-really-need-one/>
 19. ALL3DP. 3D Printer Extruder – The Ultimate Guide [online]. 2021 [cit. 2022-02-17].
Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-extruder-nozzle-guide/#section-what-is-an-extruder>
 20. 3DJAKE. Direct-drive extruder vs. Bowden extruder [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.3djake.com/info/guide/direct-drive-extruder-vs-bowden-extruder>
 21. 3D Printing Basics: What Is the Difference Between Bowden and Direct Drive Extruders? [online]. 2021 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.technipages.com/3d-printing-basics-what-is-the-difference-between-bowden-and-direct-drive-extruders>
 22. Effects of FDM-3D printing parameters on mechanical properties and microstructure [online]. 2020 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936120302806>
 23. [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1000936120302806-gr2_lrg.jpg
 24. ALL3DP. The Best 3D Printing Temperatures for PLA, TPU, ABS, & More [online]. 2022 [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/the-best-printing-temperature-for-different-filaments/#:~:text=A%20nozzle%20temperature%20of%2010,too%20fast%2C%20it%20will%20warp.>
 25. What is the Best Print Speed for 3D Printing? Perfect Settings [online]. [cit. 2022-03-02].
Dostupné z: <https://3dprinterly.com/best-print-speed-settings-for-3d-printing/>
 26. 3DSOLVED. 3D Print Speed vs Quality; Best Settings! [online]. [cit. 2022-03-02].
Dostupné z: <https://3dsolved.com/3d-printing-speed-vs-quality/>
 27. ALL3DP. 3D Printing Layer Height: How Much Does It Matter? [online]. 2021 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/3d-printer-layer-height-how-much-does-it-matter/>
 28. PRUSARESEARCH. Everything you need to know about infillser? [online]. 2021 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: https://blog.prusaprinters.org/everything-you-need-to-know-about-infills_43579/
 29. STŘÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. Základy 3D tisku s Josefem Průšou [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
 30. FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor: tvorba digitálních prototypů. 3, aktualizované vydání. Brno: Computer Press, 2012, 314 stran : ilustrace (některé barevné). ISBN 978-80-251-3728-4.
 31. ANSYS. The ansys story [online]. 2022 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/company-information/the-ansys-story>
 32. ANSYS. Ansys engineering simulation [online]. 2022 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://wildeanalysis.co.uk/software/design-simulation/ansys/>
 33. SVS FEM. ANSYS workbench [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.svsfem.cz/produkty/ansys-workbench>
-

-
34. EDR MEDESO. Ansys Motion inside Ansys Mechanical [online]. 2021 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://digitallabs.edrmedeso.com/blog/tag/Ansys+Motion>
 35. PRUSAKNOWLEDGEBASE. Historie [online]. 2022 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/zakladni-informace_1910
 36. ALL3DP. PrusaSlicer: All You Need to Know [online]. 2020 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://all3dp.com/2/prusaslicer-simply-explained/>
 37. JOSEF PRUSA. “Modeluj” s PrusaSlicerem – jak na práci s modifikátory [online]. 2020 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/modeluj-s-prusaslicerem-prace-s-modifikatory/>
 38. Stojan na tužky [online]. [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.fablabuniversity.cz/project/stojan-na-tuzky/>
 39. 3D FOX. Creality ENDER 3 V2 [online]. [cit. 2022-03-0100]. Dostupné z: <https://www.3dfoxshop.cz/creality-ender-3-v2/>
 40. 3D SOLUTIONS. Materiály pre 3D Tlač. Stručný prehľad. [online]. 2021 [cit. 2022-03-0100]. Dostupné z: <https://3dsolutions.sk/materialy-pre-3d-tlac/>
 41. Everything You Need To Know About Polylactic Acid (PLA) [online]. 2015 [cit. 2022-03-0100]. Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-poly-lactic-acid-pla-prototypes>
 42. MATERIALPRO3D. Rozdíl mezi ABS,PLA, PETG [online]. 2017 [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>
 43. ABS plasty [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.renovablesverdes.com/cs/abs-plasty/>
 44. 3D PRINT STUDIO. Popis materiálov [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.3dprintstudio.sk/popis-materialov/>
 45. NAD3D. Prehľad dostupných materiálu [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/prehled-dostupnych-materialu>
 46. MATERIALPRO3D. PET filamenty [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/pet-filamenty/>
 47. MATERIALPRO3D. Nylon (PA) [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/nylon/>
 48. PRUSA KNOWLEDGE BASE. Nylon [online]. 2021 [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: https://help.prusa3d.com/cs/article/nylon_167188
 49. TRILAB. 3D tisk flexibilních materiálů [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://trilab3d.com/cs/magazin/3d-tisk-flexibilnich-materialu/>
 50. 3DPLAST. PC [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://3plast.sk/popis-pc-pln%C3%BD>
 51. MATERIALPRO3D. PET, PET-G [online]. [cit. 2022-03-0140]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/>
-

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbols

Označenie	Legenda	Jednotky
C	Tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
C _e	Náklady na elektrickú energiu	[€/hod]
C _n	Cena spotrebovaného materiálu	[€/kg]
C _p	Hodinová mzda	[€/hod]
C _s	Nákupná cena stroja	[€]
d	Výška vrstvy	[mm]
d _p	Počet pracovných dní	[-]
E	Cena elektrickej energie	[€/kWh]
E	Yongov modul pružnosti	[GPa]
F	Sila	[N]
F _{max}	Maximálna sila	[N]
h _n	Hmotnosť spotrebovaného materiálu	[kg]
h _z	Pracovná doba zmeny	[-]
m _m	Váha modelu	[g]
N	Celkové náklady	[€]
N _b	Cena tmelu	[€]
N _c	Celkové náklady spotrebovaných materiálov	[€]
N _f	Cena farby	[€]
N _{hp}	Náklady na hodinu prevádzky stroja	[€/hod]
N _l	Cena lepidla	[€]
N _m	Cena materiálu	[€]
N _p	Cena práce personálu	[€]
N _t	Celkové náklady na tlač	[€]
O _s	Odpis stroja	[hod]
p	Počet strojov	[ks]
P	Spotreba elektrickej energie	[kWh]
R _m	Pevnosť v ťahu	[MPa]
t _{as}	Strojný čas	[hod]
T _g	Teplota skalného prechodu	[°C]
T _m	Teplota tavenia	[°C]
T _n	Teplota trysky	[°C]
T _p	Teplota dosky	[°C]
v	Rýchlosť tlače	[mm.s ⁻¹]
z	Zmennosť prevádzky	[-]
λ	Tepelná vodivosť	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	Hustota	[kg.m ³]
ρ _v	Hustota výplne	[%]
σ	Napätie	[MPa]
σ _{max}	Maximálne napätie	[MPa]
σ _{oc}	Pevnosť v ohybe	[MPa]
φ	Deformácia pri teplote	[°C]

Skratky

Označenie	Legenda
3D	Trojdimenzionálny
ABS	Akrylonitrilbutadiénstyren
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
HIPS	High Impact Polystyrene
MKP	Metóda konečných prvkov
PA	Nylon
PC	Polykarbonát
PET	Polyetylén tereftalát
PET-G	Polyetyléntereftalát-Glykol
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
STL	Standard Triangle Language
TPU	Thermoplastic Polyurethane

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1: Fotografie hotového modelu kľučky

Príloha 2: Technický list k materiálu PLA

Príloha 3: Technický list k materiálu PET-G

Príloha 4: Technický list k materiálu ABS

Príloha 1:
Fotografie hotového modelu kľučky



Verze: 1.0

Poslední aktualizace: 20-09-2018

TECHNICKÝ LIST

Prusament PLA od Prusa Polymers



PLA je nejčastěji používaný filament. Je biologicky rozložitelný, snadno se tiskne a je velmi silný. Skvělá volba pro tisk velkých objektů díky nízké tepelné roztažnosti (malá až žádná deformace) a pro tisk drobných součástí díky nízké teplotě tání.

UŽITÍ Koncepty, funkční prototypy, hračky s nízkým opotřebením atd.

NENÍ VHODNÝ PRO: Dlouhodobé venkovní použití kvůli nízké teplotní odolnosti (do 60 °C).

OPRACOVÁNÍ: Mokrý broušení. Bez vody budete rychle zahřívát plast třením, lokálně se roztaví a bude obtížné pokračovat v broušení.

IDENTIFIKACE:

Jméno výrobku	Prusament PLA
Chemický název	Kyselina polymléčná
Použití	FDM 3D tisk
Výrobce	Prusa Polymers, Praha, Česká republika

DOPORUČENÉ NASTAVENÍ TISKU:

Teplota trysek [°C]	210 ± 10
Teplota vyhřívání podložky [°C]	40-60
Rychlost tisku [mm / s]	až 200

TYPICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU:

Fyzikální vlastnosti	Typická hodnota	Metoda
Maximální teplota taveniny [°C]	145-160	ISO 11357
Teplota skelného přechodu [°C]	55-60	ISO 11357
MFR [g / 10 min] (1)	10,4	ISO 1133
MVR [cm ³ /10 min] (1)	9,4	ISO 1133
Specifická gravitace [g / cm ³]	1,24	ISO 1183
Absorpce vlhkosti 24 hodin [%] (2)	0,3	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 7 dní [%] (2)	0,3	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 4 týdny [%] (2)	0,3	Prusa Polymers
Teplotní deformace (0,45 MPa) [°C]	55	ISO 75
Filament pevnosti v tahu [MPa]	57.4 ± 0.4	ISO 527-1

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYTIŠTĚNÝCH TESTOVACÍCH VZORKŮ (3):

Vlastnosti / směr tisku	Horizontální	Vertikální X, osa Y	Vertikální osa Z	Metoda
Modul tahu [GPa]	2,2 ± 0,1	2,4 ± 0,1	2,3 ± 0,1	ISO 527-1
Pevnost v tahu [MPa]	50,8 ± 2,4	59,3 ± 1,9	37,6 ± 4,0	ISO 527-1
Prodloužení v mezi kluzu [%]	2,9 ± 0,3	3,2 ± 0,1	1,9 ± 0,3	ISO 527-1
Rázová pevnost Charpy (4) [kJ / m ²]	12,7 ± 0,7	13,7 ± 0,7	5,0 ± 1,4	ISO 179-1

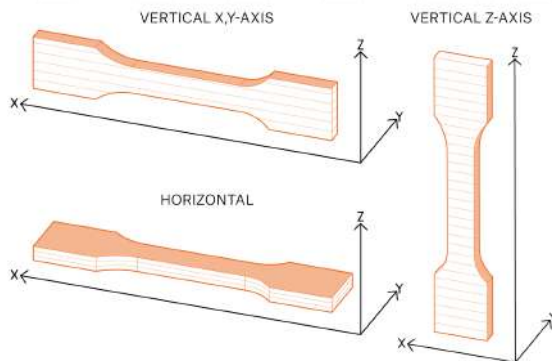
(1) 2,16 kg; 210 ° C |

(2) 28 ° C; vlhkost 37%

(3) K tisku zkušebních vzorků byla použita 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3. Slic3r Prusa Edition 1.40.0 byl použit k vytvoření G-kódů s následujícími nastaveními: Prusa PLA Filament; Nastavení tisku 0,20 mm SPEED (vrstvy 0,2 mm); plně vrstvy Horní: 0 Spodní: 0; Výplň 100% přímočará, rychlost výplně 200 mm / s; teplota extruderu 215 ° C všechny vrstvy; teplota podložky 60 ° C pro všechny vrstvy; ostatní parametry nastavené na výchozí | (4) Charpy bezvrubkový, směr úderu po hraně podle ISO 179-1

Vyloučení odpovědnosti

Výsledky uvedené v tomto datovém listu jsou pouze pro vaši informaci a srovnání. Hodnoty výrazně závisí na nastavení tisku, zkušenostech obsluhy a okolních podmínkách. Je potřeba individuálně zvážit vhodnost a možné důsledky použití tištěných dílů. Prusa Polymers nemůže nést žádnou odpovědnost za zranění nebo ztráty způsobené použitím materiálu Prusa Polymers.



TECHNICKÝ LIST

Prusament PETG od Prusa Polymers



PETG je jedním z nejčastěji používaných vláken. Je to skvělá volba pro tisk mechanicky namáhaných dílů. Oproti PLA je odolnější vůči teple, je pružnější a méně křehký.

UŽITÍ: Typickým použitím PETG je tisk funkčních a mechanických částí. Díky dobré přilnavosti vrstev je vhodný i pro vodotěsné tisky.

NEVHODNÉ PRO: Nevhodné pro malé součásti

OPRACOVÁNÍ: Pro opracování výtisků z PETG je možné použít suché i mokré broušení.

IDENTIFIKACE:

Jméno výrobku	Prusament PETG
Chemický název	kopolyester
Použití	FDM 3D tisk
Průměr	1,75 ± 0,02 mm
Výrobce	Prusa Polymers, Praha, Česká republika

DOPORUČENÉ NASTAVENÍ TISKU:

Teplota trysky [°C]	250 ± 10
Teplota vyhřívání podložky [°C]	80 ± 10
Rychlost tisku [mm / s]	až 200

TYPICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU:

Fyzikální vlastnosti	Typická hodnota	Metoda
Hustota [g / cm ³]	1,27	ISO 1183
Absorpce vlhkosti 24 hodin [%] (1)	0,2	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 7 dní [%] (1)	0,3	Prusa Polymers
Absorpce vlhkosti 4 týdny [%] (1)	0,3	Prusa Polymers
Teplota tvarové stálosti (0,45 MPa) [° C]	68	ISO 75
Napětí na mezi kluzu pro filament [MPa]	46 ± 1	ISO 527

MECHANICKÉ VLASTNOSTI VYTIŠTĚNÝCH TESTOVACÍCH VZORKŮ (2):

Vlastnosti / směr tisku	Horizontální	Vertikální X, osa Y	Vertikální osa Z	Metoda
Napětí na mezi kluzu [MPa]	47 ± 2	50 ± 1	30 ± 5	ISO 527-1
Modul pružnosti v tahu [GPa]	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1	ISO 527-1
Prodloužení na mezi kluzu [%]	5,1 ± 0,1	5,1 ± 0,1	2,5 ± 0,5	ISO 527-1
Rázová houževnatost Charpy (3) [kJ / m ²]	NB. (C) (4)	NB. (4)	5 ± 1	ISO 179-1

(1) 30 ° C; vlhkost 30%

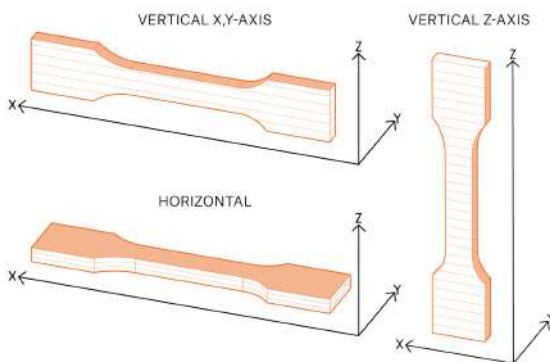
(2) K výrobě zkušebních vzorků byla použita 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3. Slic3r Prusa Edition 1.40.0 byl použit k vytvoření G-codů s následujícím nastavením: Prusa PETG Filament; Nastavení tisku 0,20 mm SPEED (vrstvy 0,2 mm); plně vrstvy Horní: 0 Spodní: 0; Výplň 100% přímočará, rychlost výplně 100 mm / s; extruzní multiplikátor 1,07; teplota extruderu 260 ° C na všechny vrstvy; teplota vyhřívání podložky 90 ° C na všechny vrstvy; ostatní parametry nastaveny jako výchozí

(3) Charpy bezvrubový - směr úderu ve směru hrany podle ISO 179-1

(4) NB. (No Break - Bez přerušeni); C (complete break - úplné přerušeni) v závorkách druhý nejčastější typ selhání > 1/3

Vyloučení odpovědnosti

Výsledky uvedené v tomto datovém listu jsou pouze pro vaši informaci a srovnání. Hodnoty výrazně závisí na nastavení tisku, zkušenostech obsluhy a okolních podmínkách. Je potřeba individuálně zvážit vhodnost a možné důsledky použití tištěných dílů. Prusa Polymers nemůže nést žádnou odpovědnost za zranění nebo ztráty způsobené použitím materiálu Prusa Polymers.



TECHNICAL DATA SHEET FOR PRODUCT:
ABS-T FILAMENT

Use	is a material for the FDM (FFF) 3D printing additive technology		
Material	Acrylonitrilbutadienstyrene MMA, petroleum product		
Diameters	1,75 or 2,90 mm		
Tolerance	± 0,05 mm		
Weight	0,5 kg netto ± 5% / 0,7 kg brutto ± 5%		
	1,0 kg netto ± 5% / 1,3 kg brutto ± 5%		
Packing	spool in Vacuum ZIP bag, inserting to paper box, all in LDPE foil		
Colours	views on web https://www.filament-pm.com/abs-t		
Solvents	Acetone		
Printing Properties:			
Temperature HE	230 – 250 °C		
Temperature HB	110 °C		
Surface bed	kapton, ultem, PET foil, commons for FDM printing		
Cooling print object	NO		
Nozzle	All diameters / for glitter using nozzle min 0,5 mm and more		
Printer space	Open / Close		
Material Properties:			
Thermal	vicat softening temperature	ISO 306	100 °C
	heat deflection temperature	ISO 75	97 °C
Mechanical	impact strength	ISO 179	20 kJ/m²
	flexural modulus	ISO 178	2000 MPa
Physical	Density	ISO 1183/B	1,08 g/cm³
	Melt Flow Index	ISO 1133	2 g/10 min