



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

**IZDELAVA PROTOTIPA NASTAVLJIVEGA
SPROŽILNEGA MEHANIZMA ZA PUŠKE
TIPA AK**

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. stroj.

Lektor: Ivan Ceganec, prof. slov. jez. in zgod.

Kandidat: Luka Zupet

Komenda, junij 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, mag. Slavku Božiču za mentorstvo in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi svojemu očetu in mami za pomoč in podporo pri študiju.

Zahvalil bi se še prijateljici Lei Mihelčič, ki me je vzpodbujala pri delu.

IZJAVA

Študent Luka Zupet izjavljam, da sem avtor/ica tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom mag. Slavka Božiča, univ. dipl. inž. stroj.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Na trgu je danes veliko polavtomatskih pušk, ki jih športni strelci uporabljajo v različnih disciplinah. Ena od svetovno najbolj razširjenih je puška tipa AK. Te puške so zaradi svoje robustnosti, preprostosti in dostopnosti zelo priljubljene med strelci. Težava nastopi pri delih s poprodajnega trga. Za to vrsto puške je, v primerjavi z drugimi, na trgu zelo malo nadgradenj. Ključna hiba puške tipa AK je njen sprožilni mehanizem. Ustvarjen je bil za čim hitrejšo serijsko proizvodnjo vojaške oborožitve po sovjetski doktrini. Zato sprožilni mehanizem pri tej vrsti pušk športnemu strelcu predstavlja nekonkurenčnost na tekmovanjih.

V diplomskem delu je predstavljena teorija o 3D-tisku in sprožilnem mehanizmu dotične puške. Posebni poudarek je na tehnologijah FDM in DLP, ki jih bomo uporabili pri izdelavi dveh prototipov sprožilnega mehanizma. S postopnim razvojem in popravki bomo izdelali nastavljiv sprožilni mehanizem, ki se mu bo dalo spreminjati kritične nastavitve z vidika športnega strelca.

KLJUČNE BESEDE

- 3D-tisk
- modeliranje 3D-prototipa
- dodajalna tehnologija
- športno strelstvo
- sprožilni mehanizem

ABSTRACT

There are many semi-automatic rifles on the market today that sport shooters use in a variety of disciplines. One of the world's most widespread is the AK-type rifle. These rifles are very popular among shooters due to their robustness, simplicity and affordability. The problem arises with aftermarket parts. For this type of rifle, compared to others, there are very few upgrades on the market. The key flaw of the AK type rifle is its trigger mechanism. It was created for the fastest possible serial production of military weapons according to Soviet doctrine. Therefore, the trigger mechanism in this type of rifle represents non-competitiveness in competitions to the sport shooter. The thesis presents a theory of 3D printing and the trigger mechanism of the rifle in question. Special emphasis is placed on FDM and DLP technologies, which will be used in the production of two prototypes of the trigger mechanism. With gradual development and corrections, we will create an adjustable trigger mechanism that will be able to change critical settings from the point of view of a sports shooter.

KEYWORDS

- 3D print
- 3D prototype modeling
- Additive technology
- Sport shooting
- Trigger mechanism

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2	NAMEN IN CILJI NALOGE	2
1.3	PREDSTAVITEV OKOLJA.....	2
1.4	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	2
1.5	METODE DELA	3
2	TEORETIČNI DEL	3
2.1	ZAKON O OROŽJU	3
2.2	3D-TISK.....	3
2.3	TEHNOLOGIJA 3D-TISKA.....	4
2.3.1	TEHNOLOGIJA FDM	6
2.3.2	TEHNOLOGIJA DLP.....	12
2.4	SPROŽILNI MEHANIZEM.....	14
2.4.1	SESTAVNI DELI PUŠK TIPA AK IN NJIHOVEGA SPROŽILNEGA MEHANIZMA.....	14
2.4.2	DELOVANJE PUŠKE IN SPROŽILNEGA MEHANIZMA	16
2.4.3	LASTNOSTI SPROŽILNEGA MEHANIZMA MED PROŽENJEM	17
3	PRAKTIČNI DEL	18
3.1	UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA	19
3.2	IZDELAVA MODELOV	19
3.2.1	SPROŽILEC.....	19
3.2.2	ODKLOPNIK	24
3.2.3	UDARNO KLADIVCE	25
3.2.4	IMITACIJA ZAKLEPIŠČA	27
3.3	UPORABLJENA STROJNA OPREMA	29
3.3.1	IZDELAVA Z METODO FDM	31
3.3.2	IZDELAVA Z METODO DLP	33
3.3	OPIS PROTOTIPOV	35
3.4	ANALIZA PROTOTIPA.....	36
4	ZAKLJUČEK	39
5	LITERATURA IN VIRI	41
	PRILOGE	43

KAZALO SLIK

Slika 1:	Število prodanih kosov orožja kategorij B4 in B7.....	1
Slika 2:	Uveljavljanje 3D-tiska skozi čas na posameznih področjih.....	4
Slika 3:	Model, natisnjen z metodo 2pp, pod mikroskopom	5
Slika 4:	Spajanje slojev med tiskom	7
Slika 5:	Sestavni deli ekstrudirne glave	7

Slika 6: Sestava 3D-tiskalnika FDM.....	8
Slika 7: Gostota zapolnitve	9
Slika 8: Vzorec zapolnitve	9
Slika 9: Lastnosti različnih filamentov FDM	11
Slika 10: Orientacija tiska in odpornost.....	12
Slika 11: Sestava 3D-tiskalnika DLP	13
Slika 12: Primer podpornih struktur	13
Slika 13: Sestavni deli puške Saiga M3 Exp-01	15
Slika 14: Razstavljena puška Saiga M3 Exp-01 – sestavni deli	15
Slika 15: Sestavni deli sprožilnega mehanizma pušk tipa AK	16
Slika 16: Prikaz faz sprožilnega mehanizma.....	18
Slika 17: Izdelave leve strani sprožilca	20
Slika 18: Izdelava povezovalnega mostička	20
Slika 19: Izdelava desne strani sprožilca	21
Slika 20: Izdelava vzvoda sprožilca	21
Slika 21: Izdelava luknje za vzmet odklopnika	22
Slika 22: Uporaba funkcije fillet.....	23
Slika 23: Premik vzvoda sprožilca naprej	24
Slika 24: Izdelava osnove odklopnika	24
Slika 25: Rezanje zadnjega dela odklopnika	25
Slika 26: Izdelava osnove udarnega kladivca	26
Slika 27: Popravek police za sprožilec.....	26
Slika 28: Zmanjšanje police za odklopnik	27
Slika 29: Izdelava osnove imitacije zaklepišča.....	28
Slika 30: Dodajanje ojačitve imitaciji zaklepišča	28
Slika 31: Nadgrajen tiskalnik FDM Anet A8	29
Slika 32: Tiskalnik DLP Anycubic Photon	30
Slika 33: Sprožilec v programu Fusion 360	31
Slika 34: Izdelan funkcionalni prototip	33
Slika 35: Sprožilec s podporami v programu Anycubic Photon Slicer 64	34
Slika 36: Izdelan prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti.....	35
Slika 37: Sprožilni mehanizem v imitaciji zaklepišča	36
Slika 38: Funkcionalni prototip v puški Zastava M70A1	36
Slika 39: Prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti v puški Tula AKS74-U	37

KAZALO TABEL

Tabela 1: Združljivost natisnjenih prototipov z puškami	38
Tabela 2: Razdalje hodov na tovarniškem in natisnjenem sprožilcu	39

KRATICE IN AKRONIMI

3D:	tridimenzionalno
FDM:	fused deposition manufacturing
PLA:	polylactic acid
DLP:	digital light processing
AK:	avtomat Kalašnikova

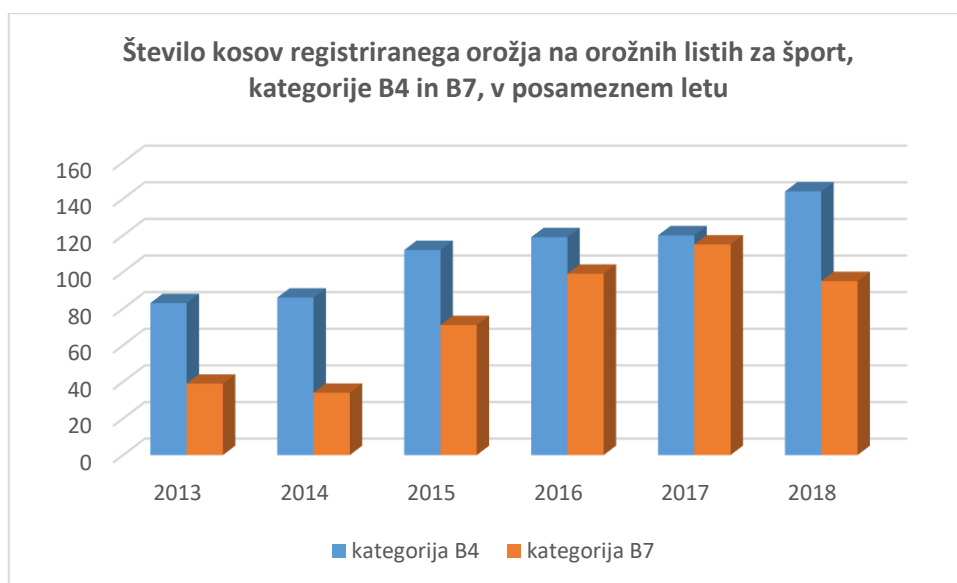
1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Tovarniški sprožilni mehanizmi pušk tipa AK so dokaj grobo izdelani. Skonstruirani so za hitro, množično proizvodnjo ter nenastavljivi, saj so bili izdelani za vojaško uporabo, kjer sama prilagoditev oborožitvenih sistemov za uporabnika ni prioriteta. Za športno streljanje je tak sprožilni mehanizem hiba, saj je na trgu veliko drugih polavtomatskih pušk (po navadi v višjem cenovnem razredu), katerih sprožilni mehanizmi omogočajo manjše izgube časa.

Posledica za uporabnike je, da težje konkurirajo ostalim sistemom v športnem streljanju.

V sodelovanju s podjetjem Polenar Tactical, d. o. o., smo prišli do idejne zasnove prototipa sprožilnega mehanizma, ki bi se mu dalo nastavljati ključne lastnosti, ki so kritične za doseganje boljših časov pri športnem (predvsem dinamičnem) streljanju. Število orožja v kategorijah B4 (polavtomatsko dolgoceveno strelno orožje z nabojnikom in ležiščem naboja za več kot tri naboje) ter B7 (polavtomatsko strelno orožje za civilno uporabo, ki je podobno avtomatskemu strelnemu orožju, se v Sloveniji vsako leto povečuje, kot je razvidno s slike 1. Najbolj uporabljena sistema v teh kategorijah pa sta puški tipa AR in AK. Zaradi tega je tudi končna izdelava sprožilnega mehanizma in njegova prodaja ekonomsko logična (Ministrstvo za notranje zadeve, 2019).



Slika 1: Število prodanih kosov orožja kategorij B4 in B7
(Vir: Ministrstvo za notranje zadeve, 2019)

1.2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Namen je izdelati sprožilni mehanizem, ki se mu bo dalo nastaviti najpomembnejše lastnosti z vidika športnega streljanja, ki so: predhod, povrnitev in prelet sprožilca. V diplomskem delu bomo računalniško zmodelirali ter z metodo 3D-tiska izdelali prototip sprožilnega mehanizma.

Po izdelavi prototipa sledi testiranje dimenzijske skladnosti v več puškah tipa AK različnih proizvajalcev.

Rezultate testov skladnosti bomo predstavili v zaključnem delu diplomskega dela. Po uspešni izdelavi in preizkusu prototipa bo podjetje izdelalo končni izdelek, ki bi bil v pomoč športnim strelcem. Sprožilni mehanizem bi lahko nastavili po svojih potrebah in s tem zmanjšali kritične izgube časa na tekmovanjih.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Polenar Tactical je manjše podjetje, zasnovano kot družba z omejeno odgovornostjo, ki se ukvarja z medijsko produkcijo, prodajo delov orožja, opreme in promocijskega materiala. V podjetju je zaposlena ena oseba.

Zagovarjajo načela varnega in odgovornega ravnanja in uporabe orožja.

Med prodajnimi izdelki imajo tudi nekaj produktov, ki so jih zasnovali in izdelali sami. V sodelovanju z omenjenim podjetjem bi na podlagi prototipa, ki bi bil produkt raziskovalno praktičnega dela diplomskega dela, uporabili kot končni prototip.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Omejitev prototipa je ta, da mora biti združljiv s puškami različnih proizvajalcev iz različnih delov sveta, saj so puške tipa AK najbolj proizvajane na svetu.

Omejeni bomo tudi na dve tehnologiji 3D-tiska zaradi omejenega dostopa do strojne opreme.

Žal pa bomo med izdelavo naloge omejeni glede ustrezne literature v slovenskem jeziku. Knjig o puškarstvu je malo, za dotičen problem sprožilnih mehanizmov polavtomatskih pušk pa jih ni. Prav tako večino izrazov, ki so kritični za opisovanje našega dela, prihaja iz Združenih držav Amerike, slovenskih sopomenk za te pa zaenkrat še nimamo. Zaradi velike palete proizvajalcev pušk tipa AK bo treba pri izdelavi samega modela in prototipa upoštevati tudi dejstvo, da lahko pri tako velikem naboru proizvajalcev prihaja do odstopanj.

1.5 METODE DELA

Prototip bomo izdelali z metodo reverznega inženiringa. Tovarniškim delom bomo izmerili dimenzije ter jih prenesli v program Fusion 360, kjer bomo z metodo modeliranja izdelali kopijo tovarniškega sprožilnega mehanizma. Temu bomo dodali popravke ter ga priredili tako, da nam bo omogočal spreminjanje željenih lastnosti. Prototip bomo dodelovali in napake odpravljali z eksperimentalno metodo. Računalniško modeliranje nam omogoča hitre popravke, 3D-tisk pa hitro proizvodnjo prototipa. S hitrim prototipiranjem bomo spotoma odpravljali napake in delali izboljšave.

S komparativno metodo bomo preverili glavne lastnosti tovarniškega sprožilnega mehanizma in jih primerjali z natisnjnim funkcionalnim prototipom.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 ZAKON O OROŽJU

Sprožilni mehanizmi se po našem veljavnem zakonu o orožju ne štejejo kot deli orožja, za katere je treba imeti posebna dovoljenja in so lahko v prosti prodaji. Deli orožja, ki se štejejo kot ključni za njegovo delovanje, pa so: cev, zaklep, zaklepišče in vrtljivi boben (Zakon o orožju – ZOro-1).

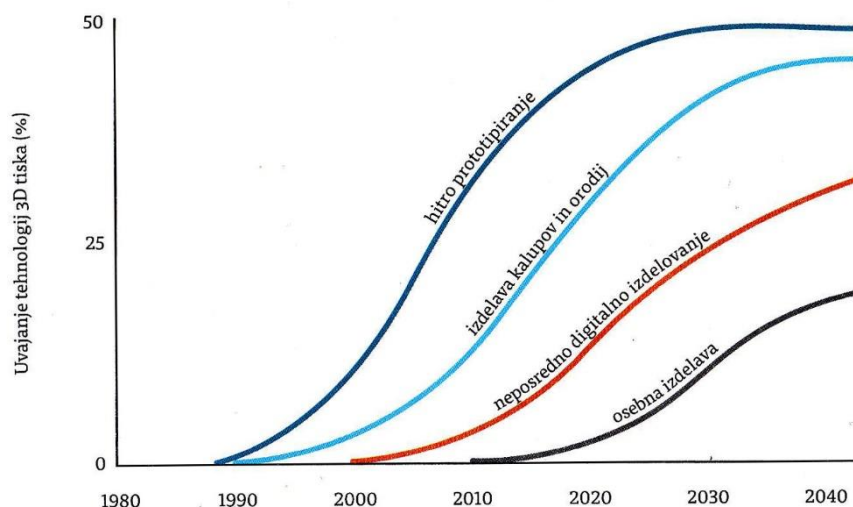
Puške tipa AK so polavtomatske puške z risano cevjo, zato se uvrščajo v kategoriji B4 in B7 po zakonu o orožju. Kategorija B4 pomeni polavtomatsko dolgoceveno strelno orožje z nabojnikom in ležiščem naboja za več kot tri naboje, kategorija B7 pomeni polavtomatsko strelno orožje za civilno uporabo, ki je podobno avtomatskemu strelnemu orožju (Zakon o orožju - ZOro-1).

2.2 3D-TISK

Pri 3D-tisku gre za dodajalno tehnologijo. Zanj uporabljamo tudi izraz slojevita tehnologija, saj končni izdelek gradimo v slojih. Deluje na podoben način kot dvodimenzionalni tisk, ki se uporablja v tiskalnikih v grafični industriji, doma in v pisarnah, le da pri 3D-tisku dodamo še tretjo dimenzijo. Za razliko od odvzemalnih tehnologij, kot je na primer CNC-struženje ali rezkanje, material dodajamo in posledično izredno zmanjšamo količino odpadnega materiala. S tega stališča je 3D-tisk veliko bolj ekonomičen in okolju prijazen (Muck in Križanovskij, 2015).

Pojav 3D-tiska predstavlja delno digitalizacijo proizvodnje, saj kljub temu, da 3D-modelov ne moremo uporabiti v realnem svetu, igra digitalna tehnologija pri njihovi

proizvodnji ključen pomen. Delna digitalizacija proizvodnje se je začela z uporabo CNC-strojev in ostalih naprav, ki uporabljajo računalniško krmiljenje. V zadnjem času se je ta pojav pospešil prav zaradi napredka v 3D-tisku. Ta se je na začetku uporabljal predvsem za hitro prototipiranje (rapid prototyping), vendar se je z napredkom tehnologije pojavil tudi kot način za izdelavo kalupov in orodij za tradicionalno proizvodnjo (rapid tooling) ter neposredno digitalno izdelovanje (direct digital manufacturing). S pojavom namiznih 3D-tiskalnikov in možnostjo osebne izdelave končnih produktov doma nam je 3D-tisk omogočil preskok same fizične distribucije, kot je prikazano na sliki 2 (Rayna in Striukova, 2016).



Slika 2: Uveljavljanje 3D-tiska skozi čas na posameznih področjih
(Vir: Muck in Križanovskij, 2015)

Uporablja se v strojništvu pri tiskanju orodij, kalupov, industrijskih delov; pri izdelovanju protetike; pri modnem oblikovanju; v medicini; v urbanizmu; v več industrijah, kot so: letalska, avtomobilska, vesoljska itd.; v zobozdravstvu pri izdelavi zobnih aparatov, implantatov; gastronomiji za izdelavo živil; arhitekturi za tisk modelov in stavb ... (Muck in Križanovskij, 2015).

Danes je vedno bolj pogost pojav osebna uporaba 3D-tiska. Cene tiskalnikov so se že spustile pod 350,00 €. Še cenejši pa so kompleti, v katerih tiskalnik dobimo v delih in si ga sami sestavimo. Velika prednost takih tiskalnikov je, da lahko nadgradnje za lasten tiskalnik natisnemo z istim tiskalnikom (Muck in Križanovskij, 2015).

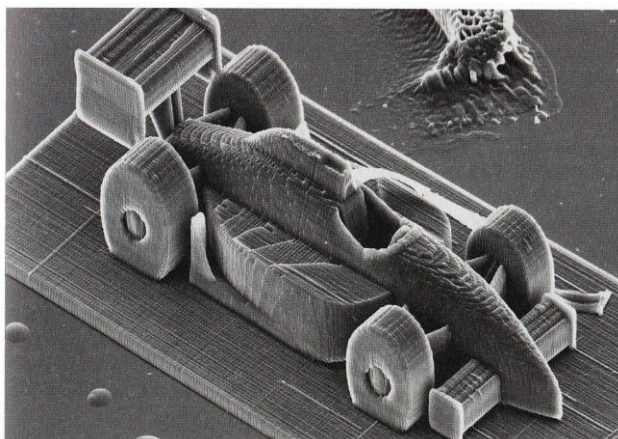
2.3 TEHNOLOGIJA 3D-TISKA

3D-tisk je dodajalno-aditivni tehnološki proces, pri katerem nanašamo material sloj za slojem in s tem gradimo željen predmet (Muck in Križanovskij, 2015).

Tehnologije 3D-tiska delimo na 4 glavne kategorije glede na osnovni proces gradnje predmeta. Te so: ekstrudiranje materialov; proces fotopolimerizacije; lepljenje, sintranje ali taljenje praškastega materiala; nalaganje, lepljenje ali laminiranje materiala (Muck in Križanovskij, 2015).

Tehnologije ekstrudiranja materialov temeljijo na tem, da osnovni material v poltekoči obliki sloj za slojem nalagamo na osnovno ploščo po slojih v obliko končnega izdelka. Največkrat slišimo izraz FDM (fused deposition modeling) ali modeliranje s spajanjem slojev, vendar je to ime zaščiteno s strani podjetja Stratasys. Ker je to najbolj razširjena oblika 3D-tiska, zanjo proizvajalci tiskalnikov uporabljajo druga imena, kot so: PJP (plastic jet printing), FFM (fused filament modeling) itd. (Muck in Križanovskij, 2015).

Tehnologije, ki temeljijo na procesu fotopolimerizacije, delimo na: tehnologije, ki uporabljajo fotopolimerizacijo v kadi in kapljičnega nanašanja ali brizganja materiala. Njihova skupna točka je, da za osnovni material uporabljajo tekoči ali poltekoči fotopolimer. Tehnologije, ki uporabljajo fotopolimerizacijo, so stereolitografija (SLA), kjer računalniško voden svetlobni vir (snop) za strjevanje fotopolimera, pri čemer se osnovna plošča dviga iz kadi v smeri Z; projekcijsko digitalno procesiranje svetlobe – digital light processing (DLP) poteka podobno kot stereolitografija, vendar se pri tem namesto snopa za strjevanje fotopolimera uporablja projektor, ki utrdi celotno plast naenkrat in s tem pospeši proces izdelave; dvofotonska fotopolimerizacija – two-photon polymerization (2pp) je podobna tehnologiji SLA, vendar nam omogoča 250-krat večjo ločljivost. Kapljično nanašanje ali brizganje materiala (material jetting), poteka podobno kot pri kapljičnih tiskalnikih, vendar osnovni material točkovno utrjuje z UV-svetlobo ter material nanaša v slojih (Muck in Križanovskij, 2015).



*Slika 3: Model, natisnjen z metodo 2pp, pod mikroskopom
(Vir: Muck in Križanovskij, 2015)*

Skupna točka tehnologij lepljenja, sintranja ali taljenja praškastega materiala je ta, da za osnovni material uporabljajo praške. Ti so lahko zelo raznoliki, na primer: mavec, keramika, steklo, kovine ... Pri kapljičnem nanašanju ali brizganju veziva (binder jetting) glava tiskalnika brizga ali kapljično nanaša vezni material na praškast osnovni material sloj za slojem. Selektivno lasersko sintranje deluje na podoben princip kot stereolitografija, vendar namesto tekočega osnovnega materiala uporablja prašek. Za strjevanje praška lahko uporablja laserski žarek (SLS, SLM, DMLS), elektronski snop – electron beam melting (EBM), ali pa skenirno termično glavo – selektivno sintranje (SHS). Pri laserskem navarjevanju – direct energy deposition (DED), močan laserski snop izredno hitro tali praškast material, ki pride skozi šobo tiskalne glave (Muck in Križanovskij, 2015).

Pri tehnologijah, osnovanih na laminaciji materiala gre za hibrid dodajalne in odvzemalne tehnologije. Pri izdelavi 3D-predmeta se material doda, na koncu pa ves odvečni material odstrani. Osnovni material dodajamo sloj za slojem in vsakega posebej se izreže z laserjem, med sloje se dodaja adhezivno sredstvo. Kot osnovni material se uporabljajo pole (papir, polimerne ali kovinske folije) (Muck in Križanovskij, 2015).

Proces 3D-tiska od priprave do 3D-modela do izdelanega predmeta se opravi na računalniku, in sicer ga delimo na 6 stopenj. Te so:

1. izdelava 3D-modela v programu za 3D-oblikovanje,
2. pretvorba 3D-modela v enega od standardnih formatov (.stl), ki ga program lahko razreže na plasti,
3. pretvorba standardnega formata v kodo G, v katerem so navodila za krmiljenje glave tiskalnika v X- in Y-smeri po plasteh (s smermi),
4. kalibracija tiskalnika,
5. tisk predmeta,
6. naknadna obdelava.

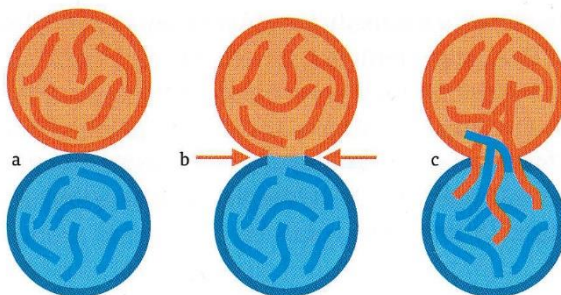
(Muck in Križanovskij, 2015)

2.3.1 TEHNOLOGIJA FDM

Tehnologija FDM (fused deposition modeling) ali modeliranje s spajanjem slojev spada pod tehnologije na osnovi ekstrudiranja materiala, ki so trenutno najbolj razširjene. Po tehnologiji FDM gre za ekstrudiranje termoplastov (Muck in Križanovskij, 2015).

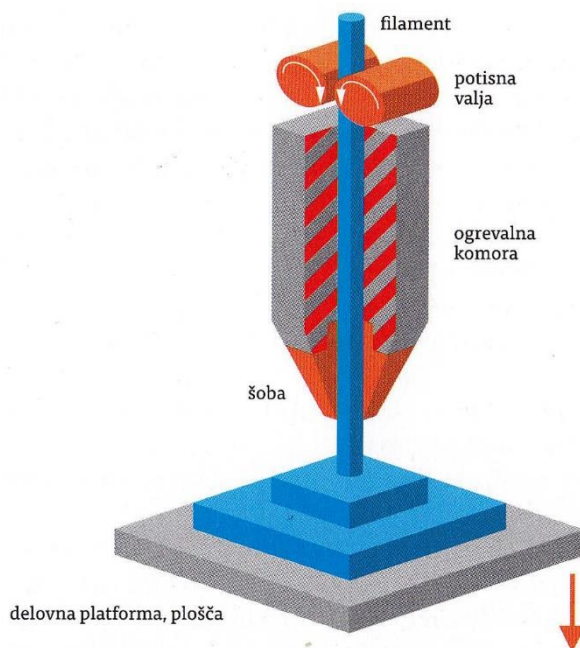
Glavna značilnost takega tiska je, da lahko osnovni material spravimo v poltekočo obliko in ga nato ohladimo nazaj v trdno stanje. Osnovni material, ki je najpogosteje v trdi obliki (filament), dovajamo pod pritiskom skozi ogrevalno komoro ekstrudirne glave s sistemom potisnega valja in iz tiskalne glave skozi šobo. Pri tem uporabljamo računalniško nadzorovano vodenje ekstrudirne glave za nanos materiala v slojih, ki

nov material spaja na že obstoječe in strjene sloje, v primeru prvega sloja pa na delovno ploščo. Kot osnovni material se uporabljajo termoplasti. Ekstrudirna glava oriše površino enega sloja. Ko s slojem konča, se delovna plošča spusti ali pa ekstrudirna glava dvigne za debelino ene plasti v smeri Z ter postopek ponovi z orisom naslednjega sloja. V primeru previsov pa uporabljamo podpore, ki so lahko iz istega osnovnega materiala ali s posebnega podpornega materiala, ki ga je kasneje pri postprocesiranju lažje odstraniti (Muck in Križanovskij, 2015).



Slika 4: Spajanje slojev med tiskom
(Vir: Muck in Križanovskij, 2015)

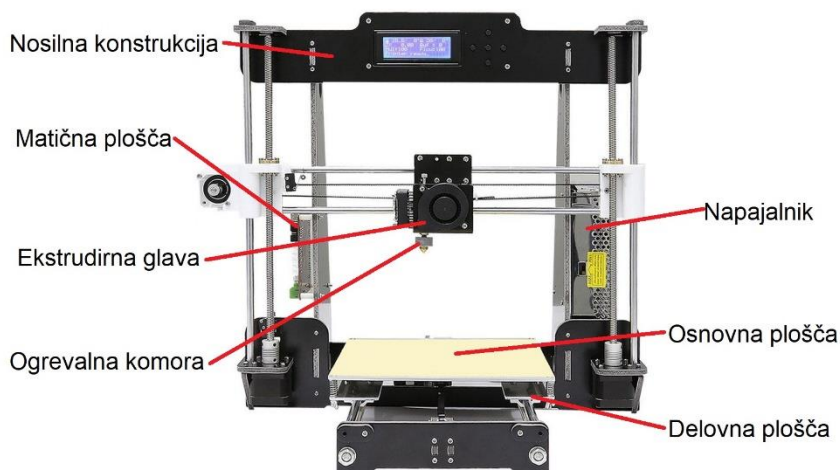
Tiskalniki se med sabo lahko razlikujejo, vendar delujejo na zelo podoben način in so sestavljeni iz naslednjih glavnih delov: delovne plošče, osnovne plošče, šobe, ekstrudirne glave, portala, nosilne konstrukcije in navitja s termoplastičnim filamentom (Muck in Križanovskij, 2015).



Slika 5: Sestavni deli ekstrudirne glave
(Vir: Muck in Križanovskij, 2015)

Delovanje tiskalnika FDM

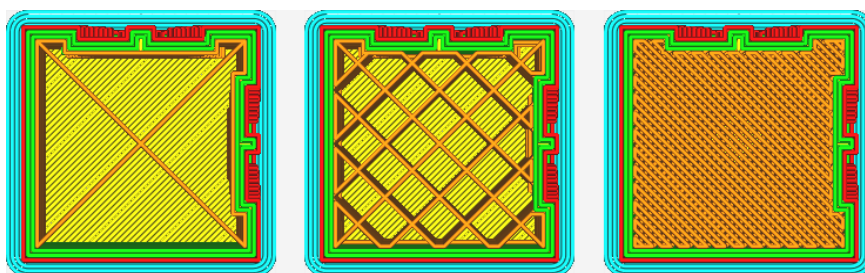
Osnovna plošča je po navadi ogrevana za lažjo adhezijo osnovnega materiala. Pritrjena je na delovno ploščo, ki se pomika po eni od treh smeri, odvisno od izvedbe. V primeru našega tiskalnika je to smer Y. Na nosilni konstrukciji, v portalu, je ekstrudirna glava, ki se pomika v ostalih dveh smereh. V našem primeru sta to smeri X in Z. Vanjo je vstavljen termoplast z navitja, skozi katero se s pomočjo potisnih valjev, s konstantno hitrostjo dovaja filament v električno uravnano ogrevalno komoro. Najbolj pogost sistem valjev deluje v paru. Eden od valjev je pogonski in ima po obodu zareze, da deluje kot zobnik za boljši oprijem filameta. Drugi valj ima utor za filament in je prosto vpet ter pod napetostjo, da deluje kot protisila. V ogrevalni komori se termoplastni filament spremeni v poltekoče stanje in dovaja na delovno ploščo kot prvi sloj oziroma na spodnjo plast polizdelanega predmeta, skozi šobo. Ogrevalna komora mora zagotavljati dovolj visoko temperaturo, da se ekstrudiran material spoji s prej natisnjeno plastjo. Najbolj pogosti dimenziji filameta za osebno izdelavo sta 1,75 mm in 2,85 mm. Pomiki v smereh X in Y morajo biti usklajeni s hitrostjo ekstrudiranja, da je nalaganje materiala enakomerno (Muck in Križanovskij, 2015).



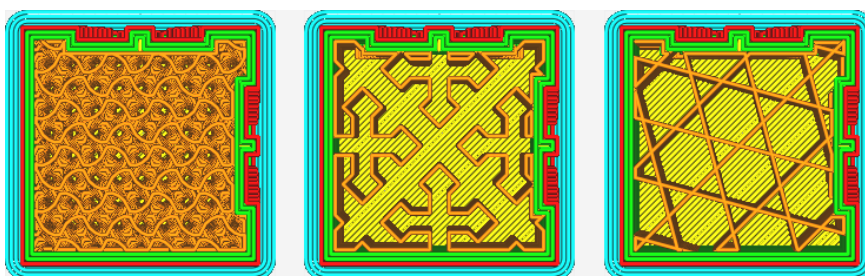
Slika 6: Sestava 3D-tiskalnika FDM
(Vir: Wow3Dprinter, b. l.)

Gostota zapolnitve

Programska oprema tiskalnikov nam omogoča različne vzorce in gostote zapolnitve notranjosti tiskanega predmeta. Kadar izdelujemo le prototip za prikaz, lahko z uporabo redkejšje zapolnitve (ali v določenih primerih brez nje) prihranimo na porabljenem materialu in času tiska. Pri izdelovanju funkcionalnih prototipov pa z gostejšo zapolnitvijo notranjosti dosežemo večjo togost izdelka. Z gostoto zapolnitve tudi vplivamo na težo izdelka (Muck in Križanovskij, 2015).



Slika 7: Gostota zapolnitve
(Lastni vir)



Slika 8: Vzorec zapolnitve
(Lastni vir)

Podporne strukture

Pri oblikah modelov, ki imajo previse ali pa se njihova spodnja plast začne v zraku, se pojavi težava. Odvisno od osnovnega materiala obstaja previsni kot, preko katerega ni več mogoče nalagati plasti, ne da bi prišlo do vidne deformacije. Prav tako ni mogoče natisniti delov, ki se ne začnejo na osnovni plošči oziroma na predhodne natisnjenem sloju v zraku. V tem primeru uporabimo podporne strukture, te nam omogočijo nadaljnji tisk predmeta in odstranitev v koraku postprocesiranja predmeta. Pri tiskalnikih z eno ekstrudirno glavo se podpore izdelujejo iz istega materiala kot izdelek. To dosežemo z drugačno temperaturo deponiranih linij, ki gradijo predmet, in linij podpornih struktur. Drugi način je uporaba različnih debelin slojev pri podpornem materialu in slojev izdelka. Z nastavljanjem parametrov omogočimo čim lažjo ločitev podpornih struktur od končnega izdelka. Pri tiskalnikih z dvema ekstrudirnima glavama uporabimo za podporne strukture drugačen material, kot za predmet sam. Za izdelavo podpor lahko uporabimo material, ki ima slabše mehanske lastnosti, ali pa material, ki je topen na nižji temperaturi. Najboljše pa je za material podpor uporabiti material, ki ga lahko stopimo s kemičnimi sredstvi ali z vodo (Muck in Križanovskij, 2015).

Naknadna obdelava

Predmeti, izdelani s tehnologijo FDM, načeloma ne potrebujejo naknadne obdelave, saj so funkcionalni takoj po končanem procesu tiskanja in odstranitvi podpor.

Večinoma se naknadna obdelava uporablja za višjo estetsko vrednost izdelka. Lahko jo izvedemo ročno ali strojno. Ročno jo opravljamo s hlapi acetona, če želimo svetlečo površino, ali s sodo bikarbono, če želimo matiran videz. Strojna obdelava je lahko peskanje s polimernim medijem, s čimer predmet doseže visoko gladkost; lepljenje uporabljamo takrat, ko je izdelan predmet prevelik za osnovno ploščo in ga je treba izdelati iz več kosov in jih zlepiti; galvanizacija za nanos kovinskega sloja; barvanje, najprej s temeljnim premazom, kjer se pokažejo vse napake v površini, nato sredstva, s katerimi nepravilnosti zapolnimo, razmastimo in na koncu pobarvamo z željeno barvo ali lakom (Muck in Križanovskij, 2015).

Prednosti in slabosti

Prednosti so:

- izdelava konceptov, funkcionalnih prototipov in vedno bolj pogosto končnih izdelkov,
- omogočanje izbora različnih gostot notranje zapolnitve predmetov,
- velik izbor osnovnih materialov s širokim spektrom različnih lastnosti,
- enostavna menjava osnovnega materiala,
- preprosta odstranitev podpornega materiala,
- enostavna naknadna obdelava,
- enostavno vzdrževanje tiskalnika.

Slabosti so:

- preciznost izdelave,
- nepopolna površina predmeta v smeri Z,
- težko doseganje ostrih kotov predmeta,
- pogojena hitrost tiska,
- delno krčenje predmeta zaradi hitrih sprememb temperature.

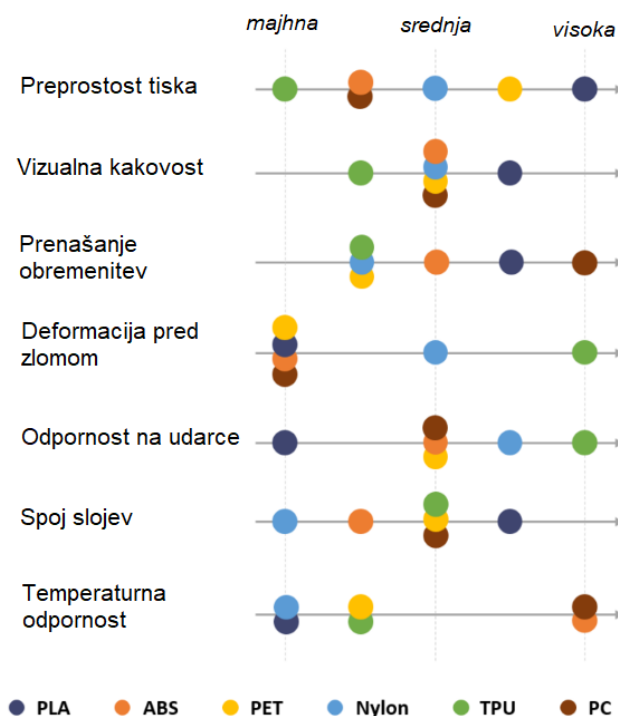
(Muck in Križanovskij, 2015)

Materiali

Tehnologija ekstrudiranja termoplastov se lahko pohvali z največjim naborom materialov za 3D-tisk, še posebej pri odprtokodnih tiskalnikih. Uporabljamo lahko homogene ali pa kompozitne materiale. Osnovni materiali so v obliki filameta, navitega okoli navitja. Uporabljata se dva različna preseka, 1,75 mm in 2,85 mm. Najbolj pogosta materiala sta ABS (akrilonitril butadien stiren) in PLA (polimlečna kislina). ABS se v industriji najpogosteje uporablja za izdelavo plastičnih delov z brizganjem v kalupe. Njegova slabost je ta, da se med segrevanjem sproščajo strupeni plini, ki pri segrevanju PLA niso prisotni. Obe vrsti filameta sta dostopni v zelo širokem spektru barv in mehanskih lastnosti. Treba je omeniti še to, da pri tiskanju večjih delov pri ABS-u hitro pride do zvitja in delaminacije slojev, če ne uporabimo komore, ki zadržuje temperaturo med postopkom tiskanja. S tega vidika je tiskanje s PLA manj zahtevno, vendar je obstojnost termoplasta PLA slabša, saj je

končni izdelek bolj krhek in ima nižjo temperaturo deformacije (Muck in Križanovskij, 2015).

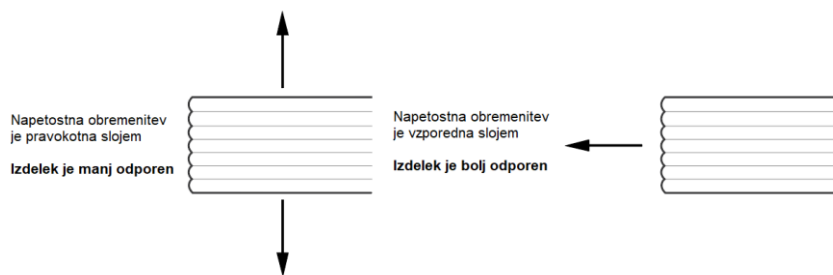
Na tržišču pa se poleg teh materialov pojavljajo tudi drugi, kot so PC (polikarbonat), PET (polietilen tereftalat), najlon, TPU (termoplastični poliuretan).



Slika 9: Lastnosti različnih filamentov FDM
(Vir: 3D Hubs, b. l.)

Lastnosti materiala glede na postavitev tiskanja

Ključno vlogo za prenašanje sil pri natisnjenih predmetih igrajo orientacija tiskanja predmeta, debelina sloja, kot in širina naloženega materiala ter zračna reža med naloženim materialom. Izdelek je veliko bolj občutljiv, če ga obremenimo s silami, pravokotnimi na položene plasti in smer naloženega materiala. Prav tako pozitivno na njegovo trdnost vplivajo debelejši sloji, širše nalaganje materiala in manjša zračna reža med naloženim materialom. Zato sta sama orientacija in parametri tiskanja izredno pomembni pri funkcionalnih prototipih in jih moramo vzeti v obzir pred samim tiskanjem (Yao et al., 2019).



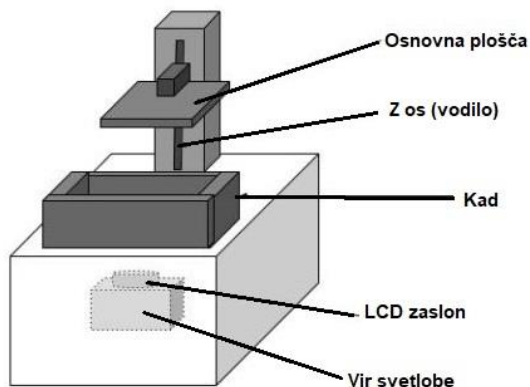
Slika 10: Orientacija tiska in odpornost
(Vir: 3D Hubs, b. l.)

2.3.2 TEHNOLOGIJA DLP

DLP (digital light processing) ali digitalno procesiranje svetlobe deluje po istem principu kot ostale tehnologije fotopolimerizacije v kadi, in sicer za tisk uporablja tekoče fotopolimere, ki se utrjujejo z obsevanjem. Za utrjevanje je največkrat uporabljena ultravijolična svetloba, lahko pa se uporabljajo tudi vidni spektri. Ta proces imenujemo fotopolimerizacija, pri njej se tekoči fotopolimer spremeni v trdno obliko, ko ga obsijemo z določenim spektrom svetlobe. Pri digitalnem procesiranju svetlobe gre za projekcijo z uporabo maske, pri njej obsijemo celoten sloj in ga na enkrat utrdimo.

Delovanje tiskalnika DLP

Za razliko od tiskalnikov FDM, DLP-tiskalniki ne uporabljajo tipične g-kode za pomik osnovne plošče, ekstrudirna glava ni prisotna. Edina os, po kateri se karkoli premika, je Z-os, na katero je pritrjena osnovna plošča. Pomika se iz kadi s fotopolimerom navzgor. Pomika se za 25–300 μm , s tako majhnimi premiki so sloji skoraj neopazni s prostim očesom (Formlabs, b. l.). Vsak sloj posebej se izpostavi ultravijolični svetlobi, katere vir je pod zaslonom s tekočimi kristali (LCD). Matična plošča zaslona pošlje oris vsakega sloja posebej. Deli zaslona, nad katerimi se fotopolimer utrjuje, prepustijo svetlobo skozi, ostanek zaslona pa ostane zatemnjen. Tekoči fotopolimer je v kadi, katere spodnja stran je prosojna fluorirana etilenska propilenska folija. Ta folija je izjemno gladka in strjenemu fotopolimeru preprečuje spoj nanjo.



Slika 11: Sestava 3D-tiskalnika DLP
(Vir: Weilin Cao, b. l.)

Oporne in podporne strukture

Pri DLP-tisku poznamo podporne in oporne strukture. Osnovne opore povezujejo tiskani predmet na delovno ploščo. Podpore pa se uporabljajo za previse predmeta, ki so manjši od 30° in večji od 150° (Muck in Križanovskij, 2015).



Slika 12: Primer podpornih struktur
(Lastni vir)

Naknadna obdelava

Na splošno so tehnologije polimerizacije v kadi med najzahtevnejšimi tehnologijami 3D-tiska, kar se tiče naknadne obdelave. Izredno pomembna je uporaba zaščitnih rokavic, saj so nestrjni fotopolimeri nevarni koži. Ves odvečni fotopolimer je treba odstraniti in predmet očistiti s kemičnimi sredstvi. Sveže natisnjen predmet nima končne trdnosti, zato ga je treba dokončno utrditi v ultravijolični peči. Površina predmeta se utrdi prva, utrjevanje notranjosti predmeta pa je odvisna od same mase

predmeta. Po utrjevanju se odstrani oporni material, nato pa površinsko obdelava z brušenjem, peskanjem, barvanjem ... (Muck in Križanovskij, 2015).

Prednosti in slabosti

Prednosti so:

- izjemna hitrost tiska,
- zelo natančno izdelani predmeti z odlično kakovostjo površine,
- velik izbor osnovnih materialov s širokim spektrom lastnosti,
- preprosta obdelava površine predmeta.

Slabosti:

- slabša obstojnost predmetov (v primerjavi s FDM),
- obvezna uporaba opor in podpor,
- zelo zahtevno postprocesiranje,
- uporaba UV peči za doseganje dokončne trdnosti,
- strupeni osnovni materiali.

(Muck in Križanovskij, 2015)

Materiali

Za tiskanje se uporablja tekoče fotopolimere. Načeloma se uporabljajo isti za vse tehnologije fotopolimerizacije v kadi (stereolitografija, dvofotonska fotopolimerizacija). Izbiramo lahko med različno trdnostjo in žilavostjo končnega izdelka. Nekateri materiali so odporni proti višjim temperaturam in na vlago. Same lastnosti tekočega fotopolimera pa tudi pogojujejo natančnost tiska (Muck in Križanovskij, 2015).

2.4 SPROŽILNI MEHANIZEM

Sprožilni mehanizem je sestavni del orožja, ki je praviloma v zaklepišču. Z aktiviranjem (pritiskom na sprožilec) sproži zaporedje dogodkov, ki privedejo do prižiga pogonskega sredstva v naboju in posledično do tega, da krogla zapusti cev. Sprožilni mehanizmi so glavna značilnost strelnega in zračnega orožja, samostrelav in harpun. Včasih pa so tudi prisotni pri pasteh, stikalih ali hitro snemljivih mehanizmih. Z dodatkom majhne količine energije na sprožilec povzročimo sprostitve veliko večje količine energije (Wikipedia: Trigger (firearms)).

2.4.1 SESTAVNI DELI PUŠK TIPA AK IN NJIHOVEGA SPROŽILNEGA MEHANIZMA

Osnovni sestavni deli pušk tipa AK so:

1. kopito,
2. zaklepišče,
3. ročaj,
4. pokrov zaklepišča,

5. sprožilec,
 6. varovalka,
 7. nabojnik,
 8. nosilec zaklepa s plinskim batom,
 9. zadnji merek,
 10. kopišček,
 11. cilinder plinskega bata,
 12. plinska komora,
 13. cev,
 14. sprednji merek,
 15. kompenzator/plinska zavora/razbijalo plamena,
 16. povratna vzmet,
 17. zaklep z iglo in izvlečnikom.
- Deli so prikazani na slikah 13 in 14.



Slika 13: Sestavni deli puške Saiga M3 Exp-01
(Lastni vir)



Slika 14: Razstavljena puška Saiga M3 Exp-01 – sestavni deli
(Lastni vir)

Sprožilni mehanizem je v zaklepišču puške. Očem viden je le sprožilec. Tovarniški sprožilni mehanizmi za puške tipa AK sestojijo iz 10 delov, prikazanih na sliki 15:

1. udarno kladivce,
2. vzmet udarnega kladivca,
3. zatič udarnega kladivca,
4. zatič sprožilca/odklopnika/upočasnjevalca avtomatskega ognja,
5. sprožilec,
6. odklopnik,
7. vzmet odklopnika,
8. upočasnjevalec avtomatskega ognja,
9. regulator avtomatskega ognja,
10. vzmet regulatorja avtomatskega ognja.



Slika 15: Sestavni deli sprožilnega mehanizma pušk tipa AK
(Vir: Quora, 2018)

Pri civilnih verzijah pri sprožilnem mehanizmu niso prisotni naslednji deli: 7, 8, 9, 10.

2.4.2 DELOVANJE PUŠKE IN SPROŽILNEGA MEHANIZMA

Opisano je delovanje za način polavtomatskega streljanja, saj nas avtomatski način streljanja za civilno uporabo ne zanima.

Ko pritisnemo sprožilec, ta sprosti udarno kladivce, ki udari po udarni igli. Udarna igla deformira netilko naboja. Pri tem pride do vžiga spojine, ki ogenj prenese na smodnik. Nastane ekspanzija smodniških plinov, ki kroglo požene po cevi. Del smodniških plinov uide v plinsko komoro, kjer potisne plinski bat z nosilcem zaklepa po tubi plinskega bata v zadnji položaj. Zaklep se v prvem koraku odklene z obračanjem, nato

se skupaj z nosilcem začne vračati v zadnji položaj, izvlečnik izvrše prazen tulec. Samo potovanje nosilca zaklepa pa napne udarno kladivce v položaj za naslednji strel. Povratna vzmet nato potisne nosilec zaklepa nazaj v prednji položaj, medtem zaklep pobere naslednji naboj iz nabojnika in ga začne potiskati proti ležišču v cevi. Malo, preden ga potisne do konca v ležišče, zaklep zasuka in se s tem zaklene. Puška je pripravljena za naslednji strel.

Sprožilni mehanizem pri civilnih verzijah pušk je sestavljen iz manj delov kot vojaški sprožilni mehanizem, ki omogoča način avtomatskega ognja. Njegovi deli delujejo le takrat, ko pritisnemo na sprožilec ali med premikanjem zaklepa v zadnji položaj. Ko pritisnemo sprožilec, se s pomočjo vzmeti udarnega kladivca sprosti udarno kladivce in potuje v sprednji položaj. Med pomikanjem zaklepa v zadnji položaj se kladivce napne in zatakne na odklopnik. Ta zadržuje udarno kladivce v zadnjem položaju, dokler ne sprostimo sprožilca. Ko ga sprostimo, udarno kladivce preskoči na sprožilec, ki ga naprej zadržuje v zadnjem položaju, dokler sprožilca zopet ne pritisnemo.

2.4.3 LASTNOSTI SPROŽILNEGA MEHANIZMA MED PROŽENJEM

Med samim stiskanjem sprožilca na njem začutimo različne upore in sile. Te nastanejo zaradi samega mehanskega delovanja sprožilnega mehanizma. Pri različnih namembnostih orožja so lahko zahtevane karakteristike različne, pri športni uporabi pa je pomembno gladko proženje. Prav tako je zaželeno, da z najmanjšo kretnjo izvedemo strel in smo pripravljeni na novega.

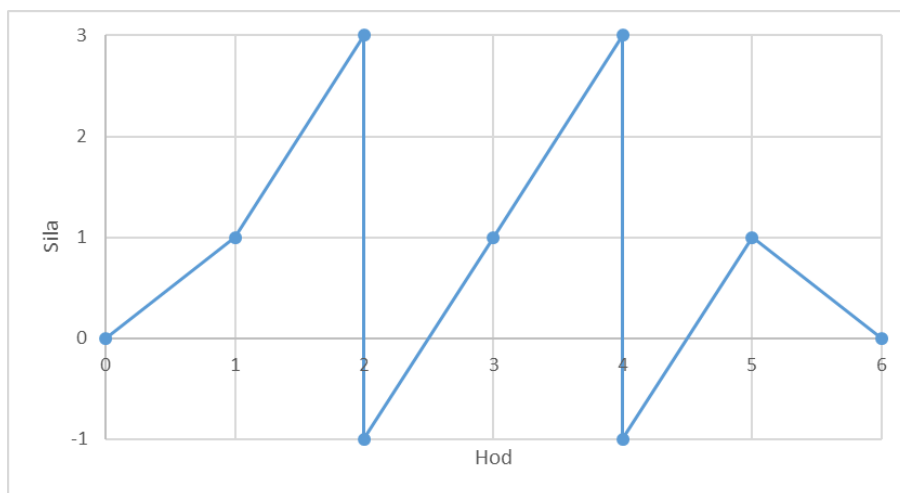
Sama pot sprožilca sestoji iz štirih glavnih delov. Ti so predhod (trigger pre-travel), odklop (trigger brake), prelet (trigger over-travel) in ponastavitev (trigger reset) (Ferrari, 2016).

Predhod sprožilca je pot od sproščenega stanja do odklopa in posledičnega proženja orožja. Sestavljajo ga: take-up, wall (zid) in creep (Ferrari, 2016).

Ko začnemo vleči sprožilec, je ta v fazi take-up-a. Na sprožilec deluje le ena vzmet. Vleče se lažje kot v naslednji fazi. Ko na prstu začutimo dodatno obremenitev, pridemo do zidu (wall). Ta nam taktilno sporoči, da bomo z nadaljevanjem premikanja sprožilca kmalu sprožili orožje. Sledi creep, na sprožilec začne delovati še ena vzmet (pri puškah tipa AK je to vzmet odklopnika). Sprožilec je veliko trši kot v take-up fazi (Ferrari, 2016).

Z nadaljevanjem vlečenja sprožilca preidemo na odklop. Kladivce zleti v sprednji položaj in udari po udarni igli, orožje se sproži in opravi svoj cikel. Ko je sprožilec v zadnjem položaju, ga popustimo, pri tem čutimo pozitivno silo, ki potiska sprožilec nazaj v sprednji položaj. To imenujemo prelet sprožilca.

Med preletom sprožilca s prstom začitimo preskok v mehanizmu. Takrat odklopnik spusti udarno kladivce in to preskoči nazaj na sprožilec. Sprožilni mehanizem se je ponastavil in je pripravljen za naslednji strel. Ponastavitev se načeloma zgodi pred vrnitvijo sprožilca v skrajni sprednji položaj (Ferrari, 2016).



Slika 16: Prikaz faz sprožilnega mehanizma
(Lastni vir)

Na sliki 16 so prikazane faze sprožilnega mehanizma, ki so:

- 0–1: predhod,
- 1: zid,
- 1–2: creep,
- 2: odklop,
- 2–3: prelet,
- 3: ponastavitev,
- 3–4: creep,
- 4: odklop,
- 4–5: ponastavitev,
- 5–6: sprostitvev sprožilca.

3 PRAKTIČNI DEL

Izdelali bomo dva prototipa – enega za preverjanje funkcionalnosti in enega za preverjanje dimenzijskih skladnosti z različnimi proizvajalci in modeli pušk. Za preverjanje funkcionalnosti bomo izbrali metodo FDM. S to metodo tiska lahko izdelamo prototipe z boljšimi mehanskimi lastnostmi kot z metodo DLP, vendar nam

ne zagotavlja dovoljšne dimenzijske natančnosti. Za dimenzijsko natančne prototipe, ki bodo testirani v puškah različnih proizvajalcev, pa bomo uporabili metodo DLP.

Ko bodo modeli izdelani, jih bomo dimenzijsko preverili in funkcionalno testirali. Če se na njih odkrijejo neskladnosti ali se odločimo za kakšno spremembo, jih bomo popravili in na novo natisnili.

3.1 UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA

Prototip bomo oblikovali v programu Autodesk Fusion 360 za lastne potrebe. Program nam omogoča pretvorbo izdelanega 3D-modela v 3D-model formata .stl. Pretvorbo 3D .stl formata v g-kodo za tiskanje s tiskalnikom FDM opravimo z brezplačnim programom Ultimaker Cura 4.4. Pretvorbo 3D-modela v g-kodo za tisk na DLP-tiskalniku Anycubic Photon opravimo s priloženim programom tiskalnika Anycubic Photon Slicer 64.

3.2 IZDELAVA MODELOV

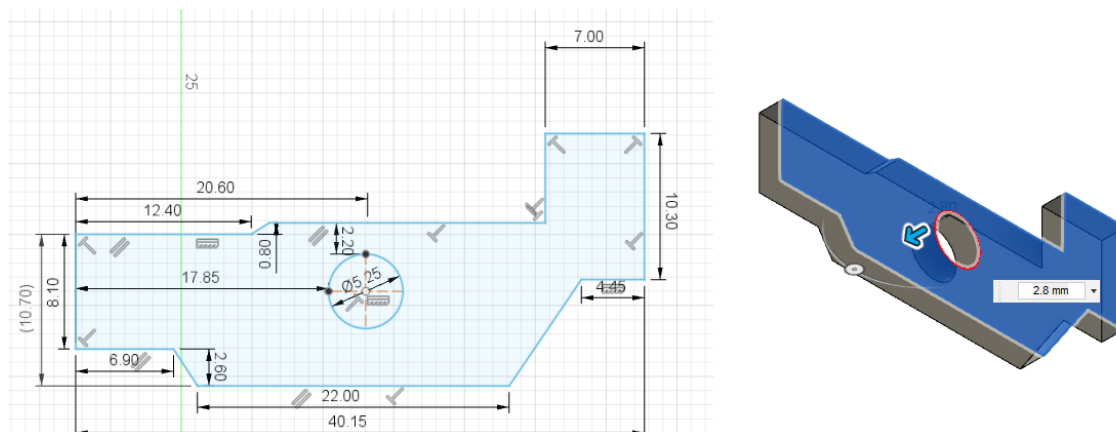
3D-model prototipa bomo izdelali v programu Autodesk Fusion 360. Osnovni model bomo izdelali z reverznim inženiringom originalnega sprožilnega mehanizma iz puške Zastava M70 AB2, ki je ena od jugoslovanskih verzij ruske puške AKM. Mere bomo pridobili s kljunastim pomičnim merilom in mikrometrom. Nato bomo kopijo modelov preuredili za čim lažjo in cenejšo proizvodnjo. Osnovo tega modela pa bomo predelali tako, da se bo sam mehanizem dalo nastavljanje. Dodatne funkcije sprožilnega mehanizma bodo: nastavljiv predhod, prelet ter ponastavitev sprožilca. Sestavni kosi, ki jih moramo izdelati, so trije: sprožilec, odklopnik in udarno kladivce brez pripadajočih vzmeti. Ostali deli, potrebni za avtomatski ogenj, nas ne zanimajo. Poleg tega moramo narediti še imitacijo zaklepišča, v kateri bo mogoče opazovati delovanje mehanizma, saj bomo v samem zaklepišču omejeni le na pogled z zgornje strani mehanizma v puški. Kot referenco bomo uporabili polavtomatsko puško Saiga M3 EXP-01 ruskega proizvajalca Izmash.

3.2.1 SPROŽILEC

Po končanem merjenju dimenzij originalnega sprožilca in hitri skici za lažje oblikovanje model razdelimo na štiri glavne dele: levo stran, desno stran, spodnje-povezovalni mostiček in vzvod sprožilca.

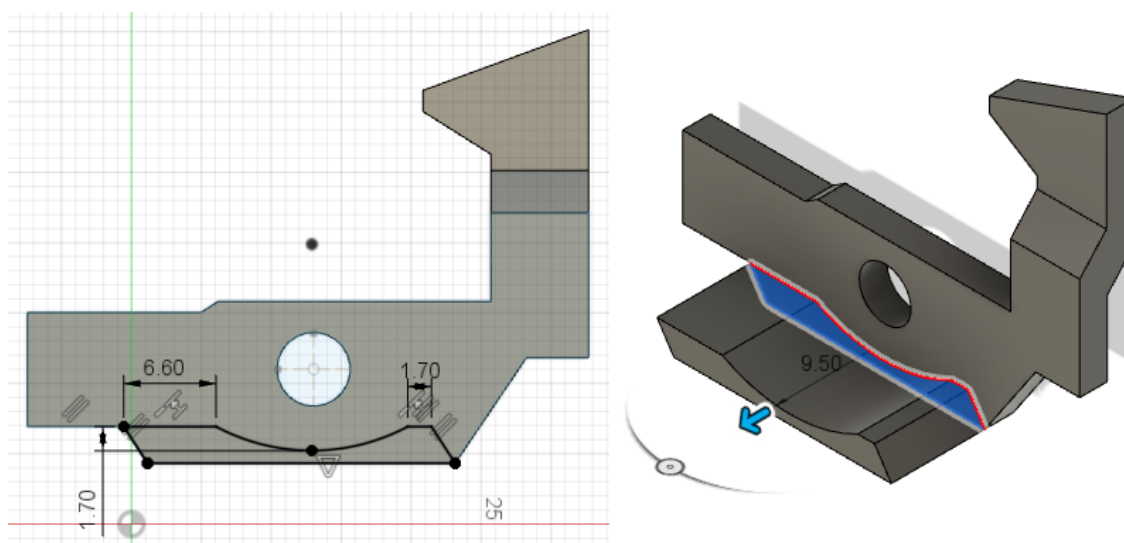
V programu Fusion 360 izberemo poljubno ravnino, narišemo grobo obliko in definiramo dimenzije. Skico nato z ukazom extrude izvlečemo na ustrezno širino. Na obstoječ element dodamo obris vzvoda, ki zadrži udarno kladivce v zadnjem položaju. Izvlečemo ga, da se dimenzijsko ujame z obstoječim delom. Nato ga

odrežemo pod odmerjenim kotom ter mu dodamo izboklino, na katero se ujame udarno kladivce.



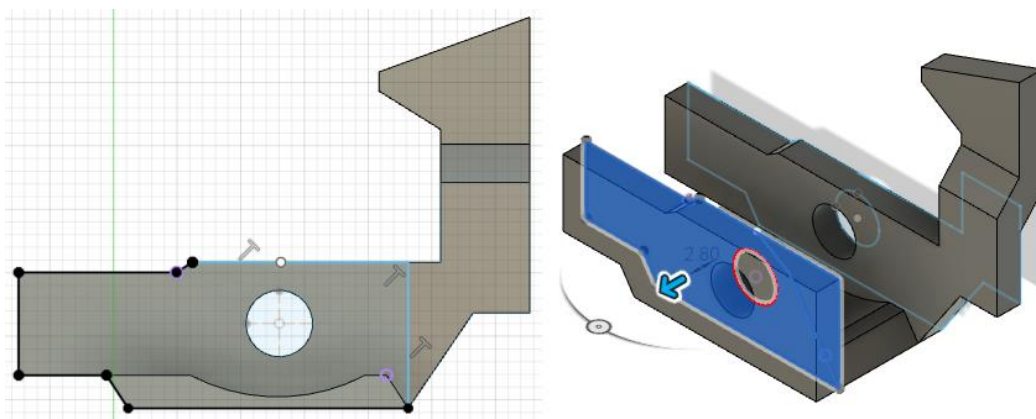
Slika 17: Izdelave leve strani sprožilca
(Lastni vir)

Na notranjost leve polovice narišemo skico povezovalnega mostička. Z ukazom extrude jo razširimo na odmerjeno širino.



Slika 18: Izdelava povezovalnega mostička
(Lastni vir)

Glede na to, da je desna stran podobna levi, brez zadrževala udarnega kladivca, na desni ploskvi povezovalnega mostička naredimo novo skico in si pomagamo z ukazom project, da nam ni treba še enkrat vnašati vseh dimenzij. Zaključimo jo z dodatnimi linijami in izvlečemo na željeno širino.

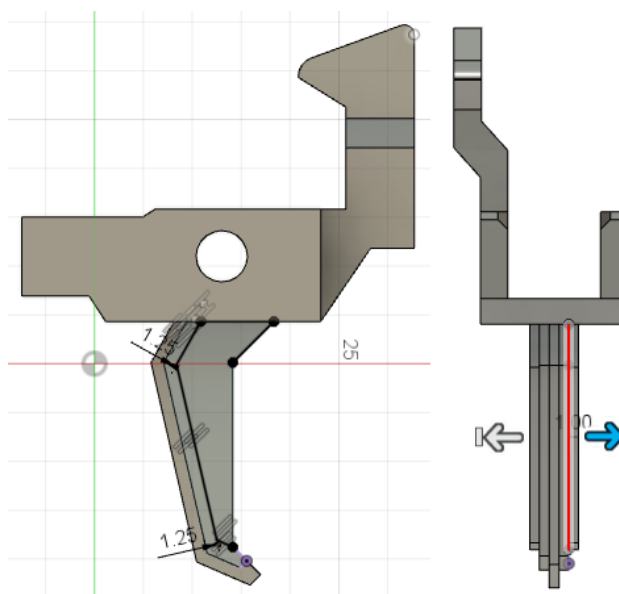


Slika 19: Izdelava desne strani sprožilca
(Lastni vir)

Ostane nam vzvod sprožilca. Tega lahko takoj oblikujemo v željeno obliko, upoštevati moramo le višino do branika sprožilca. Na sredino modela postavimo novo ravnino, za referenci uporabimo notranje površine leve in desne strani. Orišemo vzvod sprožilca in ga simetrično izvlečemo na obe strani.

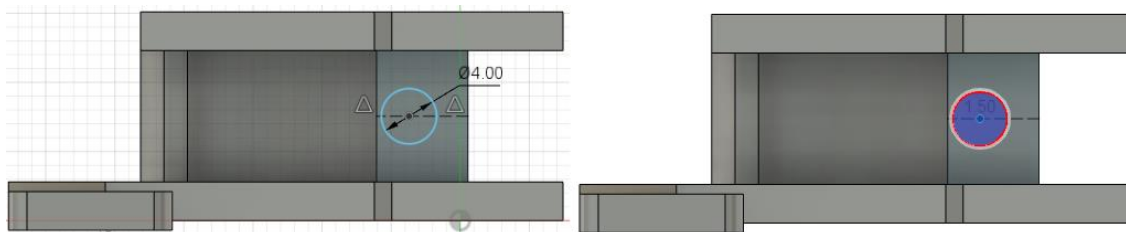
Nato začnemo novo skico na prej ustvarjeni ploskvi in s funkcijo offset že obstoječe linije kopiramo in zamaknemo v notranjost ter jih zaključimo z novimi. Obrisi ekstrudiramo obojestransko.

Ta korak ponovimo še enkrat. Izberemo sprednjo ploskev vzvoda, nanj narišemo obris naslona za prst in ga izvlečemo, nato odzhamemo odvečni material, ki je nastal pri ekstrudiranju.



Slika 20: Izdelava vzvoda sprožilca
(Lastni vir)

Na zgornjo stran povezovalnega mostička orišemo luknjo za vzmet odklopnika in jo dokončamo s funkcijo extrude.



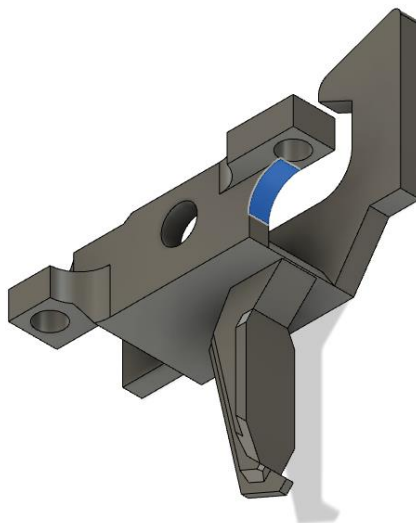
Slika 21: Izdelava luknje za vzmet odklopnika
(Lastni vir)

Kopija sprožilca je izdelana, sedaj se lotimo mehanizmov za nastavljanje predhoda in preleta. Edina možnost dostopa do mehanizma je od zgoraj, zato moramo sistem narediti tako, da se bo dala z zgornje strani spreminjati lega nastavljivim blokadam. Za blokade bomo uporabili navojne zatiče z ugreznjeno šestrobno glavo in zaobljeno konico z navojem M4 x 0,7 mm, dolžine 5 mm. Enega bomo postavili na skrajno sprednjo stran, drugega pa na skrajno zadnjo stran levega dela. S sprednjim se bo omejevalo prelet, z zadnjim pa predhod sprožilca (mogoče raje v tiskanju z metodo FDM).

Sprednji rob leve strani zgoraj podaljšamo in odebelimo. Z vrhnje strani ustvarimo luknjo s premerom 4 mm.

Spodnjemu zadnjemu robu leve strani dodamo pravokotno obliko. Z vrhnje strani ustvarimo luknjo s premerom 4 mm.

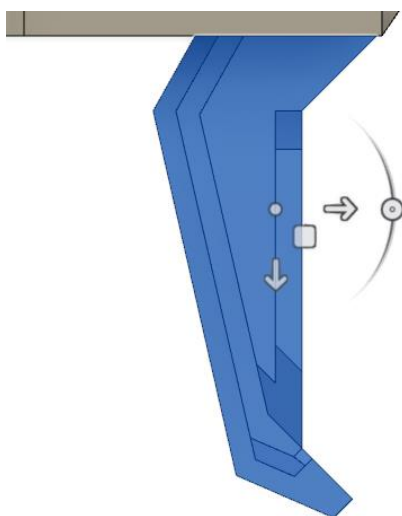
Na novo ustvarjenih dodelavah ostre prehode zaobljimo s funkcijo fillet z namenom lažje proizvodnje. Pri zadnji luknji s funkcijo press/pull odvezamemo še malo mesa steni desne polovice za lažje vstavljanje navojnega zatiča.



Slika 22: Uporaba funkcije fillet
(Lastni vir)

Že med samo izdelavo sprožilca smo ugotovili, da je zgornji zamik vzvoda, ki zadržuje udarno klavico, brezsmiseln. Verjetno je originalno bil zasnovan zaradi večje zračnosti med udarnim klavicom in sprožilcem v primeru prisotnosti nečistoč v sprožilnem mehanizmu. Ker izdelujemo sprožilni mehanizem za športno streljanje, kjer so pogoji puški veliko bolj prijazni, tega ne potrebujemo, prav tako pa se s tem izognemo nekaj oblikovalnim potezam pri končni izdelavi iz jekla ter s tem prihranimo proizvodne stroške.

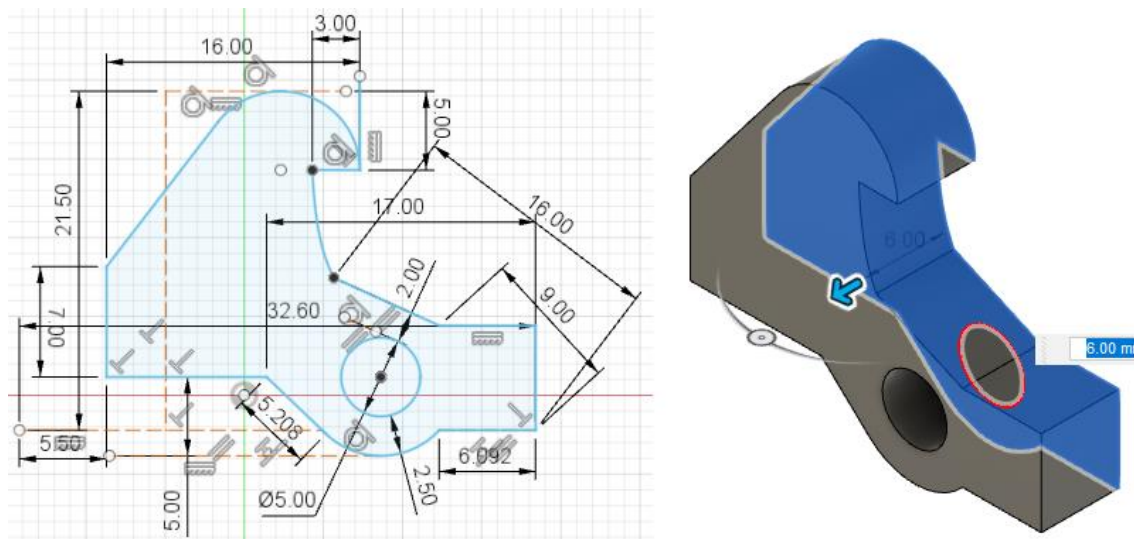
Po naročnikovem pregledu prototipa smo se zaradi ergonomije streljanja odločili, da sam vzvod sprožilca prestavimo skrajno naprej. Na spodnji ploskvi povezovalnega mostička ustvarimo novo površino in s funkcijo split body odrežemo vzvod sprožilca od ostalega. S funkcijo move ga premaknemo v skrajni sprednji položaj in s funkcijo combine ponovno spojimo v homogen kos.



Slika 23: Premik vzvoda sprožilca naprej
(Lastni vir)

3.2.2 ODKLOPNIK

S pomočjo izmerjenih dimenzij originalnega odklopnika narišemo skico na poljubno površino v programu Fusion 360. Ker zadnji del (repek) odklopnika služi avtomatskemu ognju, za nas ni pomemben in bi predstavljal le dodatne poteze stroja, zato ga ne prerinjemo in zaključimo zadnji del na bolj preprost način. Sprednji del izrišemo tako, da bo vanj možno vstaviti navojni zatič, s katerim se bo nastavljal položaj odklopa in s tem ponastavitve sprožilnega mehanizma. S funkcijo extrude izvlečemo model iz skice na izmerjeno širino.



Slika 24: Izdelava osnove odklopnika
(Lastni vir)

Originalni odklopnik v položaju na zatiču drži le vzmet odklopnika. Zaradi tega na odklopniku orišemo distančnike, jih s funkcijo extrude obojestransko izvlečemo na notranjo širino sprožilca z manjšo zračnostjo. S tem zagotovimo manjšo možnost premikanja levo in desno med streljanjem ter boljšo ponovljivost odklopa in ponastavitve sprožilca.

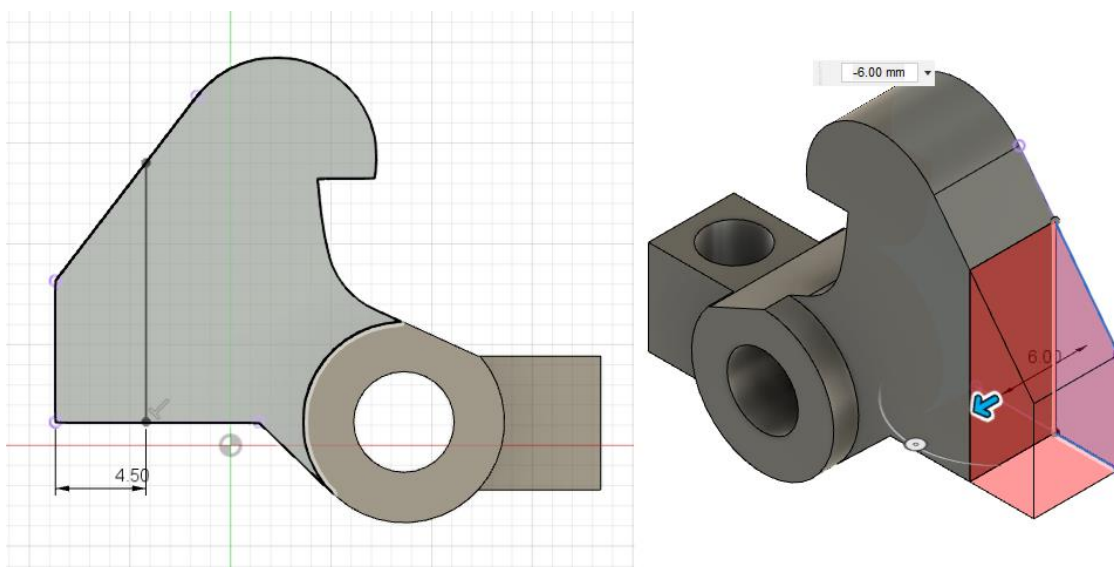
Luknjo za navojni zatič ustvarimo na sprednjem delu odklopnika. Z zgornje strani jo orišemo ter s funkcijo extrude izrežemo.

Luknjo za vzmet odklopnika naredimo na zadnji strani odklopnika. S spodnje strani jo orišemo in s funkcijo extrude izrežemo na izmerjeno globino.

S funkcijo fillet zaokrožimo prehod zadrževalnega vzvoda.

S funkcijo chamfer luknji za vzmet odklopnika naredimo konični ugrez za lažjo vstavitev vzmeti.

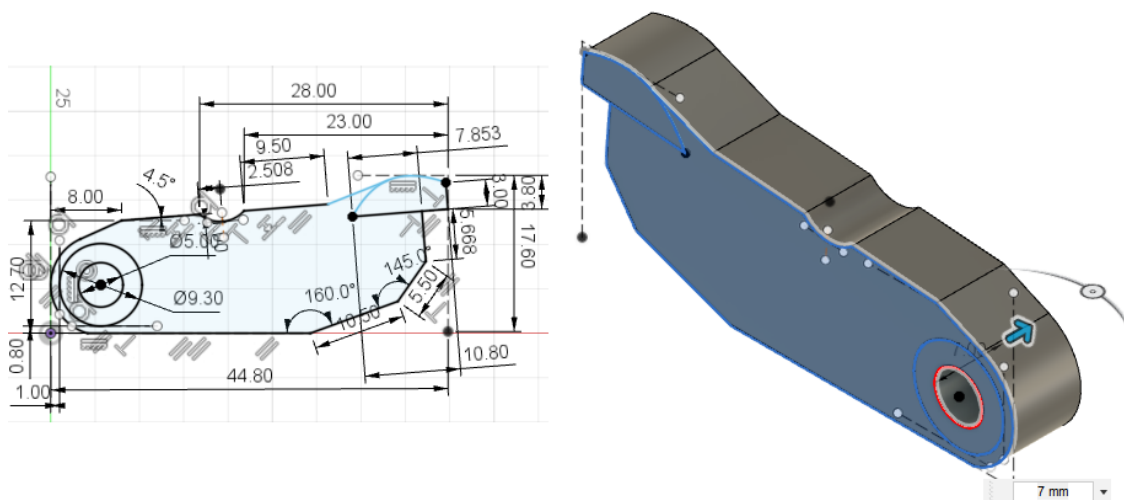
Zadnji del odklopnika je bil potreben za pozicioniranje luknje vzmeti odklopnika, vendar drugemu namenu ne služi, zato nanj narišemo novo skico in ga s funkcijo extrude odvezemo.



Slika 25: Rezanje zadnjega dela odklopnika
(Lastni vir)

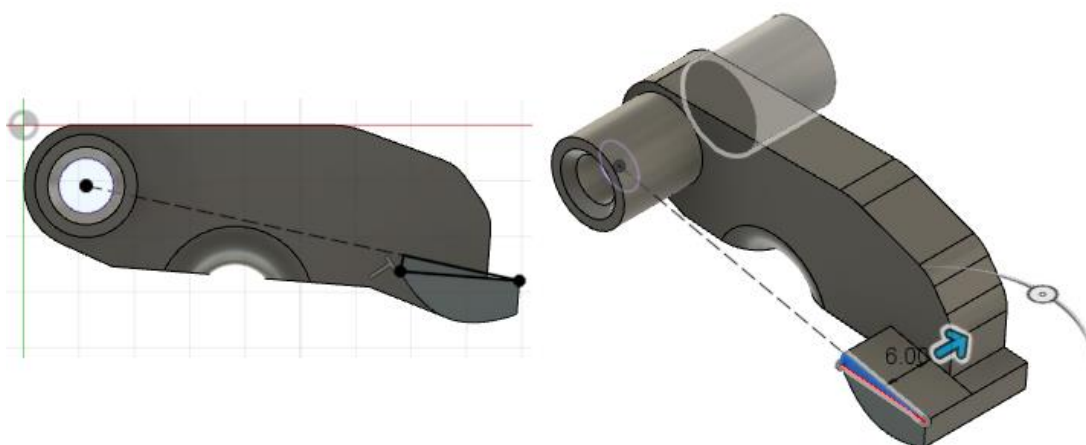
3.2.3 UDARNO KLADIVCE

Po izmerjenih dolžinah in kotih v programu Fusion 360 na poljubno ravnino narišemo skico stranskega profila udarnega kladivca.



Slika 26: Izdelava osnove udarnega klavivca
(Lastni vir)

S funkcijo extrude najprej izvlečemo telo klavivca na izmerjeno širino. Nato obojestransko izvlečemo distančnika, ki onemogočata premikanje klavivca v levo in desno smer med uporabo orožja. S funkcijo extrude izvlečemo še vnaprej orisano polico, ki vzvod sprožilca zadržuje pred strelom. Desnega dela police ne ustvarimo, saj je pomembna le za avtomatski ogenj. S funkcijo chamfer, na zunanjih ploskvah distančnikov, luknjo poglobimo pod kotom 45° za lažje vstavljanje zatiča. Polkrožni izrez za vzmet udarnega klavivca na spodnji strani zaobljimo s funkcijo fillet. Prav tako zaobljimo ostre prehode po dolžini udarnega klavivca. Ustvarimo novo skico na zunanjo ploskev police za udarno klavivce, ki jo za bolj gladko proženje poravnamo na center luknje zatiča udarnega klavivca in jo s funkcijo extrude izvlečemo do telesa.



Slika 27: Popravek police za sprožilec
(Lastni vir)

Ko smo prototip že natisnili in preizkusili, smo ugotovili, da lahko polico udarnega kladičca malce zožimo. Zaradi preglobokega stika z odklopnikom smo tudi zmanjšali polico, kamor se ta zapne.

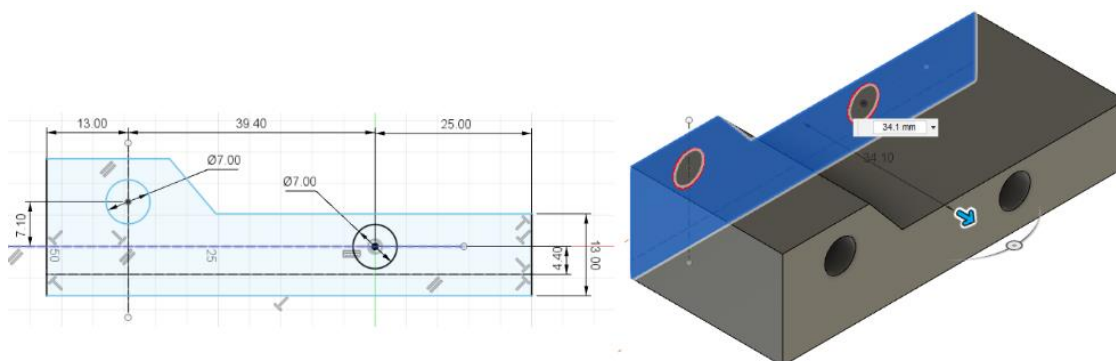


Slika 28: Zmanjšanje police za odklopnik
(Lastni vir)

3.2.4 IMITACIJA ZAKLEPIŠČA

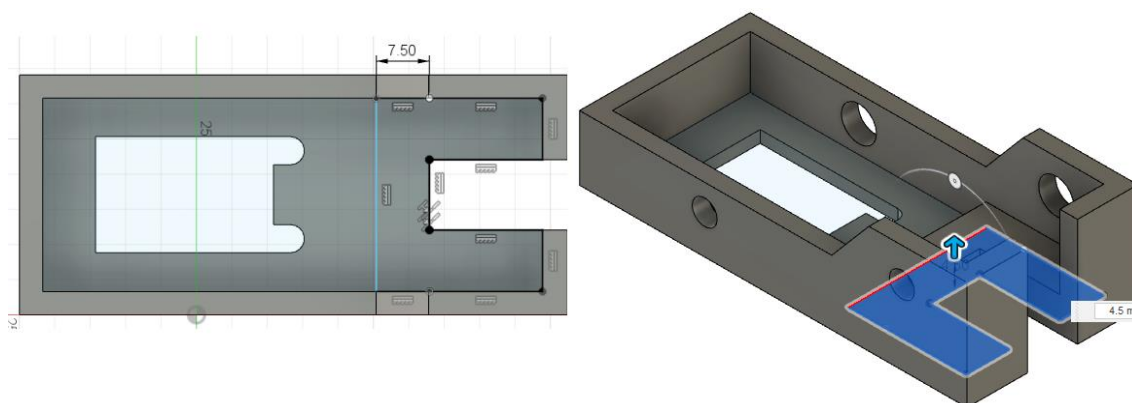
Imitacija zaklepišča nam bo služila pri opazovanju delovanja sprožilnega mehanizma, česar nam samo zaklepišče ne. Izdelati moramo le del zaklepišča, v katero prideta pritrjena zatiča sprožilca in udarnega kladičca ter spodnji izrez za sprožilec. Pomembna so tudi čim bolj točna razmerja med temi tremi lastnostmi zaklepišča.

V programu Fusion 360 izberemo poljubno ravnino. S konstrukcijskimi črtami zarišemo dno imitacije zaklepišča in srednjice izrezom za zatiča. Narišemo obris in določimo vrednosti. Skico s funkcijo extrude izvlečemo na širino zaklepišča. Na konstrukcijsko črto, ki smo jo določili za dno zaklepišča, dodamo novo ravnino. Na zgornjo stran narišemo pravokotnik in določimo debelino sten. S funkcijo extrude naredimo izrez v obe smeri – do vrha in do ravnine, ki nam predstavlja dno. Na dno zaklepišča orišemo luknjo za sprožilec, za referenco uporabimo srednjico luknje za zatič sprožilca in odklopnika. S funkcijo extrude jo izrežemo. Ker sta zatiča na koncih različnih dimenzij, na desni strani narišemo kroga manjših premerov in jih s funkcijo extrude dodamo že obstoječim luknjam. Na sprednjem delu imitacije zaklepišča orišemo izrez za udarno kladičca. S funkcijo extrude ga izrežemo.



Slika 29: Izdelava osnove imitacije zaklepišča
(Lastni vir)

Po prvem tiskanju smo ugotovili, da imitacija zaklepišča ni dovolj toga za prenašanje sil vzmeti. Prav tako smo ugotovili, da se vzmet udarnega kladiivca zatakne v izrez za udarno kladiivce. Zato na sprednji del z vrha orišemo ojačitev in jo ustvarimo s funkcijo extrude. Za zadostno zračnost okrog vzmeti udarnega kladiivca ustvarimo novo ravnino na polovici modela, nanjo pa orišemo krog. Za referenčno točko sredine kroga uporabimo središčno točko izreza za zatič udarnega kladiivca. S funkcijo extrude obojestransko odrežemo odvečni del modela. Za povečanje hoda vzmeti udarnega kladiivca, sprednjo stran zarez za udarno kladiivce obojestransko odrežemo pod kotom s funkcijo chamfer. Z vrhnje strani še orišemo utore za zadnja dela vzmeti udarnega kladiivca, ki prideta zapeta na sprožilec. S funkcijo extrude ju izrežemo in s funkcijo chamfer naredimo bolj položni. S funkcijo fillet, za boljšo strukturno integriteto, zaokrožimo še prehoda sprednje stene.



Slika 30: Dodajanje ojačitve imitaciji zaklepišča
(Lastni vir)

3.3 UPORABLJENA STROJNA OPREMA

Celotno modeliranje in pretvorbe modelov v g-kodo bo potekalo na osebнем računalniku.

Tiskanje prototipa z metodo FDM se bo izvedlo na doma sestavljenem odprtokodnem tiskalniku, čigar osnovne komponente izhajajo iz kompleta za tiskalnik Anet A8 (slika 31).

Tiskalnik nam omogoča tiskanje modelov z uporabo filameta premera 1,75 mm skozi 0,4 mm šobo. Ogrevano komoro je možno segreti do 260 °C. Delovno površino je možno segreti do 100 °C. Največja možna dimenzija tiska je 220 mm x 220 mm x 240 mm. Ekstrudirna glava se pomika po smereh X (levo, desno) ter Z (gor, dol). Osnovna plošča pa se na delovni plošči pomika na osi Y (naprej, nazaj). Pri tisku se uporablja ena ekstrudirna glava.



*Slika 31: Nadgrajen tiskalnik FDM Anet A8
(Lastni vir)*

Na tiskalniku so zamenjane sklopke na vretenih Z-osi s parkljastimi sklopkami z gumijastim blažilcem, kar pripomore h kakovosti tiska v smeri osi Z. Celoten akrilni okvir tiskalnika je zamenjan z okvirjem iz aluminijastih profilov. Dodano je elektronsko vezje z mosfet tranzistorjem, ki omogoča hitrejše ogrevanje osnovne plošče, prav tako pa preprečuje pregretje matične plošče. Osi X in Y sta nadgrajeni s kompozitnimi GT-2 zobatimi jermeni in napanjalci. Omenjeni jermeni so izredno trpežni in odporni na deformacijo, zato jih lahko bolj napnemo kakor gumijaste jermene. Višja napetost jermena pa pomeni manj nepravilnosti zaradi vibracij na zunanjih stenah natisnjene modela v smereh X in Y. Hitrejše in boljše ohlajanje ekstrudiranega termoplasta pa

zagotavlja 3D-natisnjena šoba. Na osnovni plošči je polimerna podlaga, ki zagotavlja dober oprijem začetnega sloja, hkrati pa omogoča tisk brez predhodnega segrevanja plošče.

Kot osnovni material bomo uporabili PLA, 1,75 mm filament proizvajalca Plastika Trček. Tiska se s temperaturo od 195 do 225 °C.

Tiskanje prototipa z metodo DLP se bo izvedlo s tiskalnikom Anycubic Photon (slika 32).

Tiskalnik tiska s projiciranjem ultravijolične svetlobe skozi LCD-zaslon in s tem strjuje tekoči fotopolimer. Vir svetlobe je LED-panel, ki oddaja ultravijolično svetlobo valovne dolžine 405 nm. Omogoča nam tiskanje modelov maksimalnih dimenzij 115 mm x 65 mm x 155 mm. Tiskalnik cel sloj tekočega fotopolimera obseva in strdi naenkrat, nato se osnovna plošča pomakne v smeri Z (gor), odlepi polizdelek s filma, ga spusti nazaj in obseva naslednji sloj.

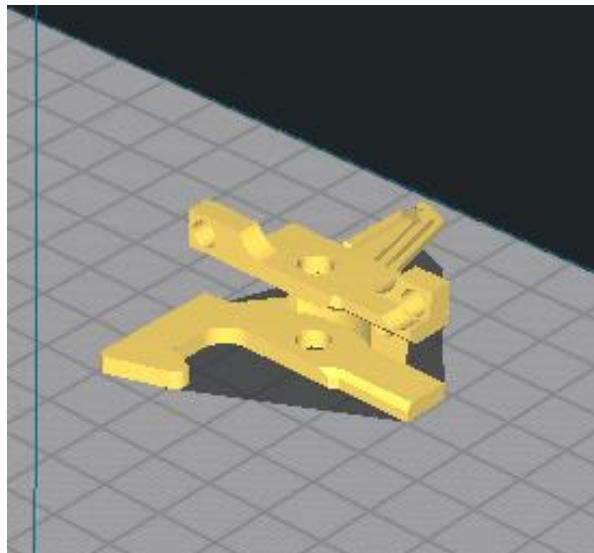


*Slika 32: Tiskalnik DLP Anycubic Photon
(Lastni vir)*

Kot osnovni material bomo uporabili Anycubicov tekoči fotopolimer za tiskanje s svetlobo valovne dolžine 405 nm. Priporočen čas obsevanja je 65–80 s pri prvih slojih ter 3–10 s pri tiskanju preostanka modela.

3.3.1 IZDELAVA Z METODO FDM

Program Fusion 360 nam s funkcijo 3D print omogoča neposredno pretvorbo izdelanega modela v 3D-model formata .stl. Ko ukaz potrdimo, se avtomatsko zažene program Cura 4.4, kjer je model v virtualnem delovnem prostoru.



Slika 33: Sprožilec v programu Fusion 360
(Lastni vir)

Pri orientaciji modela na osnovno ploščo moramo upoštevati, kako bodo nanj vplivale sile. V primeru udarnega klavivca, sprožilca in odklopnika bomo dele tiskali tako, da bodo plasti orientirane vzporedno na delovanje sil vzmeti. Pri imitaciji zaklepišča je to veliko težje izvedljivo, ker bi s tem potrebovali veliko podpornega materiala. Porabili bi veliko več osnovnega materiala, saj je model večji. Prav tako bi se zaradi dodatnih delovnih poti tiskal veliko dlje časa.

V programu določimo glavne parametre tiskanja. Za čim hitrejše tiskanje smo izbrali debelino slojev 0,2 mm. Za zagotavljanje višje trdnosti bomo prototip tiskali s tremi stenami in tremi sloji na vrhnji ter spodnji strani. K dodatni trdnosti bomo prispevali še s 40-% mrežno zapolnitvijo notranjosti prototipa. Ogrevano komoro nastavimo na 210 °C. Osnovne plošče ne bomo segrevali, saj nam polimerna podloga zagotavlja dober oprijem prve plasti. Hitrost pomika glave smo nastavili na 40 mm/s. Tiskali bomo s strukturnimi podporami 40-% zapolnitve. Pri tisku s termoplastom PLA je priporočljivo ekstrudiran material čim hitreje ohladiti, zato bomo tiskali s 100-% hitrostjo ventilatorja za hlajenje ekstrudiranega termoplasta.

Pred začetkom tiskanja filament vstavimo v ekstrudirno glavo. Z alkoholnim flomastrom na filamentu označimo razdaljo 150 mm od nje. Ogrevano komoro

segrejemo na delovno temperaturo in z ukazom v programu Cura 4.4 ekstrudiramo 100 mm filamenta. S kljunastim pomičnim merilom odmerimo, koliko materiala je bilo dejansko ekstrudiranega, ter po formuli izračunamo primerno nastavitev korakov ekstrudirnega koračnega motorja. S tem kalibriramo tiskalnik na izbrani filament.

Formula za kalibracijo tiskalnika: $koraki\ ekstruderja = \frac{stari\ koraki\ ekstruderja \times 100}{dolžina\ ekstrudiranega\ filamenta}$

Ko so parametri izbrani ter tiskalnik kalibriran, v programu Cura 4.4 izberemo funkcijo slice. Tiskalnik model razreže v sloje in te z izbranimi parametri pretvori v g-kodo. Shranimo jo na micro SD-kartico, ki jo vstavimo v režo osnovne plošče tiskalnika. Na tiskalniku se s tipkami pomaknemo po meniju do funkcije print from SD ter izberemo željeno g-kodo.

Tiskalnik začne z dvigom temperature ogrevalne komore na 210 °C. Ko jo doseže, se ekstrudirna glava pomakne na sprednji levi vogal osnovne plošče, kjer z ekstrudiranjem 20 mm filamenta šobo očisti in obriše. Tiskalnik začne tisk.

Po zaključenem tisku natisnjene modele odstranimo z osnovne plošče z rezilom noža za lepenko.

V postprocesiranju podporne strukture odstranimo s kleščami. Težje dostopne ali bolj sprijete podporne strukture pa porežemo z rezilom noža za lepenko in skalpeli. Ker so luknje za zatiče zaradi samega načina pretvorbe, izdelanega modela v formatu .stl, premajhne, jih s svedrom popravimo na prave dimenzije. Zaradi samih odstopanj pri tisku na tiskalniku FDM bo natisnjena luknja manjša, navoj pa se bo vrezal sam, ko bomo vanjo zavili navojni zatič.

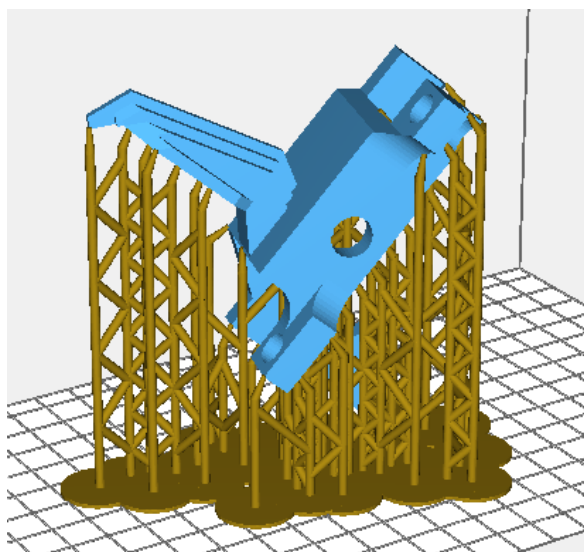


Slika 34: Izdelan funkcionalni prototip
(Lastni vir)

3.3.2 IZDELAVA Z METODO DLP

V programu Fusion 360 s funkcijo export modele izvozimo v format .stl. Izvoženo datoteko odpremo s programom Anycubic Photon Slicer 64.

Orientacija modelov pri tej metodi ni tako kritična, pomembno je le, da je vsak obsijani sloj čim manjši. Tako preprečimo, da bi se predmet med tiskom odlepil z osnovne plošče. Zato modelov ne postavljamo neposredno na osnovno ploščo, temveč jih postavimo pod različnimi koti in dodamo opore.



Slika 35: Sprožilec s podporami v programu Anycubic Photon Slicer 64
(Lastni vir)

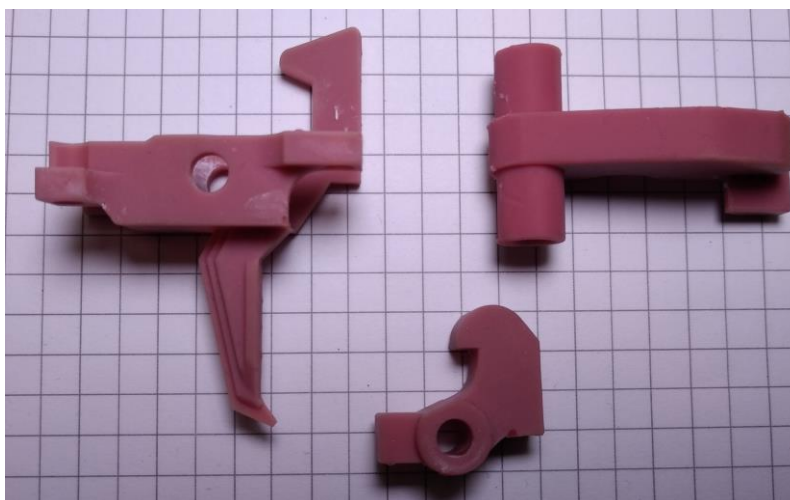
Debelino sloja nastavimo na 50 μm . Število prvih slojev nastavimo na 5 in jim določimo čas izpostavljenosti 70 s. Čas izpostavljenosti ostalih slojev nastavimo na 10 s.

Po postavitvi modelov in nastavitvi parametrov v programu izberemo funkcijo slice. Program modele pretvori v g-kodo, ki jo shranimo na USB-ključ. Tega vtaknemo v odprtino na tiskalniku.

Pred samim začetkom tiska si nadenemo nitrilne rokavice, zaščitno masko in zaščitna očala. V kad nalijemo tekoč ftopolimer in zapremo pokrov. Na ekranu, občutljivem na dotik, izberemo funkcijo print, poiščemo željen model in pritisnemo print.

Po končanem tisku z zaščitno opremo odpremo tiskalnik in snamemo osnovno ploščo. S plastičnim strgalom ločimo prototip s plošče in ga vržemo v posodo z izopropanolom. Posodo malce pretresemo in povrtimo, da ostanki tekočega ftopolimera odstopijo s prototipa. Podpore odlomimo z rokami ter model odnesemo na sončno svetlobo, kjer poteka zadnja faza utrjevanja.

Po končanem utrjevanju luknje za zatiče s svedrom popravimo na želeno dimenzijo.



Slika 36: Izdelan prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti
(Lastni vir)

3.3 OPIS PROTOTIPOV

Sam prototip temelji na originalnem sprožilnem mehanizmu s popravki in novimi dodanimi funkcijami.

Naslon za prst na sprožilcu smo izdelali tako, da je površina, ki pride v stik s prstom, ravna in pravokotna na zaklepišče. Vzvod je tudi premaknjen do skrajne sprednje točke. Na desnem robu sprožilca sta dve luknji za navoja zatiča z navoji M4 x 0,70, dolžine 5 mm. S sprednjim nastavljam predhod sprožilca. Z zavijanjem v desno smer krajšamo predhod, z zavijanjem v levo ga daljšamo. Z zadnjim zatičem nastavljam njegov prelet. Z zavijanjem v desno prelet krajšamo, v levo ga daljšamo.

Odklopniku smo odvzeli vso geometrijo, ki služi avtomatskemu ognju. Na sprednji strani smo ustvarili luknjo za navojni zatič z navojem M4 x 0,70, dolžine 8 mm. Z zavijanjem zatiča v desno krajšamo razdaljo poti sprožilca do odklopa, z zavijanjem v levo jo daljšamo.

Udarnemu kladivcu smo spremenili kot naležne površine vzvoda sprožilca za bolj gladko proženje. Na desni strani smo odvzeli desno stran police, ki se zapne za vzvod sprožilca.

Ustvarili smo imitacijo dela zaklepišča, v katero lahko z zatiči vpneemo sprožilni mehanizem in opazujemo njegovo delovanje.

Izdelali smo dve različici. Z metodo FDM smo ustvarili funkcionalni prototip, ki je dovolj močan, da prenese obremenitve vzmeti. Pri tem prototipu tudi lahko pritiskamo na

sprožilec in opazujemo delovanje vseh delov kot celote ter spreminjamo nastavitve lastnosti sprožilnega mehanizma. Z metodo DLP smo ustvarili še dodaten prototip. Ta prototip je namenjen preverjanju dimenzijskih skladnosti pri različnih proizvajalcih in modelih pušk. Dimenzijsko je zelo dober približek originalnim komponentam, vendar je neuporaben kot funkcionalni prototip, saj pod napetostjo vzmeti pride do porušitve strukturne integritete materiala.



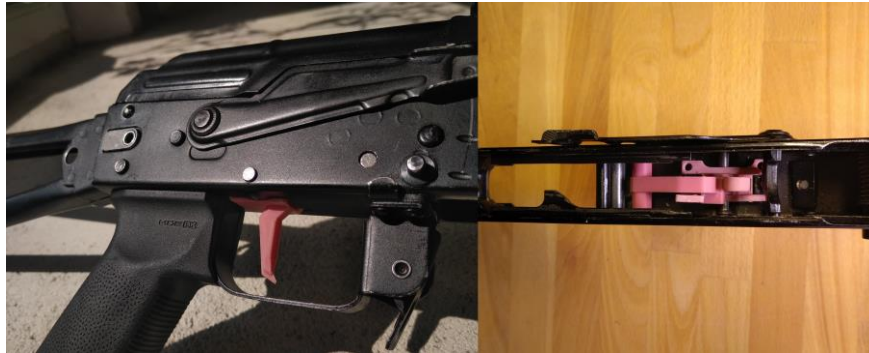
Slika 37: Sprožilni mehanizem v imitaciji zaklepišča
(Lastni vir)

3.4 ANALIZA PROTOTIPA

Oba prototipa smo dimenzijsko preverili v več puškah različnih proizvajalcev in modelov. Ugotovili smo, da je prototip združljiv z vsemi testnimi puškami. Ugotovili smo tudi, da je funkcionalni prototip, izdelan z metodo FDM, združljiv z vsemi puškami, v katerih smo preizkušali združljivost s sprožilnim mehanizmom. To nam je omogočilo preverjanje funkcionalnosti v samih puškah. V tem primeru bi lahko rekli, da je bilo tiskanje z metodo DLP odveč, vendar imamo sedaj na voljo lep približek izdelka, ki se bo kasneje izdelal iz jekla.



Slika 38: Funkcionalni prototip v puški Zastava M70A1
(Lastni vir)



*Slika 39: Prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti v puški Tula AKS74-U
(Lastni vir)*

Združljivost smo preverjali na šestih različnih puškah, rezultati so prikazani v tabeli 1:

Proizvajalec	Model	Država porekla	Kaliber	Vrsta orožja	Prvotni namen	Kompatibilnost FDM prototipa	Kompatibilnost DLP prototipa
Izmash	Saiga M3 EXP-01	Rusija	5,56x39 mm	Polavtomatska puška z risano cevjo	Civilna puška	Da	Da
Tula	AKS-74U	Rusija	5,45x39 mm	Polavtomatska puška z risano cevjo	Brzostrelka	Da	Da
SDM	AK-103	Kitajska	7,62x39	Polavtomatska puška z risano cevjo	Civilna puška	Da	Da
Zastava	M70 AB2	Jugoslavija	7,62x39	Polavtomatska puška z risano cevjo	Jurišna puška	Da	Da
Zastava	M70 A1	Jugoslavija	7,62x39	Polavtomatska puška z risano cevjo	Jurišna puška	Da	Da
Zastava	M92	Jugoslavija	7,62x39	Polavtomatska puška z risano cevjo	Civilna puška	Da	Da

Tabela 1: Združljivost natisnjenih prototipov s puškami
(Lastni vir)

Pri samem proženju smo izmerili razdalje hodov sprožilca z originalnim sprožilnim mehanizmom (na puški Saiga M3 EXP-01) ter razdalje hodov na prototipu. Za merjenje hodov smo uporabili navadno merilo z ničlo postavljeno, na sprednji rob naslona za prst.

	Take up	Odklop	Skrajni zadnji položaj	Ponastavitev
Tovarniški sprožilni mehanizem	4 mm	7 mm	12 mm	5 mm (7mm preleta)
Nastavljiv sprožilni mehanizem	2 - 4 mm	3 - 7 mm	5 - 12 mm	4 - 5 mm (1 - 7 mm preleta)

Tabela 2: Razdalje hodov na tovarniškem in natisnjem sprožilcu
(Lastni vir)

S tabele 2 lahko razberemo, da nam je uspelo zmanjšati hode vseh glavnih lastnosti, ki strelcu omogočajo hitrejše zaporedno streljanje. Z odvitjem navojnih zatičev do konca v levo se natisnjeni sprožilni mehanizem začne obnašati kot tovarniški.

4 ZAKLJUČEK

Prototipa sprožilnega mehanizma smo izdelali v programu Fusion 360 po postopku reverznega inženiringa tovarniškega mehanizma. Za pretvorbo modela v g-kodo smo uporabili program Cura 4.4. Natisnili smo funkcionalni prototip ter prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti. Funkcionalni prototip je bil natisnjen z metodo FDM na tiskalniku, katerega osnova je anet A8. Prototip za preverjanje dimenzijske skladnosti smo natisnili na tiskalniku DLP Anycubic Photon.

Za nastavljanje ključnih lastnosti sprožilnega mehanizma med proženjem smo uporabili navojne zatiče kot omejevalca hoda.

Ko smo izdelali funkcionalni prototip in opazili napake, smo te odpravili v programu Fusion 360 in ga ponovno natisnili. Upoštevali smo tudi želje naročnika.

Oba prototipa smo funkcionalno in dimenzijsko preverili v puškah različnih proizvajalcev in modelov.

Ugotovili smo, da je kljub slabši dimenzijski točnosti model, natisnjen z metodo FDM, združljiv z vsemi preizkušenimi puškami.

Izmerili smo hode tovarniškega sprožilca in funkcionalnega prototipa ter dobljene rezultate primerjali.

Ugotovili smo, da se hode sprožilnega mehanizma da nadaljevati, kot je bilo predpostavljeno. Pri športnem streljanju je možnost teh nastavitvev ključnega pomena in nam s skrajšanjem časa med proženjem pripomore pri izboljšanju rezultata tekme. 3D-natisnjen prototip deluje, kot smo si zaželeli. Naslednji korak bo izdelava jeklenega prototipa in kasneje naročilo prve serije.

5 LITERATURA IN VIRI

Ferrari S. (2016). Trigger Definitions: Take-Up, Creep, Break, Overtravel, Reset, etc. Pridobljeno 8.1.2020 z naslova: <https://www.realgunreviews.com/trigger-definitions-take-up-creep-break-overtravel-reset/>

Fromlabs: SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers (b.d.). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://formlabs.com/blog/3d-printing-technology-comparison-sla-dlp/>

Muck T. in Križanovskij I. (2015). 3D-TISK. Ljubljana: Pasadena. ISBN: 978-961-6661-69-0.

Rayna, T. in Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. Technological forecasting and social change, vol.102, 214-224. Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://www.sciencedirect-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/science/article/pii/S0040162515002425>

Wikipedia: Trigger (firearms). (b.d.). Pridobljeno 3.11.2019 z naslova: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trigger_\(firearms\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Trigger_(firearms))

Yao, T., Deng, Z., Zhang, K., Li, S., (2019), A method to predict the ultimate tensile strength of 3D printing polylactic acid (PLA) materials with different printing orientations, Composites part B: Engeneering., vol 163, 393-402. pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://www.sciencedirect-com.nukweb.nuk.uni-lj.si/science/article/pii/S1359836818323035>

Zakon o orožju /ZORO-1-NPB3/ (2000). Uradni list RS, št. 85 (30.10.2009). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1440#>

Viri slik:

Vir slike: 3D Hubs: FDM 3D printing materials compared. (b.d.). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>

Vir slike: 3D Hubs: How does part orientation affect 3D print?. (b.d.). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-does-part-orientation-affect-3d-print/#importance>

Vir slike: Muck T. in Križanovskij I. (2015). 3D-TISK. Ljubljana: Pasadena. ISBN: 978-961-6661-69-0.

Vir slike: Antić K. in Kos R. (2019). Ministrstvo za notranje zadeve. Pridobljeno 6.11.2019 po spletni pošti.

Vir slike: Bonadarchuk V (2018). Quora. How can you turn a semi-auto AK.47 into a fully auto? Pridobljeno 8.1.2020 z naslova: <https://www.quora.com/How-can-you-turn-a-semi-auto-AK-47-into-a-fully-auto>

Vir slike: Weilin Cao: How Does Resin Based 3D Printer Work?. (b.d.). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>

Vir slike: Wow3Dprinter: Anet A8 3D Printer, Prusa i3 DIY. (b.d.). Pridobljeno 8.11.2019 z naslova: <https://wow3dprinter.com/products/anet-a8-3d-printer-prusa-i3-diy>

PRILOGE

Priloga 1: Soglasje za uporabo podatkov o podjetju v diplomski nalogi

Priloga 2: Odgovor Ministrstva za notranje zadeve