

Reverzno inženjerstvo i brza izrada prototipova

Kušec, Krunoslav

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Technical College in Bjelovar / Visoka tehnička škola u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:961160>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU

ZAVRŠNI RAD br: 09/MEH/2016

Reverzni inženjering i brza izrada prototipa

Krunoslav Kušec

Bjelovar, srpanj 2016

VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA U BJELOVARU

ZAVRŠNI RAD br: 09/MEH/2016

Reverzni inženjering i brza izrada prototipa

Krunoslav Kušec

Bjelovar, srpanj 2016



Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Kušec Krunoslav**

Datum: 06.05.2016.

Matični broj: 001010

JMBAG: 0314009971

Kolegij: **PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM**

Naslov rada (tema): **Reverzno inženjerstvo i brza izrada prototipova**

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**

zvanje: **viši predavač**

Članovi Povjerenstva za završni rad:

1. mr.sc. Stjepan Golubić, predsjednik
2. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., mentor
3. Božidar Hršak, mag.ing.mech., član

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 09/MEH/2016

U radu je potrebno opisati pojmove reverznog inženjerstva i brze izrade prototipova. Na primjeru kompleksne geometrije opisati razvoj proizvoda, 3D skeniranje i 3D mjerenja, reverzno inženjerstvo, CAD modeliranje, optimizaciju proizvodnog procesa, digitalnu proizvodnju, izraditi prototip 3D printanjem, pripremiti CNC izradu dijela i automatizirati izradu istoga.

Zadatak uručen: 06.05.2016.

Mentor: **Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.**



Zahvaljujem se svome mentoru Tomislavu Pavlicu, mag.ing.mech. na pomoći, korisnim savjetima i trudu pri izradi završnog rada.

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| Uvod..... | 2 |
| 1. Reverzni inženjering i brza izrada prototipa | 4 |
| 2. 3D printanje i skeniranje..... | 6 |
| 3. Modeliranje (Solid Works 2012)..... | 9 |
| 3.1 Modeliranje prednjeg dijela tijela puške..... | 9 |
| 3.2 Spajanje drške i tijela puške..... | 13 |
| 3.3 Skraćivanje puške na dužinu od 950 mm..... | 17 |
| 3.4 Izrada utora za okidač | 20 |
| 3.5 Izrada upuštenja na tijelu puške..... | 23 |
| 3.6 Logo VTŠBJ i tvrtke Subcraft..... | 26 |
| 3.7 Priprema modela za SoldiCAM..... | 28 |
| 4. SolidCAM 2012 | 39 |
| 4.1 Izrada trećeg djela puške | 39 |
| 4.2 Izrada drugog djela puške..... | 50 |
| 4.3 Izrada prvog djela puške..... | 51 |
| 4.4 Izrada ručke | 58 |
| 4.5 Preinake u G-kodu | 60 |
| 5. Korišteni CNC stroj..... | 63 |
| 5.1 Parametri korišteni pri obradi | 63 |
| 6. Zaključak..... | 65 |
| 7. Literatura | 66 |
| Sažetak..... | 67 |
| Abstract | 68 |
| Privitak..... | 71 |

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Prva verzija prihvata puške | 6 |
| Slika 2. Skenirani model..... | 7 |
| Slika 3. Druga verzija prihvata | 7 |
| Slika 4. MakerBot Replicator 2X | 8 |
| Slika 5. MakerBot Digitizer | 8 |
| Slika 6. 3D sken ručke i tijela..... | 9 |
| Slika 7. Rubna linija rupe | 10 |
| Slika 8. Centralna linija rupe | 10 |
| Slika 9. Izbornik alata <i>Boundary-Surface</i> | 11 |
| Slika 10. Odabir rubova..... | 11 |
| Slika 11. Alat <i>Lofted Boss/Base</i> | 12 |
| Slika 12. Rupa za osovinu | 12 |
| Slika 13. Izrada utora za vodilicu | 13 |
| Slika 14. Linija spoja između ručke i tijela | 14 |
| Slika 15. Izbornik alata <i>Boundary Boss/Base</i> | 14 |
| Slika 16. Drugo spajanje ručke i tijela..... | 15 |
| Slika 17. Izbornik alata <i>Boundary Boss/Base</i> kod drugog spajanja | 15 |
| Slika 18. Razdvajanje modela | 16 |
| Slika 19. Izrada utora za čepove na tijelima..... | 16 |
| Slika 20. Izrada čepova na ručki..... | 16 |
| Slika 21. Razdvajanje tijela puške..... | 17 |
| Slika 22. Izbornik alata <i>Split</i> | 18 |
| Slika 23. Skraćivanje srednjeg djela puške | 18 |
| Slika 24. Pomicanje srednjeg dijela tijela..... | 18 |
| Slika 25. Pomicanje zadnjeg dijela tijela..... | 19 |
| Slika 26. Izrezivanje spojeva | 19 |
| Slika 27. Spajanje dijelova tijela | 20 |
| Slika 28. Konture bočnih strana utora | 20 |
| Slika 29. Zatvaranje jednog dijela utora površinom..... | 20 |
| Slika 30. Zatvaranje drugog dijela utora | 21 |
| Slika 31. Rubovi gornjeg dijela utora..... | 21 |
| Slika 32. Zatvaranje gornjeg dijela utora površinom | 22 |

| | |
|---|----|
| Slika 33. Ispuna utora | 22 |
| Slika 34. Dimenzije okidača | 23 |
| Slika 35. Upuštanje za kvačicu okidača | 23 |
| Slika 36. Označavanje upuštenja za palac | 24 |
| Slika 37. Projiciranje linije na površinu | 24 |
| Slika 38. Brisanje površina | 25 |
| Slika 39. Udubljivanje površine | 26 |
| Slika 40. Ubacivanje loga tvrtke SubCraft | 27 |
| Slika 41. Izrada gravure na tijelu | 27 |
| Slika 42. Izrada loga VTSBJ | 28 |
| Slika 43. Izrada skraćenice Visoke tehničke škole u Bjelovaru | 28 |
| Slika 44. Simetrija cijele puške | 29 |
| Slika 45. Zrcaljenje puške | 29 |
| Slika 46. Ravnina simetrije | 30 |
| Slika 47. Okvir ručke | 30 |
| Slika 48. Trnovi ručke | 31 |
| Slika 49. Sirovac tijela bočnim pogledom | 31 |
| Slika 50. Sirovac tijela pogledom odozgo | 32 |
| Slika 51. Dimenzije trna sa zadnje strane | 32 |
| Slika 52. Dimenzije trnova s prednje strane | 33 |
| Slika 53. Podjela puške | 33 |
| Slika 54. Dimenzije utora za centriranje | 34 |
| Slika 55. Dimenzije okvira prvog dijela | 34 |
| Slika 56. Drugi trn prvog dijela | 34 |
| Slika 57. Dimenzije okvira drugog dijela | 35 |
| Slika 58. Trnovi prednje strane drugog dijela | 35 |
| Slika 59. Trnovi zadnje strane drugog dijela | 36 |
| Slika 60. Okvir trećeg dijela | 36 |
| Slika 61. Trn trećeg dijela | 36 |
| Slika 62. Granice alata prvog dijela | 37 |
| Slika 63. Granice alata trećeg dijela | 38 |
| Slika 64. Definiranje novog modela u SolidCAM-u | 39 |
| Slika 65. Biranje posprocesora | 40 |
| Slika 66. Biranje nultočke | 40 |

| | |
|---|----|
| Slika 67. Definiranje ravnina..... | 41 |
| Slika 68. Prikaz novodefiniranog koordinatnog sustava | 41 |
| Slika 69. Definiranje sirovca | 41 |
| Slika 70. Definiranje objekta obrade | 42 |
| Slika 71. Prozor HSR obrade..... | 43 |
| Slika 72. Definiranje alata | 43 |
| Slika 73. Režimi obrade | 44 |
| Slika 74. Definiranje granica obrade | 44 |
| Slika 75. Definiranje prolaza alata | 45 |
| Slika 76. Postavljanje sigurnosnih ravnina..... | 46 |
| Slika 77. Simulacija obrade | 46 |
| Slika 78. Granice alata dodatne obrade | 47 |
| Slika 79. Granice alata kod trećeg dijela | 48 |
| Slika 80. Prozor HSM obrade..... | 48 |
| Slika 81. Granice alata fine obrade..... | 49 |
| Slika 82. Rezultat simulacije trećeg dijela..... | 49 |
| Slika 83. Izrađeni treći dio tijela..... | 50 |
| Slika 84. Rezultat simulacije drugog dijela | 50 |
| Slika 85. Izrađeni drugi dio tijela | 51 |
| Slika 86. Obrade prvog dijela..... | 52 |
| Slika 87. Granice alata utora okidača | 52 |
| Slika 88. Granice alata dodatne obrade čepova za spajanje i utora okidača | 53 |
| Slika 89. Prozor alata za graviranje | 53 |
| Slika 90. Granice alata za graviranje skraćeniice VTŠBJ | 54 |
| Slika 91. Definiranje dubine graviranje..... | 54 |
| Slika 92. Tehnologija graviranja | 55 |
| Slika 93. Granice alata kod graviranja loga tvrtke SubCraft..... | 55 |
| Slika 94. Putanja alata centrom konture | 56 |
| Slika 95. Putanja alata s desne strane | 56 |
| Slika 96. Rezultat simulacije prvog dijela | 57 |
| Slika 97. Izrađeni prvi dio tijela | 57 |
| Slika 98. Obrada ručke | 58 |
| Slika 99. Granice alata s prve strane..... | 58 |
| Slika 100. Granice alata s druge strane | 59 |

| | |
|---|----|
| Slika 101. Granice alata kod fine obrade..... | 59 |
| Slika 102. Rezultat simulacije ručke | 60 |
| Slika 103. Izrađena ručka | 60 |
| Slika 104. Gotovi proizvod..... | 60 |
| Slika 105. Prikaz korištenih alata | 64 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tabela 1 :Radni prostor stroja | 63 |
| Tabela 2. Dimenzije radnog stola | 63 |
| Tabela 3. Parametri obrade | 63 |
| Tabela 4. Vrijeme obrade | 64 |

Popis oznaka

STL - standardni mozaički jezik (eng. Standard Tessellation Language)

CAD - dizajn potpomognut računalom (eng. *Computer-Aided Design*)

HSR - brza gruba obrada (eng. *High Speed Roughing*)

HSM - visokobrzinska obrada (eng. *High Speed Machining*)

CAM - proizvodnja potpomognuta računalom (eng. *Computer-Aided Manufacturing*)

FDM - modeliranje taloženjem (eng. *Fused Deposition Modeling*)

G - pripremna funkcija koja najčešće određuje vrstu gibanja (brzo, sporo, kružno...)

M – pomoćne funkcije, najčešće za funkcije stroja

Uvod

Tema ovoga rada su metode i postupci u procesu razvoja novih proizvoda. Na početku procesa razvoja svakoga novog proizvoda stoji ideja. Dobra ideja je ključni segment svakog novog proizvoda. Međutim, između ideje i gotovog proizvoda stoji mnogo posla. U radu su opisani korišteni osnovni aditivni postupci (FDM tehnologija 3D printanja i lasersko 3D skeniranje), kao i programski alati potrebni za izradu vlastitih modela. Za 3D modeliranje je korišten programski CAD alat Solidworks [1]. Za programiranje, tj. generiranje G-koda je korišten programski CAM alat Solidcam [2], [3]. Korišten je postprocesor razvijen na Visokoj tehničkoj školi u Bjelovaru (veza između Solidcam-a i CNC upravljačke jedinice Siemens Sinumerik 840 Dsl) [4]. Gotovi prototip proizvoda je izrađen na tro-osnoj CNC glodalici (izrađenoj na Visokoj tehničkoj školi u Bjelovaru) [5], [6]. U radu je naglasak stavljen i na korišteni 3D printer MakerBot Replicator 2x i korišteni 3D skener MakerBot Digitizer [7]. Od programskih alata, koji su neizostavni dio aditivnih tehnologija, u ovome se radu spominju korišteni programski alati MakerBot Desktop, MakerWare for Digitizer i Autodesk Meshmixer [8].

Razvoj i proizvodnja prototipa puške za podvodni ribolov je krenula nakon što se direktor tvrtke SubCraft [9] gospodin Daniel Pintarić obratio tvrtci Siemens d.d. u Zagrebu, za pomoć oko razvoja prototipa. Kako je Visoka tehnička škola u Bjelovaru 2015. godine postala licencirani Siemens-ov partner [10] za obuku na Siemens Sinumerik upravljačkim CNC jedinicama, stigao je upit za suradnju. Studentski poduzetničko-tehnološki inkubator VTŠBJ je prihvatio uvjete koji su bili zahtijevani, a odnosili su se na usluge 3D modeliranja, izradu probnih prototipova korištenjem aditivnih tehnologija (3D skeniranje i 3D printanje), CNC programiranja i konačno, CNC simultanog 3-osnog glodanja. Sa ciljem uključivanja studenata u realni sektor, a prema [10], [11], [12], krenulo se u razvoj. Dobivena su dva skenirana dijela puške - to su bili tijelo puške i ručka [9]. Zahtjevi kod modeliranja su bili: spajanje ručke i tijela, poboljšanje ergonomije, izrada utora za vodilice, promjena utora za novu vrstu okidača i graviranje loga tvrtke SubCraft. Kod ovog projekta dolaze do izražaja tehnologije 3D printanja gdje se prije same izrade puške neki dijelovi (konkretno ergonomija ručke) isprinta i provjeri da li odgovara željenoj (zahtijevanoj) ergonomiji. Problem kod zahtjeva ergonomije je što su sve površine kompleksne i nije moguće mjeriti tradicionalnim metodama. Kod brze izrade prototipova koristi se 3D printer, kojem, kada se uspoređuje s CNC strojem, vrijeme rada i nije toliko različito. Brzina izrade na 3D printeru je u tome što se gotovi 3D model lako priprema za

rad. Model iz programskog alata SolidWorks se prebacuje u format *.stl koji čita 3D printer. I vrijeme postavljanja postavki u programskom alatu MakerBot, koji dolazi sa 3D printerom MakerBot Replikator 2X, traje relativno kratko. Kod izrade prototipa na CNC stroju priprema obratka za obradu uzima višestruko više vremena od vremena same izrade. Od velike je koristi izraditi virtualnu verifikaciju u korištenim programskim CAD/CAM alatima SolidWorks/SolidCAM i osmisliti tehnologiju graničenja i stezanja predmeta obrade na samom stroju [13].

Postupak reverznog inženjerstva, na primjeru puške za podvodni ribolov, tekao je ovako:

1. pažljivo saslušati želje investitora i upozoriti ga na eventualna ograničenja
2. detaljno razmotriti dostupan proizvod koji zahtijeva poboljšanja i preinake
3. postupkom 3D skeniranja dobiti oblak točaka skeniranoga proizvoda
4. pretvoriti ga u prihvatljivi 3D CAD model proizvoda, i eventualno ga doraditi
5. u CAM programskome alatu potrebno je isprogramirati strojnu obradu i generirati G-kod
6. odabrati pravilna glodala i materijal sirovca
7. na tro-osnoj CNC glodalici Visoke tehničke škole u Bjelovaru izraditi prototip
8. usporediti, i prema potrebi, korigirati dobiveni proizvod u odnosu na originalni
9. dobiveni G-kod prilagoditi 4-osnoj CNC glodalici koju posjeduje investitor
10. parametrirati stroj investitora i izraditi probni komad
11. educirati investitora o detaljima njegova CAD/CAM/CNC lanca koji će koristiti
12. započeti proizvodnju

1. Reverzni inženjering i brza izrada prototipa

Prije izrade eksperimentalnog dijela rada objašnjeni su postupci pomoću kojih su modeli izrađeni. Objašnjen je rad u programskih alatima Solidworks, SolidCAM, Autodesk Meshmixer, Makerbot Desktop, Makerbot Digitizer, koji su korišteni pri razvoju tih modela. Reverzno ili povratno inženjerstvo je postupak rekonstrukcije gotovog proizvoda iz kojeg se mogu proizvesti novi proizvodi, što znači rekonstrukcija gotovog fizičkog proizvoda. Reverzni inženjering kreće s gotovim proizvodom za razliku od klasičnog koji kreće od abstraktne ideje, razradi ideje i transformacija ideje u konačan proizvod. Fizički objekt se u reverznom inženjeringu kroz proces 3D digitalizacije prevodi u CAD model. Objekt se skenira 3D skenerom koji kao rezultat daje digitalni zapis prostornih točaka kroz „oblak“ točaka. Takav oblak točaka mora se filtrirati zbog niza grešaka u skeniranju. Nakon filtriranja dobiva se STL datoteka koja se otvara u nekom CAD softveru. Razlozi zbog kojih se provodi reverzno inženjerstvo: ponovna izrada dijelova za koje ne postoje tehnička dokumentacija, rekonstrukcije i analiza konkurentskih proizvoda zbog preoblikovanja i poboljšanja proizvoda, izrada implantanata prilagođenih određenom korisniku, digitalno arhiviranje, izrada CAD modela iz glinenih prototipova itd. Takav način povratnog inženjerstva uvelike smanjuje i olakšava posao. Modeliranje složenih geometrija zahtjeva puno vremena i jako dobro poznavanje CAD softvera. Cijeli proces je lakši, brži, a samim tim i puno jeftiniji.

Brza izrada prototipova podrazumijeva niz tehnika pomoću kojih se izrađuju trodimenzionalni modeli složenih oblika korištenjem CAD softvera i bez korištenja alata. Kao ulaz u sustav za proizvodnju prototipa je skenirani predmet kojemu se oblik mijenja nekim od CAD softvera reverzibilnim inženjeringom. Takav model iz softvera se konvertira u STL datoteku što je standardni format koji se koristi za brzu izradu prototipa, a sastoji se od trodimenzionalne površine koja je skup planarnih trokuta. Takva STL datoteka se šalje na 3D printanje gdje je uvelike smanjeno vrijeme izrade prototipa. Svrha ovakvog načina proizvodnje prototipa je procjena oblika i dimenzija, određivanje funkcionalnosti, određivanje ergonomije, izrada uzoraka za kupca, proizvodnja u marketinške svrhe i razna testiranja. Iako se smanjuje vrijeme izrade samog prototipa u odnosu na izradu na konvencionalnim strojevima, kod ovakve izrade postoje veća odstupanja u dimenzijama, obliku, hrapavosti površine i kvaliteti materijala.

Konkretno u ovom radu će biti opisan primjer reverznog inženjeringa i brze izrade prototipa na primjeru puške za podvodni ribolov. Na pušci su potrebne preinake koje su vezane za ergonomiju drške, izrada utora za okidač i izrada utora za vodilicu.

2. 3D printanje i skeniranje

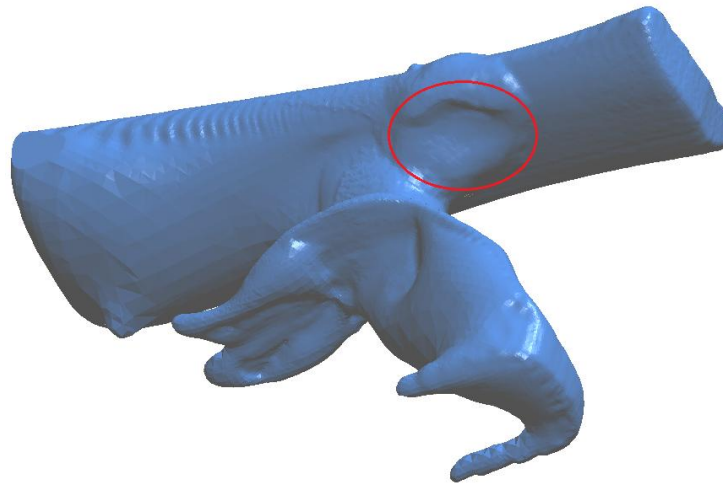
Nakon modeliranja potrebno je isprintati neke dijelove puške. Najpogodniji dio za printanje je sklop ručke i jedan dio prvog dijela tijela puške. Kod tog dijela je bilo potrebno izraditi ergonomičan prihvat. Na izvornoj pušci bio je problem ergonomije u vidu da je kost korijena palca neudobno nasjedala na donji dio tijela puške. Još jedan vid ergonomije trebalo je postići spajajući ručku i tijelo gdje je prijelaz trebao odgovarati prihvat šake. Modeliranje je započelo tako da se ručka i tijelo postave na neku okvirnu udaljenost i zatim s najjednostavnijim alatom spoje ta dva dijela. Nakon spajanja model se šalje na 3D printanje. Prvi model koji je isprintan prikazan je slikom 1.



Slika 1. Prva verzija prihvata puške

Prvu verziju puške potrebno je obložiti glinom. Nakon toga primiti u ruku tako da ostane otisak dijela palca koji neudobno nasjedala na tijelo puške. Sada kada postoji pozicija gdje treba tijelo udubiti potrebno je skenirati isprintani dio na 3D skeneru. Problem koji se javlja kod skeniranja jest taj da model jako odstupa od isprintanog modela. Razlog tome je što materijal od kojeg se sastoji isprintani model nepravilno odbija zrake lasera 3D skenera. Problem se rješava tako da se na model nanese sloj koji je mat boje i dobro "upija" laserske zrake. U ovom slučaju nije ponovljeno skeniranje jer nije niti bitan izgled ručke nego samo je bitna pozicija udubljenja. Jedan dio modela nije niti uhvaćen jer je na rubu radnog prostora 3D skenera.

Skenirani model prikazan je slikom 2. Na slici dio koji je označen crvenom elipsom je posebno zanimljiv jer prikazuje poziciju udubljenja i dubinu udubljenja.



Slika 2. Skenirani model

3D sken se ubacuje u sklop s dosadašnjim modelom i izrađuje se udubljenje. Ovaj postupak je objašnjen u poglavlju u kojem je težište stavljeno na objašnjavanju modeliranja. Tako da, kada se dobije gotovi proizvod, također ga je potrebno isprintati kako bi se još naknadno popravili neki nedostaci. Druga verzija prihvata puške koja zadovoljava zahtjevima za ergonomijom prikazana je slikom 3.



Slika 3. Druga verzija prihvata

Za printanje je korišten 3D printer MakerBot Replicator 2X prikazan slikom 4 [7].



Slika 4. MakerBot Replicator 2X

Za skeniranje je korišten 3D skener MakerBot Digitizer prikazan slikom 5 [7].



Slika 5. MakerBot Digitizer

3. Modeliranje (Solid Works 2012)



Skenirana su dva dijela od kojih se sastoji puška, a to su tijelo puške i drška koji su prikazani slikom 6

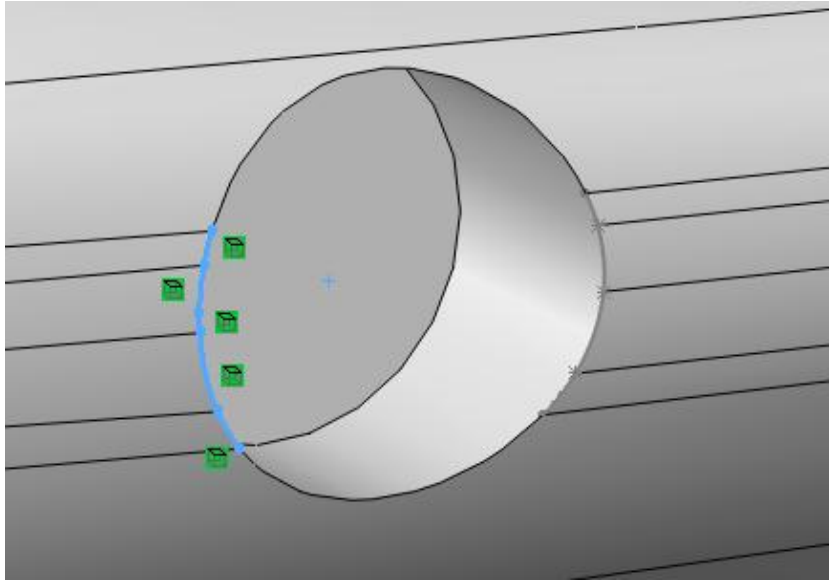


Slika 6. 3D sken ručke i tijela

Ručku i tijelo puške treba otvoriti u sklopu (eng. *Assembly*). Zatim postaviti ručku u odnosu na tijelo tako da je udaljenost između površina 17.93 mm. Na kraju sklop treba snimiti kao STL datoteku. Razlog zašto se sklop ne snima kao jedan dio (eng. *Part*) je što se onda svi objekti koji se nalaze u sklopu pretvore u površine (eng. *Surface*) i 3D model ima šuplju ispunu, sastoji se samo od oplošja. STL datoteka kada se otvara u Solid Works-u pretvara u 3D model koji je potpuno ispunjen.

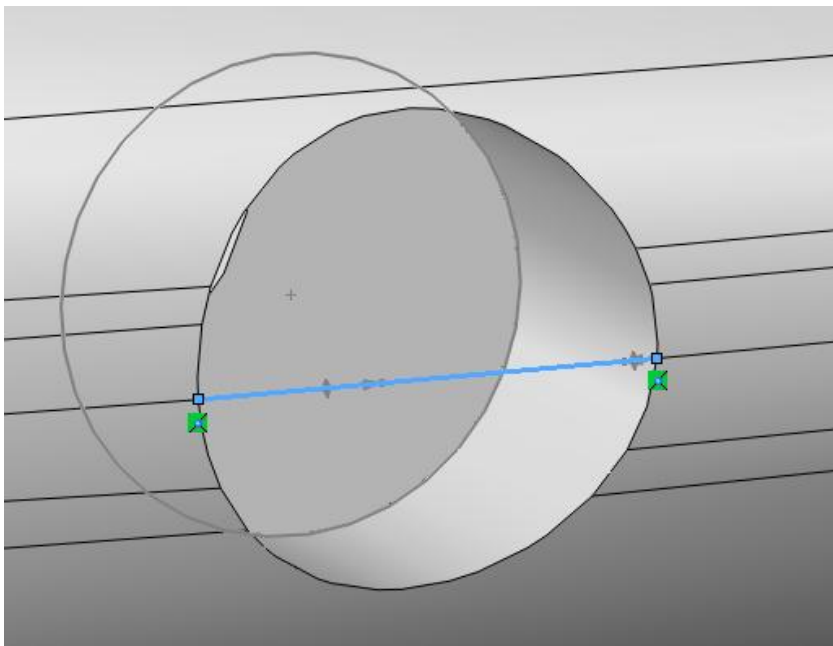
3.1 Modeliranje prednjeg dijela tijela puške

Na prednjem dijelu puške nalazi se rupa. Kroz tu rupu dolazi osovina koja drži valjke preko kojih se napinje guma. Sadašnji promjer je 10 mm, a za novu osovinu treba biti 6 mm. Rupu treba zatvoriti pomoću alata za površine i onda spojiti te dvije površine. Prvo treba nacrtati linije koje aproksimiraju zakrivljenost površine. Pod alatom *Sketch* otvara se padajući izbornik i potrebno je izabrati alat *3D Sketch* . Ovaj alat omogućuju crtanje u sve 3 osi simultano. Zatim se odabire alat *Convert Entities*  pomoću kojeg se samo na odabiranje rubova stvara *3D Sketch*. Treba odabrati 5 rubova sa svake strane rupe kako je prikazano na slici 7 gdje je sa desne strane sivo već stvoren *3D sketch*, a sa lijeve strane plavo prikazuje *sketch* kada se stvara.




Slika 7. Rubna linija rupe

Dalje je potrebno nacrtati liniju također u 3D *Sketch-u*. Isto tako potrebno je uključiti prikaz za pokazivanje rubova na modelu *Shaded With Edges*. Liniju je potrebno nacrtati kao što je prikazano na slici 8.

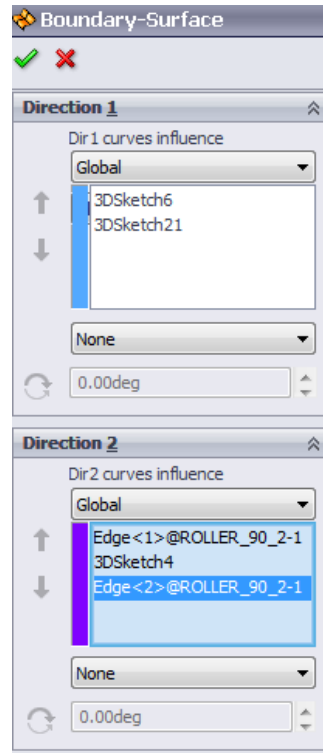


Slika 8. Centralna linija rupe

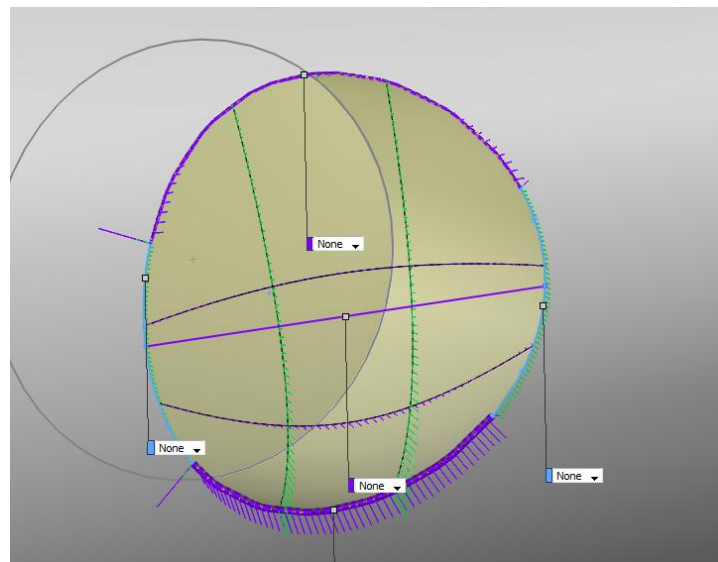
Još je samo potrebno nacrtati kružnicu koja odgovara promjeru rupe. Kružnica se nalazi sa ravne strane.

Nakon što su sve linije nacrtane potrebno je odabrati alat *Boundary Surface* . Pomoću ovog alata mogu se stvarati kompleksne zakrivljene površine. Kada se uključi alat pojavljuje se izbornik sa lijeve strane ekrana sa dva polja *Direction 1* u kojeg kada se klikne odaberu se dvije linije odnosno 2 3D *Sketch-a* koja su prethodno bila nacrtana


(plave boje na slici ispod). Klikom u polje *Direction 2* odabire se gornja strana rupe, 3D *Sketch* i donju stranu rupe (ljubičaste boje na slici 10). Konfiguriranje tih smjerova odabiremo u prvom slučaju prostiranje površine u jednom smjeru, a u drugom slučaju prostiranje površine po drugom smjeru. Potrebno je dobiti konfiguraciju prikazanu na slici 9 gdje je prikazan izbornik alata *Boundary-Surface*.



Slika 9. Izbornik alata *Boundary-Surface*

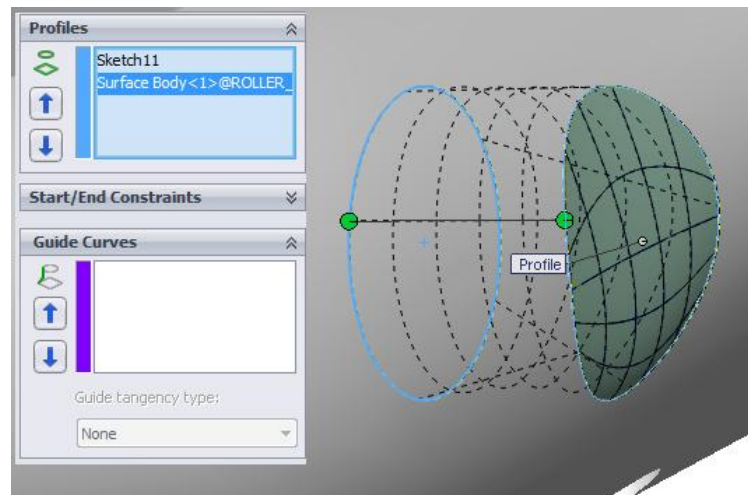


Slika 10. Odabir rubova

Za ispunjavanje rupe koristi se alat *Lofted Boss/Base*  koji je prikazana na slici 11 kao i konfiguracija za korak koji se opisuje. Ovim alatom popunjava se prostor između dvije


omeđene površine ili *Sketch*-a za razliku od *Boundary Surface* alata koji se koristi samo za površine.

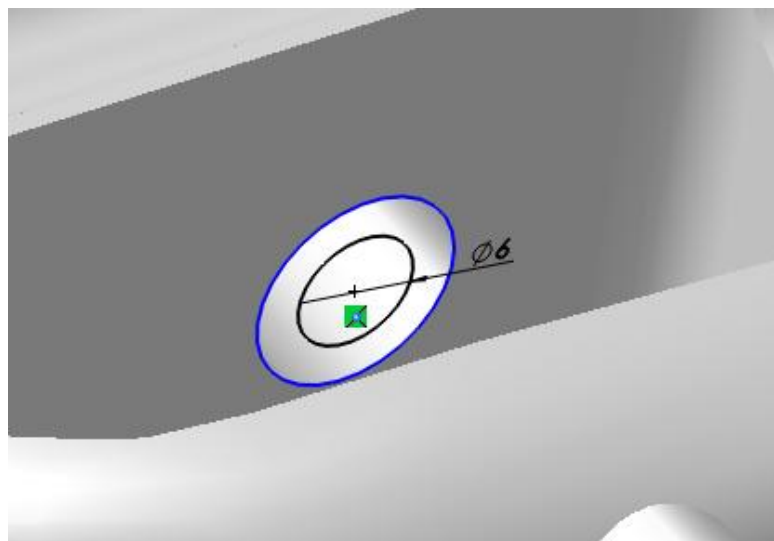
Pod opcijom *Profiles* odabiremo prethodno napravljenu površinu i nacrtanu kružnicu. Opcijom *Guide Curves* se ne odabire ništa, a služi za kontrolu prostiranja prostora između dva označena profila. S obzirom da je nacrtana kružnica nalazi na ravnoj podlozi automatski se uzima smjer prostiranja okomito na tu površinu.




Slika 11. Alat *Lofted Boss/Base*

Svaki ovaj korak je potrebno ponoviti na drugoj strani tijela puške gdje se isto nalazi provrt.

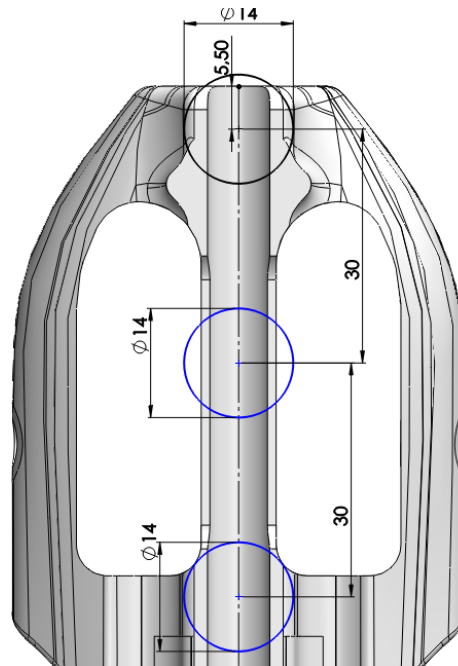
Na sredini tijela puške se također nalazi rupa prikazana slikom 12 gdje je postupak puno jednostavniji jer su površine ravne i paralelne tako da se odabere samo jedna površina i nacrtaju se dvije koncentrične kružnice gdje jedna odgovara promjeru rupe, a druga mora biti promjer 6 mm. I sa alatom *Extruded Boss/Base*  se stvori popunjen prostor.



Slika 12. Rupa za osovinu

Na istoj površini se nacrtava nova kružnica također promjera 6 mm i na isti način samo sa alatom *Extruded Cut*  probiti rupe na desnoj i lijevoj strani tijela puške.

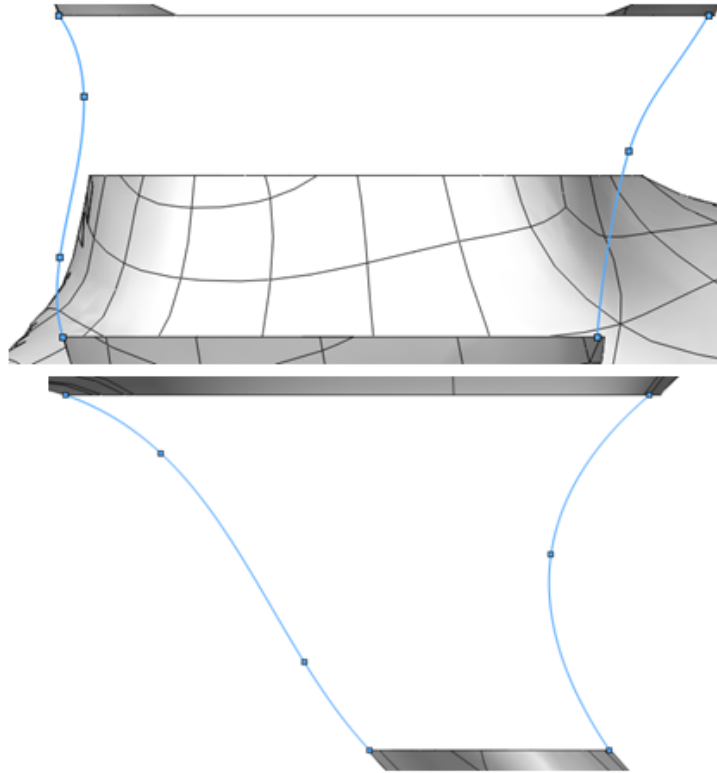
Sa gornje strane potrebno je izraditi 3 kružnice prema dimenzijama sa slike ispod. Pomoću alata *Extruded Cut* izraditi utore u koji se postavlja vodilica strijele. Dubina utora je 13 mm mjereno od gornje ravnine.




Slika 13. Izrada utora za vodilicu

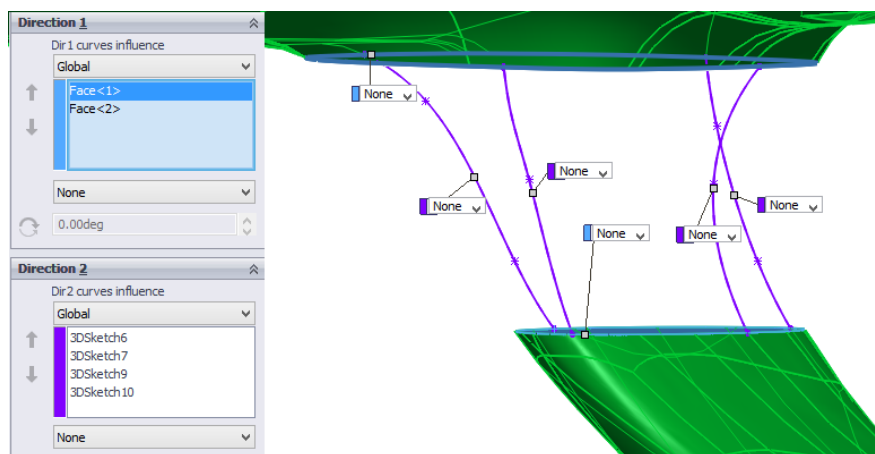
3.2 Spajanje drške i tijela puške

Sljedeće što treba je napraviti prijelaz između drške i tijela puške. Potrebno je nacrtati 4 3D linije koje najbolje aproksimiraju površine koje s kojima su u dodiru prikazane slikom 14.



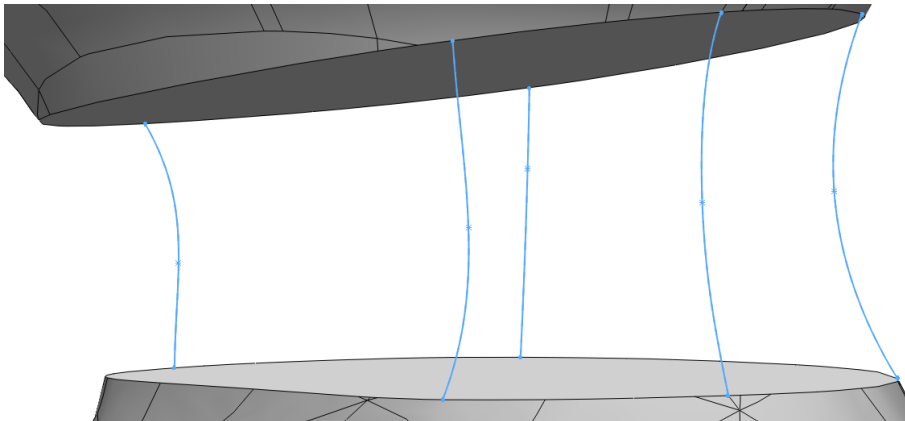
Slika 14. Linija spoja između ručke i tijela

Kada se nacrtaju sve 4 linije koristi se alat *Boundary Boss/Base* . Alat je sličan dosad već korištenom *Lofted Boss/Base*, ali se koristi za nepravilnije zakrivljenosti gdje je oblik koji se želi dobiti nepravilan iz svih popriječnih presjeka. Pri otvaranju alata ponuđena su 2 polja ili 2 smjera u koje se unosi smjer prostiranja zakrivljenosti. U prvom polju odabiru se površine na tijelu puške i ručki (plave površine). A u drugom polju odabiru se predhodno nacrtane linije. Izbornik alata prikazan je slikom 15.



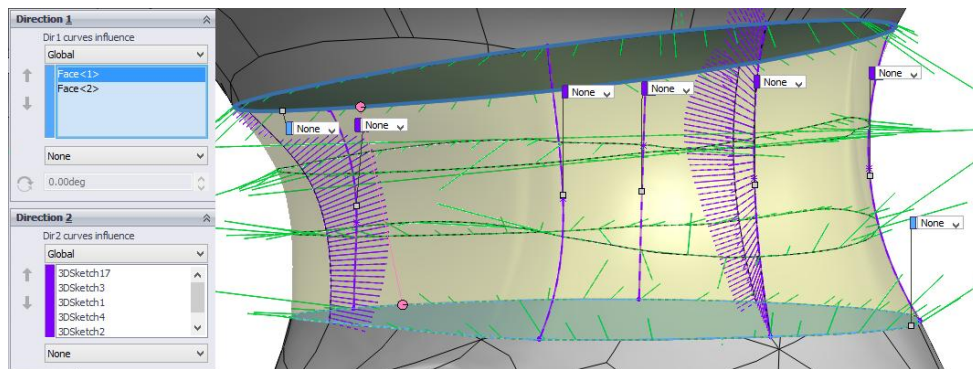
Slika 15. Izbornik alata *Boundary Boss/Base*

Drugo spajanje ručke i tijela se odvija na isti način. Nacrta se 5 linija prikazane slikom 16 koje najbolje aproksimiraju zakrivljenost površine koje dotiču.




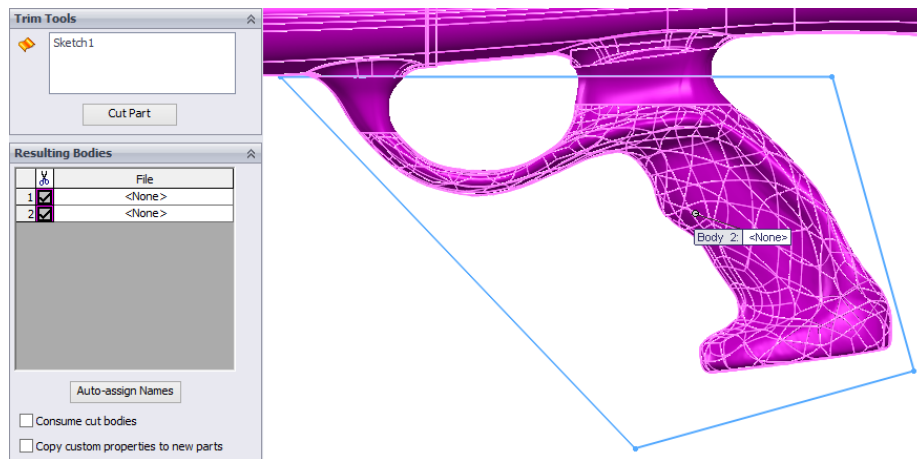
Slika 16. Drugo spajanje ručke i tijela

Nakon nacrtanih krivulja također se koristi alat *Boundary Boss/Base* prikazan slikom 17. Nakon otvaranja alata ponovno se koristi za smjer 1 površine ručke i tijela, a za smjer 2 prethodno nacrtanih 5 linija.



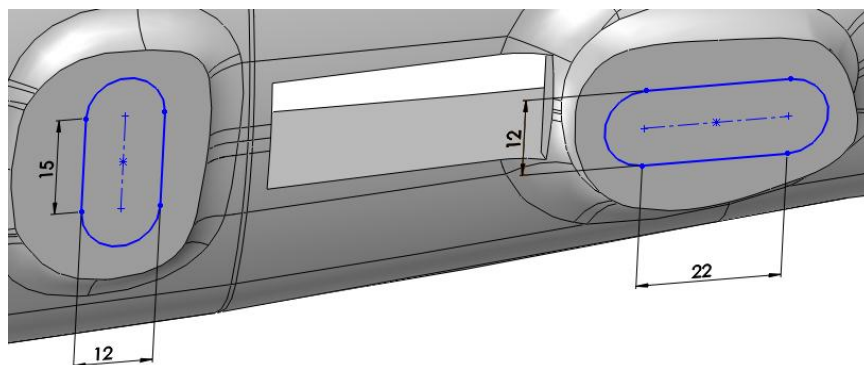
Slika 17. Izbornik alata *Boundary Boss/Base* kod drugog spajanja

Sada kada postoji jedno spojeno tijelo što se može provjeriti u stablu *Solid Bodies (1)* i kada se otvori padajući izbornik postoji samo jedan objekt. Potrebno je od cjelokupne, što znači od 1 tijela napraviti 2 tijela. Ti dijelovi će biti tijelo puške i ručka. Ovo razdvajanje se mora napraviti jer se puška izrađuje iz 2 dijela zbog uštede na materijalu i lakše izrade. Najprije se u desnom pogledu nacrta jedan *Sketch* koji omeđuje prostor koji će raspodijeliti pušku. Zatim se u izborniku *Insert* odabire podizbornik *Features* i odabire se alat *Split* . Kada se alat otvori pod opcijom *Trim Tools* odabire se prethodno nacrtana zatvorena krivulja. Pod opcijom *Resulting Bodies* potvrđuje se rezultat dijeljenja što u ovo slučaju na oba mjesta kvačice jer je tijelo podijeljeno na 2 tijela. Razdvajanje tijela cijele puške prikazano je slikom 18.



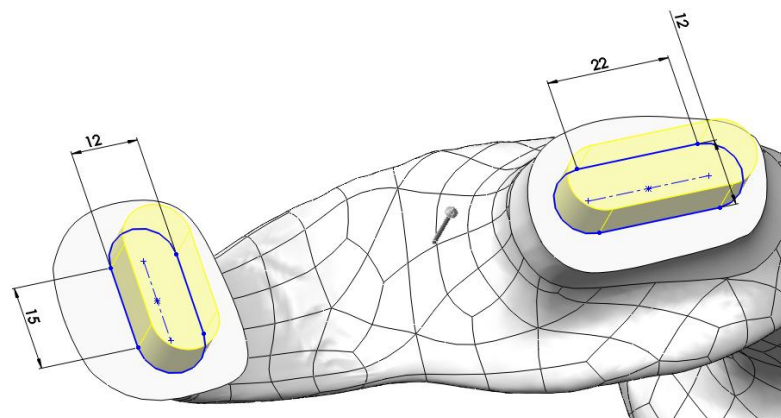
Slika 18. Razdvajanje modela

Sada je potrebno izraditi čepove na ručki i rupe na tijelu puške kako bi se nakon izrade puška mogla sastaviti i zalijepiti. Potrebno je izraditi *Sketch* na ravnoj strani tijela puške i nacrtati dvije zatvorene konture prema slici 19. Zatim s alatom *Extruded Cut* izraditi uture od 10 mm.



Slika 19. Izrada utora za čepove na tijelima

Također na ručki treba izraditi čepove koji odgovaraju utorima na tijelu puške. Dimenzije za izradu čepova za ručci prikazane su slikom 20.

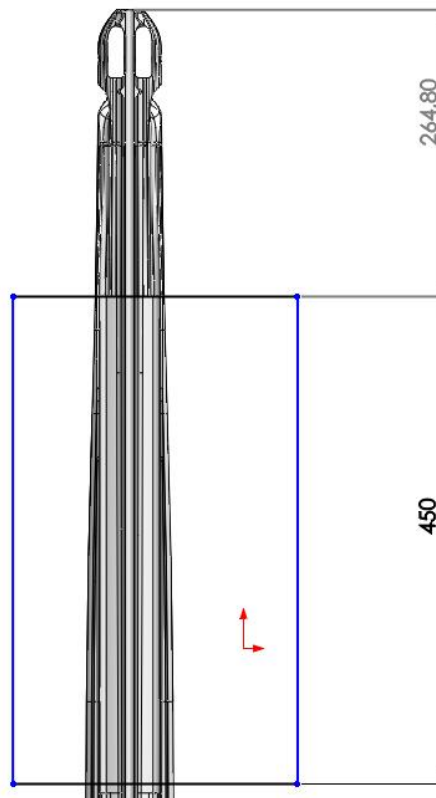


Slika 20. Izrada čepova na ručci

3.3 Skraćivanje puške na dužinu od 950 mm

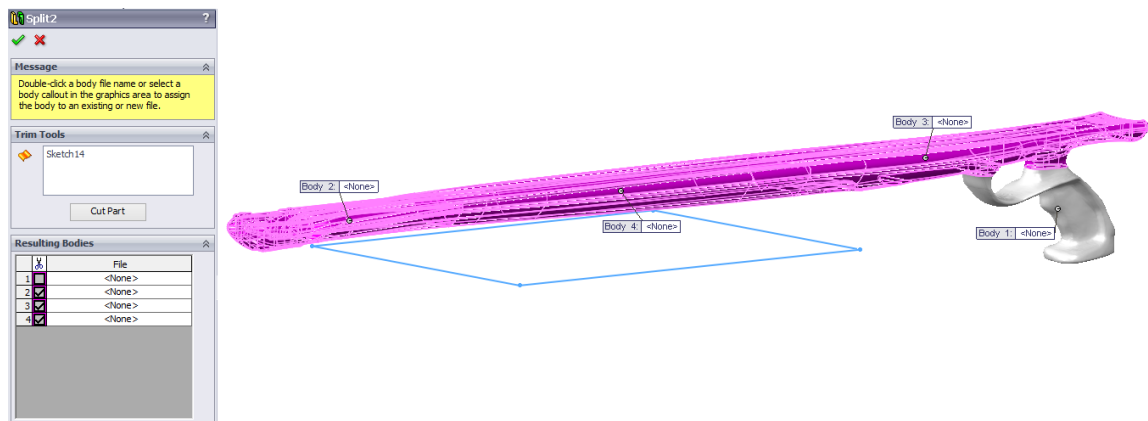
S obzirom da je skenirana verzija puške dužine 1173 mm, pušku je potrebno smanjiti na dužinu 950 mm zbog jednostavnije izrade.

Pušku je potrebno podijeliti na nekoliko tijela. U pogledu s prednje strane kreira se *Sketch* i nacrtava pravokutnik dimenzija prikazanih na slici. Taj pravokutnik će podijeliti dosadašnja 2 tijela na sve ukupno 4 tijela. Dimenzije prema kojima će se puška razvoditi prikazane su slikom 21.



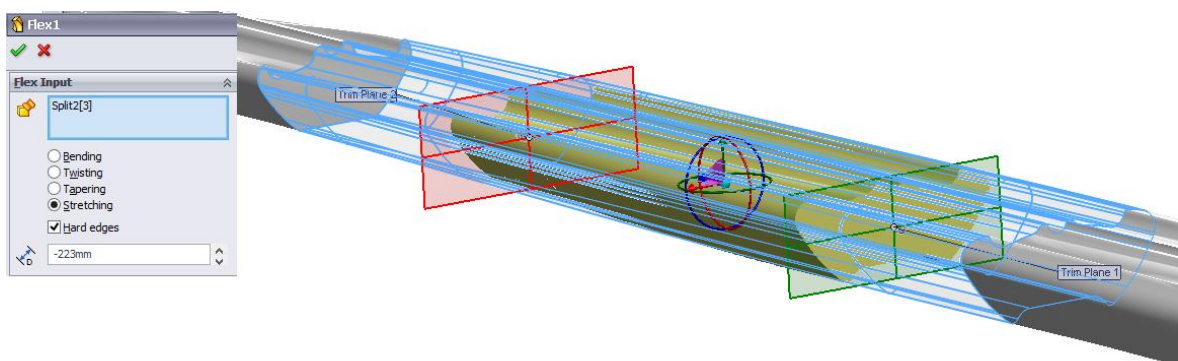
Slika 21. Razdvajanje tijela puške

Zatim koristiti alat *Split* prikazan slikom 22 gdje se u polju *Trim Tool* odabire *Sketch*, a opciji *Resulting Bodies* postavljaju se kvačice na sva ponuđena tijela osim na ručku.



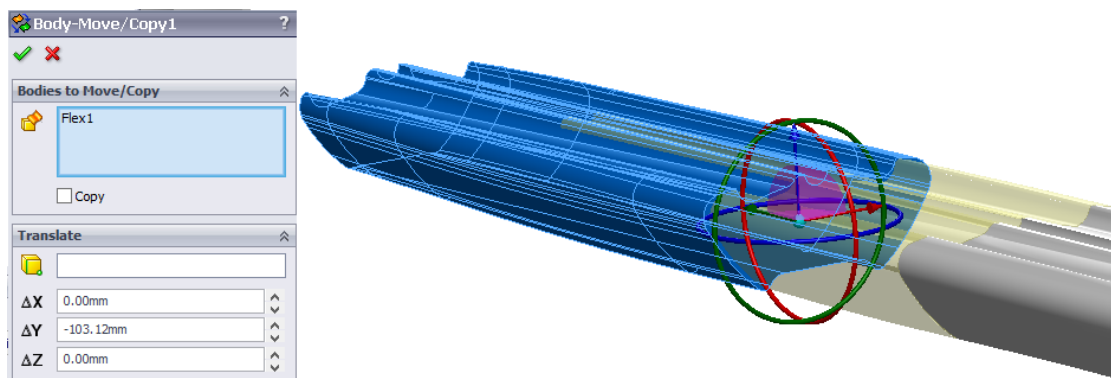
Slika 22. Izbornik alata *Split*

Dalje se koristi alat *Flex*. Pod opcijom *Flex Input* označava se predhodno stvoreno tijelo koje se nalazi u sredini. Odabire se opcija *Stretching* i upisuje se dužina -223 mm što znači da će srednji dio tijela primaknuti za 223 mm prema prvog djelu tijela. Skraćivanje srednjeg djela puške prikazano je slikom 23.



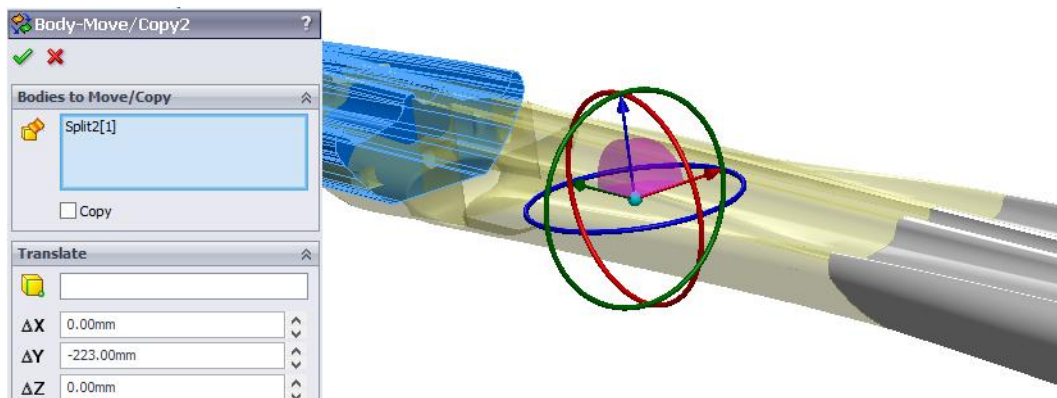
Slika 23. Skraćivanje srednjeg djela puške

Alatom *Move/Copy* se pomiče središnji dio koji je smanjen, ovo je prikazano slikom 24. Pod opcijom *Bodies to Move/Copy* odabire se tijelo koje je predhodno smanjeno. I po osi Y upisati -103,12 mm što će pomaknuti tijelo za tu vrijednost.



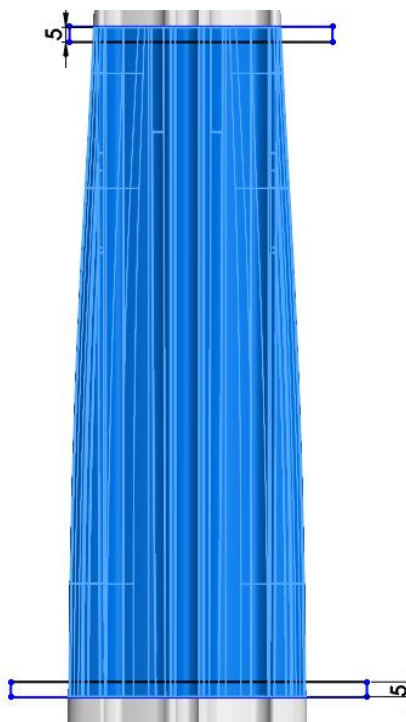
Slika 24. Pomicanje srednjeg dijela tijela

Ovaj postpak ponoviti za prednji dio puške. Ali u ovom slučaju odabrati kao tijelo prednji dio gdje se postavljaju gume. Po Y osi potrebno je tijelo pomaknuti za 223 mm. Pomicanje zadnjeg djela prikazano je slikom 25.



Slika 25. Pomicanje zadnjeg dijela tijela

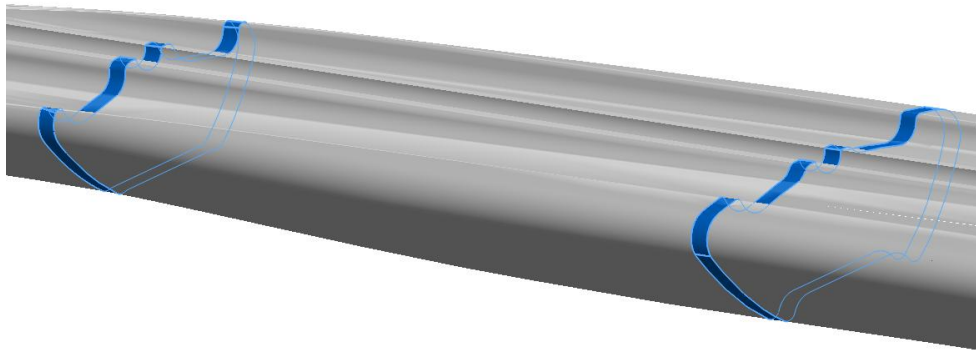
Kad su tijela pomaknuta za navedene dimenzije opet tvore jedno tijelo koje se dodiruje u čeonim površinama. S obzirom da se skraćivanjem čeonih profila također smanjuje potrebno je izrezati 2 profila na mjestima dodira tijela. Profili su odmjereni 5 mm od ruba tijela srednjeg djela puške označenog plavom bojom na slici 26.



Slika 26. Izrezivanje spojeva

Kada se su profili izrezani koristi se alat *Boundary Boss/Base* kako bi prijelaz između tijela bio što kontinuiraniji. Alat je predhodno objašnjen. Pod opcijom *Direction 1* biraju se čeonu površinu oba tijela. Isto se ponovi za drugi spoj. Nakon izvršenja ovih radnji tijelo

puške se opet sastojati od jednog dijela. Trebaju se dobiti spojevi kao na slici 27 označeni plavom bojom.



Slika 27. Spajanje dijelova tijela

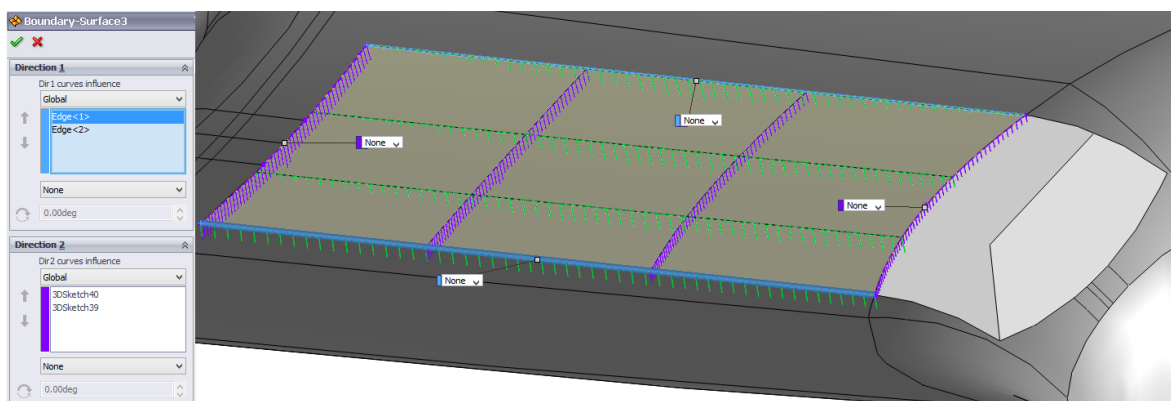
3.4 Izrada utora za okidač

Utor za okidač treba prilagoditi novoj vrsti okidača. Tako da prvo treba dosadašnji uter zatvoriti. Potrebno je nacrtati dvije 3D linije koje su prikazane slikom 28.



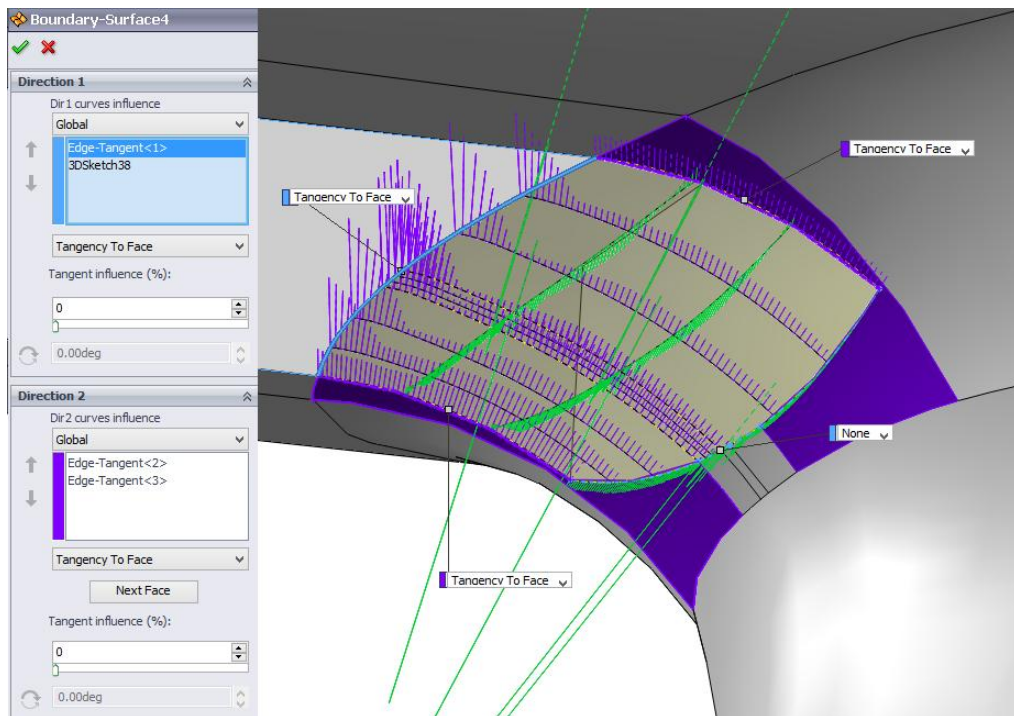
Slika 28. Konture bočnih strana utora

I pomoću alata *Boundary Boss/Base* zatvoriti utor površinom. Gdje se pod smjer 1 označavaju bočne stranice utora označene svjetlo plavom bojom na slici 29. A pod smjer 2 označavaju se predhodno nacrtane linije.



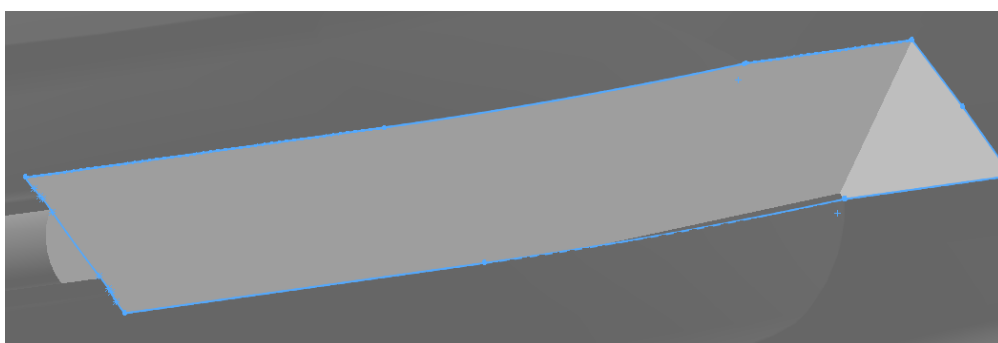
Slika 29. Zatvaranje jednog dijela utora površinom

Isto je potrebno napraviti na drugom djelu utora. Gdje se pod smjer 1 označavaju prethodno nacrtana linija i rub. A pod smjer 2 označavaju se bočni rubovi. Ovdje se odabiru opcije *Tangency To Surface* na rubove kako je prikazano slikom. Ova opcija postavlja oblik stvorene površine tangencijalno sa površinom na kojoj se nalazi rub. Rezultat ovog koraka prikazan je slikom 30



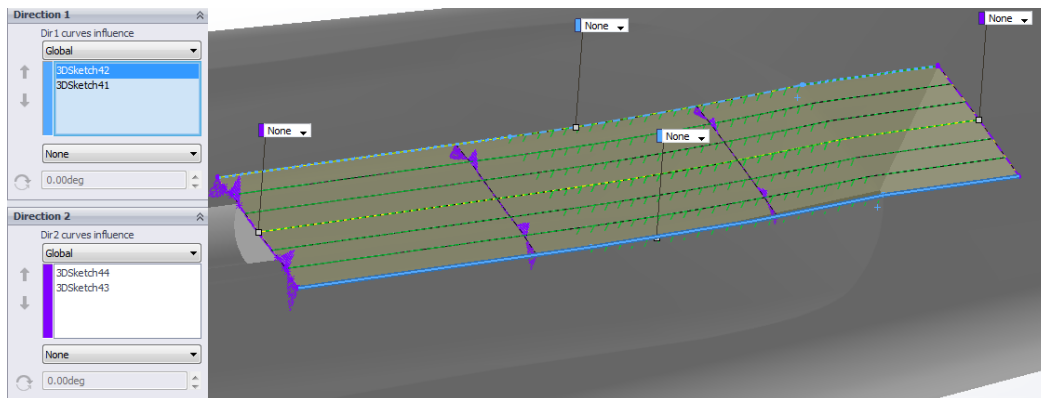
Slika 30. Zatvaranje drugog dijela utora

Sve treba ponoviti na gornjoj strani utora. Prvo je potrebno nacrtati linije po rubovima utora kao na slici 31.



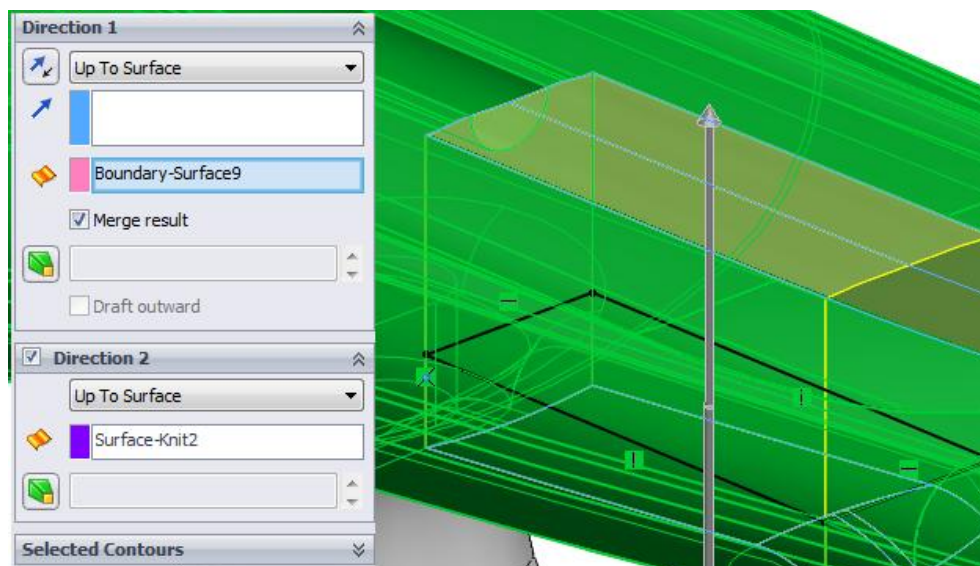
Slika 31. Rubovi gornjeg dijela utora

Zatim koristeći alata *Boundary Boss/Base* stvoriti površinu kao na slici 32.



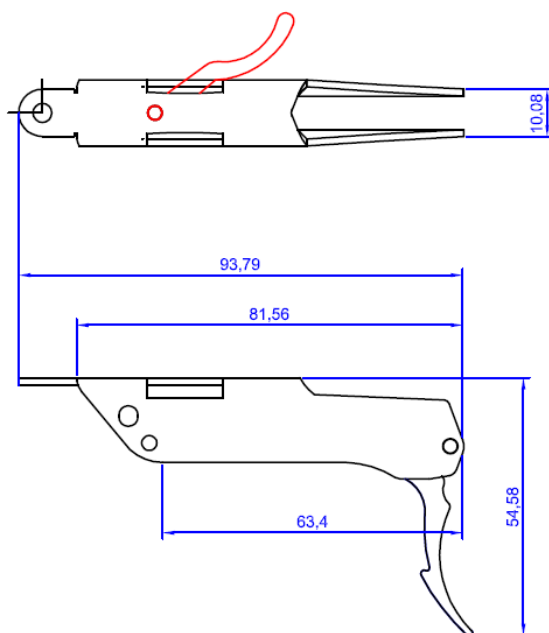
Slika 32. Zatvaranje gornjeg dijela utora površinom

Nakon što su sve površine zatvorene potrebno je zapuniti prostor gdje se nalazio stari utor za okidač. Nacrtati konturu koja odgovara utoru za okidač. Kada se otvori alat u padajućem izborniku, potrebno je promijeniti alat *Blind* u *Up To Surface* i kliknuti na prethodno stvorene površine. Ovaj postupak prikazan je slikom 33.



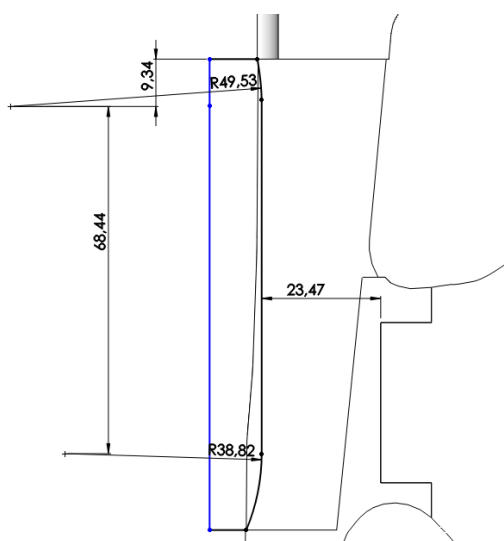
Slika 33. Ispuna utora

Na mjestu gdje je zatvoren utor za okidač potrebno je napraviti utor za okidač drugih dimenzija. Skica okidača se nalazi u PDF- u i potrebno ju je prebaciti u sliku i uvesti u Solidworks. Dimenzije okidača prikazane su slikom 34. Razlog zašto se ubacuje slika je što na crtežu postoji premalo dimenzija kako bi se okidač u potpunosti izradio. Ovaj postupak uvođenja slike je objašnjen malo kasnije u tekstu kod izrade loga Visoke tehničke škole u Bjelovaru i tvrtke Subcraft. Kada se uveze slika potrebno je skalirati sliku prema jednoj od dimenzija koje se nalaze na njoj i nacrtati ostatak okidača.



Slika 34. Dimenzije okidača

Sa bočne strane potrebno je nacrtati konturu sa slike koja služi kao upuštenje za kvačicu okidača za prihvatanje užeta strijele i držanje okidača napetim. Dimenzije upuštenja prikazane su slikom 35.



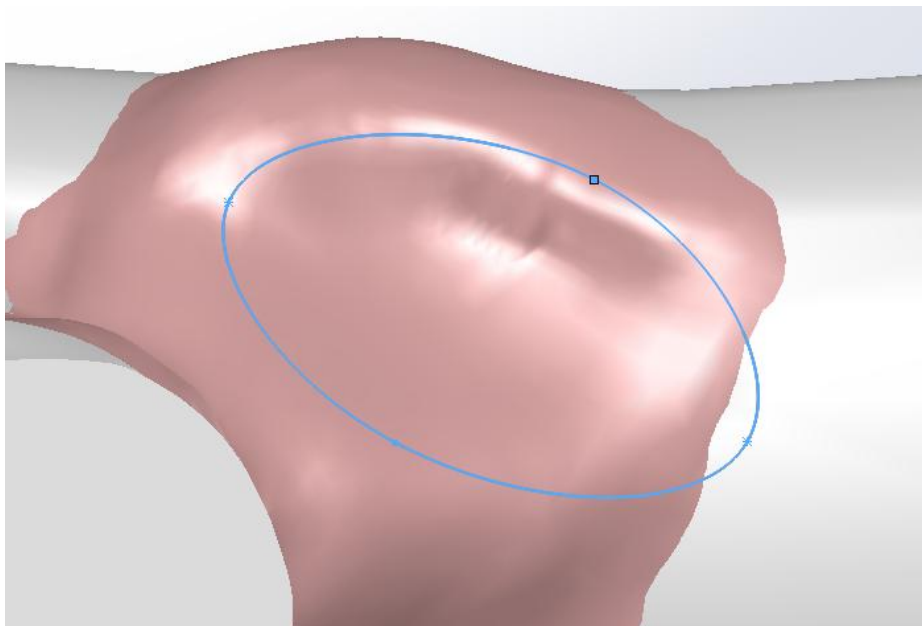
Slika 35. Upuštanje za kvačicu okidača

3.5 Izrada upuštenja na tijelu puške



Zbog poboljšanja ergonomije na trupu puške potrebno je izraditi jedan upušteni dio koji odgovara prvom zglobu palca. Mjesto i oblik upuštenog djela dobiven je putem 3D skeniranja gdje se prethodno isprintan model obložio modelarskom glinom. 3D sken se ubacuje u SolidWorks i otprilike centrira s već postojećim modelom.

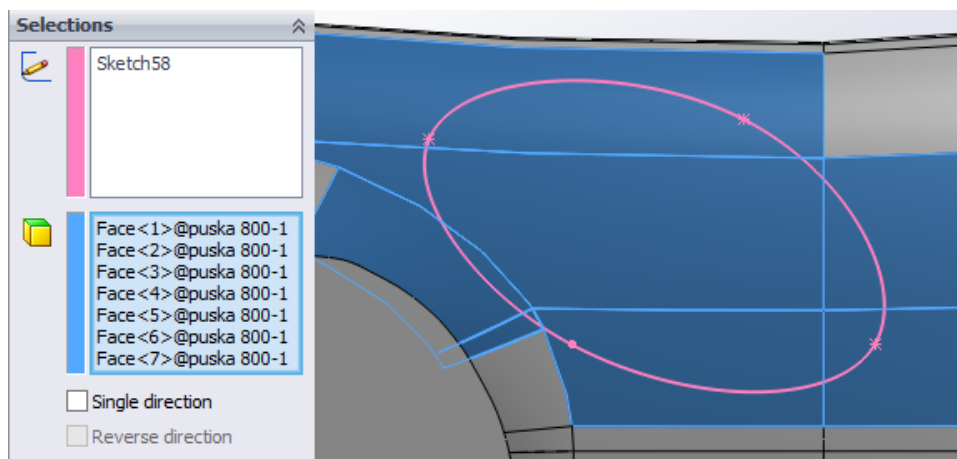
Iako 3D sken nije dobre kvalitete to u ovom slučaju nije niti bitno, bitna je samo pozicija udubljenja.

Da bi se vidjela razlika između skeniranog tijela i modeliranog tijela potrebno je otvoriti novi sklop u kojem će se nalaziti skenirani dio i modelirani dio. Kada su dijelovi namješteni tako da se poklapaju potrebno je putem alata *Sketch* u prednjem pogledu nacrtati zatvorenu liniju na mjestu gdje se nalazi udubljenje na skeniranom tijelu. Konturu koju je potrebno nacrtati prikazana je slikom 36.



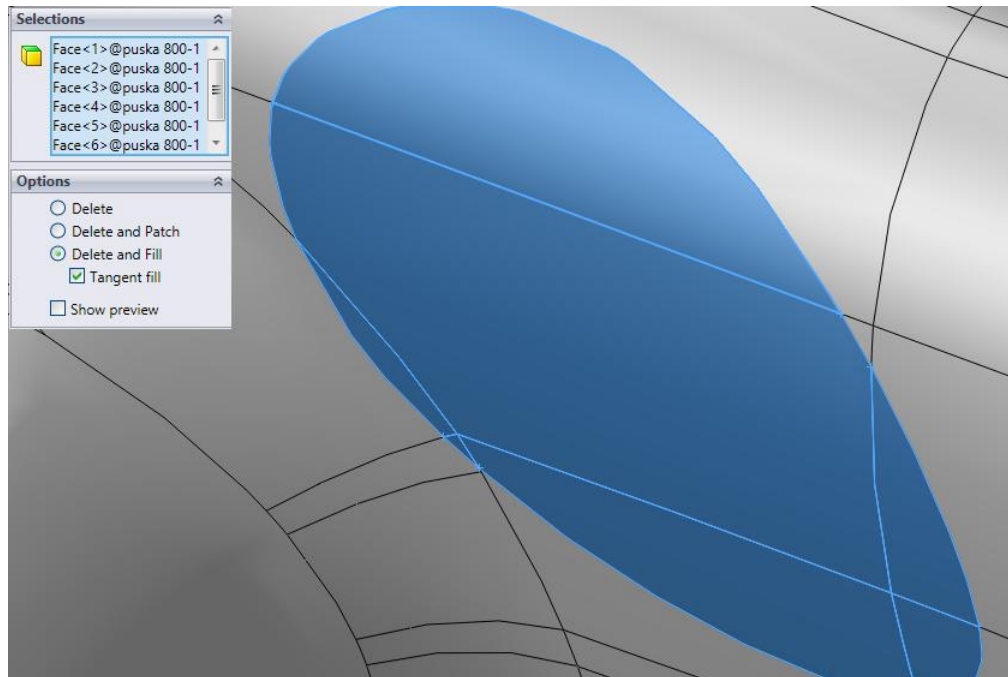
Slika 36. Označavanje upuštenja za palac

Nacrtanu liniju treba prebaciti na površinu tijela puške. Pod izbornikom *Curves*  odabire se alat *Split Line* . Kada se alat uključi pod prvim izbornikom se odabire krivulja koja će se projicirati, a pod drugim izbornikom se odabiru površine na koje će se krivulja projicirati. Postupak je prikazan slikom 37.



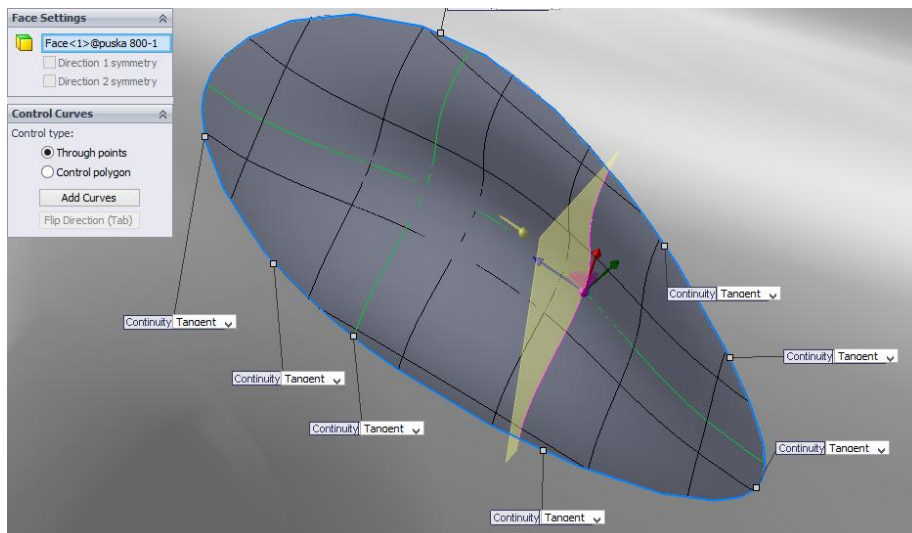
Slika 37. Projiciranje linije na površinu

Kada se krivulja projicira na tijelo puške postoji više površina koje se nalaze unutar ovalne krivulje. Za to se koristi alat *Delete Face* 🗑️. Nakon što se alat otvori pod izbornikom *Selections* odabrati sve površine unutar elipse, označeno plavom bojom na slici 38. Pod ostalim opcijama odabrati *Delete And Fill* i *Tangent Fill* što znači da će sve površine obrisati i zamijeniti je novom cjelovitom površinom.




Slika 38. Brisanje površina

Sada slijedi deformiranje površine pomoću alata *Freeform* 🏹. Kada se alat otvori odabire se površina. Dodaju se 3 linije na tu površinu klikom na gumb *Add Curves*, linije su zelene boje na slici i jedna ljubičasta koja je aktivna. Kada se klikne na svako presijecanje linija pojavljuje se koordinatni sustav. Kada se klikne bila koja od osi na koordinatnom sustavu ona postaje aktivna i povlačenjem te osi deformira se površina. Kod ovakvih deformacija postoji problem što se ne mogu izmjeriti dimenzije pa se površina deformira prema vlastitom nahođenju kao na slici 39. Nakon dobivanja željenog oblika tijelo se isprinta i proba u ruci da li su potrebne daljnje korekcije. Sve rubne linije moraju biti postavljene kao tangencijalne jer je prijelaz oko udubljenja kontinuiraniji. Tangencijalnost površina se postavlja na malom izborniku koji se nalazi kod svake rubne linije.



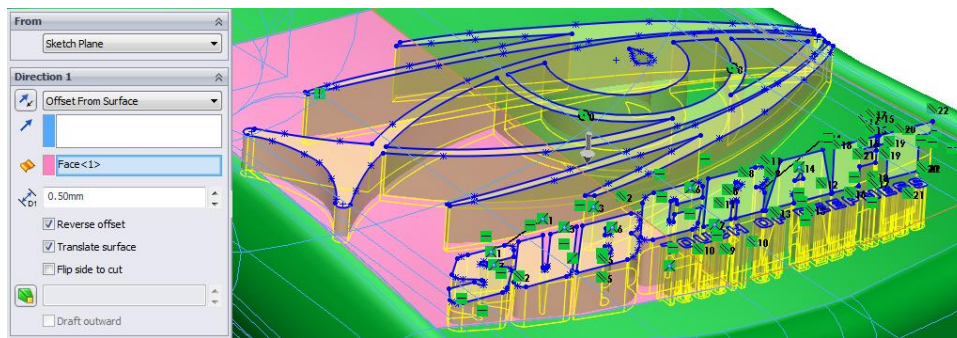
Slika 39. Udublјivanje površine

3.6 Logo VTŠBJ i tvrtke Subcraft

Na trup puške je potrebno ugravirati logo tvrtke Sub Craft. Najprije je potrebno stvoriti ravninu udaljenu nekoliko milimetara od površine tijela puške na zadnjeg dijelu pogledom iz tlocrta. Na toj ravnini stvoriti *Sketch* i uvesti sliku u *Sketch*. Pod izbornikom *Tools* odabrati podizbornik *Sketch Tools* i odabrati alat *Sketch Picture*  i pronaći sliku na računalo. Postoji drugi jednostavniji način, a to je kao kod skoro svakog programa tipkama Ctrl + c kopirati sliku i Ctrl + v zalijepiti sliku. Kada se otvori slika može se mijenjati veličina, zrcaliti se itd. Slika se postavlja u odnosu na tijelo puške prema slici 40. Kada je slika ubačena slijedi crtanje linija po rubovima loga. Postoji i jednostavniji način dobivanja *Sketch-a* iz slike. U tom slučaju koristi se operacija *Auto Trace*, kada se otvori slika moguće je u par koraka automatski dobiti *Sketch*. Ali postoji problem s tim alatom, a to je da su potrebne slike koje moraju biti vrlo visoke rezolucije i visokog kontrasta između onoga što je sa jedne strane i onoga što je s druge strane kako bi između ta dva polja mogla generirati linija.



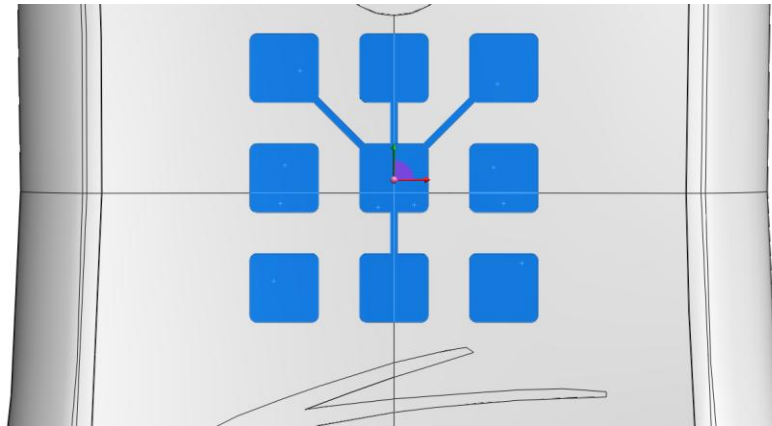
Slika 40. Ubacivanje loga tvrtke SubCraft



Slika 41. Izrada gravure na tijelu

Kada se logo nacrtala alatom *Cut Extrude*. Pod prvom opcijom potrebno je izabrati *Offset From Surface* što znači da će *Sketch* izrezati model na nekoj udaljenosti od označene površine. Potrebno je označiti površinu (ružičaste boje na slici 41) nije bitno što nije označena cijela površina na koju se prostire *Sketch* automatski se to podrazumijeva. I pod udaljenost od površine upisuje se 0.5 mm što znači da će logo usjeći u model za 0.5 mm. Postupak izrade gravure prikazan je slikom 41.

Na isti način će se nacrtati logo i napisati skraćena Visoke tehničke škole u Bjelovaru. Za logo nije potrebno uvesti sliku zbog jednostavnog oblika koji je prikazan slikom 42.



Slika 42. Izrada loga VTSSBJ

Skraćenica Visoke tehničke škole u Bjelovaru pisana je *Monotype Corsiva* podebljano, visina slova je 12 mm. Skraćenica se nalazi pored utora za okidač. Skraćenica treba biti postavljena kao na slici 43.




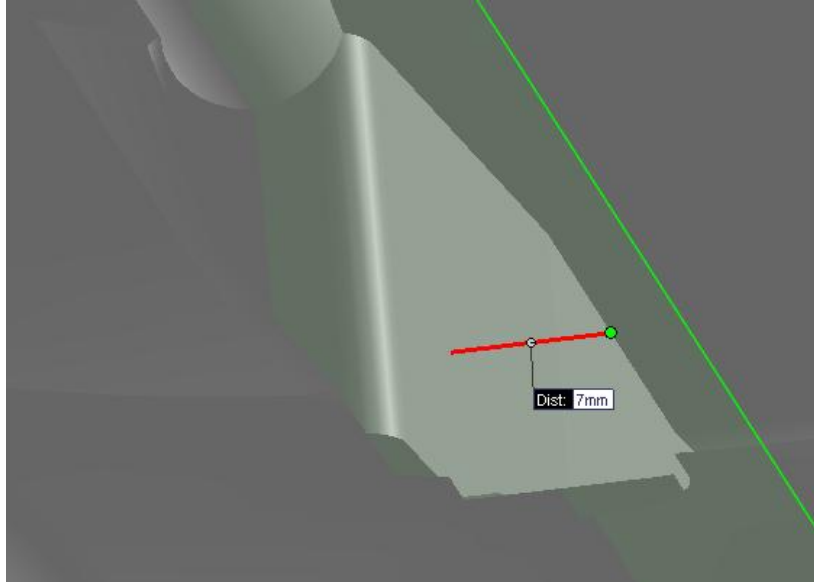
Slika 43. Izrada skraćenice Visoke tehničke škole u Bjelovaru

3.7 Priprema modela za SolidCAM

Sada kada je modeliranje puške gotovo potrebno je modele pripremiti za SolidCam to jest za izradu. S obzirom da stroj na kojem će se puška izraditi Siemens Sinumerik 840D SI ima jednu os koja je suprotna, za ovaj primjer će se uzeti da je smjer osi x u suprotnom smjeru. S obzirom da je os okrenuta sve što će se raditi na stroju biti će zrcaljeno pa prema tome kada bi se pokušalo izraditi ručku za dešnjake ispala bi ručka za ljevake što je

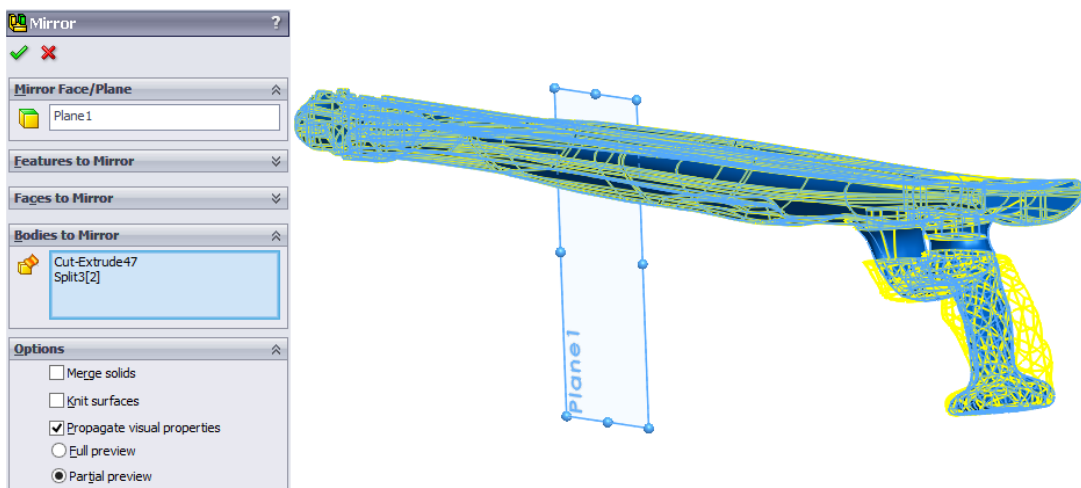
nepoželjno jer je ručka ergonomski prilagođena za desnu ili lijevu ruku. Tako da se svi modeli moraju zrcaliti i prema takvim zrcaljenim modelima izraditi.

Alatom *Plane*  potrebno je stvoriti ravninu koja je simetrija tijela puške. Ta ravnina mora biti udaljena 7 mm od ravnog ruba utora za okidač kako je prikazano slikom 44.



Slika 44. Simetrija cijele puške

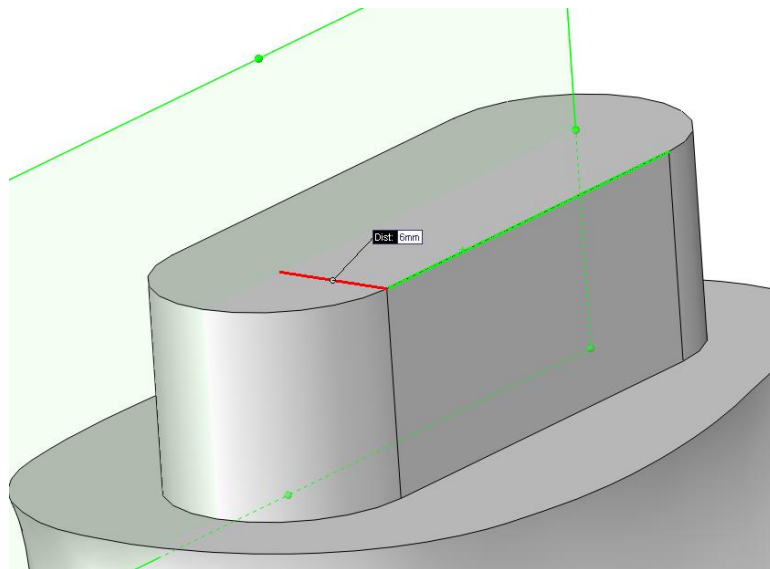
Alat *Mirror* koristi se za zrcaljenje. Kada se alat uključi pod prvom opcijom se bira ravnina preko koje će se zrcaliti. A pod drugom opcijom se biraju tijela koja se hoće zrcaliti. Kada se alat uključi aktiviran je *Features to Mirror* ali treba izabrati *Bodies to Mirror*. Kada se tijela zrcale ona originalna tijela se obrišu ili sakriju, nalaze se u stablu pod *Solid Bodies*. Ovaj postupak je opisan slikom 45.




Slika 45. Zrcaljenje puške

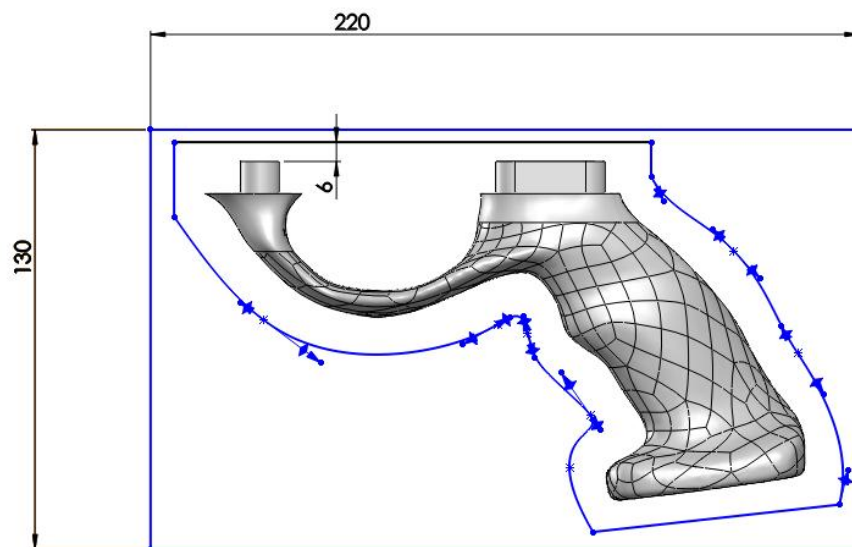
U stablu sa lijeve strane potrebno je pronaći tijelo koje predstavlja ručku. Na to tijelo pritisne se desna tipka miša i otvara se meni pod kojim se izabire *Insert into New Part* što znači da će se samo ručka otvoriti u novom radnom prostoru kao posebni dio.

Ponovno pomoću alata *Plane* potrebno je stvoriti ravninu koja je udaljena od ruba čepa za 6 mm kao na slici 46.



Slika 46. Ravnina simetrije

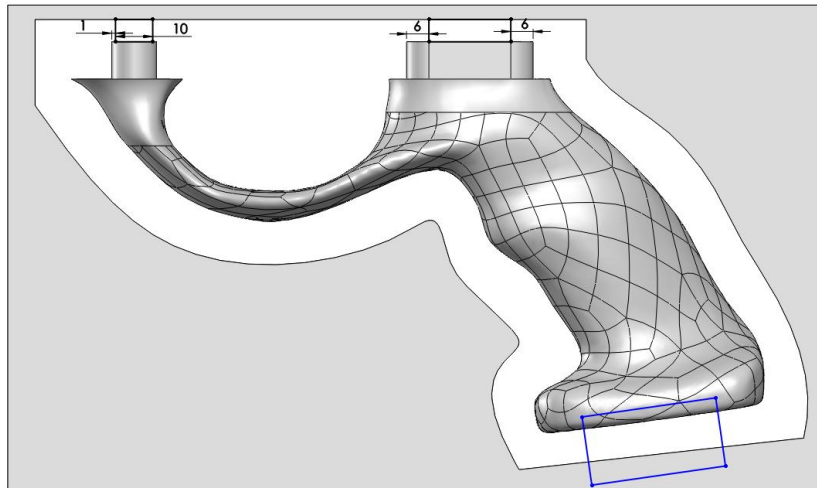
Na stvorenoj ravnini nacrtati krivulje koje definiraju sirovac od kojeg se ručka izrađuje i granice obrade. Alatom *Spine*  nacrtati krivulju oko ručke, bitno je samo da krivulja minimalno udaljena 8 mm jer se za obradu koristi glodalo 8 mm. Vanjske dimenzije sirovca su 220 x 130 mm. Konturu je potrebno nacrtati kao na slici 47.



Slika 47. Okvir ručke

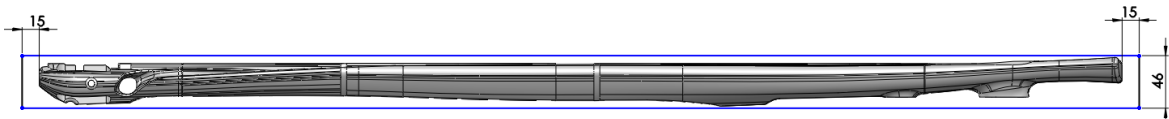
Nacrtni *Sketch* ekstrudirati alatom *Boss Extrude* 25 mm u jednom smjeru i 29 mm u drugom smjeru tako da je debljina sirovca 54 mm.

Još je potrebno nacrtati spojnice ili trnove kojima će se ručka držati za sirovac. Spojnice nacrtati prema slici 48. Nakon crtanja ekstrudirati nacrtani *Sketch* u oba smjera za 6 mm.



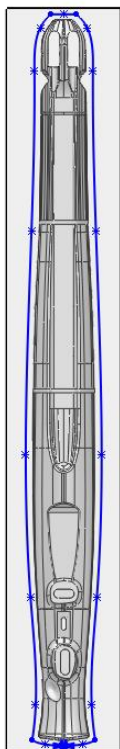
Slika 48. Trnovi ručke

U ravnini koja presijeca pušku na dva djela potrebno je nacrtati pravokutnik prema dimenzijama prikazanim na slici 49. Nakon toga nacrtani pravokutnik potrebno je ekstrudirati za 75 mm u oba smjera.



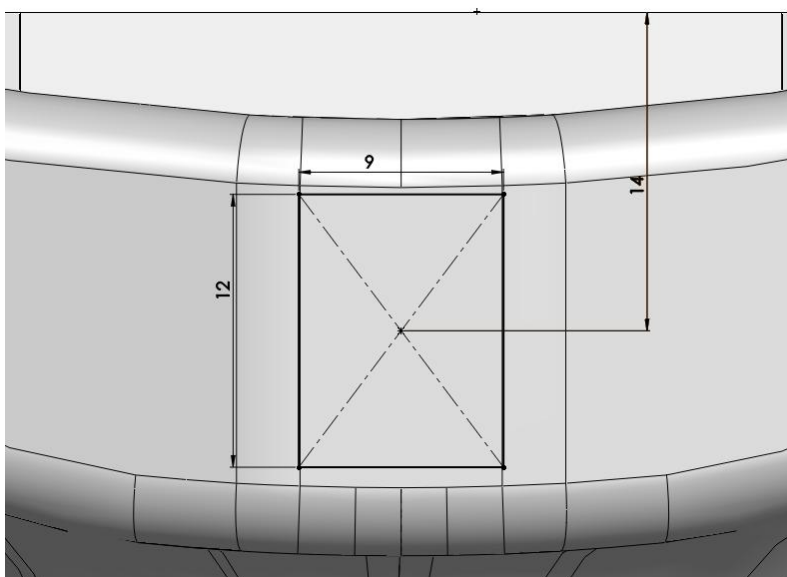
Slika 49. Sirovac tijela bočnim pogledom

Sa gornje strane potrebno je nacrtati zatvorenu krivulju koja mora biti odmaknuta od tijela puške za minimalno 8 mm zbog prolaska glodala. Krivulju je potrebno nacrtati prema slici 50.

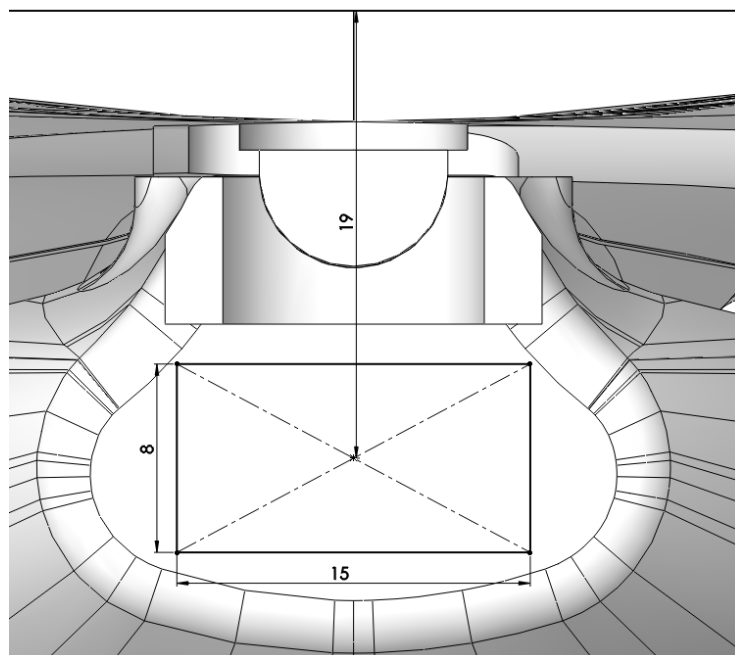


Slika 50. Sirovac tijela pogledom odozgo

Na prvoj i zadnjoj strani cijelog tijela potrebno je napraviti trnove kojima će tijelo biti povezano sa sirovcem. Dimenzije trnova s zadnje strane prikazane su na slici 51, a dimenzije trna s prednje strane prikazane na slici 52.

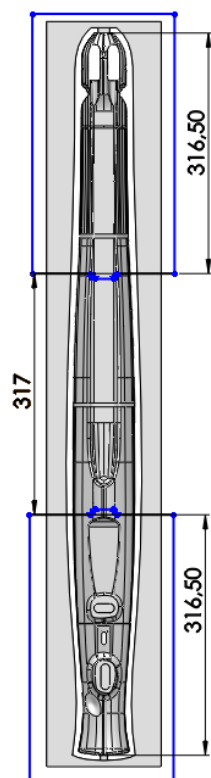


Slika 51. Dimenzije trna sa zadnje strane



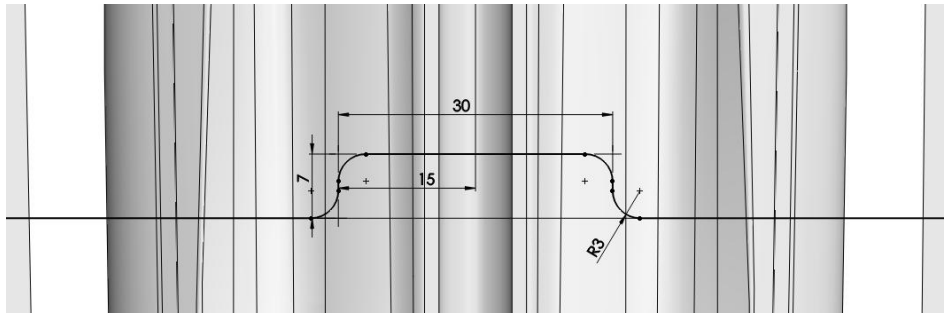
Slika 52. Dimenzije trnova s prednje strane

Tijelo puške potrebno je podijeliti u 3 jednaka dijela zbog radnog prostora CNC stroja. S obzirom da je ukupna dužina tijela puške 950 mm, pa će dva dijela iznositi 316.5 mm i jedan dio od 317 mm. Dimenzije prema kojima se puška dijeli prikazane na slici 53. Koristeći alat *Split* podijeliti tijelo puške na 3 dijela.



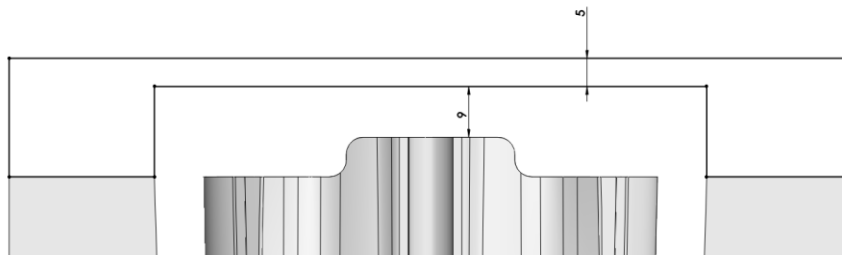
Slika 53. Podjela puške

Na mjestu dodirivanja sva 3 dijela potrebno je nacrtati džep dimenzija prema slici 54. Džep će kasnije poslije izrade kod sastavljanja pomoći kod pozicioniranja dijelova.



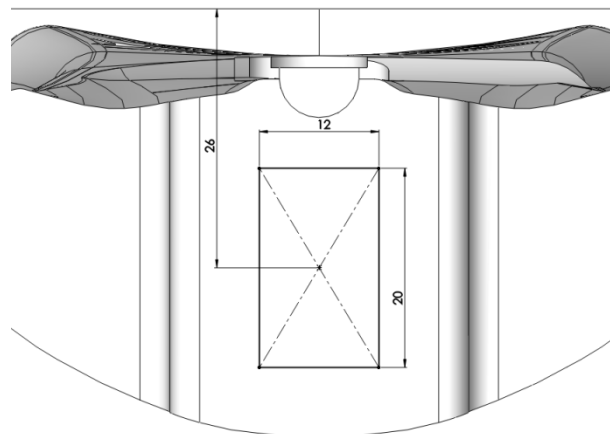
Slika 54. Dimenzije utora za centriranje

Nakon što se tijelo podijeli svaki dio otvoriti u novom radnom prostoru kao posebni dio. Kad se otvori prvi dio tijela puške treba zatvoriti okvir oko tijela puške prema dimenzijama sa slike i ekstrudirati konturu na debljinu postojećeg okvira. Dimenzije okvira prvog dijela prikazane su slikom 55.



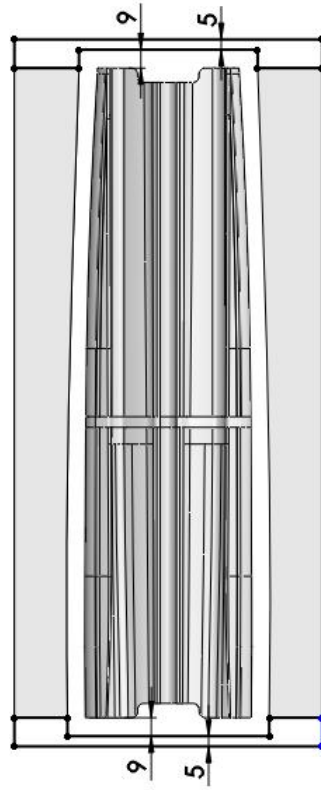
Slika 55. Dimenzije okvira prvog dijela

Potrebno je izraditi trn sa druge strane prema dimenzijama prema slici 56.



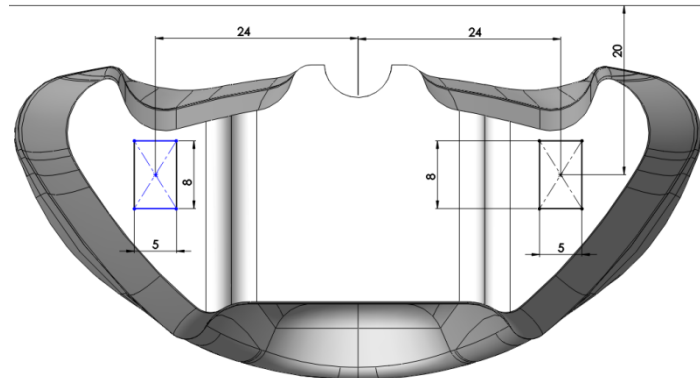
Slika 56. Drugi trn prvog dijela

Sada je potrebno pripremiti drugi komad za SolidCam prema dimenzijama prikazanim na slici 57.



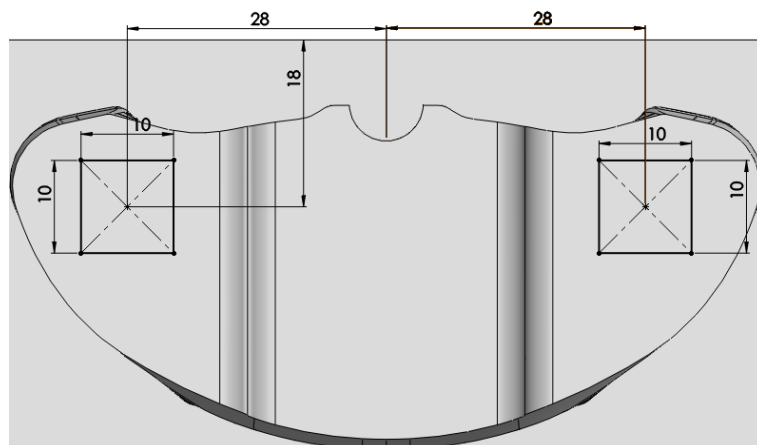
Slika 57. Dimenzije okvira drugog dijela

Izrada trnova s jedne strane prema dimenzijama koje su prikazane na slici 58.



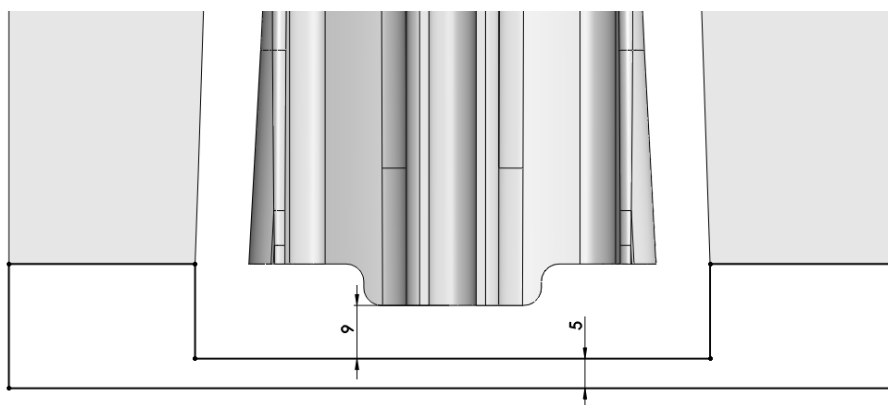
Slika 58. Trnovi prednje strane drugog dijela

Izrada trnova s druge strane prema dimenzijama prikazanim slikom 59.



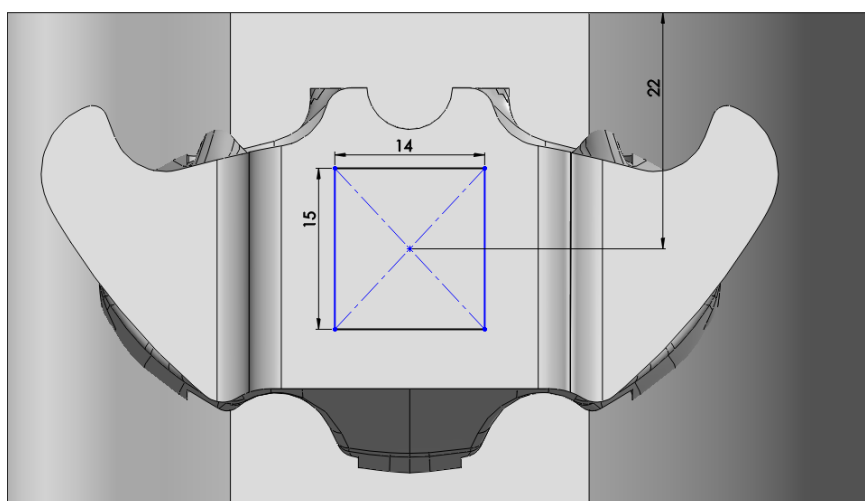
Slika 59. Trnovi zadnje strane drugog dijela

Također na trećem dijelu potrebno je zatvoriti okvir prema dimenzijama sa slike 60.



Slika 60. Okvir trećeg dijela

Potrebno je izraditi trn prema dimenzijama sa slike 61.

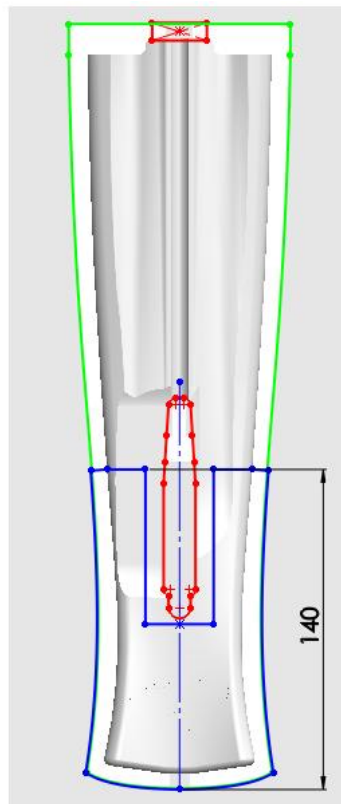


Slika 61. Trn trećeg dijela

Nakon što su svi komadi pripremljeni za SolidCam potrebno je još nacrtati neke krivulje koje će graničiti putanje alata kod obrade kako bi se vrijeme obrade što više smanjilo.

Crvena kontura podudara se s utorom za okidač i prednjim trnom.

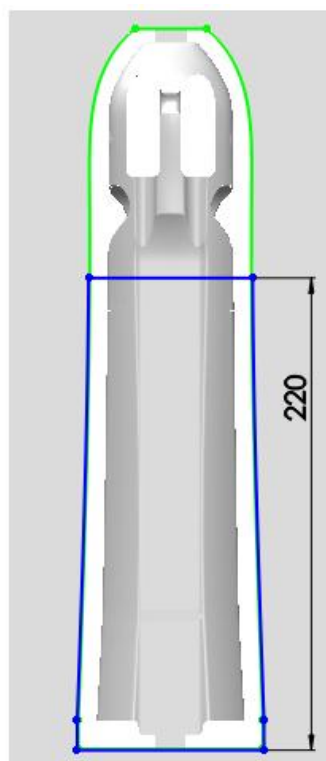
Zelena kontura se pomoću alata *Offset* udalji od unutarnjeg okvira za 0.5 mm.
Plava kontura se podudara sa unutarnjim okvirom gdje je 134 mm od ruba tijela puške.
Konture su prikazane na slici 62.



Slika 62. Granice alata prvog dijela

Na drugom dijelu potrebno je samo nacrtati konturu koja je udaljena od rubova unutarnjeg okvira za 0.5 mm.

Na trećem dijelu potrebno je nacrtati jednu konturu koja je udaljna od rubova unutarnjeg okvira za 0.5, drugu konturu je potrebno nacrtati prema slici 63.



Slika 63. Granice alata trećeg dijela

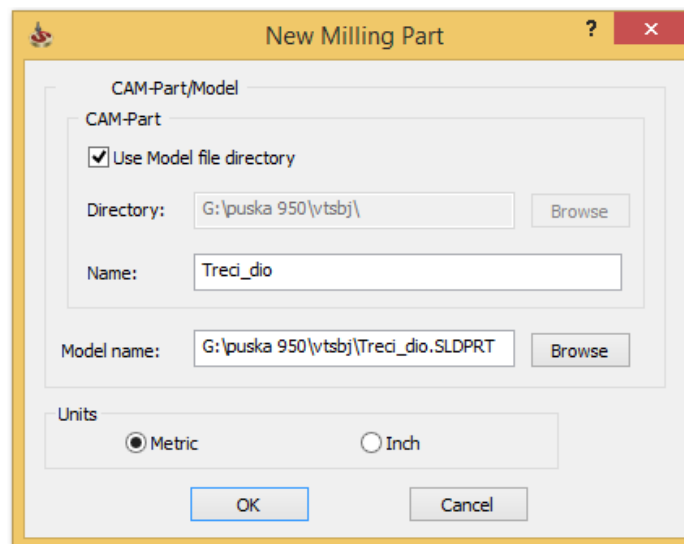
4. SolidCAM 2012

4.1 Izrada trećeg djela puške

Kao prvi primjer obrade biti će prikazan zadnji dio tijela puške jer je jednostavniji.

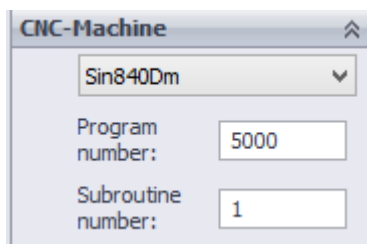
U programskom alatu SolidCAM koji je integriran u Solid Works će se izraditi priprema za proizvodnju prema modelu.

Na trenutno aktivni model u Solid Works-u na glavnom izborniku odabire se SolidCAM zatim *New* i na kraju *Milling*. Kada se pritisne *Milling* otvara se prozor gdje se odabire kako će se zvati SolidCAM datoteka koja ima ekstenziju .prz, i odabire se metrički mjerni sustav. Prozor u kojemu se definiraju ove postavke prikazan je slikom 64.



Slika 64. Definiranje novog modela u SolidCAM-u

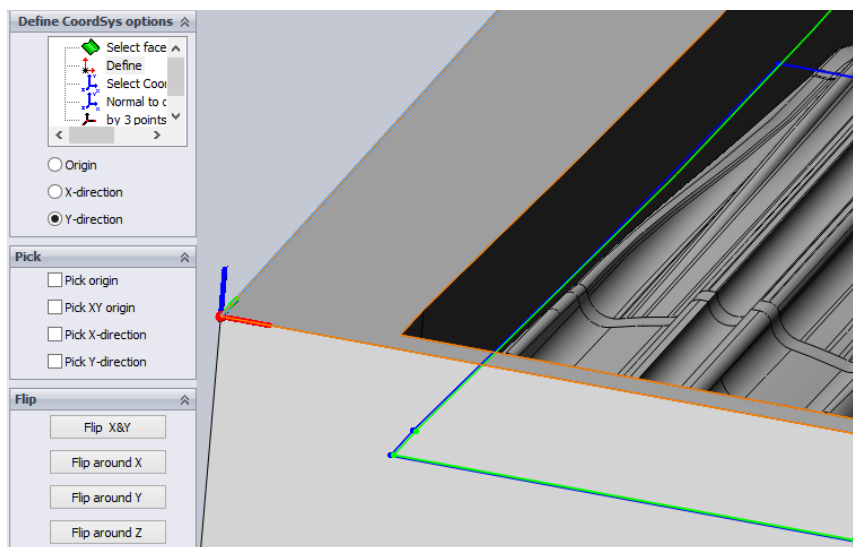
Kada se u prozoru *New Milling Part* pritisne OK otvara se prozor gdje se definiraju osnovni parametri obrade. U prvom dijelu *CNC-Machine* odabire se vrsta posprocesora s kojim se radi, a on ovisi o vrsti stroja. U ovom slučaju odabire se Sin840m. U slučaju da u izborniku nedostaje određeni posprocesor oni se nalaze na disku na kojem je instaliran SolidCAM (najčešće C:disk) pod mapom SolidCAM2012 pod mapom Gpptool. Kopiraju se datoteke sa ekstenzijama .gpp i .mac u navedenu mapu i nakon toga se ponovno pokrene Solid Works i SolidCAM. Dio prozora u kojem se izabire vrsta posprocesora prikazan je slikom 65.



Slika 65. Biranje posprocesora

U prozoru *Coordinate System* odabire se koordinatni sustav za sada prvi koordinatni sustav kasnije će biti objašnjeno stvaranje još jednog koordinatnog sustava zbog okretanja predmeta obrade.

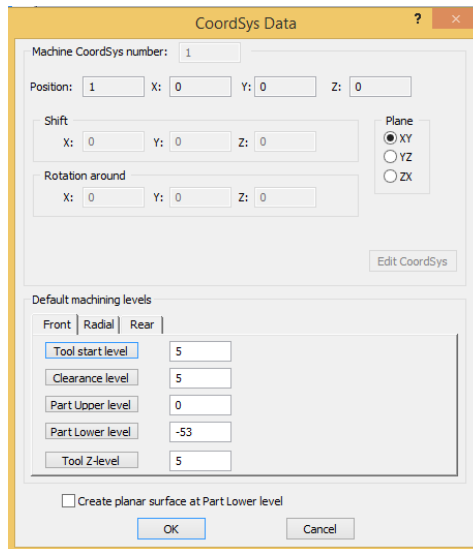
Pod opcijom *Define CoordSys options* odabire se *Define* kojim će se definirati koordinanti sustav na način da se prvo pritisne na neku točku koja predstavlja ishodište koordinatnog sustava. Zatim se pritisne na ravni rub koji će predstavljati x os (linija zelene boje na slici 66), i na kraju se odabire y-os također pritiskom na rub (linija zelene boje na slici 66). Ako se slučajno pogriješi u odabiru osi u dijelu prozora *Pick* postoji mogućnost ponovnog odabira osi. Ili u djelu prozora *Flip* gdje se svaka os može rotirati. Ishodište se uvijek postavlja u na rub obratka. Postavljanje nultočke prikazano je slikom 66.



Slika 66. Biranje nultočke

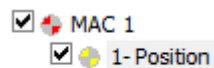
Pritiskom na kvačicu pojavljuje se prozor *CordSys Data* gdje se odabire ravnina u kojoj se radi u ovom slučaju XY

I upisuju se vrijednosti udaljenosti ravnina od ishodišta kao na slici 67.



Slika 67. Definiranje ravnina

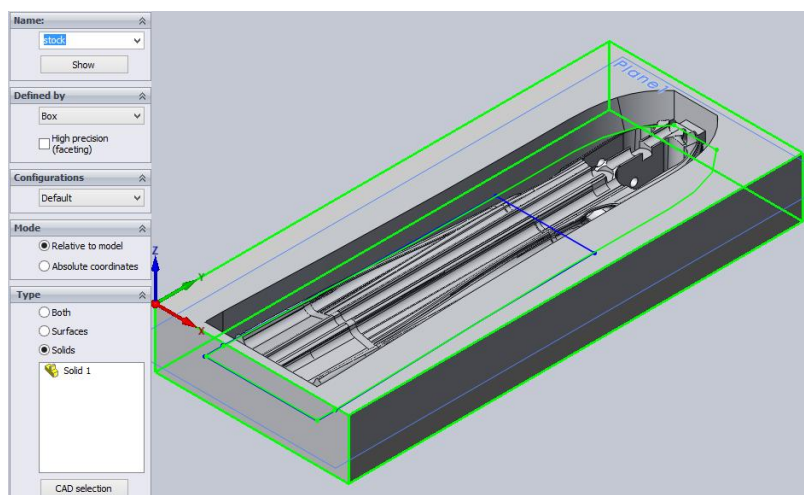
U slijedećem koraku se potvrđuje novo stvoreni koordinatni sustav koji nosi naziv 1-Position i prikazan je slikom 68.



Slika 68. Prikaz novodefiniranog koordinatnog sustava

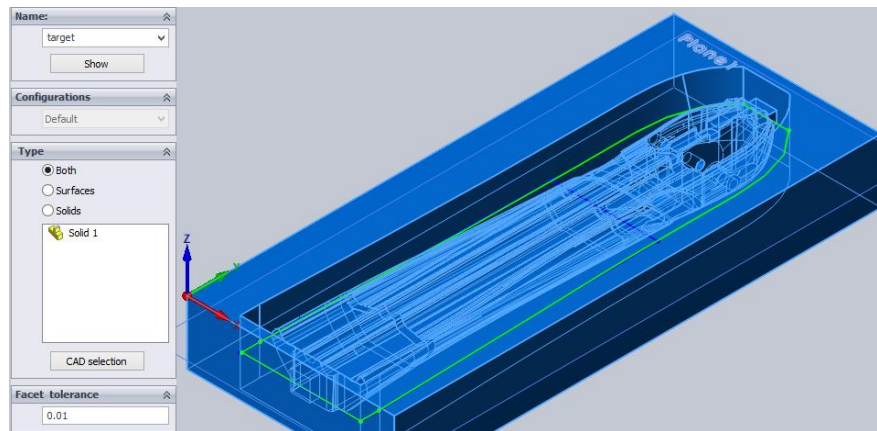
Slijedeće što treba definirati je sirovac, predmet koji se obrađuje. Njega se definira pritiskom na tipku *Stock* koja se nalazi u stablu pod izbornikom *Stock & Target model*. Kada se model otvori najčešće je on već unaprijed automatski definiran, ali ako nije samo se pritisne na model i on će poprimiti zeleni obrub. Definiranje sirovca prikazano je slikom

69



Slika 69. Definiranje sirovca

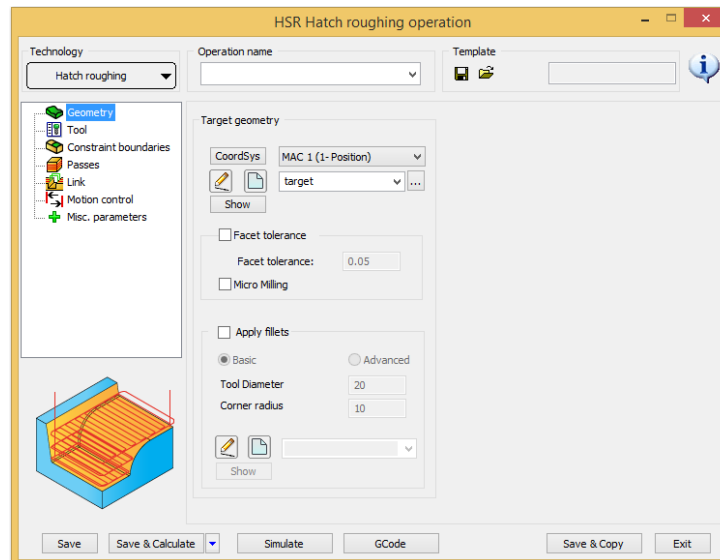
Na isti način se odabire *Target* koji određuje predmet koji se želi dobiti nakon obrade. Ove dvije stvari su već unaprijed određene i najčešće ih nije potrebno definirati. Definiranje objekta obrade prikazano je slikom 70.



Slika 70. Definiranje objekta obrade

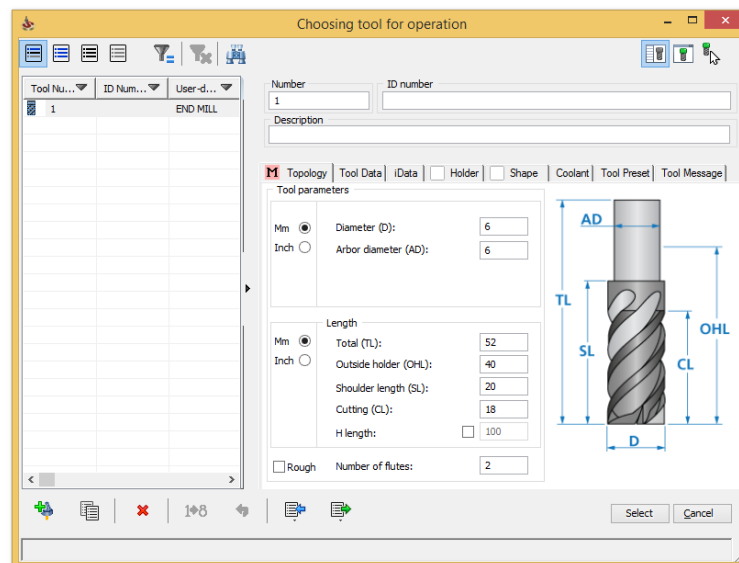
Kada se sve potrebno definira otvara se radni prostor u kojemu se definira obrada. Sa lijeve strane se nalazi stablo gdje se može mijenjati sve dosad definirano. Posebno zanimljiva opcija je *Operations* 📁 na koju kada se klikne desnom tipkom miša otvara se padajući izbornik gdje se odabire opcija *Add milling operation* koja nudi veliki izbor obrada.

Prva obrada koja će se koristiti je HSR (*High Speed Roughing*) brza gruba obrada ili "šropanje". Kada se pritisne na obradu otvara se prozor kojim se obrada definira. U gornjem lijev kutu bira se način obrade. U ovom slučaju bira se *Hatch roughing*, a u donjem desnom kutu se grafički prikazuje što bi određena vrsta obrade predstavljala. Kod izbora *Hatch* modula vidi se da ikona prikazuje kontinuirano putanja sa pomakom. Prvo se treba odabrati tijelo koje treba biti rezultat obrade. U padajućem izborniku može se izabrati koji će se koordinatni sustav koristi za sada postoji samo jedan. Potrebno je odabrati tijelo obrade pritiskom na ikonu 📄 postupak je identičan odabiru sirovca u početnoj fazi pripreme komada. U slijedećoj fazi potrebno je definirati alat. Pritiskom na opciju *Tool* potrebno je odabrati alat, nakon čega se otvara tablica alata koja je za sada prazna. Dodavanje alata se vrši pritiskom na ikonu 🛠️ gdje se odabire vrsta alata. Odabire se *End Mill*. Prozor HSR obrade prikazan je slikom 71.



Slika 71. Prozor HSR obrade

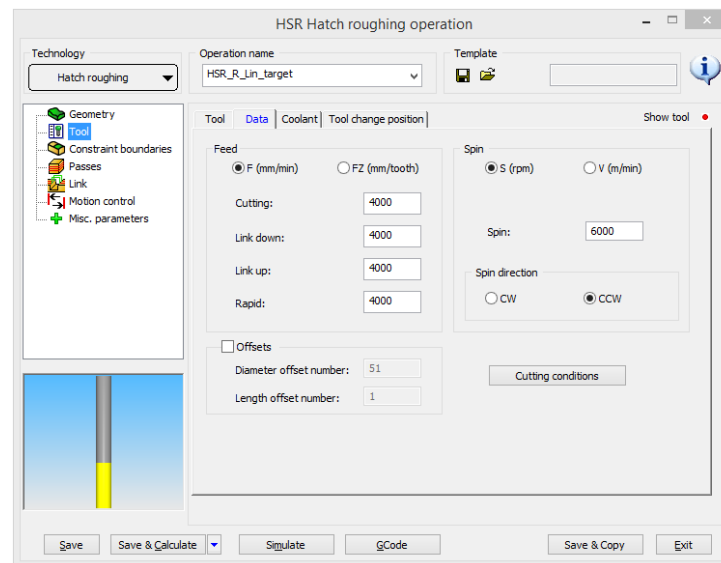
Upisuju se dimenzije alata prema slici 72. Najznačajnija dimenzija je promjer alata (eng. *Diameter (D)*) u ovom slučaju 6 mm. Sljedeća dimenzija koja je bitna odnosi se na dužina reznog dijela alata (eng. *cutting (CL)*). Ostale dimenzije su u ovom slučaju nebitne, znači kako god da se podese stroj će napraviti isto. Bilo bi bitno da na stroju postoji izmjena alata.



Slika 72. Definiranje alata

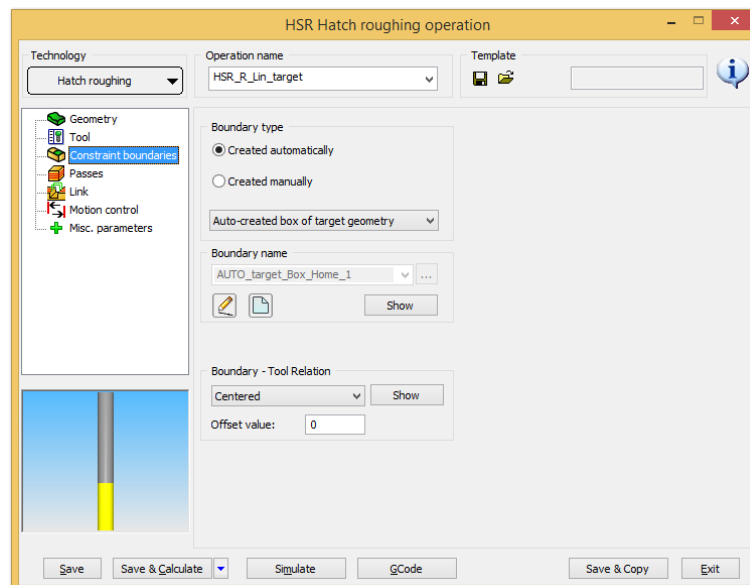
Kada se odabere alat definiraju se ostale veličine koje se nalaze u prozoru *Data*. Definira se radna brzina (*Cutting*) koja iznosi 4000 mm/min ova brzina se odnosi na radnu brzinu po x i y osi. Radna brzina po z osi prema dolje (*Link down*). Brzina kada se alat diže prema gore (*Link up*) i brzina brzog hoda (*Rapid*). Sve ove brzine iznose 4000 mm/min. Također se definira brzina vrtnje glavnog vretena koje iznosi 6000 okr/min i odabire se opcija CCW

što znači smjer vrtnje suprotan od smjera kazaljke na satu. Ova vrtnja je suprotna od vrtnje na stroju, kada se odabere CCW na stroju se vreteno vrta u smjeru kazaljke na satu. Režime obrade potrebno je podesiti kao na slici 73.



Slika 73. Režimi obrade

Sljedeći korak je definiranje granica obrade što u ovom slučaju ostaje automatski gdje su granice određene neobrađenim predmetom, alat neće izlaziti iz granica sirovca. Definiranje granica obrade prikazano je slikom 74.

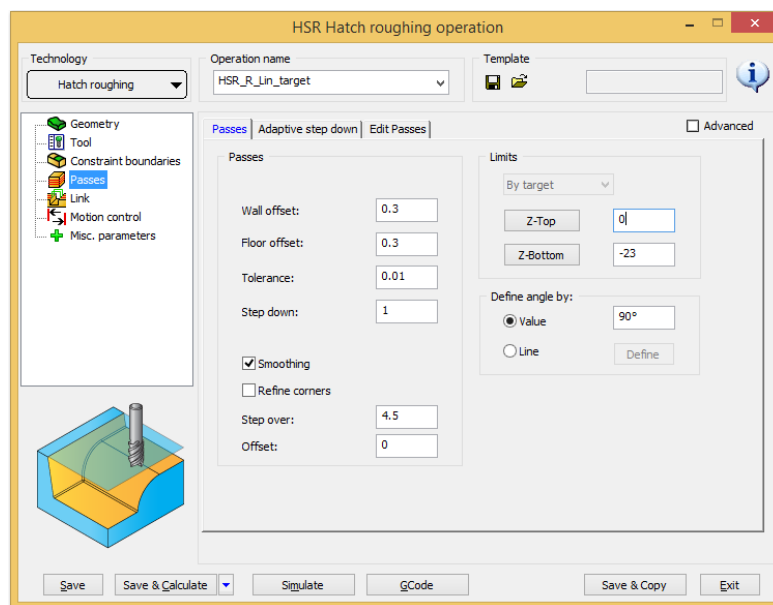


Slika 74. Definiranje granica obrade

U sljedećem koraku potrebno je definirati prolaze alata. Pomoću naredbi *Wall offset* i *Floor offset* određuje udaljenost između površine modela i putanje alata, u ovom slučaju upisuje se broj 0,3 što znači da će se alat kretati 0,3 mm udaljen od površine modela i na taj način ostaviti dovoljno neobrađene površine za finu obradu. Sljedeći korak je definirati

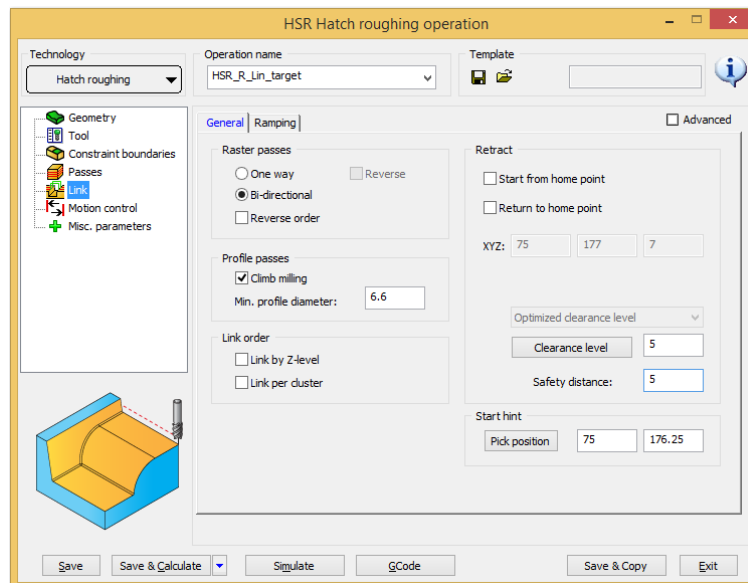
toleranciju površine koju će alat obrađivati, postavlja se na 0.02. Opcija *Step down* definira za koliko će se alat svaki puta kada odradi određenu putanju pomaknuti po z-osi. Pomak po z-osi iznosi 1 mm. Opcijom *Step over* određuje se koliki će biti prijeklop alata kod obrade. Upisuje se 4.5 što znači da korišteno glodalo promjera 6 mm skida 4.5 mm u jednom prolazu. Sa desne strane prozora potrebno je definirati granice alata po z osi. Granice iznose od 0 do -23 mm. Smjer putanje alata mora biti pod 90 °, što definira da će se alat gibati uz y-os.

U slijedećem prozoru *Adaptive step down* potrebno je samo parametar *Min. step down* promijeniti u 1 što znači da će kod prolaza alata uzimati po 1 mm. Definiranje alata prikazano je slikom 75.



Slika 75. Definiranje prolaza alata

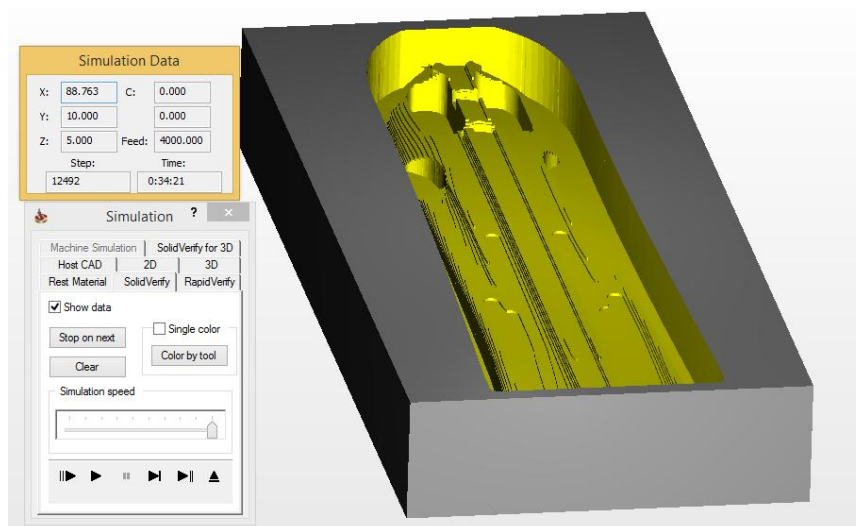
Pod opcijom *Link* definira se samo parametar *Clearance level* i *Safety distance* treba promijeniti u 5. Sigurnosna udaljenost i ravnina u kojoj nema nikakvih objekata. Ravnine se nalaze 5 mm od predmeta obrade. Pod izbornikom *Ramping* potrebno je odabrati zadnju opciju *Plunge ramping*. Ova opcija definira da spuštanje po z-osi biti okomito na xy os. Konfiguracija sigurnosnih ravnina prikazana je slikom 76.



Slika 76. Postavljanje sigurnosnih ravnina

Kada se želi vidjeti tijek obrade pritisne se tipka *Simulate* gdje se proračunava putanja alata i automatski se obrada sprema i može se vidjeti sa desne strane u stablu. Za simuliranje obrade postoji više modula, a odabire se *SolidVerify*.


Prije pokretanja obrade potrebno je uključiti opciju *Show data*. Kada se aktivira ova opcija otvara se prozor *Simulation Data* koji pokazuje trenutnu poziciju alata po svim osima, broj koraka i vrijeme obrade. Također je potrebno isključiti opciju *Single color*, pomoću ove opcije dobiva se preglednost jer postavlja različite boje za različite alate inače bi sve bilo jednobožno. Simulacija obrade prikazana je slikom 77.

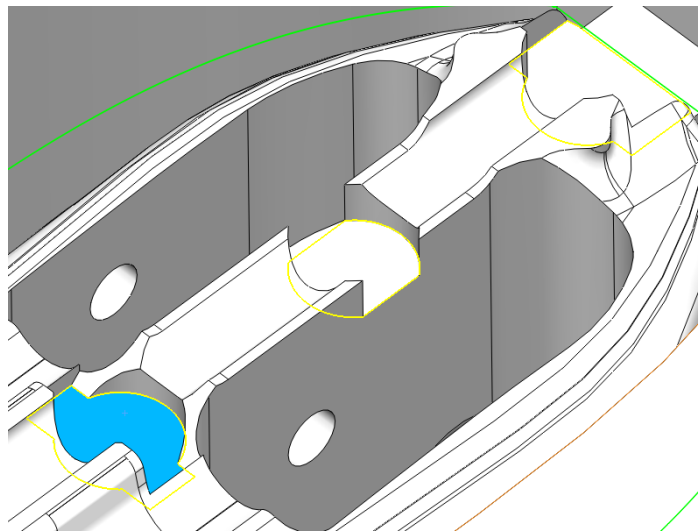


Slika 77. Simulacija obrade

Nakon što je jedna strana obrađena na grubo potrebno je i drugu stranu obraditi na grubo. S obzirom da se komad mora okretati potrebno je stvoriti novi koordinatni sustav sa druge strane. Sa lijeve strane u stablu na opciju *CoordSys Manager* pritiskom na desnu tipku

miša otvara se izbornik u kojem se izabire *Open*. U stablu desnom klikom miša potrebno je odabrati *Add*, gdje se definira novi koordinati sustav na isti način kao i kod definiranja prvog koordinatnog sustava.

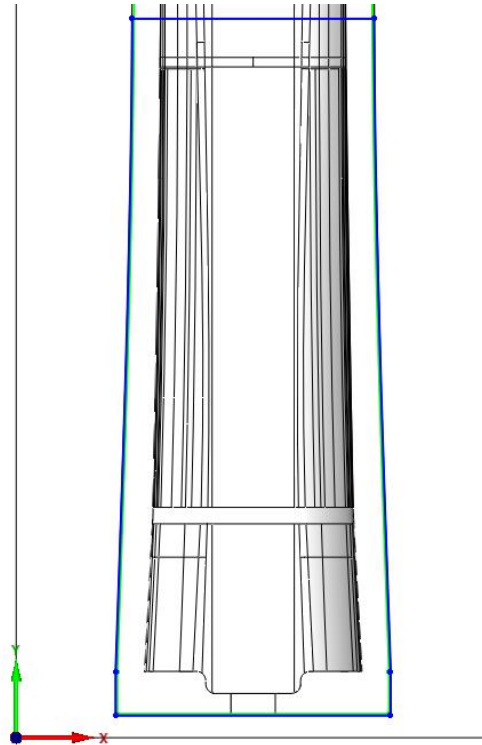
Još je potrebno napraviti utore za vodilicu. Iako gruba obrada napravi jedan dio utora, utore treba doraditi na potrebnu dimenziju. Ova operacije bi se mogla izvesti uslijed fine obrade, ali problem je što kod fine obrade se koristi okruglo glodalo, a utori se moraju izraditi ravnim glodalom. Tako da će se utor ukopati operacijom *Pocket Operation*. Kada se alat otvori u dijelu prozora *Geometry* odabiru se površine koje je potrebno obraditi. Kad se pritisne na ikonu  otvara se prozor za definiranje ploha obrade. Kod izbornika *Multi chain* pritisne se tipka *Add* i odabire se *Faces*. I označiti površine prema slici 78. Dalje je sve slično kao i kod definiranja HSR obrade, samo kod dijela *Milling levels* kod opcije *Upper level* upisuje se -11, a kod *Pocket depth* upisuje se 2.305. Kod prve opcije defenira se sa koje kordinate po z-osi počinje obrada, a kod druge opcije koliko će biti dubina utora mjereno od -11 mm. Na mjestu *Equal step down* potrebno je staviti kvačicu i upisati broj 1. Što znači da će dubina rezanja biti po 1mm.



Slika 78. Granice alata dodatne obrade

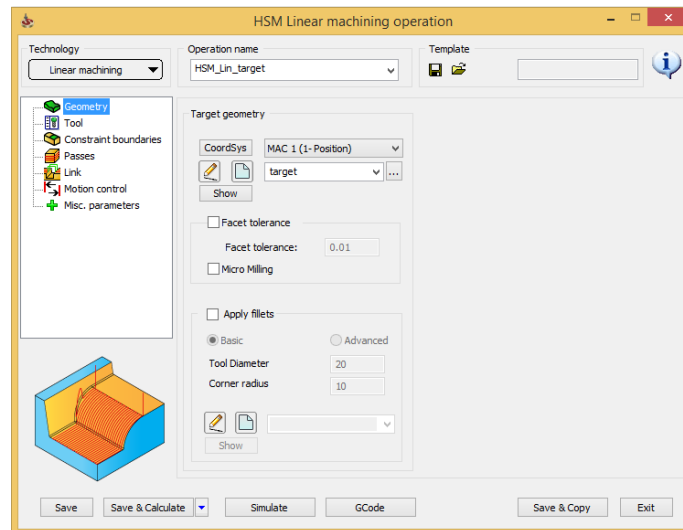
Sa druge strane je potrebno definirati grubu obradu ali sa dubinom od -26 mm.

I još dodatno je potrebno definirati još jednu grubu obradu kako bi se obradile površine koje su niže od -26 mm. Jedina razlika je kod opcije *Constraint boundaries* i potrebno je odabrati opciju *Created manually* i potrebno je odabrati plavu konturu kao na slici 79 i visine po z-osi potrebno je postaviti od -25 do -30 mm.



Slika 79. Granice alata kod trećeg dijela

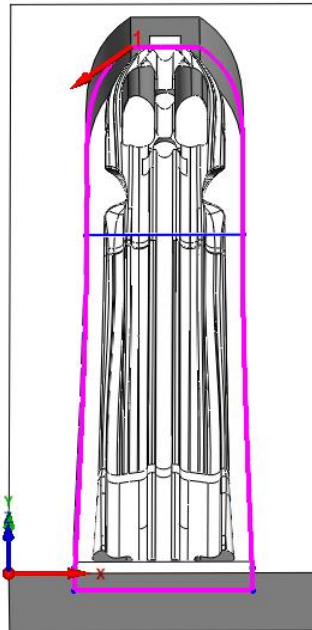
Nakon grube obrade slijedi fina obrada koju se odabire u istom izborniku kao i grubu. Fina obrada HSM (High speed machining) ili visoko brzinska obrada. Otvara se prozor sličan kao i kod HSR modula. Odabire se vrsta obrade *Linear machining*. Prozor HSM obrade prikazan je slikom 80



Slika 80. Prozor HSM obrade

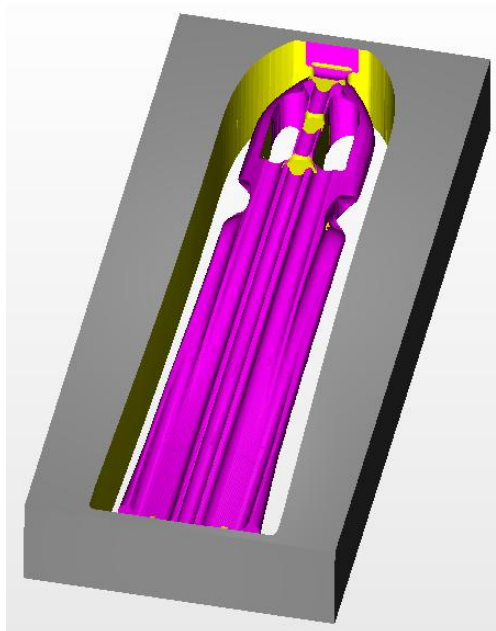
Pod opcijom *Constant boundaries* treba odabrati konturu zelene boje. Granice će definirati obradu tako da se fina obrada izvodi unutar granice koje ne dotiču rubove okvira i samim time se ne troši vrijeme na obradu okvira kojeg nije potrebno obrađivati. Pod opcijom *Boundary - Tool Relation* potrebno je odabrati u izborniku *Internal* tako da će se alat uvijek

nalaziti unutar označene konture. Po z-osi granice obrade su od 0 od -26 mm. Konturu označiti kao na slici 81.



Slika 81. Granice alata fine obrade

Isti postupak ponoviti sa druge strane komada, ali sa dubinom po z-osi od -33 mm. Rezultat obrade u simulaciji prikazan slikom 82.



Slika 82. Rezultat simulacije trećeg dijela

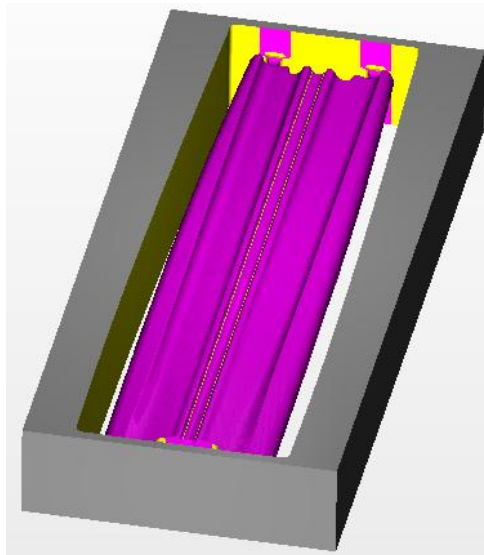
Prikaz gotovog trećeg djela nakon obrade. prikazan je slikom 83.



Slika 83. Izrađeni treći dio tijela

4.2 Izrada drugog djela puške

Obrada drugog djela puške sastoji se kao i kod trećeg djela. Primjenjuju se dvije grube obrade i dvije fine obrade. Slikom prikazana je rezultat simulacije drugog dijela. Kada je simulacija gotova treba se dobiti obrađeni dio kao na slici 84.



Slika 84. Rezultat simulacije drugog dijela

Slikom prikazan je gotovi drugi dio tijela 85.

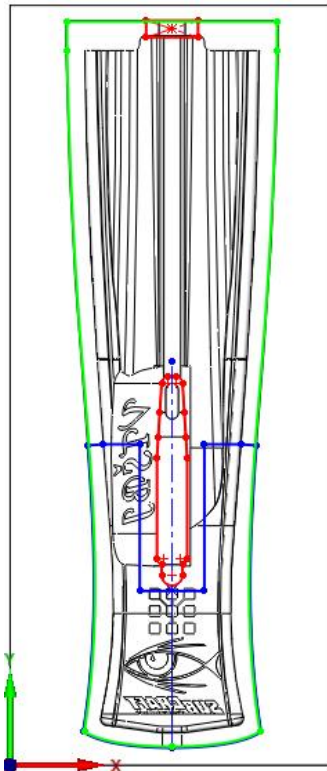


Slika 85. Izrađeni drugi dio tijela

4.3 Izrada prvog djela puške

Sad će biti opisan prvi dio tijela puške i biti će opisani samo dijelovi koji se razlikuju od zadnjeg trećeg djela.

Prema već objašnjenom načinu prvo se izvode grube obrade pomoću HSR nad cijelim predmetom obrade. Još jednom pomoću HSR potrebno je doraditi dijelove tijela puške koji su u granicama crvene linije na slici 86. Komad je potrebno okrenuti i ponoviti HSR obradu i naknadno još jednu obradu u granicama plave linije prema slici 86 samo po z-osi je potrebna veća dubina.

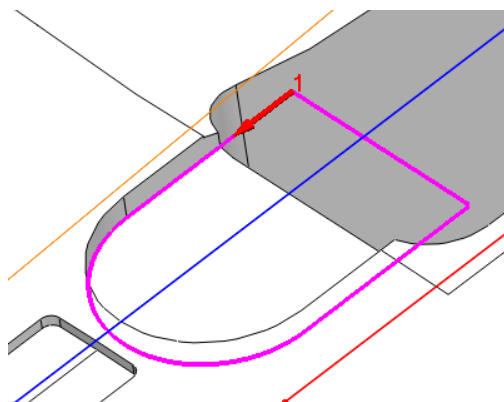


Slika 86. Obrade prvog dijela

Sada je potrebno primijeniti fine obrade primjenom HSM obrade.

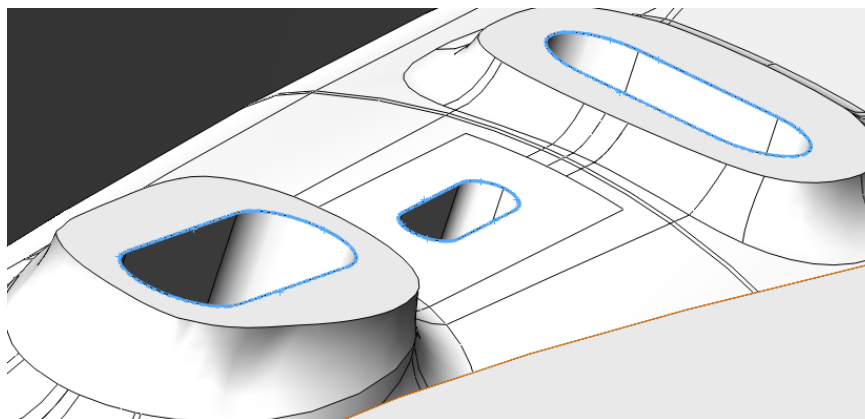
Pomoću operacije *Pocket Operation* potrebno je izraditi utor gdje se pričvršćuje okidač. U ovom radu kada se primjenjuju *Pocket Operation* operacije potrebno je neki dio puške izraditi na točnu mjeru bez korištenja *Offset-a*. Takvi utori su pod pravim kutom pa se takvi utori izrađuju ravnim glodalom. Granice obrade prikazane su ljubičastom linijom na slici 87.

Sam utor za okidač će se izraditi pomoću HSR obrade s obzirom da je kompleksnijeg oblika.



Slika 87. Granice alata utora okidača

Kada se komad okrene također pomoću operacije *Pocket Operation* potrebno je izraditi utore za čepove i utor za okidač. Rubovi utora prikazani su plavom bojom na slici 88.

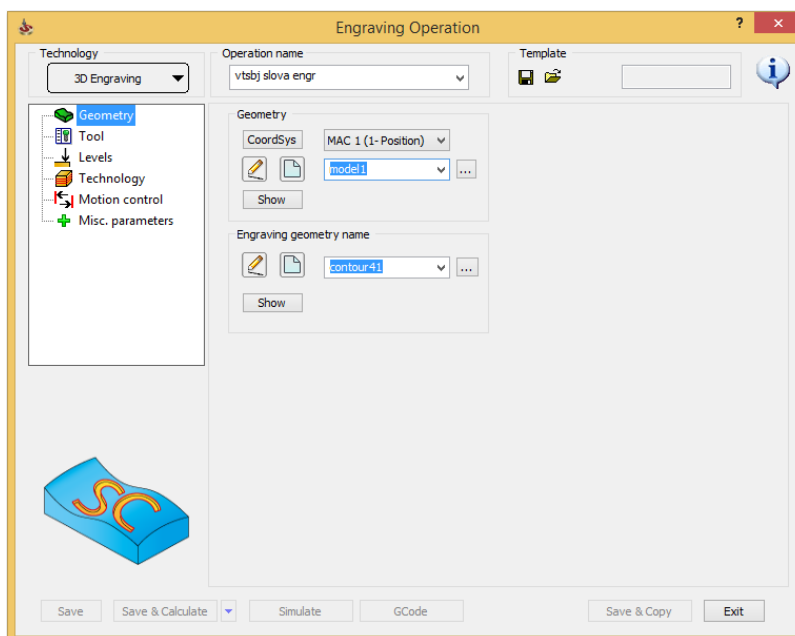


Slika 88. Granice alata dodatne obrade čepova za spajanje i utora okidača

Sada će biti objašnjeno graviranje loga Visoke tehničke škole u Bjelovaru i logo tvrtke Sub Craft.

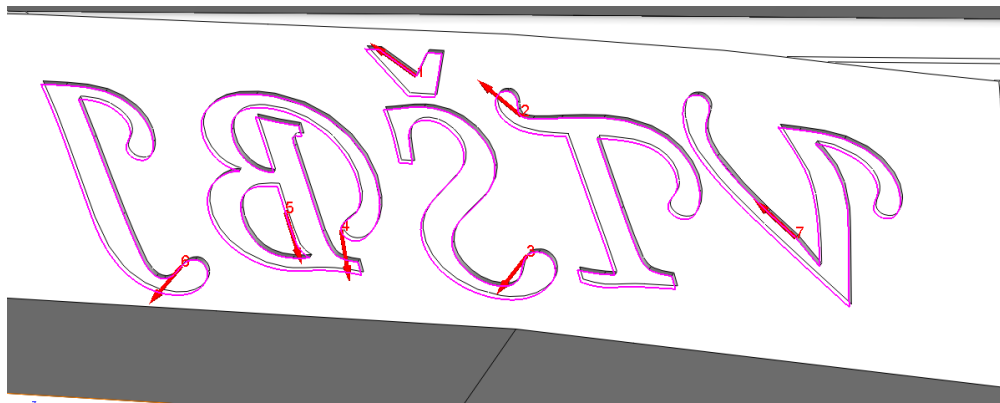
Za graviranje će se koristiti obrada *Engraving Operation*. Kada se alat uključi potrebno je u izborniku koji se nalazi u gornjem lijev dijelu prozora izabrati *3D Engraving* koji određuje da će oblik koji se gravira biti rasprostranjen na 3D plohi.

U prvoj opciji odabire se tijelo koje se gravira. A u drugom izborniku određuje se kontura koja se gravira. Prozor alata za graviranje prikazan je slikom 89.



Slika 89. Prozor alata za graviranje

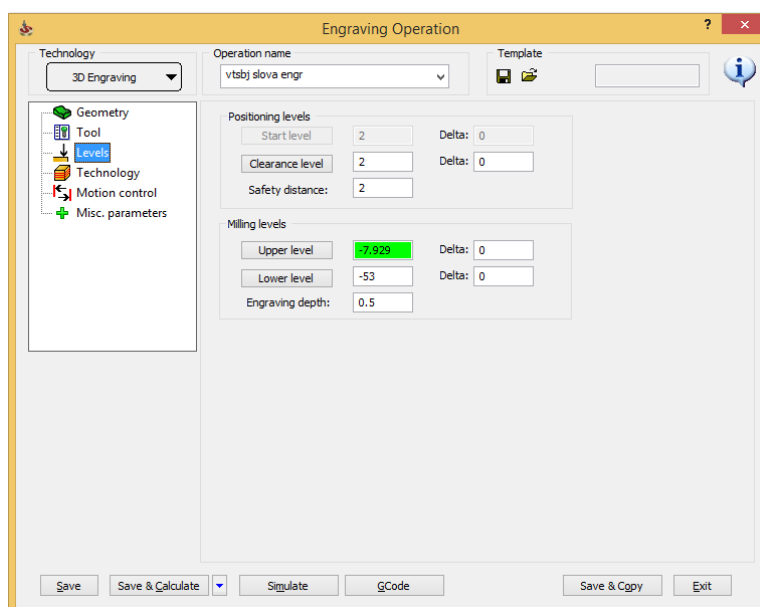
A u drugom izborniku određuje se kontura koja se gravira označavanjem rubova slova kao na slici 90.



Slika 90. Granice alata za graviranje skraćenice VTŠBJ

Alat koji se odabire je glodalo 0.5 mm promjera koje se koristi za graviranje.

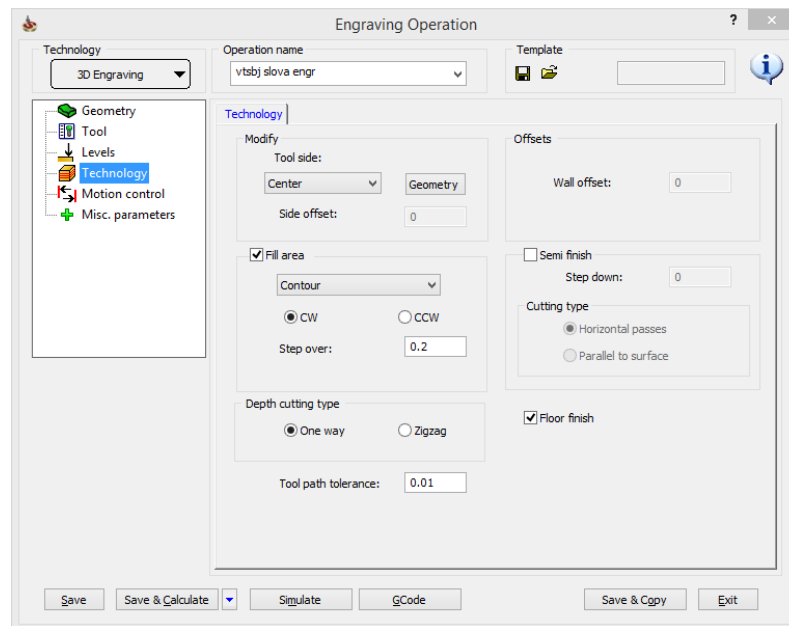
Sada je potrebno odabrati visine po z-osi na kojima se provodi obrada. Kada se pritisne *Upper level* odabire se gornja točka obrade. Točka se može samo upisati ili se može kliknuti na obradak na mjesto gdje je najviša točka. *Lover level* ili donji nivo je već odabran, bitno je samo da je niži od dubine graviranja. *Engraving depth* upisuje se dubina graviranja koja iznosi 0.5 mm. Dubinu graviranja potrebno je definirati prema slici 91.



Slika 91. Definiranje dubine graviranje

I na kraju u stablu *Tehnology* određuje se način graviranja. Prvo se postavlja s koje strane će glodalo pratiti konturu, to se postavlja u opciji *Tool side* i odabire se smjer *Center* što znači da alat prati konturu po svojoj osi. Iako bi ispravnije bilo da glodalo prati konturu s unutarnje strane, ali zbog problema u SolidCam-u u simulaciji glodalo ponekad prati konturu sa unutarnje, a ponekad sa vanjske strane. Ako se postavi centrirano praćenje konture glodalo će samo 0.25 mm napraviti veću konturu što je zanemarivo. Uključivanjem opcije *Fill area* popunjava se praznina unutar konture ako je ima. Odabire

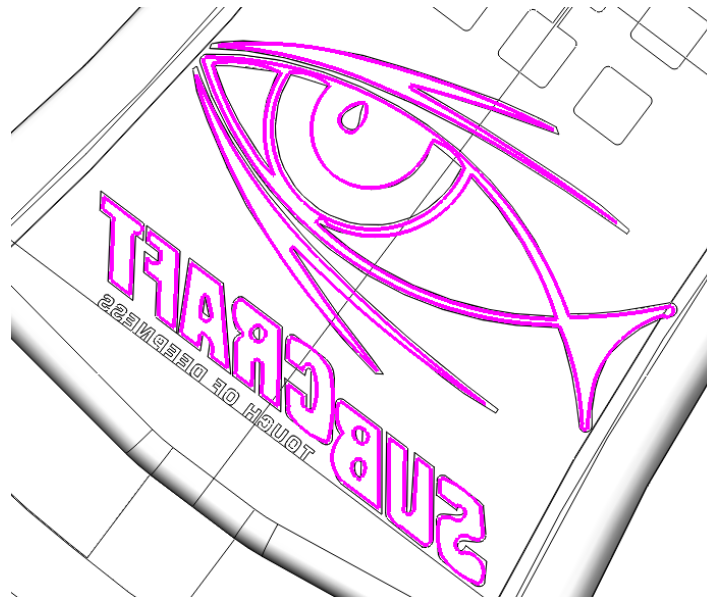
se način popunjavanja *Contour* i smjer u smjeru kazaljke na satu. Preklapanje alata postavlja se 0.2 mm. Definiranje tehnologije graviranja prikazano je slikom 92.



Slika 92. Tehnologija graviranja

Na isti način je potrebno ugravirati logo Visoke tehničke škole u Bjelovaru.


Na isti način izvesti graviranje loga i natpisa tvrtke Subcraft. Označavanje loga prikazano je slikom 93.

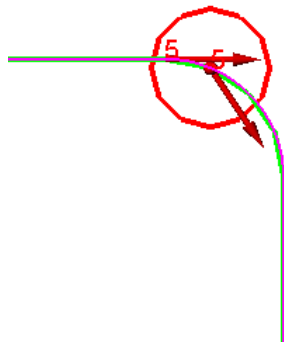


Slika 93. Granice alata kod graviranja loga tvrtke SubCraft

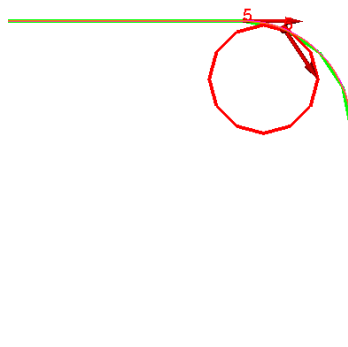
Ponekad postoje problemi kod korištenja alata *Engraving* kada se postavlja način praćenja konture sa lijeve ili desne strane. Problem se javlja jer alata ponekad neku konturu prati s desne strane, a ponekad s lijeve strane iako je u izborniku izabrano na primjer praćenje s lijeve strane. Dio problema se može riješiti pritiskom na tipku *Geometry* koja se nalazi u

dijelu prozora *Tehnology*→*Modify*. Kada se ova tipka pritisne otvara se prozor u kojem je moguće za svaku konturu postaviti sa koje će strane alat pratiti konturu. Praćenje konture sa desne (unutarnje) strane prikazano je slikom 95.

Iako postoje slučajevi kada niti ova metode neće riješiti problem. Zadnje rješenje koje je i najsigurnije da prilikom modeliranja djela koji će se gravirati, prije nego se izradi samo udubljenje u tijelu puške kada se nalaze još u *Sketch*-u alatom *Offset*  potrebno je smanjiti sve linije prema unutra za radijus alata kojim će se gravirati, u ovom slučaju sve konture će se smanjiti za 0.25mm. Sada je samo potrebo postaviti praćenje alata centrom alata *Center* tako da ne bude zabune sa koje strane će alat pratiti konturu, a zbog praćenja centrom alata potrebno je smanjiti konturu jer će željeni oblik biti za radijus alata veći kada se izradi. Centralno praćenje alata prikazano je slikom 94.

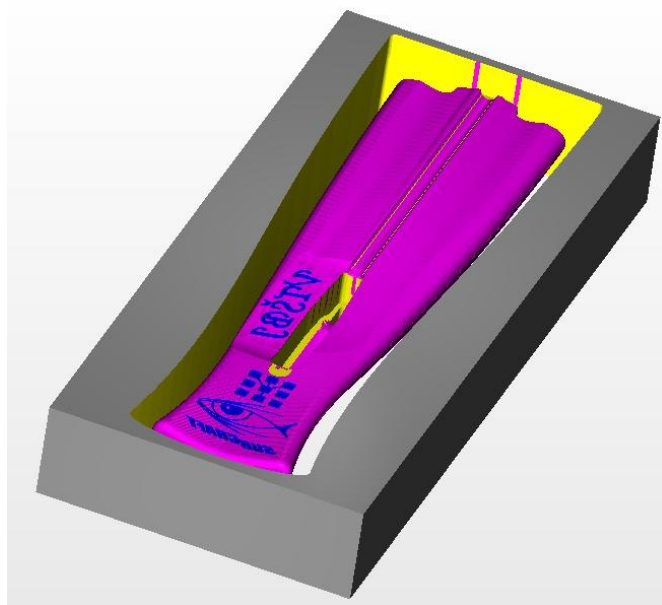


Slika 94. Putanja alata centrom konture



Slika 95. Putanja alata s desne strane

Rezultat simulacije trećeg djela prikazana je slikom 96.



Slika 96. Rezultat simulacije prvog dijela

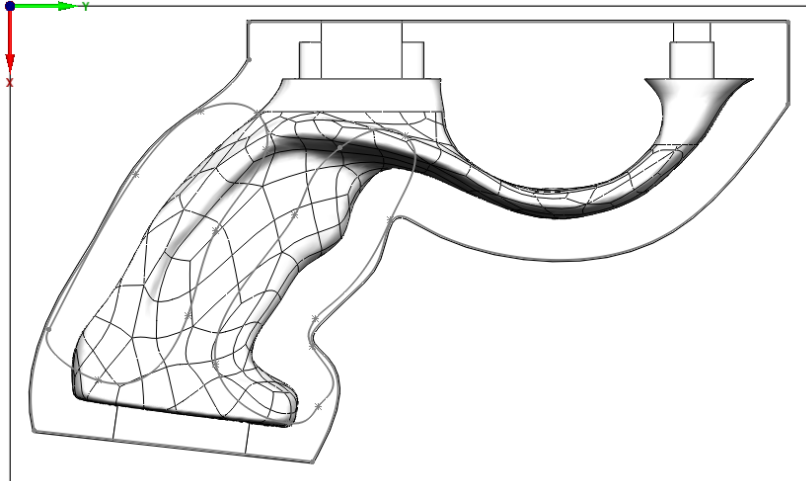
Stvarni gotovi prvi dio tijela prikazana je slikom 97.



Slika 97. Izrađeni prvi dio tijela

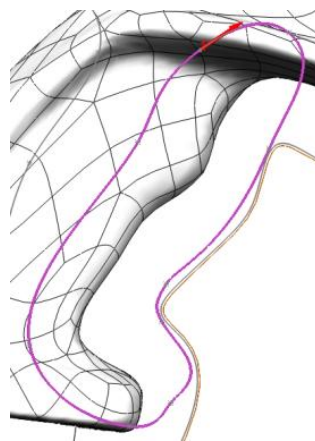
4.4 Izrada ručke

Za izradu ručke treba pripremiti sirovac dimenzija 220x130x54. Kao i u slučaju izrade tijela prvo će se provesti gruba obrada nad obje strane, a zatim fina obrada. Sa prve strane provest će se gruba obrada prema već objašnjenom postupku do dubine -28 mm nad cijelim obratkom. Ručka koja će se obrađivati prikazana je slikom 98.



Slika 98. Obrada ručke

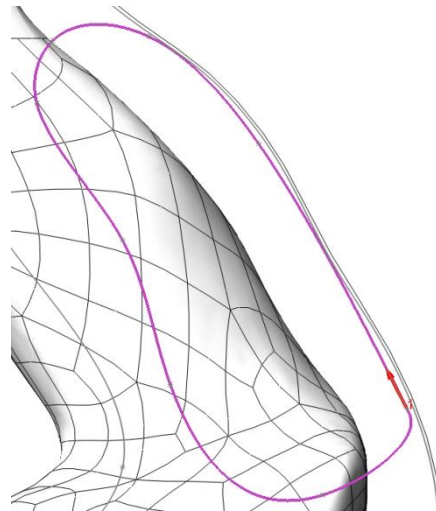
Zatim je potrebno dodatno na istoj strani grubom obradom dodatno izdubiti na dubinu -33mm. Obradu je potrebno postaviti u granice prema slici 99. Konturu koja predstavlja granicu obrade potrebno je nacrtati proizvoljno i treba samo voditi računa da kontura ne dodiruje vanjski obrub i da je udaljena minimalno 8 mm od ruba ručke zbog prolaska glodala. Svi parametri obrade su isti kao i kod obrade tijela puške.



Slika 99. Granice alata s prve strane

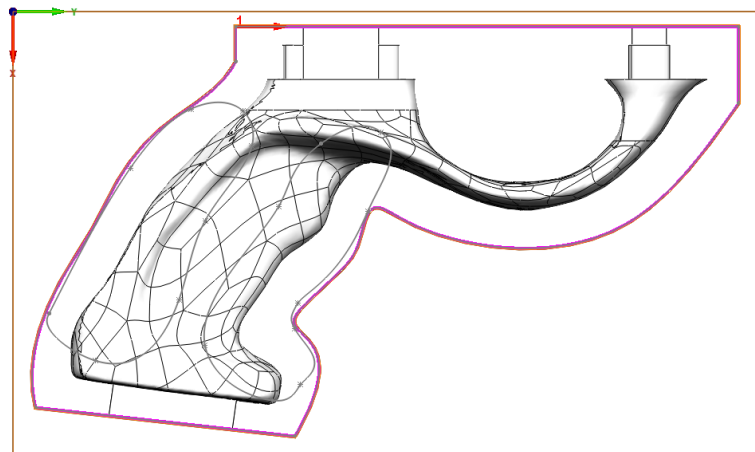
Sada je potrebno postaviti sljedeći koordinatni sustav sa druge strane ručke i ponovno provesti grubu obradu do dubine -28 mm. I na drugoj strani također ima jedan dio ručke

koji treba obraditi na veću dubinu. Taj dio također je omeđen krivuljom kao na prvoj strani ručke prema slici 100. Taj dio potrebno je obraditi na dubinu od -42 mm.



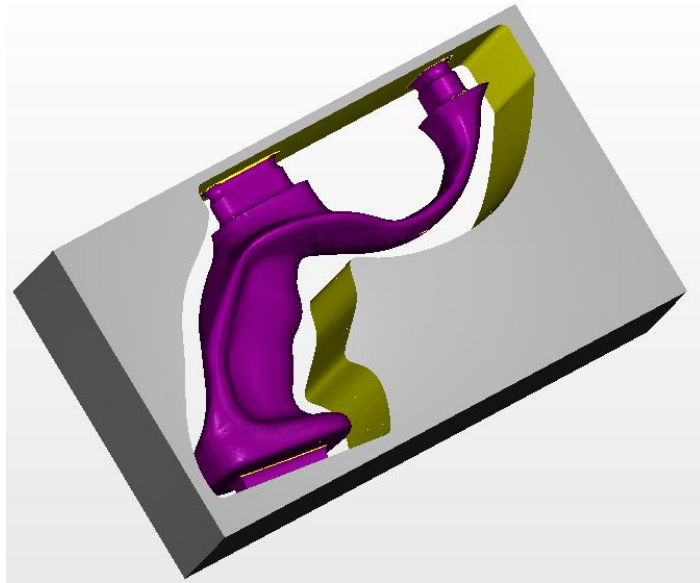
Slika 100. Granice alata s druge strane

Sada je potrebno provesti finu obradu nad obje strane ručke. Granice obrade su postavljane na 0.1 mm od okvira kako se ne bi trošilo vrijeme na obradu okvira koji se kasnije odstranjuje. Također je potrebno sa svake strane ručke izraditi dodatnu obradu za veću dubinu kao kod grube obrade. Granice alata za finu obradu prikazane su ljubičastom bojom na slici 101.



Slika 101. Granice alata kod fine obrade

Nakon izrade potrebno je odrezati trnove s kojima se ručka drži za okvir i doraditi ručnom obradom čepove kojima se ručka spaja s tijelom. Rezultat simulacije ručke prikaza je slikom 102.



Slika 102. Rezultat simulacije ručke

Izrađena ručka prikazana je slikom 103.



Slika 103. Izrađena ručka

Gotovi proizvod prikazan je slikom 104.



Slika 104. Gotovi proizvod

4.5 Preinake u G-kodu

Nakon generiranja G-koda u programu Notepad potrebno je napraviti preinake kako bi se stroj željeno ponašao.

Na samom početku potrebno je ekstenziju datoteke na kojoj se nalazi kod preimenovati iz .txd u .MPF jer tu vrstu ekstenzije čita upravljačka jedinica Siemens 840 DSI. To se može učiniti odmah nakon generiranja koda na PC-u ili na samoj upravljačkoj jedinici kao i sve ostale preinake koje će biti navedene u nastavku.

Kao primjer će biti naveden jedan dio koda za grubu obradu prve strane prvog dijela puške. Stvari koje se izmjenjuju biti će podcrtane u navedenom primjeru.

Kao prvo potrebno je napisati naredbu G64 koja uključuje rad pri konstantnom brzinom. Bez ove naredbe stroj se pozicionira iz točke u točke tako da kada dođe u zadanu točku brzina mu padne u nulu i tako do druge točke, takav način uzrokuje dodatne vibracije, samim time i netočnost obrade, a što je najvažnije vrijeme obrade je do 90% više. Kada se koristi ova naredba stroj fluidno bez zastajkivanja prelazi iz točke u točku. Naredbu je potrebno u pisati u liniji koda N7.

Dalje sve naredbe za brzi hod G0 potrebno je zamijeniti naredbama za radni hod G1. Problem koji se javlja kod brzog hoda je što je njegova brzina veća od 5000 mm/min, a kada brzina stroj postane veća 4999 mm/min javlja se greška za prevelikom brzinom. Ako se promjerne svi brzi hodovi u radne potrebno je u redu N7 napisati brzinu posmaka, jer kod sada nema tu brzinu s obzirom da kada se poziva G0 brzina je već definirana od upravljačke jedinice stroja. Posmak je potrebno postaviti na F4000 mm/min isti posmak se koristi u obradi.

U istom redu N7 visinu po z-osi koja iznosi 200 potrebno je postaviti na 5. Kad bi stroj imao izmjenu alata morao bi dići na 200 mm da se izmjeni alat, što kod ovog stroja je nemoguće jer je to izvan njegovog radnog prostora po z-osi, a i nema izmjenu alata.

Dalje je potrebno promijeniti pozivanje alata. Opet zbog nedostatka izmjene alata nije bitno koji alata se navodi u naredbi, ali mora biti ispravno napisana naredba inače se javlja greška za netočnom sintaksom. Naredbu T1 u redu N8 potrebno je zamijeni naredbom T="T1".

Na samom kraju ponovno se javlja dizanje alata za 200 mm. Ovu naredbu se može prepraviti na 5mm ili izbrisati cijeli red N7433.

```
N1 ;%_N_PRVA STRANA GRUBA OBRADA_MPF
N2 ;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_CADTECH_WPD
N3 MSG(" DATEI:PRVA STRANA GRUBA OBRADA.MPF")
N4 MSG("DATUM: 08-JUL-2016")
N5 MSG("TIME: 23:25:12")
```


N6 MSG("WKZ WECHSELPUNKT")

N7 G54 G64 G1 X0 Y0 Z5 F4000

N8 T="T1"

N9 MSG("END MILL")

N10 M6

N11 MSG("HSR-R-LIN-TARGET - HSM-RASTER-CLEARANCE")

N12 S6000 M4

N13 G54 G17 G0 X122.25 Y344.2

N14 G1 Z5

N15 G1 Z1

N16 G1 Z-1 F4000

N17 G1 Y306.435

N18 G1 Z1

N19 G1 Z3.4

N20 G1 X117.75 Y212.736

*

*

*

N7431 G1 X72.622 Y163.584 Z-13

N7432 G1 Z5

N7433 G1 Z5

N7434 M30

5. Korišteni CNC stroj

Za izradu cijele puške korišten je CNC stoj upravljačke jedinice Siemens Sinumeric 840D sl. Stroj se sastoji od 3 osi pogonjene servo motorima [5]. Radne dimenzije stroja prikazane su tablicom 1.

Tabela 1 :Radni prostor stroja

| | |
|------|--------|
| X-os | 250 mm |
| Y-os | 350 mm |
| Z-os | 150 mm |

Dimenzije radnog stola prikazane su tablicom 2.

Tabela 2. Dimenzije radnog stola

| | |
|-----------------------|---------|
| Širina stola | 375 mm |
| Dužina stola | 330 mm |
| Broj T-utora | 15 |
| Gornja širina T-utora | 8.2 mm |
| Donja širina T-utora | 14.8 mm |
| Razmak između T-utora | 25 mm |

5.1 Parametri korišteni pri obradi

Tablicom 3 biti će prikazani korišteni alati i parametri obrade za pojedine operacije.

Tabela 3. Parametri obrade

| Vrsta alata | Brzina vrtnje okr/min | Posmak mm/min | Operacija |
|---------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| Ravno fi 6 mm | 6000 | 4000 | Gruba obrada |
| | 6000 | 2000 | Obrubljivanje |
| Poluokruglo fi 8 mm | 6000 | 4000 | Fina obrada |
| Ravno fi 0.5 mm | 6000 | 1000 | Graviranje |

Korištena glodala prikazana su na slici 105.



Slika 105. Prikaz korištenih alata

Vremena obrade prikazana su tablicom 4.

Tabela 4. Vrijeme obrade

| | | |
|-------------------|---------------------------|----------------------|
| Tijelo prvi dio | Gruba obrada prva strana | 34 min |
| | Gruba obrada druga strana | 71 min |
| | Fina obrada prva strana | 22 min |
| | Fina obrada druga strana | 40 min |
| Tijelo drugi dio | Gruba obrada prva strana | 33 min |
| | Gruba obrada druga strana | 55 min |
| | Fina obrada prva strana | 24 min |
| | Fina obrada druga strana | 23 min |
| Tijelo treći dio | Gruba obrada prva strana | 51 min |
| | Gruba obrada druga strana | 53 min |
| | Fina obrada prva strana | 32 min |
| | Fina obrada druga strana | 28 min |
| Ručka | Gruba obrada prva strana | 42 min |
| | Gruba obrada druga strana | 44 min |
| | Fina obrada prva strana | 43min |
| | Fina obrada druga strana | 34 min |
| Suma svih vremena | | 629 min = 10.48 sati |

6. Zaključak

Kod izrade proizvoda koji se sastoji od kompleksnih površina dolazi do izražaja korištenje aditivnih tehnologija. U nekim fazama modeliranja je poželjno na brzi način proizvesti odnosno isprintati željeni model kako bi se provjerilo da li željeni model odgovara potrebnim zahtjevima. Takav isprintani model potrebno oblikovati prema željnom obliku i skenirati. Takav način ubrzava proces razvijanja novog proizvoda, i samim time proizvod je jeftiniji i kvalitetniji. U cijelom procesu pomaže i program za generiranje G-koda SolidCAM s kojim se može izraditi virtualna proizvodnja vrlo kompleksnih proizvoda. A samim tim mogu se generirati kodovi za izradu na stroju.

7. Literatura

- [1] Tomislav Pavlic; Božidar Hršak; Renato Šabić; CAD/CAM SYSTEM CUSTOMIZING FOR 2.5D AND 3D MILLING ON HAAS VF6 4-AXIS CNC MILLING MACHINE // Technical Journal. 8 (2014), 2; 123-128, ISSN 1846-6168
- [2] Robert Jolić; Đuro Kukec; Tomislav Pavlic; USAGE AND ADVANTAGES OF CAD/CAM TECHNOLOGY FOR INDUSTRY. // Technical Journal. 8 (2014), 4; 332-338, ISSN 1846-6168 (stručni rad)
- [3] Tomislav Pavlic; SOLIDCAM // Inteligentno, interesantno inženjerstvo (I³), FSB Zagreb, 2008. (str. 41-44), ISSN 1846-8586
- [4] Mihoci, Kristijan; Pavlic, Tomislav. DEVELOPMENT AND TESTING OF FIVE-AXIS POSTPROCESSORS // Proceedings of the CIM 2009-12th International Scientific Conference on Production Engineering / Abele, Eberhard ; Udiljak, Toma ; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb : Croatian Association of Production Engineering, 2009.
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=GJrS1XkIIKY>
- [6] Hrvoje Dorić, Završni rad, VTŠBJ, 2015.: Retrofit CNC glodalice i analiza rada
- [7] Tomislav Subota, Završni rad, VTŠBJ, 2015.: Aditivni postupci u procesu razvoja novih proizvoda
- [8] Tomislav Pavlic; Ivana Jurković; Tomislav Subota; ADITIVNI POSTUPCI U PROCESU RAZVOJA NOVIH PROIZVODA S OSVRTOM NA TERMINOLOŠKA PITANJA // Technical Journal. 10 (2016), 1-2; ISSN 1846-6168
- [9] <http://www.subcraft-store.com/>
- [10] Boščić, Drago; Kos, Sebastijan; Pavlic, Tomislav. THE APPROACH TO STRONGER CONNECTION BETWEEN MACHINING ORIENTED MANUFACTURING COMPANIES AND EDUCATION SECTOR - JOINT COOPERATION // Proceedings of the CIM 2015-15th International Scientific Conference on Production Engineering / Abele, Eberhard ; Udiljak, Toma ; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb : Croatian Association of Production Engineering, 2015. 65-70
- [11] Tatjana Badrov; Tomislav Pavlic; Božidar Hršak; STUDENT ENTREPRENEURIAL-TECHNOLOGICAL INCUBATOR IN BJELOVAR // Technical Journal, 7 (2013), 4; 414-418
- [12] Pavlic, Tomislav; Golubić, Stjepan; Lukas, Marin. DEVELOPMENT OF ELECTROMECHANICAL ENGINEERING STUDENTS ENTREPRENEUR-TECHNOLOGICAL INCUBATOR AT BJELOVAR // Proceedings of the CIM 2013 / Abele, Eberhard ; Udiljak, Toma ; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb : Croatian Association of Production Engineering, 11-18, ISBN 978-953-7689-02-5, 2013.
- [13] Ivan Hapavel, Završni rad, VTŠBJ, 2012.: Virtualna verifikacija 2.5D glodanja u SolidCAM-u za 3-osnu CNC glodalicu Spinner MVC850
- [14] <http://security.lss.hr/Novi-dokumenti/reverzni-ingenjering.html> (13.7.2016)
- [15] <http://www.cadcam-group.eu/hr/reverse-ingenjering> (13.7.2016)
- [16] <http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509> (13.7.2016)
- [17] <http://documents.tips/documents/5-brza-izrada-prototipova.html> (13.7.2016)
- [18] <http://www.solidcam.com/professor/> (13.7.2016)

Sažetak

Naslov: Reverzni inženjering i brza izrada prototipa

U ovo radu je prikazan reverzni inženjering na konkretnom primjeru izrade puške za podvodni ribolov. Modeliranje je započelo 3D skenom tijela već postojeće puške i ručkom zračnog pištolja. Potrebno je bilo spojiti ručku s tijelom i napraviti neke preinake (poboljšanja) na tijelu puške. Nakon modeliranja slijedi printanje na 3D printeru. Printaju se samo dijelovi koji su u doticaju s drugim dijelovima i dio puške gdje je bilo potrebno provjeriti ergonomiju ručke. Kada isprintani modeli odgovaraju onome što je zamišljeno može se krenuti u razradu tehnologije. Nakon što su definirane operaciju u programskom alatu SolidCAM generirani kod iz SolidCAM-a se prebacuje na CNC stroj upravljačke jedinice Siemens Sinumerik 840Dsl i puška se izrađuje u drvetu iz četiri dijela.

Ključne riječi: Reverzni inženjering, Brza izrada prototipa, modeliranje, priprema proizvodnje

Abstract

Title: Reverse engineering and rapid prototyping

In this paper presents a reverse engineering a concrete example of making speargun. Modeling has begun a 3D body scan existing rifle and air pistol handle. It was necessary to connect the handle to the body and make some modifications (improvements) in the body of the gun. After modeling a printout of the 3D printer. Print only the parts that come into contact with other parts and part of the gun where it was necessary to check the ergonomics of the handle. When printed correspond to what was intended to be set off in production planning in the programming tool SolidCAM. The generated code from SolidCAM and switches to the CNC machine control unit Siemens Sinumerik 840Dsl and rifle is made in wood of four parts.

Keywords: Reverse engineering, rapid prototyping, modeling, preparation of production

Završni rad izrađen je u Bjelovaru, 15.7.2016

(Potpis studenta)

Prema Odluci Visoke tehničke škole u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Visoke tehničke škole u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

KRUNOSLAV KUŠEC

(Ime i prezime)

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 15.7.2016

Kuša

(potpis studenta/ice)

Privitak

U privitku se nalaze slike postojeće puške za podvodni ribolov [9], 3D CAD modela i izrađenih dijelova koji su skenirani na 3D skeneru i printani na 3D printeru [7], te dijelova izrađivanih na CNC glodalici [5]. U privitku su prikazane i slike dijelova koji su u procesu pripreme proizvodnje nastali, te konačno, izrađenog proizvoda - novog tijela i drške puške za podvodni ribolov.

Slike postojeće puške za podvodni ribolov





Slike 3D CAD modela i izrađenih dijelova koji su skenirani na 3D skeneru i printani na 3D printeru slike dijelova koji su u procesu pripreme proizvodnje nastali

