

# Izrada i korištenje vakuum stola kod CNC glodanja

---

**Luketić, Luka**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:133200>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Specijalistički diplomski stručni studij Strojarsva*

Luka Luketić

**IZRADA I KORIŠTENJE VAKUUM  
STOLA KOD CNC GLODANJA**

Završni rad

Karlovac, 2018. godina.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Specijalistički diplomski stručni studij Strojarstva*

Luka Luketić

**PRODUCTION AND USAGE OF A  
VACUUM HOLD DOWN TABLE  
DURING CNC MILLING**

Završni rad

Mentor:  
dr.sc. Tihomir Mihalić

Karlovac, 2018. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i četverogodišnjem radnom iskustvu u odjelu razvoja firme *Aquaestil Plus d.o.o.*

Zahvaljujem mentoru dr.sc. Tihomiru Mihaliću koji je svojim stručnim savjetima pomogao u realizaciji ovog diplomskog rada, zahvaljujem se gospodinu Borisu Ferkuli dipl. ing. el., vlasniku firme *Aquaestil Plus d.o.o.*, što mi je omogućio ovaj studij i odobrio ovaj projekt te se zahvaljujem gospodinu Anti Šuteju, vlasniku firme *Antonio drums*, na vremenu i trudu da bi ovaj projekt bio fizički ostvaren.

Karlovac, 2018. godina

Luka Luketić



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

*Specijalistički studij: Strojarstva*

*Usmjerenje: Konstrukcije*

*Karlovac, 01.09.2017.*

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

*Student: Luka Luketić*

*Matični broj: 0111415008*

*Naslov: Izrada i korištenje vakuum stola kod CNC glodanja*

**Opis zadatka:**

Fokus zadatka je na konstrukciji i izradi vakuum stola kao stezne naprave kod CNC glodanja. Potrebno je dimenzionirati sve komponente vakuum stola.

Student treba u radu objasniti:

- DIZAJNIRANJE I IZBOR MATERIJALA ZA VAKUUM STOL
- IZRADA 3D MODELA VAKUUM STOLA
- IZRADA UNUTRAŠNJE KOMORE
- SASTAVLJANJE VAKUUM STOLA
- MONTAŽA I OBRADA VAKUUM STOLA NA CNC GLODALICI
- PRIJENOSNI VAKUUM STOL MALIH DIMENZIJA
- PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD IZRADE BAKELITNOG VAKUUM STOLA
- KORIŠTENJE BAKELITNIH VAKUUM STOLOVA
- PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD KORIŠTENJA BAKELITNOG VAKUUM STOLA
- NEOČEKIVANI PROBLEM I POPRAVAK

Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.

*Zadatak zadan:*

*01.09.2017.*

*Mentor:*

**dr.sc. Tihomir Mihalić**

*Predviđeni datum obrane:*

*13.06.2018*

*Predsjednik Ispitnog povjerenstva:*

**Dr.sc. Tanja Tomić**

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS KRATICA .....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	IX
1. UVOD.....	1
2. OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA [10].....	2
3. CNC GLODANJE .....	5
3.1. Alati za glodanje (glodala) [12] .....	7
3.2. Izrada programa za CNC glodanje [13] .....	8
4. OSNOVNA KONSTRUKCIJA ALATNIH STROJEVA [14].....	9
5. PODJELA STEZNIH NAPRAVA KOD CNC GLODANJA [11].....	10
5.1.1. Specijalne stege.....	10
5.1.2. Stezne naprave za skupine obradaka i univerzalne stege.....	11
5.1.3. Modularne stege.....	11
5.1.4. Stezni sustav s definiranom nultočkom .....	12
5.2. Podjela prema principu .....	13
5.2.1. Pneumatske stezne naprave.....	13
5.2.2. Hidrauličke stezne naprave .....	14
5.2.3. Magnetske stezne naprave .....	15
5.2.4. Vakuumske stezne naprave.....	16
6. Stezanje vijcima i stezaljkama.....	19
7. TOKARENJE [10].....	20
7.1. Alati za tokarenje (tokarski noževi).....	21
7.2. Stezanje obratka kod tokarenja .....	23
8. DIZAJNIRANJE I IZBOR MATERIJALA ZA VAKUUM STOL.....	24
8.1. Izmjera CNC glodalice.....	24
8.2. Odabir materijala za izradu vakuum stola.....	26
8.2.1. Tekstolit HGW 2082 [1] .....	27
8.2.2. Pertinaks HP 2061 [1].....	28
8.2.3. Vitroplast (staklolit) G 10 HGW 237 [1].....	28
8.3. IZRADA 3D MODELA VAKUUM STOLA.....	31
8.3.1. Definiranje vanjskih dimenzija .....	31
8.3.2. Definiranje kanala i rupa za zrak .....	32
8.3.3. Definiranje unutrašnje komore.....	34
8.3.4. Definiranje rupa za vijke.....	36
8.3.5. Definiranje druge polovice stola i kompletiranje.....	37

9. IZRADA UNUTRAŠNJE KOMORE .....	40
9.1. CAM programiranje glodanja komore .....	40
9.2. Glodanje unutrašnje komore .....	47
10. SASTAVLJANJE VAKUUM STOLA .....	51
10.1. Modelarski radovi na bakelitnom dijelu vakuum stola .....	51
10.2. Bravarski radovi na limenom dijelu vakuum stola .....	57
11. MONTAŽA I OBRADA VAKUUM STOLA NA CNC GLODALICI .....	66
11.1. Pripreme prije montaže .....	66
11.2. Montaža prve polovice vakuum stola .....	67
11.3. Montaža druge polovice vakuum stola .....	68
11.4. CAM programiranje glodanja gornje površine vakuum stola.....	71
11.5. Spajanje polovica vakuum stola na vakuum pumpu .....	74
11.6. Glodanje gornje površine vakuum stola.....	76
11.7. Modifikacija vakuum stola za točnije umjeravanje alata.....	79
12. PRIJENOSNI VAKUUM STOL MALIH DIMENZIJA .....	81
13. PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD IZRADA BAKELITNOG VAKUUM STOLA .....	85
14. KORIŠTENJE BAKELITNIH VAKUUM STOLOVA.....	86
14.1. Stezanje obratka direktno na površini vakuum stola .....	87
14.2. Stezanje obradaka uz pomoć dodatne vakuumske šablone.....	89
14.2.1. Privremene vakuumske šablone.....	90
14.2.2. Trajne vakuumske šablone.....	95
15. PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD KORIŠTENJA BAKELITNOG VAKUUM STOLA.....	108
16. NEOČEKIVANI PROBLEM I POPRAVAK .....	109
17. ZAKLJUČAK.....	110
PRILOZI.....	111
LITERATURA.....	112

## POPIS SLIKA

Slika 1. Obična stolarska stega.....	1
Slika 2. Stolni škripac.....	1
Slika 3. Podjela postupaka obrade odvajanja čestica .....	2
Slika 4. Huber & Grimme 5-osni CNC obradni centar .....	5
Slika 5. Vizualni prikaz glodanja (lijevo) i glodalo u radu (desno) .....	6
Slika 6. Prikaz kinematike postupka .....	6
Slika 7. Oblici glodala.....	7
Slika 8. Oblici glodala.....	7
Slika 9. Shema postupka programiranja CNC stroja.....	8
Slika 10. Pogoni na obradnom centru .....	9
Slika 11. Osnovna podjela steznih naprava.....	10
Slika 12. Modularna stega i dodatni djelovi.....	11
Slika 13. Stezni sustavi s definiranom nultočkom .....	12
Slika 14. Pozicioniranje obratka na radni stol obradnog stroja.....	12
Slika 15. S jednostranim djelovanjem (lijevo), s dvostranim djelovanjem (desno).....	13
Slika 16. Hidraulička stezna naprava .....	14
Slika 17. Magnetska stezna naprava .....	15
Slika 18. Aluminijski vakuum stol i oprema.....	16
Slika 19. Postavljanje gumene brtve .....	17
Slika 20. Vakuum pumpa .....	18
Slika 21. Razni aluminijski profili greda .....	19
Slika 22. T-matica sa steznim vijkom .....	19
Slika 23. Obradak stegnut t-slot načinom korištenjem stupnjevite prizme.....	19
Slika 24. Grafički prikaz tokarenja .....	20
Slika 25. CNC tokarilica .....	20
Slika 26. Profilno tokarenje.....	21
Slika 27. Set tokarskih noževa .....	22
Slika 28. Amerikaner sa 3 pakne.....	23
Slika 29. Amerikaner sa 6 pakni .....	23
Slika 30. Fotografija CNC-a Roctech u tvornici .....	24
Slika 31. Roctech RC1318S .....	25
Slika 32. Stari radio s vanjskim bakelitnim kućištem .....	26
Slika 33. Tekstolit ploče.....	27
Slika 34. Pertinaks ploče .....	28
Slika 35. Vitroplast ploče .....	28
Slika 36. Ploče hladno valjanog lima .....	30
Slika 37. Vanjske dimenzije polovice stola .....	31
Slika 38. Usisne rupe, plitki i duboki kanali .....	32
Slika 39. Pjenasta guma bez vakuuma (lijevo) i sa vakuumom (desno) .....	33
Slika 40. Kanali unutrašnje komore .....	35
Slika 41. Komora i rupe za vijke omeđeni kanalima za brtvu .....	36
Slika 42. 3D model cijelog vakuum stola sa limom i potpornim cijevima .....	37
Slika 43. 3D model vakuum stola sa donje strane.....	38
Slika 44. Nacrt vakuum stola .....	39
Slika 45. 3D model polovice vakuum stola u Solidcamu 2018 .....	40



Slika 46. Prikaz putanje alata prilikom glodanja komore .....	41
Slika 47. Dijamantno glodalo promjera 20mm .....	41
Slika 48. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja kanala za brtvu .....	42
Slika 49. Spiralno dvoperno glodalo promjera 6mm .....	42
Slika 50. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja rupa za zrak .....	43
Slika 51. Spiralno dvoperno glodalo promjera 8mm .....	43
Slika 52. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja rupa za vijke .....	44
Slika 53. Prikaz putanje glodala prilikom vanjskog obrezivanja .....	45
Slika 54. Prikaz uspješno obavljene simulacije glodanja .....	46
Slika 55. Sirova bakelitna ploča debljine 20mm dimenzije 2070x1070 .....	47
Slika 56. Bakelitna poloča na CNC-u Bulleri u Aquaestil plus d.o.o. ....	48
Slika 57. Početak glodanja komore .....	48
Slika 58. Završetak glodanja komore .....	49
Slika 59. Glodanje kanala za brtvu.....	49
Slika 60. Bušenje rupa i vanjsko obrezivanje .....	50
Slika 61. Lijepljenje gumene brtve u komoru vakuum stola.....	51
Slika 62. Skošene rupe za vijke.....	52
Slika 63. Električna bušilica sa konusnim glodalom.....	52
Slika 64. Tehnički podaci imbus vijka sa upuštenom glavom DIN 7991 [5] .....	53
Slika 65. Imbus vijak M8x30 sa upuštenom glavom .....	53
Slika 66. Tehnički podaci trio matice KR 9060 [5] .....	54
Slika 67. Trio matica M8x15 KR9060 .....	54
Slika 68. Akumulatorska bušilica sa imbus bitom .....	55
Slika 69. Silikoniranje vanjskog navoja trio matice.....	55
Slika 70. Trio matica u svojoj konačnoj poziciji.....	56
Slika 71. Zarezana i zalijepljena trio matica sa strane komore .....	56
Slika 72. HV limena ploča cijela (lijevo) i okrajčena (desno) .....	57
Slika 73. Komad cijevi spreman za zavarivanje na HV lim.....	58
Slika 74. Majstor zavaruje cijev na HV lim .....	58
Slika 75. Cijev u trenucima nakon zavarivanja.....	59
Slika 76. Konačni oblik zavara .....	59
Slika 77. Pripreme prije bušenja HV lima.....	60
Slika 78. Izbušene rupe u HV limu kroz bakelit .....	61
Slika 79. Tehnički podaci sigurnosne matice DIN 982 [5] .....	62
Slika 80. Sigurnosna matica M8 DIN 982 .....	62
Slika 81. Tehnički podaci opružne podloške DIN 127 B [5].....	63
Slika 82. Opružna podloška M8 DIN 127 B .....	63
Slika 83. Stegnute ploče odozdo (lijevo) i odozgo (desno).....	64
Slika 84. Tehnički podaci DIN 913 uvrtnog vijka [5].....	64
Slika 85. Uvrtni vijak M8x15 DIN815 i desno uvijen u vakuum stol .....	65
Slika 86. Dovršena polovica vakuum stola (pogled odozdo).....	65
Slika 87. Vakuum pumpa (lijevo), armirana gumena cijev (desno).....	66
Slika 88. Pločica sa vakuum pumpe.....	66
Slika 89. M10 matice (lijevo) i M10 najvojne šipke (desno).....	68
Slika 90. Improvizirani vijak M10x130 ugrađen u vakuum stol.....	68
Slika 91. Proces zavarivanja dodatnih cijevi.....	69
Slika 92. Korištenje vakuum stola za bušenje rupa u cijevima.....	69
Slika 93. Druga polovica vakuum stola u konačnoj poziciji.....	70
Slika 94. Tvrdometalno spiralno glodalo promjera 20mm .....	71
Slika 95. Definirana nultočka za glodanje gornje površine vakuum stola .....	71

Slika 96. Prikaz putanje glodala tijekom ravnanja vakuum stola .....	72
Slika 97. Prikaz putanje glodala prilikom urezivanja kanala .....	73
Slika 98. Ventil sa T-račvom.....	74
Slika 99. Filtar vakuum pumpe .....	75
Slika 100. Lamele u vakuum pumpi.....	75
Slika 101. Ravnanje druge polovice vakuum stola .....	77
Slika 102. Druga polovica vakuum stola poravnata.....	77
Slika 103. Urezivanje kanala u drugu polovicu vakuum stola.....	78
Slika 104. Završen vakuum stol spreman za korištenje .....	78
Slika 105. Insize uređaj za umjeravanje alata .....	79
Slika 106. Metalni disk za umjeravanje alata.....	80
Slika 107. Alat prilikom umjeravanja .....	80
Slika 108. Unutarnja komora malog vakuum stola .....	81
Slika 109. Gornja neobrađena strana malog vakuum stola .....	82
Slika 110. Trio matica M8x15 s konusnim rubom.....	82
Slika 111. Prijenosni vakuum stol.....	83
Slika 112. Donja strana (vidljive pakne i brza spojka) .....	83
Slika 113. M10 čahura u aluminijskom stolu predviđenog CNC-a .....	84
Slika 114. Prijenosni vakuum stol u poziciji za rad .....	84
Slika 115. Prenosivi vakuum stol stegnut za aluminijski stol.....	86
Slika 116. Umetanje pjenaste gumene brtve i vijaka u mali vakuum stol .....	87
Slika 117. Glodanje aluminijskog lima direktno na površini malog vakuum stola .....	88
Slika 118. Iverica (lijevo), protuklizna šperploča (desno) .....	90
Slika 119. Vakuumska šablona od protuklizne šperploče.....	91
Slika 120. Glodanje kalupa na šablona od šperploče.....	92
Slika 121. Poglodani kalup.....	92
Slika 122. Glodanje necuron kalupa na prenosivom stolu .....	93
Slika 123. Glodanje velikih obradaka .....	94
Slika 124. 3D model Fender Stratocaster .....	95
Slika 125. Početak izrade 3D modela šablone za tijelo gitare .....	96
Slika 126. Početak izrade 3D modela šablone za vrat gitare .....	96
Slika 127. Dovršeni model šablone za tijelo gitare .....	97
Slika 128. Dovršeni model šablone za vrat gitare .....	98
Slika 129. 3D model tijela gitare na šablona .....	99
Slika 130. 3D model vrata gitare na šablona .....	99
Slika 131. Prva faza glodanja šablone za tijelo gitare.....	100
Slika 132. Skošena stezna rupa sa vijkom M8 .....	100
Slika 133. Glodanje šablone za tijelo gitare .....	101
Slika 134. Gotova šablona za vrat gitare .....	102
Slika 135. Glodanje prve strane tijela gitare .....	103
Slika 136. Glodanje druge strane tijela gitare .....	103
Slika 137. Glodanje prve strane vrata gitare .....	104
Slika 138. Glodanje druge strane vrata gitare .....	105
Slika 139. Fender Stratocaster tijelo i vrat .....	106
Slika 140. Glodanje aluminijskih pločica .....	107
Slika 141. Oštećenje vakuum stola .....	109
Slika 142. Popravak oštećenja (lijevo), pregledano i obojano (desno).....	109

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke karakteristike bakelitnih materijala po DIN 7735 .....	29
Tablica 2. Tehnički podaci HV lima .....	30

## POPIS KRATICA

### **Kratika    Opis**

CNC	Numerički upravljani stroj (eng. Computer numeric control)
OOČ	Obrada odvajanja čestica (eng. Particle separation machining)
HV lim	Hladno valjani lim (eng. Cold rolled sheet)
EDM	Elektroerozija (eng. Electrical discharge machining)
ECM	Elektrokemijska obrada (eng. Electrochemical machining)
WJM	Obrada vodenim mlazom (eng. Water jet cutting)
CAM	Proizvodnja uz pomoć računala (eng. Computer aided manufacturing)
CAD	Dizajn uz pomoć računala (eng. Computer aided design)
MIG	Elektrolučno zavarivanje inertnim plinom (eng. Metal inert gas welding)
DIN	Njemački institut za normizaciju (deu. Deutsches Institut für Normung)

## POPIS OZNAKA

### Oznaka Opis

$V_c$	Brzina rezanja, [mm/min]
$V_f$	Posmična brzina, [mm/min]
$n$	Broj okretaja, [okr/min]
$\rho$	Gustoća, [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$E$	Modul elastičnosti, [MPa]
$T$	Temperatura, [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$m$	Masa, [kg]
$P_b$	Površina presjeka pjenaste gume, [ $\text{mm}^2$ ]
$P_k$	Površina presjeka dubokog kanala, [ $\text{mm}^2$ ]
$a$	Dubina kanala, [mm]
$b$	Širina kanala, [mm]
$r$	Promjer, [mm]
$D_g$	Promjer glodala, [mm]
$F$	Sila, [N]

## **SAŽETAK**

U ovom radu biti će opisano kako se radi jednostavna izvedba dvije verzije vakuum stolova za brzo i efikasno stezanje obradaka pri CNC glodanju te će biti izneseni neki od ostvarenih primjera glodanja na tim vakuum stolovima.

## **SUMMARY**

This paper contains a description of how to make two types of a vacuum hold down tables for fast and efficient workpiece clamping during CNC milling and it also contains some of the examples of successful millings on those tables.

## **KLJUČNE RIJEČI**

Stezna naprava, vakuum stol, pumpa, glodanje, tokarenje, glodalo, alat, bakelit, šablona, kalup, brtva, .

## **KEY WORDS**

Clamping device, vacuum hold down table, pump, milling, turning, end mill, tool, bakelite, template, mold, seal.

## 1. UVOD

Obrada odvajanja čestica je u suvremenom dobu postala jedna od glavnih tehnologija u velikim industrijama, pogotovo tokarenje i glodanje. Iako postoje brži oblici proizvodnje proizvoda kao što su termoformiranje, lijevanje, injekcijsko brizganje, ipak se CNC obradom glodanja i tokarenja dobivaju takvi kalupi tj. alati za takvu bržu proizvodnju. Ovo pokazuje važnost obrade odvajanja čestica za izradu svih vrsta preciznih alata i naprava, ali o preciznosti proizvoda ovisi kakav je stroj te kakva je metoda držanja obratka tijekom obrade. Držanje obradaka se može izvesti stezanjem običnim stegama (Slika 1) i vijcima, običnim škripcem (Slika 2) ili pak različitim specijalnim napravama. Jedna od tih naprava je vakuumska stezna naprava, tj. vakuum stol čija je izrada izvediva relativno jeftinim i jednostavnim komponentama.



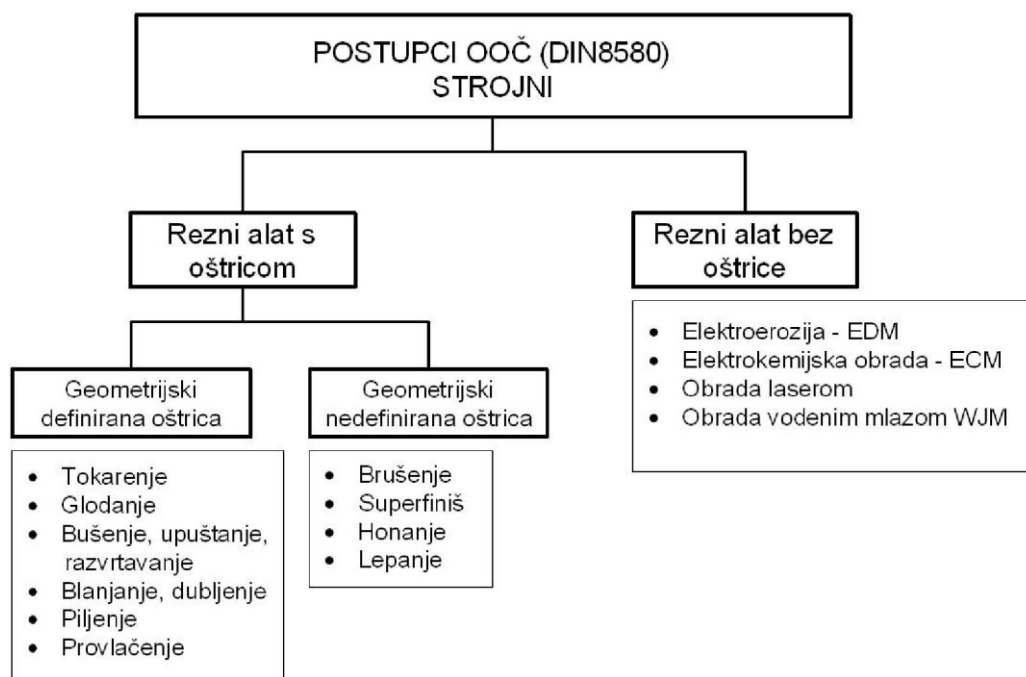
Slika 1. Obična stolarska stega



Slika 2. Stolni škripac

## 2. OBRADA ODVAJANJEM ČESTICA [10]

Obrada odvajanjem čestica je skup proizvodnih tehnologija tj. postupaka obrade materijala sa ciljem da se iz sirovog materijala (pripremak) dobije gotov proizvod (izradak). To je najvažniji industrijski proces obrade materijala, te je ujedno i širok pojam koji pokriva veliki broj procesa obrade koji služe za odstranjivanje viška materijala s obratka, obično u obliku odvojene čestice. Obrade odvajanjem čestica se upotrebljavaju kako bi se sirovi komadi obradili s alatom u željene oblike točno određenih dimenzija i kvaliteta površina kako bi ispunili konstrukcijske zahtjeve. Gotovo u svakom proizvodu se nalaze komponente koje zahtijevaju obradu velike točnosti. Zbog velike dodane vrijednosti finalnom proizvodu skup procesa obrade odvajanjem čestica je najvažniji od svih osnovnih procesa proizvodnje. Može se isto reći da je obrada odvajanjem čestica najčešće primijenjena i najskuplja obrada. Glavnina industrijske primjene obrade odvajanjem čestica je u metalima ali se sa zahtjevima tržišta također raširila i na druge materijale npr. polimere i drvo.



Slika 3. Podjela postupaka obrade odvajanja čestica



Glavni faktori obrade odvajanja čestica su:

- **alatni stroj**
- **alat**
- **obradak**

Alat je sredstvo kojim se obrađuje obradak tijekom proizvodnje. Kod obrade glodanjem alat nazivamo glodalom, a kod tokarenja zovemo tokarskim nožem. Alat je definiran svojim promjerom, duljinom i brojem oštrica. Tijekom procesa obrade alat odvaja višak materijala u obliku odvojene čestice te se tako dobije željeni obrađeni komad u određenoj toleranciji koju dozvoljava proces. Alat vrši određena gibanja koja moraju biti točno definirana .

Gibanja alata su podijeljena na:

- **Glavno gibanje (G)** se izvodi brzinom  $V_c$  (brzina rezanja) i njome se obavlja odvajanje čestica pri čemu se troši najveći dio snage na alatnom stroju. Po obliku ono može biti kružno ili pravocrtno te kontinuirano ili diskontinuirano.
- **Posmično gibanje (P)** se izvodi brzinom  $V_f$  (posmična brzina) i služi za obavljanje kontakta između alata i obratka. Ono također, kao i glavno, može po obliku biti kružno ili pravocrtno te kontinuirano ili diskontinuirano.
- **Dostavno gibanje (D)** je svo ostalo gibanje koje služi za primicanje i odmicanje od obratka, izmjena alata, dovođenje alata i obratka u zahvat, zauzimanje dubine rezanja te povrat nakon obavljene obrade.

Za pravilan izbor postupka obrade također je potrebno odrediti i sljedeće parametre:

- **Materijal koji se obrađuje** – moramo znati kemijsku strukturu te tvrdoću obratka
- **Početna geometrija obratka** – moramo znati koliko imamo nadmjere na obratku radi stezanja te radi izbjegavanja sudara sa viškom
- **Materijal alata** – najčešće se koriste alati od brzoreznog čelika (HSS), dijamanta, tvrdog metala itd. Mora se obratiti pozornost kojim materijalom alata se može obrađivati koji materijal obratka.
- **Geometrija alata** – Određuje se kako bi se ispunile specifične funkcije obrade.
- **Parametri obrade** – Potrebno je pravilno odabrati brzinu i dubinu rezanja te posmak.

- **Stezne naprave** - Predmeti obrade se drže na određenoj poziciji u odnosu na alat stegnuti u stezne naprave ili u same alatne strojeve. Za različite alatne strojeve postoje i različite vrste steznih naprava. Stezne naprave su isto tako ključne za postizanje precizne obrade.
- **SHIP** – Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje. Služi za hlađenje obratka, alata i strugotine, smanjenje trenja podmazivanjem, odstranjivanje strugotine iz zone rezanja i poboljšava kvalitetu obrađivane površine.
- **Mehanizmi stvaranja odvojene čestice** - Lokalna rezna smična deformacija materijala obratka ispred rezne oštrice alata.
- **Sile rezanja** - Sile rezanja moraju biti dovoljno velike kako bi došlo do odvajanja materijala i stvaranja odvojene čestice. Odvojena čestica nastaje kombinacijom plastične deformacije i loma materijala. Deformirana čestica se lomom odvaja od osnovnog materijala. Proces odvajanja i formiranje čestice može se najlakše analizirati ako je glavna oštrica okomita na relativno kretanje.

#### Prednosti:

- Dobivanje visoke preciznosti i velika kvaliteta obrađene površine.
- Formiranje oštih rubova, ravnih površina te unutrašnjih i vanjskih profila.
- Oblikovanje tvrdih i krutih materijala.
- Ekonomičnost.
- Formiranje složenih oblika sa zahtjevnom dimenzijskom točnošću i površinskom hrapavošću.

#### Nedostaci:

- Stvaranje velike količine odvojenih čestica.
- Dugo vrijeme obrade.
- U slučaju lošeg projektiranja obrade odvajanjem može doći do narušavanja svojstava obratka i obrađene površine.

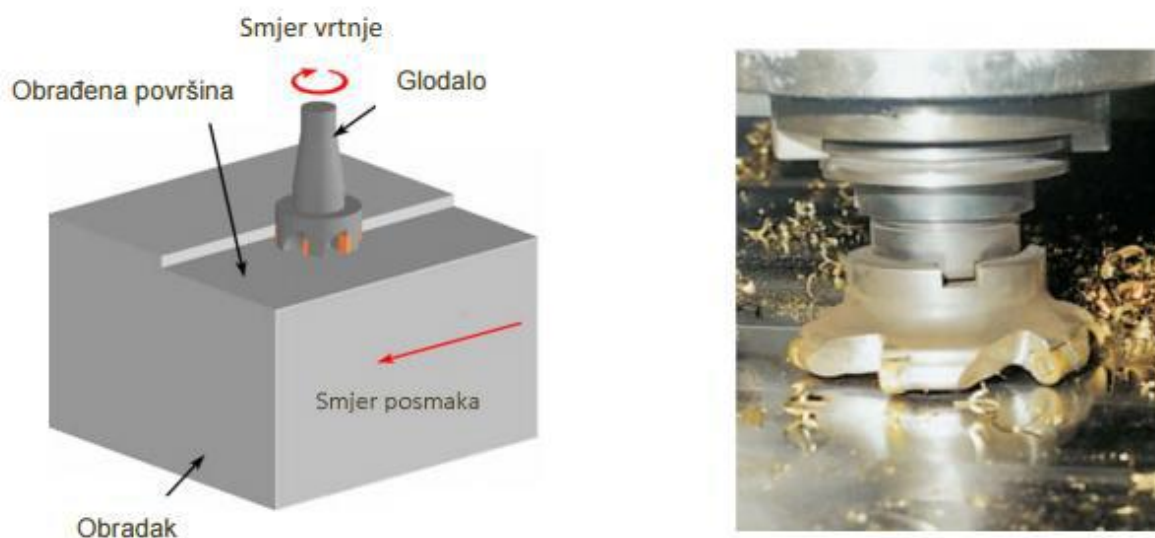
### 3. CNC GLODANJE

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) prizmatičnih dijelova jednostavne ili složene geometrije. Izvodi se na alatnim strojevima, glodalicama, alatima, glodalima.

Glavno (režno) gibanje je kružno i izvodi ga alat stegnut u steznu napravu. Pomoćna gibanja ostvaruje obradak i/ili alat (ovisno o konstrukciji), a mogu biti pravocrtna (klasične glodalice) i rotacijska (okretni stolovi). Glodalice mogu biti ručne ili CNC. Razlika je u načinu upravljanja. Ručne su upravljane kao što i ime kaže ručno, dok je CNC glodalica programirana upisivanjem G-koda direktno na upravljačkoj jedinici stroja ili posebno na računalu koristeći CAM softver. [9]



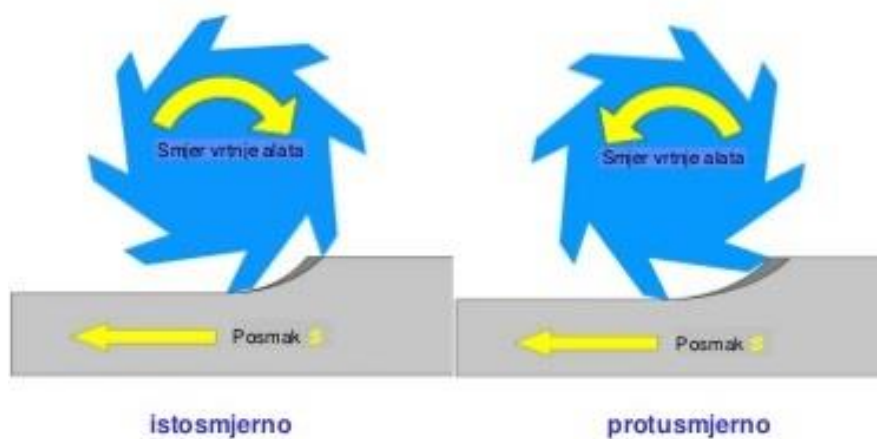
Slika 4. Huber & Grimme 5-osni CNC obradni centar



Slika 5. Vizualni prikaz glodanja (lijevo) i glodalo u radu (desno)

Podjela glodanja [10]:

- Prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine - grubo, završno i fino
- Prema kinematici postupka – protusmjerno i istosmjerno
- Prema položaju reznih oštrica na alatu (glodalu) – obodno i čeono
- Prema obliku obrađene površine – ravno, okretno, profilno, ovalno i oblikovno



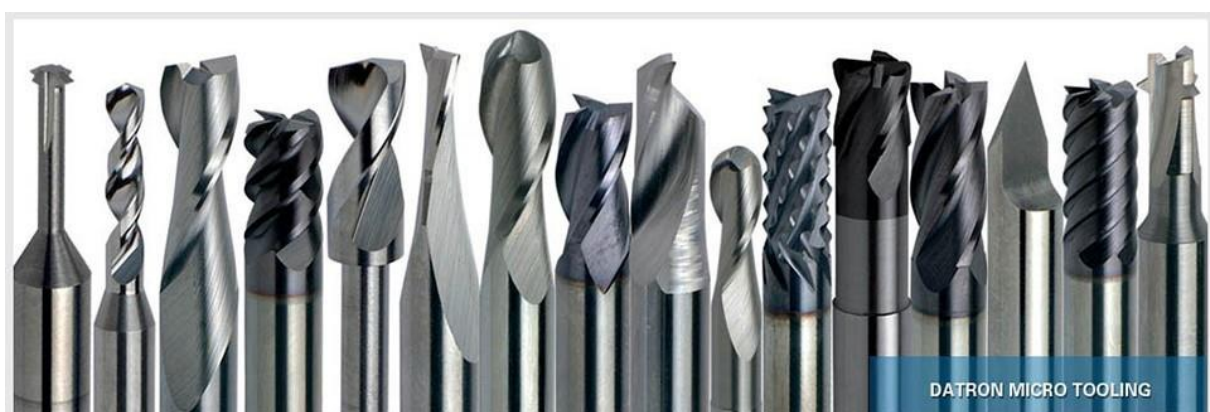
Slika 6. Prikaz kinematike postupka

### 3.1. Alati za glodanje (glodala) [12]

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala i mogu biti smještene na obodnoj i čeonj plohi glodala. Postoji više kriterija podjele glodala, a najčešće se dijele po obliku i namjeni: valjkasta, čeona, vretenasta s ravnom ili loptastom čeonom plohom, pločasta s pravokutnim ili profilnim poprečnim presjekom, pilasta glodala, odvalna glodala, te glodala posebnih oblika. Rezni dio glodala izrađuje se od materijala znatno veće tvrdoće od obrađivanog materijala, a najčešće se koriste brzorezni čelici, tvrdi metali, cermet, keramika te kubni nitrid bora. Od brzoreznog čelika izrađuje se cijelo glodalo.



Slika 7. Oblici glodala

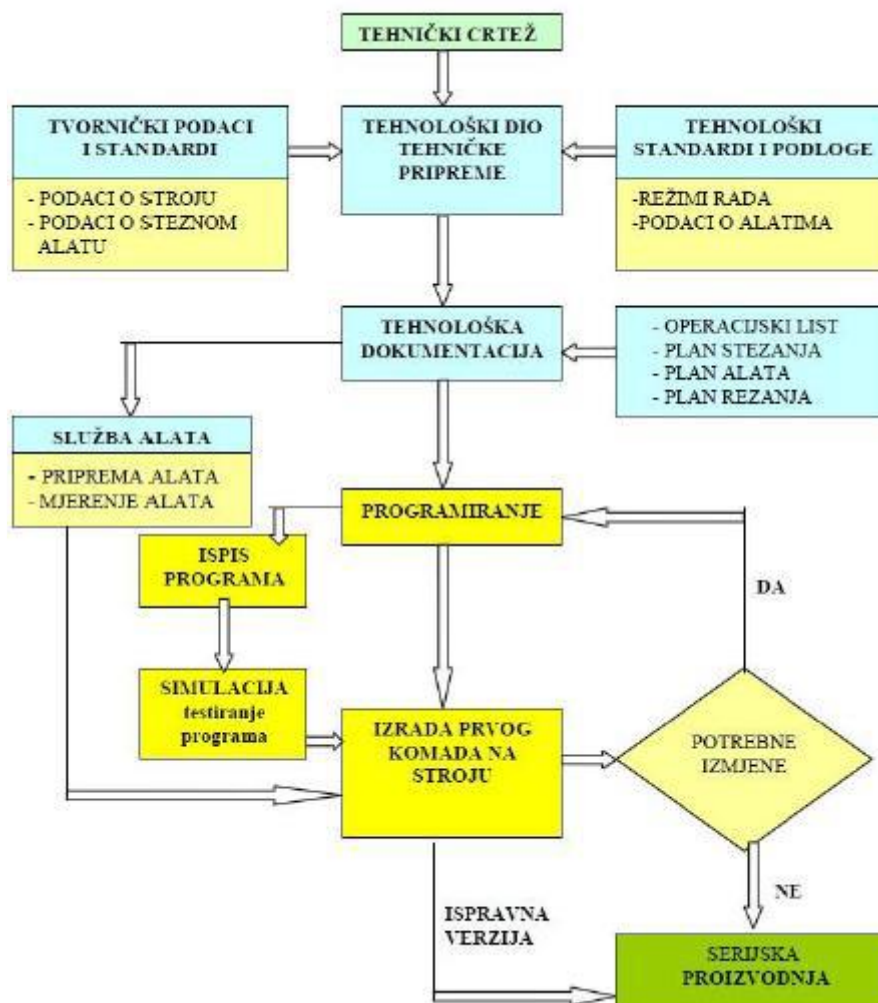


Slika 8. Oblici glodala

### 3.2. Izrada programa za CNC glodanje [13]

Proces obrade na CNC stroju se sastoji od:

- Razrade 3D modela obratka
- Izrada CAM programa (ručno ili preko CAM sotwera)
- Odabir sirovine za glodanje
- Odabir potrebnih alata
- Priprema stroja
- Stezanje obratka i pokretanje procesa
- Izrada prvog komada i mjerenje
- Serijska proizvodnja



Slika 9. Shema postupka programiranja CNC stroja

#### 4. OSNOVNA KONSTRUKCIJA ALATNIH STROJEVA [14]

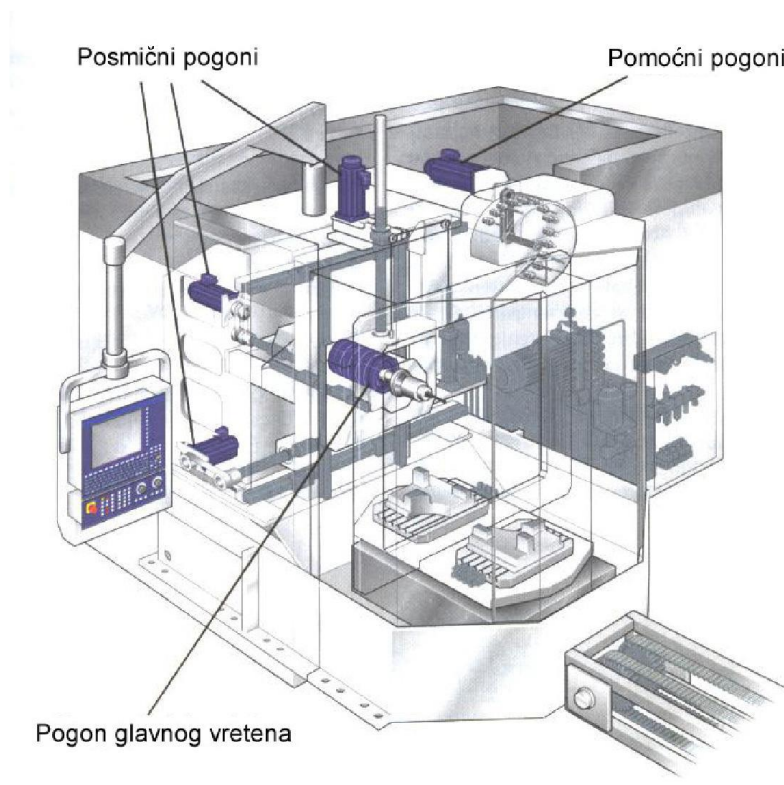
Razvoj alatnih strojeva:

- **Horizontalni razvoj** – Različiti oblici alatnih strojeva razvijeni iz osnovnog oblika
- **Vertikalni razvoj** – Različite veličine istog stroja

Alatni strojevi su građeni modularno. Koncept se temelji na standardnim modulima koji su međusobno povezani standardnim sučeljima. Prigon je temeljni dio svakog modula.

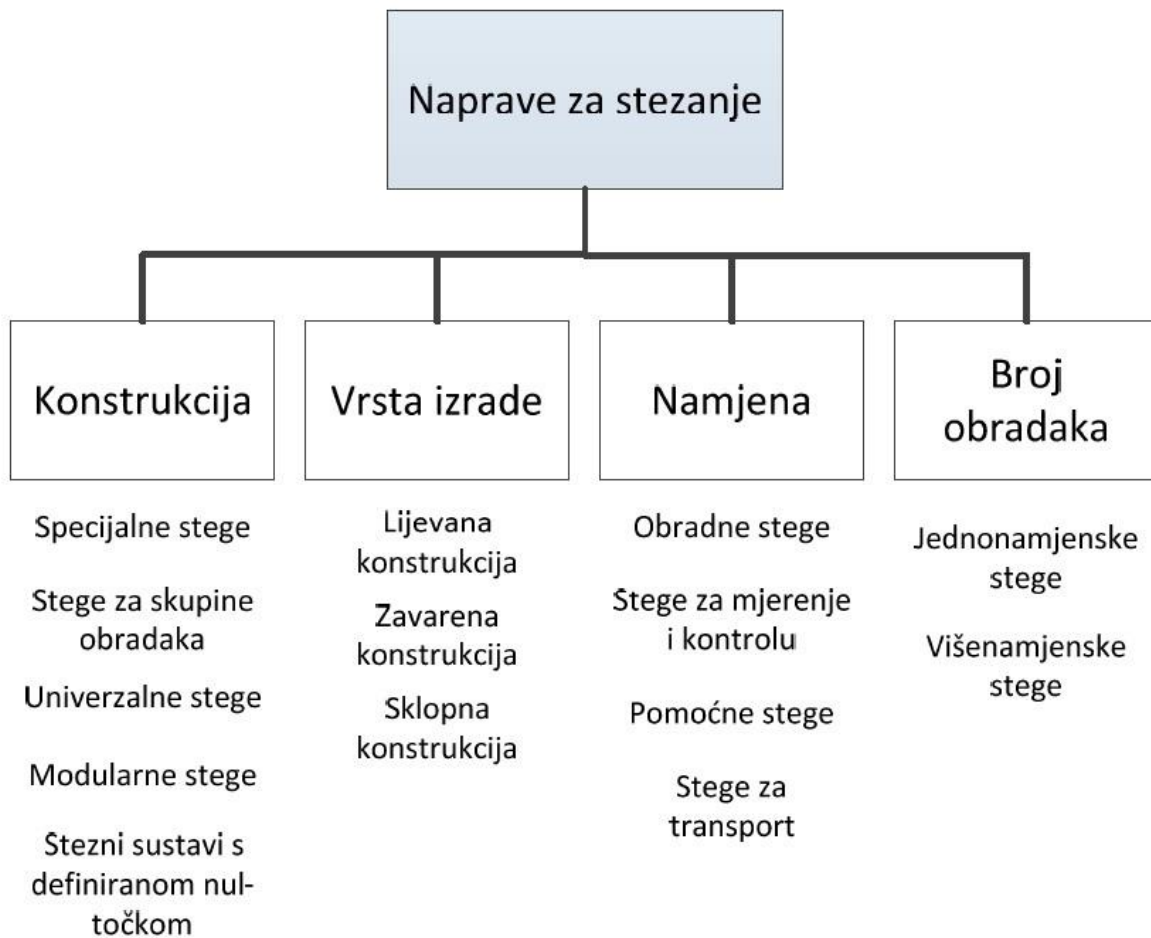
Prema primjeni se pogoni u alatnim strojevima dijele na:

- Posmične pogone – Glavne osi (X, Y, Z, A, B, C)
- Pogon glavnog vretena – alatna spindla
- Pomoćni pogoni – pogon za izmjenu alata, izmjenu paleta, rotacijski stol



Slika 10. Pogoni na obradnom centru

## 5. PODJELA STEZNIH NAPRAVA KOD CNC GLODANJA [11]



Slika 11. Osnovna podjela steznih naprava

### 5.1.1. Specijalne stege

Ovakav tip stega ima karakteristiku kompaktnih dimenzija, no bez mogućnosti prilagodbe jer im je namjena za točno određeni oblik obratka i pripadajuće operacije koje će se nad njime izvršiti. Pogodne su za veće serije, omogućavaju veću točnost, kraće vrijeme obrade, bolje prigušenje vibracija, no karakteriziraju ih i visoka cijena izrade te nefleksibilnost.

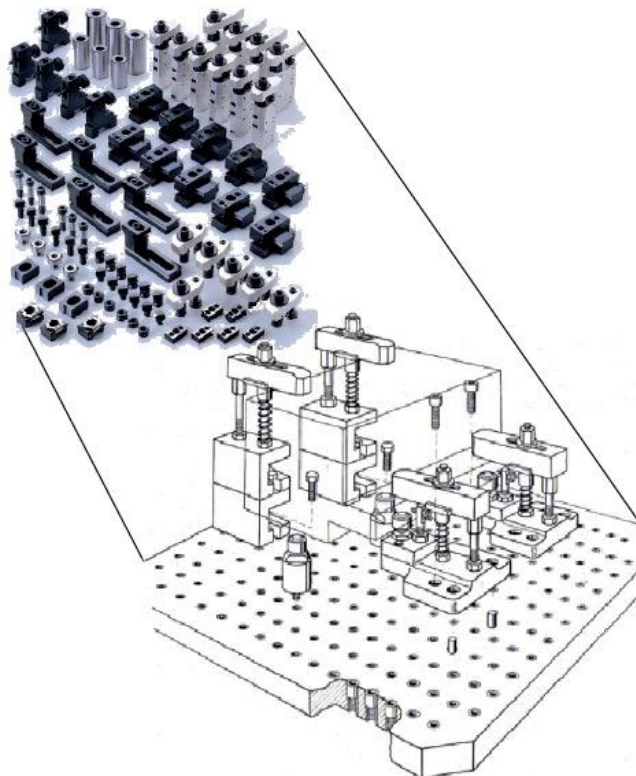


### 5.1.2. Stezne naprave za skupine obradaka i univerzalne stege

Pružaju mogućnost rekonstrukcije za obratke slične geometrije te sa sličnim obradnim zahtjevima. Prilagodba različitim obradcima izvodi se promjenom funkcionalnih elemenata naprave kao što su elementi za pozicioniranje, elementi za upinjanje i dr. Imaju osobine relativno manje točnosti, uz veću fleksibilnost, kraće vrijeme prilagodbe i nižu cijenu. Upotrebljavaju se kod maloserijske i srednje serijske proizvodnje.

### 5.1.3. Modularne stege

Koriste se za stezanje kompleksnih obradaka. Sastoje se od temeljnih ploča, vertikalnih temeljnih ploča, te dodatnih dijelova za stezanje i pozicioniranje. Točnost ovakvih naprava je u rasponu od 0,01 mm do 0,03 mm. Velika prednost ovih modularnih sustava je njihova fleksibilnost i niski investicijski troškovi, no zahtijevaju dosta ručnog rada, što podrazumijeva i dugo vrijeme namještanja.



Slika 12. Modularna stega i dodatni dijelovi

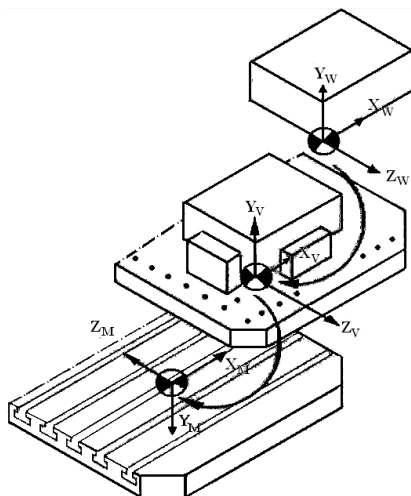
#### 5.1.4. Stezni sustav s definiranom nultočkom

Ovakav sustav pruža točno i ponovljivo stezanje radnog komada. Korištenjem ovog sustava obratci se mogu postaviti i premještati iz jednog obradnog stroja u drugi uz minimalno ponovno stezanje i pozicioniranje. Pozicioniranje obratka jedna je od osnovnih značajki stezne naprave. Pozicioniranje obratka predstavlja važnu funkciju kod postavljanja obratka na točno određeni položaj u steznoj napravi. Jednako tako postupamo pri određivanju položaja stezne naprave unutar obradnog stroja. Pozicioniranje je definirano i za obradu određenog položaja obratka u steznoj napravi ili na radnoj plohi obradnog stroja.



Slika 13. Stezni sustavi s definiranom nultočkom

Elementi ostvarivanja pravilne pozicije obratka u steznoj napravi najčešće su različiti nasloni, čepovi, zatici, konusi, prizme, paralelne ravnine, vodilice, itd. Na (Slika 14) prikazano je pozicioniranje i postavljanje obratka u steznu napravi i na radnu paletu, te postavljanje palete na radni stol. Obradak, paleta i stol imaju vlastita ishodišta.



Slika 14. Pozicioniranje obratka na radni stol obradnog stroja

## 5.2. Podjela prema principu

Tijekom obrade, obradak u stegi mora biti jednoliko stegnut. Ukoliko je previše stegnut moglo bi doći do deformacija obratka. Ukoliko je obradak premalo stegnut, došlo bi do pomicanja ili eventualnog izlijetanja uslijed velikih sila. Sila stezanja ne smije biti jednaka ili manja od sile rezanja i mora obuhvaćati sve smjerove sila obrade, tako da se obradak ne može pomaknuti, prevrnuti ili izletjeti.

### 5.2.1. Pneumatske stezne naprave

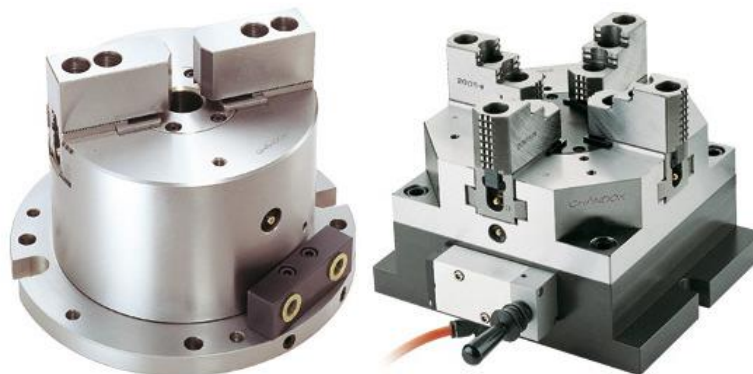
Ovaj oblik steznih naprava ima sve veću ulogu jer omogućava jednostavniji i brži rad. Osnovni dio je pneumatski cilindar sa jednostranim ili dvostranim djelovanjem (Slika 15).

Prednosti:

- Jednostavna upotreba i održavanje
- Stezanje sa silama do 30000N s radnim tlakom od 6 bara
- Brzo stezanje i otpuštanje
- Mogućnost ugradnje u modularne sustave
- Mogućnost linearnog i kružnog gibanja

Nedostaci:

- Za velike sile stezanja potrebni su veliki promjeri cilindara
- Velika trenutna dobava zraka iz zračnog sustava
- Netočnost steznog hoda zbog stlačivosti zraka



Slika 15. S jednostranim djelovanjem (lijevo), s dvostranim djelovanjem (desno)

### 5.2.2. Hidrauličke stezne naprave

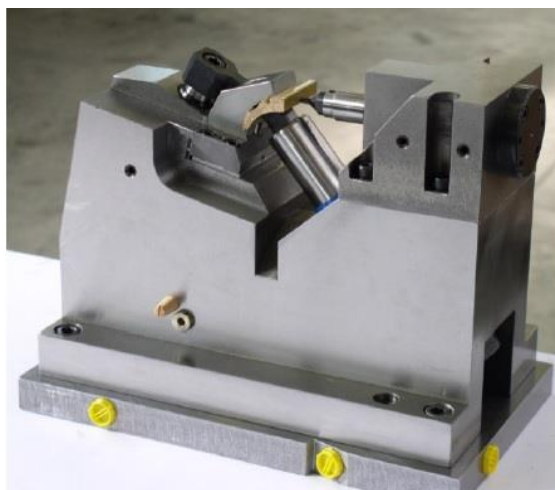
Iako pneumatske stezne naprave imaju sve veću upotrebu, za držanje većih promjera cilindara potrebne su jače sile, te se za tu svrhu koriste hidrauličke stezne naprave. Sile stezanja mogu biti do 700000 N s tlakom od 80 bara pa na više.

Prednosti:

- Jednostavna regulacija i velike sile stezanja
- Radni medij je hidrauličko ulje s toga nije potrebno dodatno podmazivanje
- Nema kondenzacije vode ni opasnosti od korozije
- Elastično stezanje
- Preciznost stezanja je veća nego kod pneumatskih

Nedostaci:

- Visoka cijena
- Potreban prostor za hidraulički agregat
- Potrebni povratni vodovi za odvod hidrauličkog ulja
- Ulje je zapaljivo, a zbog starenja je potrebna česta zamjena



Slika 16. Hidraulička stezna naprava

### 5.2.3. *Magnetske stezne naprave*

Ovisno o načinu dobivanja magnetizma se ovaj tip stega dijeli na:

- Elektro-magnetske
- Permanentne
- Elektro-permanentne

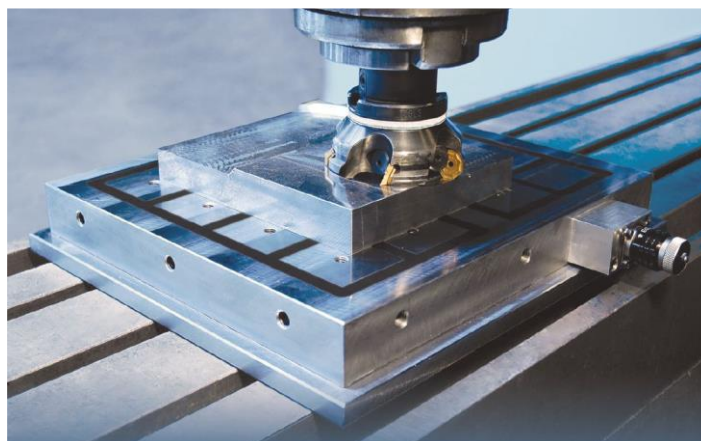
Elektro-permanentne stege su razvijene 1963. godine i od tad su dodatno razvijane kako bi postane pouzdane i robusne magnetske stege. Dva najčešće korištena tipa ovakvih stega su:

- **Sustav s potpunom demagnetizacijom**

Magnetiziranje se postiže jednim strujnim impulsom, dok se stega demagnetizira alternirajućim strujnim impulsima, što rezultira potpunom demagnetizacijom stega i obradaka.

- **Kompenzacijski sustav**

Magnetiziranje i demagnetiziranje se postiže jednim strujnim impulsom kojim se stega u potpunosti demagnetizira, no neke komponente izrađene od alatnog čelika mogu sadržavati zaostali magnetizam.



**Slika 17. Magnetska stezna naprava**

Elektro-permanentne magnetske stege koje za magnetizaciju i demagnetizaciju koriste strujne impulse su:

- **Sigurne** – magnetizirana stega se ne može demagnetizirati ukoliko ne dođe do gubitka električne energije.
- **Snažne** – upotreba najefikasnijih permanentnih magneta.
- **Točne i robusne** – ne sadrže pokretne dijelove.
- **Ekološke** – nema kontinuirane potrošnje energije

Prednosti upotrebe magnetskih stega uključuju i smanjenje pripremnih vremena i smanjenje oštećenja obradaka uslijed djelovanja stega. U određenim slučajevima magnetske stege su isto tako ograničene, budući se mogu koristiti samo za stezanje feritnih materijala.

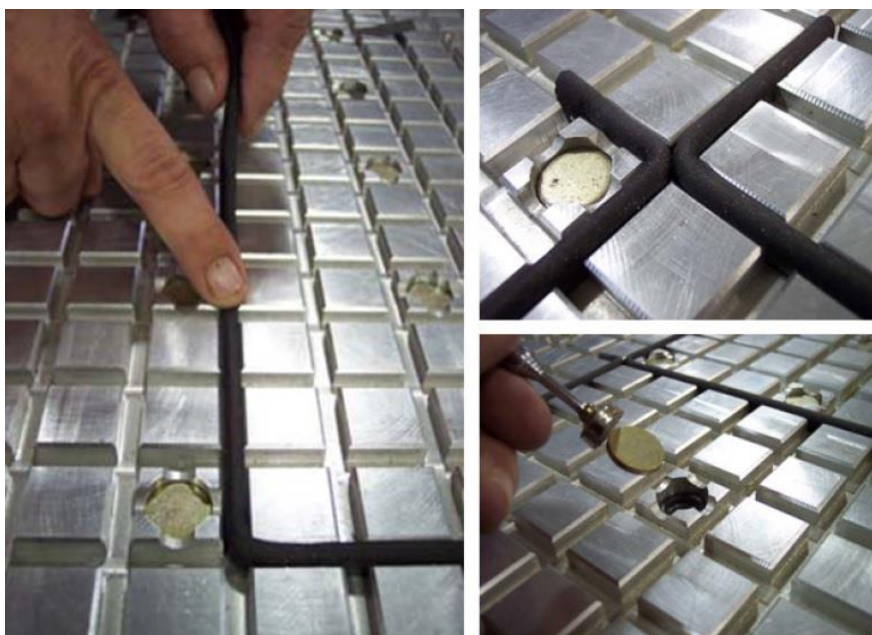
#### 5.2.4. Vakuumske stezne naprave

Vakuumske stezne naprave su naprave koje se sastoje od 2 osnovna elementa. Prvi element su vakuum stolovi, a drugi su vakuum pumpe. Ostali elementi koji su također važni za pravilan rad ovog sustava su razne cijevi, spojke, brtve te opcionalno manometri.



Slika 18. Aluminijski vakuum stol i oprema

Vakuum stolovi su načinjeni od tvrdog materijala, najčešće aluminija, koji u svojoj unutrašnjosti ima komoru za usisavanje zraka te sa gornje površine ima urezane kanale i rupe za ubacivanje gumene brtve te vođenje zraka. Rupe za zrak povezuju gornju vidljivu površinu sa unutrašnjom komorom te se zatvaraju po potrebi određenim vijcima ili čepovima. Kanali za vođenje zraka i ubacivanje brtve su određene širine i dubine te prilagođeni za određeni oblik brtve. Brtva je najčešće pjenasta guma određenog promjera o kojoj će biti kasnije više riječi. Tom brtvom se na stolu zatvara površina ekvivalentna površini i vanjskim dimenzijama obratka. Obradak je u najčešćem slučaju pločasti komad no mogu se obrađivati i deblje stvari. Što je obradak veći to će biti jača prionjivost za stol. Dodatni zahtjev za bolju prionjivost je neporoznost obratka tj. ako je obradak previše porozan, vakuum ga neće moći privući niti držati fiksnim što će rezultirati pomicanjem obratka tijekom obrade.



**Slika 19. Postavljanje gumene brtve**

Vakuumski stol je tlačnim cijevima spojen na vakuum pumpu koja u svom radu stvara podtlak određene jačine unutar komore stola te samim time u prostoru ispod obratka tj. unutar kanala koji su omeđeni brtvom i obratkom. Kad se pumpa uključi, obradak je stegnut za površinu stola. Sila stezanja ovisi o jačini podtlaka kojeg stvara vakuum pumpa.



**Slika 20. Vakuumpumpe**

Prednost ovih naprava je u jednostavnosti i brzini izmjene obradaka te u jednostavnijem održavanju cjelokupnog sustava. Dodatna prednost je mogućnost izrade od jeftinijih sirovina i komponenti.

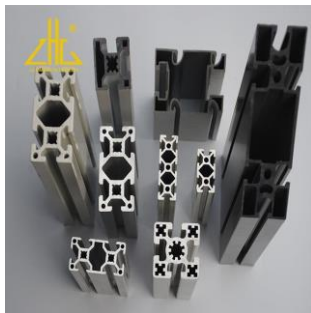
Vakuumske stezne naprave se koriste za stezanje neferitnih materijala tipa razni pločasti polimeri, bakar, bronca, aluminij, kamen, drvo. Ove naprave su praktično i brzo rješenje za stezanje raznolikih obradaka. No uza ove prednosti također posjeduju i neke nedostatke:

- Donja površina obratka mora biti što ravnija i glađa
- Obradak ne smije biti od poroznog materijala
- Otežano je stezanje jako malih obradaka
- Potreban je veći podtlak kod viših obradaka



## 6. Stezanje vijcima i stezaljkama

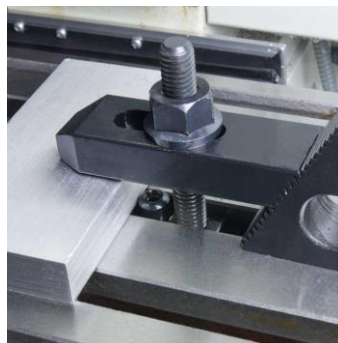
Jednostavniji alatni strojevi imaju jednostavne metode stezanja vijcima, maticama i stupnjevitim stezaljkama. Na obradnom stolu alatnog stroja se mogu nalaziti aluminijske grede raznih dimenzija i oblika presjeka sa T-slot profilom s unutrašnje strane (Slika 21). U taj profil se ubacuje profilna matica koja svojim oblikom odgovara unutarnjem obliku grede te se poprečnom vilicom s utorom stegne zatezanjem steznog vijka (Slika 22) koji je najjednostavniji metrički vijak sa šesterokutnom ili imbus glavom. Prednost ovog načina stezanja je u jednostavnosti i cijeni pošto nije potrebno održavanje i podmazivanje poput npr. hidrauličkih steznih naprava. Mana ove metode je u brzini izmjene obradaka, pogotovo kod većih dimenzija gdje je potrebno više vremena za otpustiti sve vijke, zamijeniti obradak, te ih ponovno zategnuti. Pošto stezaljke trebaju biti u kontaktu sirovca da bi ga držale u fiksnoj poziciji, sirovac mora biti puno veći od gotovog proizvoda te, ukoliko se dogodi nepažnja, može doći do sudara alata i stezaljki. Zbog veće nadmjere sirovca radi stezanja se stvara velika količina otpadnog materijala koje nema ili ima puno manje kod npr. vakuumskog ili magnetnog stezanja.



Slika 21. Razni aluminijski profili greda



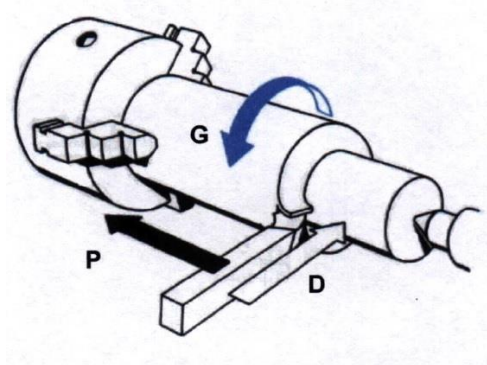
Slika 22. T-matica sa steznim vijkom



Slika 23. Obradak stegnut t-slot načinom korištenjem stupnjevite prizme

## 7. TOKARENJE [10]

Tokarenje je, kao i glodanje, postupak obrade odvajanjem čestica no pretežno rotacijskih (simetričnih i nesimetričnih, okruglih i neokruglih) površina. Izvodi se na različitim vrstama alatnih strojeva, ali pretežito na tokarilicama. Glavno gibanje je kružno kontinuirano gibanje obratka. Posmično gibanje je gibanje alata, koje je u osnovi kontinuirano, u pravcu paralelnom osi rotacije obradka (os “z”) ili u pravcu okomitom na os rotacije (os “x”). Kada se alat giba u obje osi istovremeno odvija se profilno tokarenje (Slika 26). Alat za tokarenje je tokarski nož definirane geometrije reznog dijela, s jednom glavnom reznom oštricom. Razlika između ručne tokarilice i CNC tokarilice je u tome što i samo ime kaže, ručna je upravljana ljudskom rukom dok je CNC tokarilica numerički upravljana programom kreiranim direktno na stroju ili posebno na računalu uz pomoć CAM softwera.



Slika 24. Grafički prikaz tokarenja



Slika 25. CNC tokarilica



**Slika 26. Profilno tokarenje**

Prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine – grubo, završno i fino

Prema kinematici postupka – uzdužno i poprečno

Prema položaju obrađene površine – vanjsko i unutarne

Prema obliku obrađene površine – okruglo, planarno, konusno, profilno, oblikovno, neokruglo i tokarenje navoja

### **7.1. Alati za tokarenje (tokarski noževi)**

Tokarskih noževa kao i glodala postoji puno vrsta. Koriste se adekvatni noževi koji odgovaraju željenoj operaciji postupka. Tokarski noževi su izrađeni od brzoreznih čelika, tvrdog metala, cermeta, keramike, CBN-a i dijamanta.

Podjela tokarskih noževa:

Prema vrsti obrade:

- Noževi za grubu obradu
- Noževi za polugrubu obradu
- Noževi za finu obradu

Prema položaju tokarenja:

- Noževi za vanjsko tokarenje
- Noževi za unutarnje tokarenje

Prema operaciji vrha alata:

- Lijevi tokarski nož
- Desni tokarski nož
- Neutralni tokarski nož

Noževi za utore i odrezivanja:

- Noževi za odrezivanje
- Noževi za vanjsko dubljenje
- Noževi za unutrašnje dubljenje
- Noževi za čeono dubljenje
- Noževi za unutarnje i vanjsko podrezivanje
- Noževi za unutarnje i vanjsko profiliranje

Noževi za navoje:

- Noževi za vanjske navoje
- Noževi za unutarnje navoje



Slika 27. Set tokarskih noževa

## 7.2. Stezanje obratka kod tokarenja

Za stezanje obradaka kod tokarenja koristi se stezna glava tj. amerikaner. CNC tokarilice znaju imati i dva amerikanera za višestruko stezanje te obradu s objiju strana obratka u visokoj preciznosti. Amerikaner na sebi ima pokretne pakne, najčešće stupnjevite zbog raznih promjera, koje se mogu zatezati ručno okretanjem ključa ili imaju automatizirani sustav ranije spomenutih načina (pneumatika, hidraulika, itd...). Amerikaner zahvati obradak te korištenjem sile trenja se vrti skupa sa obratkom. Mogu imati 3 ili više pakni za stezanje. Stezanje može biti unutarnje ili vanjsko. Za unutarnje se koriste ranije spomenute stupnjevite pakne.



Slika 28. Amerikaner sa 3 pakne



Slika 29. Amerikaner sa 6 pakni

## 8. DIZAJNIRANJE I IZBOR MATERIJALA ZA VAKUUM STOL

Prije izrade vakuum stola treba napraviti određene pripreme i mjerenja stroja kako bi se znalo gdje će stol biti pozicioniran te koje će dimenzije stol imati. CNC glodalica ima svoje osne granice te je uvijek poželjno iskoristiti stroj u potpunosti kako u brzinama posmaka tako i obradnoj površini. Povrh dimenzija je potrebno odabrati odgovarajuće materijale za izradu.

### 8.1. Izmjera CNC glodalice

CNC glodalica koja je modificirana je ROCTECH RC1318S (Slika 30). Ovo je 3-osni CNC glodači stroj sa ručnom izmjenom alata. Izvorno je proizveden u Kini te je dostavljen sa malim aluminijskim stolom predviđenim za stezanje putem T-slotova, vijaka i stezaljki. Cijena ovog stroja je bila 14 tisuća dolara.



Slika 30. Fotografija CNC-a Roctech u tvornici

Glavne osi su X, Y, Z te je u pozadini pozicioniran amerikaner koji omogućava stroju da vrši tokarsko glodanje. Kod tokarskog glodanja se X os zaključa na sredinu stroja te rad preuzima os R koja stvara rotaciju amerikanera. Zbog mogućnosti tokarskog glodanja stroj nema svoj postojeći aluminijski stol preko cijele radne površine.



**Slika 31. Rotech RC1318S**

X os, označena na Slika 31, je os koja pomiče alatnu glavu lijevo u negativnu stranu osi i desno u pozitivnu stranu osi te je izmjerom od lijeve na desnu granicu ustanovljeno da je ukupni hod vrha alata ugrubo 1370mm. Također je izmjeren i ukupni hod osi Y. Ova os je najdulja te ukupni hod od prednje negativne strane do stražnje pozitivne iznosi otprilike 2130mm. Vertikalna os Z ima hod otprilike 740mm. Dakle ustanovljeno je da je radni volumen ovog stroja 1380x2140x740. Ukoliko bi se obradak našao na samom rubu ovog izmjerenog područja, stroj bi pokazao grešku da program prelazi radnu granicu te obrada ne bi bila moguća, s toga je XY područje stola odabrano malo uže u odnosu na ukupne granice. Ovo se čini iz razloga da, ako je obradak na samom rubu stola, čak i alati sa većim promjerima mogu prilaziti obratku sa vanjske strane ukoliko obrada to zahtijeva. Odabrana je duljina i širina vakuum stola **2100x1350**.

Da bi se vakuum stol fiksirao na stroj potrebno je ukloniti postojeći aluminijski stol i zavariti dodatne potporne željezne cijevi koje će držati masu vakuum stola te ujedno i obradaka koji će se nalaziti na stolu.

## 8.2. Odabir materijala za izradu vakuum stola

Ranije je navedeno kako se vakuum stolovi općenito rade od tvrdih materijala primjerice aluminijska. Ovo je potrebno iz razloga što se na taj stol često stavljaju teški obratci koji mogu deformirati geometriju stola ukoliko sve nije fiksno i čvrsto. Aluminijska ploča željenih dimenzija je skupa te teško nabavljiva s toga je odabiran bakelit kao glavni sastavni dio te limena ploča koja će služiti kao poklopac odozdo za unutrašnju komoru. Bakelit se može brzo obraditi na strojevima koji nisu opremljeni emulzijom koja je potrebna pri glodanju aluminijska.

**Bakelit** je polimerni materijal, sintetska smola dobivena kondenzacijom fenola i formaldehida. Nazvan je po Leu Hendriku Baekelandu, belgijsko-američkom kemičaru koji ga je izumio 1907. Sam naziv bakelit poslije se proširio i na druge fenolne umjetne smole, tako da danas predstavlja puno širi pojam. Zagrijane smole lako se oblikuju prešanjem u kalupima. Zbog dobrih izolacijskih i mehaničkih svojstava upotreba bakelita se jako proširila, posebno u elektronici i elektrotehnici. Kemijska formula bakelita je  $(C_6-H_6-O.C-H_2-O)_x$ . [2]



Slika 32. Stari radio s vanjskim bakelitnim kućištem

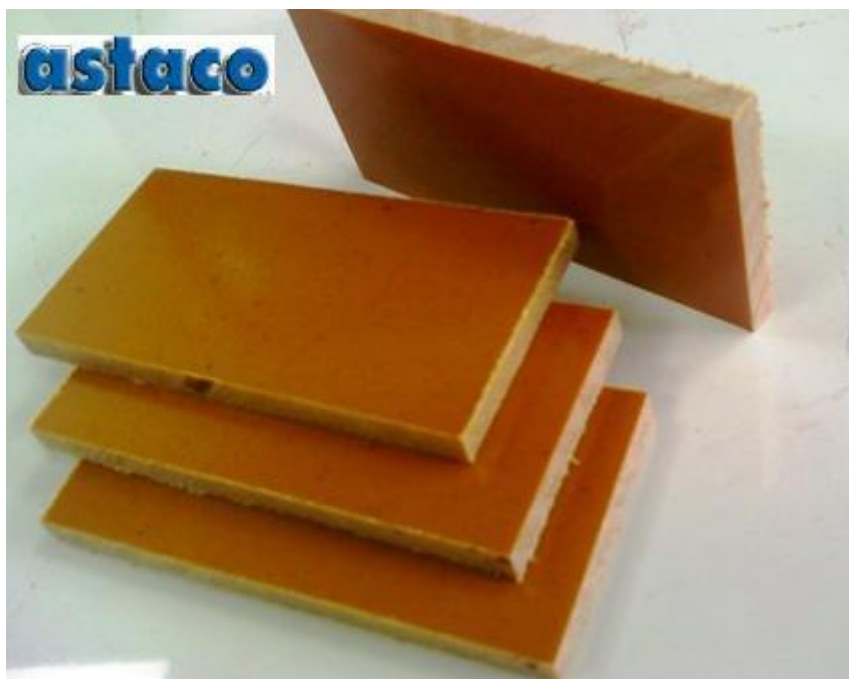
Oblik bakelita koji je potreban za izradu vakuum stola je pločasti oblik bakelita, takozvani **tehnički ili industrijski laminat**. Pod nazivom tehnički ili industrijski laminati podrazumijevamo razne višeslojne i polikomponentne materijale sa specifičnim elektroizolacijskim, termičkim i mehaničkim osobinama. Iz široke palete ovih materijala postoje tri osnovna tipa: **Tekstolit, Pertinaks i Vitroplast**. Međusobno se razlikuju po vrsti vezivne smole (fenola ili epoksidne smole) i po vrsti armaturnog materijala (papir, pamučna ili staklena tkanina) koje se biraju ovisno o mjestu i načinu upotrebe.



Odlike industrijskih laminata su: dobra dielektrična svojstva, elektroizolacijska otpornost, mehanička otpornost pri relativno maloj prostornoj masi, temperaturna stabilnost i dobra zvučna izolacija. Kako se lako obrađuju, režu i buše, te kako imaju malu apsorpciju vode i ne korodiraju, Tekstolit , Pertinaks i Vitroplast su zamjena za metale, drvo i druge materijale. [1]

### 8.2.1. *Tekstolit HGW 2082 [1]*

Tekstolit je tehnički laminat od pamučne tkanine i modificiranih smola. U izuzetno dobra mehanička svojstva koje ima tekstolit ubrajamo: otpornost na vodu, ulja, benzin, slabe kiseline i lužine. Ovaj industrijski materijal ima široku upotrebu u strojogradnji, brodogradnji, održavanju i sl., a zbog dobrih elektroizolacijskih osobina tekstolit je u elektroindustriji izvrsna zamjena za metalne rezervne dijelove, npr. zupčanike, distancere, podloške i sl. Posjeduje dobru otpornost na cijepanje, udarnu žilavost i otpornost na pritisak.



**Slika 33. Tekstolit ploče**

### 8.2.2. *Pertinaks HP 2061 [1]*

Pertinaks je zajedničko ime tehničkih laminata izrađenih na bazi papira i modificiranih fenolnih smola. Zbog svojih osobina pertinaks se upotrebljava kao izolacijski pločasti konstrukcijski materijal u visoko i niskonaponskim aparatima. Ovisno o namjeni postoji više tipova ovih materijala.



Slika 34. Pertinaks ploče

### 8.2.3. *Vitroplast (staklolit) G 10 HGW 237 [1]*

Visokokvalitetni materijali na bazi epoksidnih smola i staklenog platna. Vitroplast ili staklolit odlikuje se iznimnim elektroizolacijskim i mehaničkim osobinama, velikom dielektričnom tvrdoćom, iznimnom mehaničkom tvrdoćom, sposobnošću niskog upijanja vlage i visokom otpornošću na temperature (za Fr4 VO i samogasivošću). Vitroplast je idealan za upotrebu u zahtjevnim električnim aparatima i strojevima, u transformatorima i razvodnim pločama.



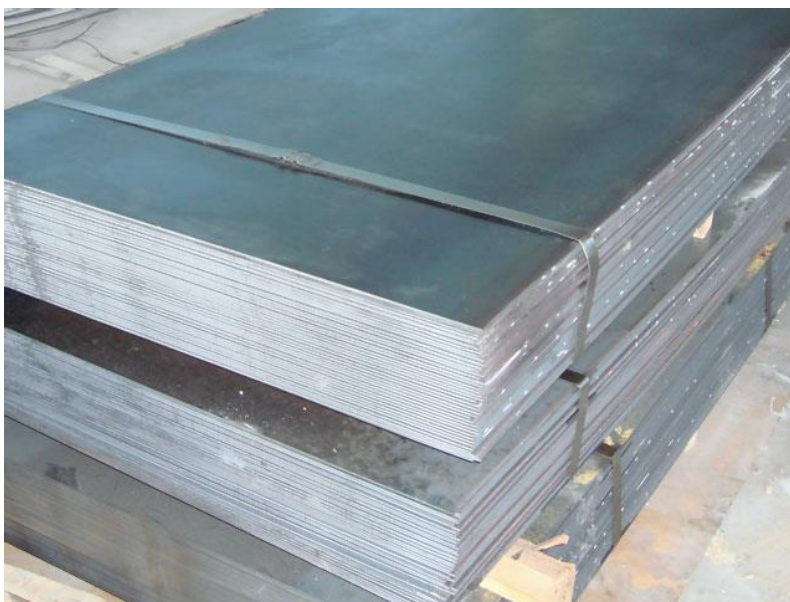
Slika 35. Vitroplast ploče

Tablica 1. Tehničke karakteristike bakelitnih materijala po DIN 7735

OSOBI NE MATERIJALA		Textolit Hgw 2082	Pertinax 2061,5	Vitroplast Hgw 2372
<b>MEHANIČKE OSOBINE</b>				
Gustoća	g/cm <sup>3</sup>	1,3-1,4	1,3-1,4	1,7-1,9
Ugibna tvrdoća okomito na slojeve	Mpa	100	120	340
Udarna žilavost uporedo sa sloj. (bez zarezaja)	kJ/m <sup>2</sup>	30	20	100
Zatezna čvrstoća	Mpa	80	100	220
Modul elastičnosti pri izvijanju	Mpa	7x10...3	7x10...3	1,8x10...4
Tlačna tvrdoća	Mpa	150	150	200
Otpornost na cijepanje	N	2500	2500	3000
<b>ELEKTRIČNE OSOBINE</b>				
Površinska otpornost		-	1x10...9	5x10...10
Specifična prostorna otpornost		-	1x10...9	5x10...10
<b>TERMIČKE OSOBINE</b>				
Toplinska stabilnost po Martensu	°C	120	117	150
Termički rayred izolacije		E	E	B

Svi oblici bakelita se proizvode u više standardnih dimenzija i debljina ploča. Zbog razloga proizvođača, duljine i širine ploča ovise o njezinoj debljini. Bakelitna ploča debljine 20mm dolazi u dimenziji 2070x1070, ploča debljine 30mm može doći u dimenzijama 2070x1070 ili 2000x1000, dok su ploče od 40mm manje i iznose 1070x1070. Masa jedne ovakve ploče može biti od 70kg do 100kg s toga je bitno da se za izradu ovog stola uzmu optimalno potrebne ploče. Gleda se da je stol što lakši kod manipulacije ukoliko je prenosivi, a kod trajnog postavljanja da ga potporna konstrukcija na stroju može držati. Dodatno je potrebno da ima dovoljnu debljinu da u sebi sadrži sve potrebne kanale za gumu, rupe za zrak te da ima prostora za unutrašnju komoru. Odabran je bakelit debljine **20mm** jer je najširi i najlakši te ima dovoljno prostora za sve potrebno navedeno. Ranije su odabrane vanjske dimenzije stola 2100x1350. Očito je da je odabrana dimenzija daleko veća od najveće bakelitne ploče, s toga postoje dvije opcije. Prva je da se napravi stol manjih dimenzija, a druga je da se kombiniraju dvije ploče. Ovo poduplava ukupnu cijenu stola, ali je u konačnici stroj opremljen za šire i dulje obratke. Koji kemijski oblik bakelita je najbolje odabrati je dano na izbor. Sva tri oblika mogu izvršavati funkciju koja je potrebna. Iako je vitroplast daleko najbolji i najtrajniji, zbog jeftinije cijene odabran je **pertinaks**. Cijena dvije ovakve ploče je ugrubo 3600kn.

Za zatvaranje unutrašnje komore odozdo je odabran **hladno valjani** lim debljine 3mm koji je na mjeru izrezan iz sirove ploče koja ima dimenzije 1250x2000. HV lim debljine 3mm je jeftin, te nije previše težak, a funkciju brtvljenja vrši jako dobro. Pošto su potrebne dvije ploče, njihova cijena je ugrubo 900kn. [4]



**Slika 36. Ploče hladno valjanog lima**

**Tablica 2. Tehnički podaci HV lima**

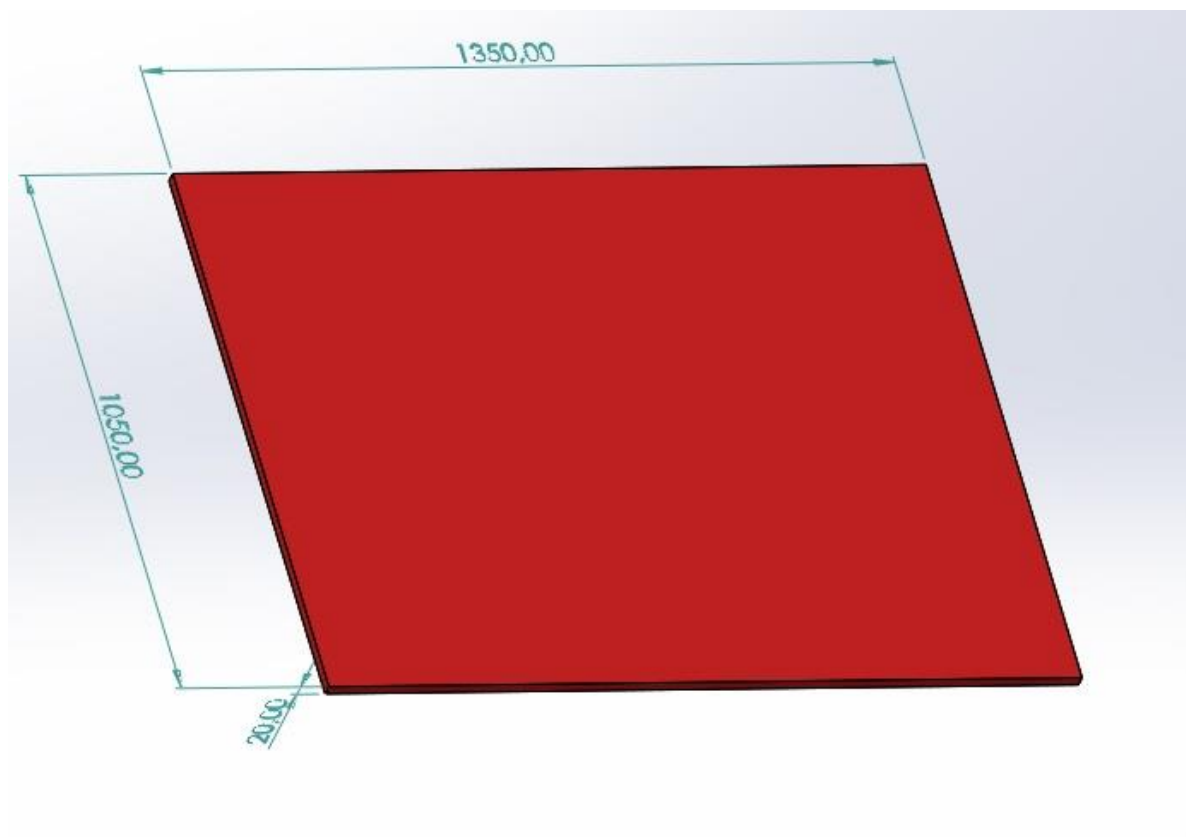
Dimenzija u mm	Teoretska težina cca. kg/m <sup>2</sup>	HLADNO VALJANI HV	
		Č.0146; ST.1203 Č.0147 RRST1303	Č.0366.Cu3 Č.0564.Cu3
0,50	3,90	•	•
0,60	4,70	•	•
0,80	6,30	•	•
1,00	7,80	•	•
1,25	9,50	•	•
1,50	11,10	•	•
2,00	15,60	•	•
2,50	19,50	•	•
3,00	23,40	•	•

### 8.3. IZRADA 3D MODELA VAKUUM STOLA

Nakon definiranja vanjskih dimenzija i debljine vakuum stola se može lako iskonstruirati 3D model zajedno sa svim kanalima, rupama i komorama. 3D konstrukcija je izvršena u **Solidworks 2018** softveru.

#### 8.3.1. Definiranje vanjskih dimenzija

Ranije je spomenuto da će se stol raditi od dvije bakelitne ploče debljine 20mm sirovih dimenzija 2070x1070, te da bi se pokrila željena dimenzija konačnog stola 2100x1350, stol mora biti od dvije jednake zasebno napravljene polovice. Slika 37 prikazuje početak konstrukcije jedne polovice vakuum stola koja iznosi 1350x1050.



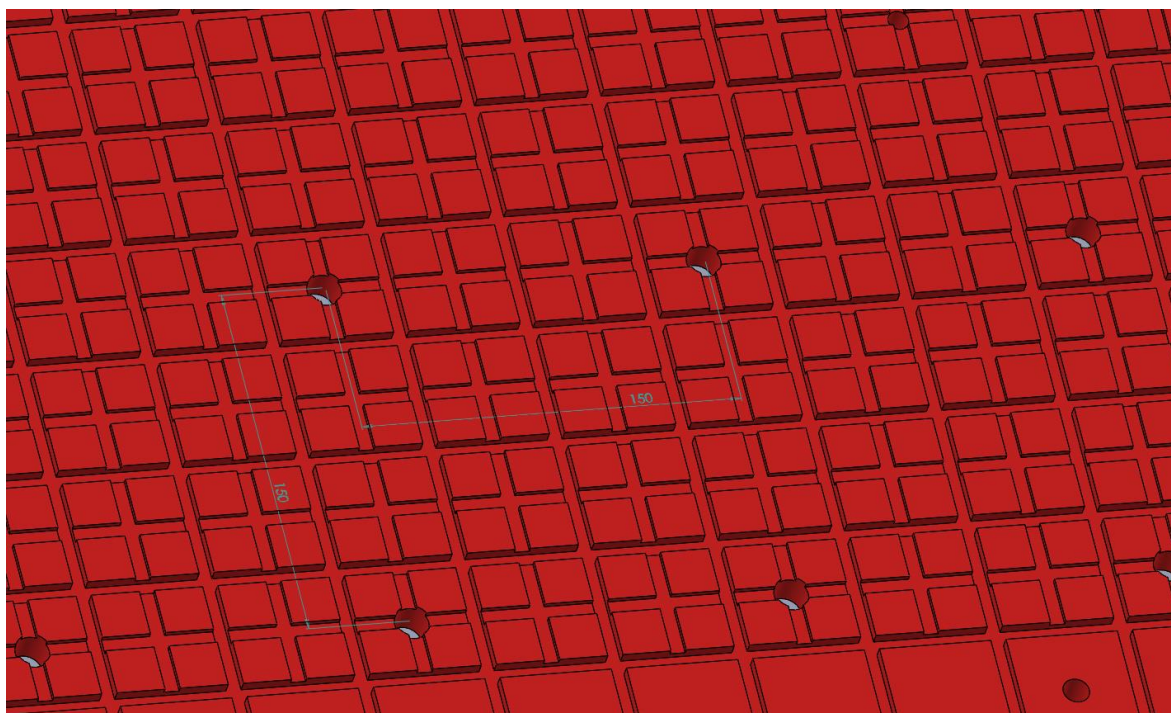
Slika 37. Vanjske dimenzije polovice stola

### 8.3.2. Definiranje kanala i rupa za zrak

Količina rupa i kanala ovise međusobno jedna o drugoj pošto su rupe za izvlačenje zraka omeđene sa kanalima za brtvu jednako raspoređenih sa svih strana. Ukoliko ih se stavi premalo stol neće imati dovoljnu snagu za držanje obradaka, a ukoliko ih se stavi previše cijela struktura bakelitne ploče se može narušiti, a stol oslabiti. Veća količina rupa također znači i veći utrošak vremena na njihovo otvaranje i zatvaranje.

U obje osi je razmak između rupa proizvoljno odabran u iznosu od 150mm, što se pokazalo sasvim dovoljno, a rupe su simetrično raspoređene po površini stola u obje osi. Promjeri ovih rupa, u ovom slučaju 13.5mm, ovise o metalnim čahurama M8 koje se u njih ugrađuju, o kojima će kasnije biti više riječi. Jedna polovica vakuum stola sadrži 63 rupe.

Kanala postoje dvije vrste. Duboki kanali za umetanje gume koji se nalaze oko rupa za zrak te plitki kanali za brže izvlačenje zraka. Plitki kanali povezuju rupe za usis zraka sa dubokim kanalima. Njihov međusobni razmak je proizvoljno odabran 50mm. Dakle usisne rupe se nalaze na svakom trećem „kvadratiću“



Slika 38. Usisne rupe, plitki i duboki kanali

Širine plitkih i dubokih kanala su jednake te iznose 6mm. Širina im postavljena jednakom radi jednostavnosti izrade. Ta širina je odabrana iz razloga što će se za brtvljenje između stola i obratka koristiti pjenasta guma promjera 6 mm. Dubina mora biti takva, da kad se obradak pozicionira na zabrtvljeno područje i aktivira se vakuum, da guma ne odiže obradak od stola. Brtva mora samo vršiti funkciju brtvljenja, a obradak mora svojom donjom površinom u potpunosti biti u doticaju sa površinom vakuum stola. Ukoliko je kanal preplitak brtva previše strši van, a ukoliko je kanal predubok brtva bi upala duboko u kanal te ne bi uopće vršila svoju funkciju, a obradak ne bi bio stegnut na stolu. Idealan slučaj je kad je površina presjeka kanala jednaka površini presjeka pjenaste brtve. To znači da se prilikom stezanja presjek brtve oblikuje i prilagođava presjeku kanala što slikovito prikazuje Slika 39.



**Slika 39. Pjenasta guma bez vakuuma (lijevo) i sa vakuumom (desno)**

Dubina kanala se tada može izračunati jednostavnim matematičkim računom te vrijedi za sve promjere brtvi.

$P_b = \pi r^2$  - površina presjeka pjenaste gume (brtve)

$P_k = a * b$  - površina presjeka dubokog kanala

a – dubina kanala (traženo)

b – širina kanala (odabrano po promjeru brtve)

Površine moraju biti jednake.

$$P_b = P_k$$

Dakle.

$$a * b = \pi r^2$$

Traži se (a) - dubina kanala

$$a = \frac{\pi r^2}{b} \text{ - dubina kanala}$$

Širina kanala ( $b$ ) i promjer pjenaste gume ( $r$ ) su jednaki s toga se izraz može pojednostaviti.

$$a = \frac{\pi(\frac{b}{2})^2}{b} \quad a = \frac{\pi \frac{b^2}{4}}{b} \quad a = \frac{\pi}{4} b$$

Ukoliko se kanali glodaju glodalom promjera istog kao i brtva što se u ovom slučaju i radi zbog smanjenja trajanja izrade, tada se izraz može zapisati:

$$a = \frac{\pi}{4} D_g$$

$D_g$  je u ovom slučaju promjer ravnog glodala.

Napomena je da ovaj izračun vrijedi samo za dobivanje dubine kanala sa ravnim dnom. Ukoliko se želi dobiti polukružno dno kanala, tj. završava se glodanje kanala sa kuglastim glodalom, tada se moraju primijeniti ista matematička pravila za taj slučaj.

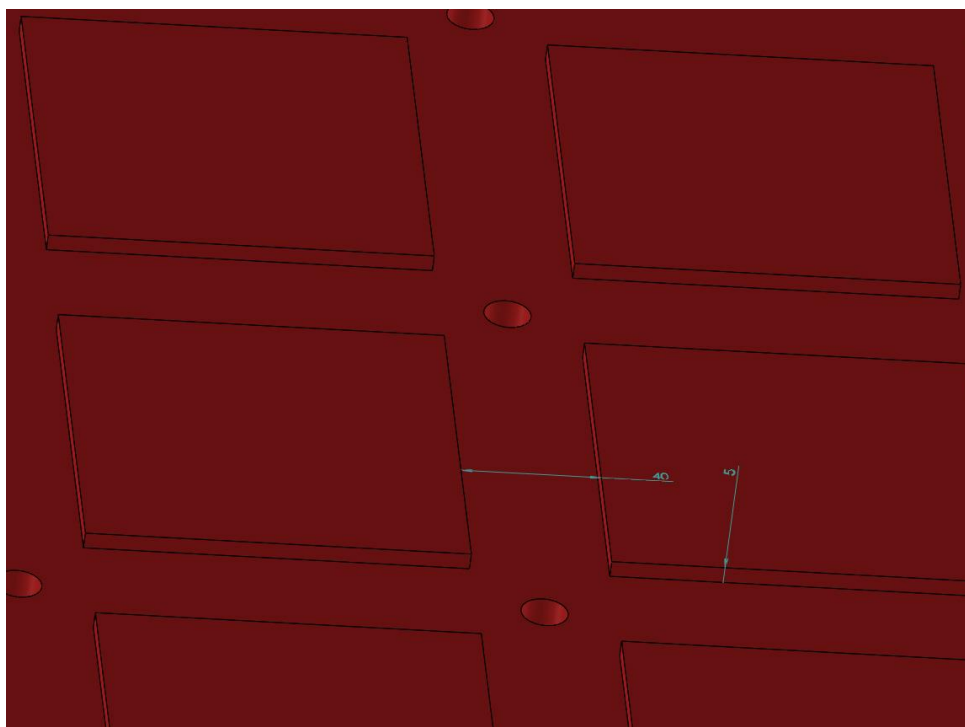
Što se tiče ovog slučaja gdje će se kanal glodati ravnim glodalom promjera 6mm, dubina tog kanala bi iznosila 4.7mm, no iskustvom je odabrana dubina za 0.2mm plića tako da će duboki kanali biti dubine 4.5mm. Ta je dubina odabrana zbog tolerancija kod glodanja kanala, te se pokazalo da je gumena brtva ponekad malo uža od nazivne mjere. Ukoliko se želi koristiti brtva većeg promjera, kanali trebaju biti širi ali i dublji što znači da za veće promjere brtvi trebaju biti i deblje ploče da se ne naruši čvrstoća bakelita.

Dubina plitkih kanala je proizvoljno odabrana 2mm što je dovoljno duboko da vodi zrak, a dovoljno plitko da ne naruši čvrstoću bakelita.

### 8.3.3. Definiranje unutrašnje komore

Unutrašnja komora je prazan prostor sa donje strane vakuum stola tj. nalazi se ispod kanala za brtvljenje. Rupe za zrak povezuju vanjske kanale sa unutrašnjom komorom. Komora je također mreža kanala koji povezuju rupe za zrak sa donje strane. Mora biti mrežastog oblika, a ne potpuno šuplje kako se ne bi narušila čvrstoća i kako se bakelit ne bi uvijao prilikom rada, te ujedno treba paziti na odabir dubine i širine tih kanala radi istoga. Što se tiče širine, ona je manje kritična za narušavanje strukture dokle god se ne ide preširoko. Širina može teoretski biti i 0.5mm, ali pošto će ti kanali kroz sebe uz zrak vući prašinu i komade strugotine skinute sa obradaka, bitno je da kanal bude dovoljno širok da se strugotina ne nakuplja i ne sprječava protok zraka. Jedna od opcija je da širina kanala bude jednaka promjeru rupe za zrak, no zbog bolje povezanosti komornih kanala, u ovom slučaju je proizvoljno odabrana širina kanala 40mm.





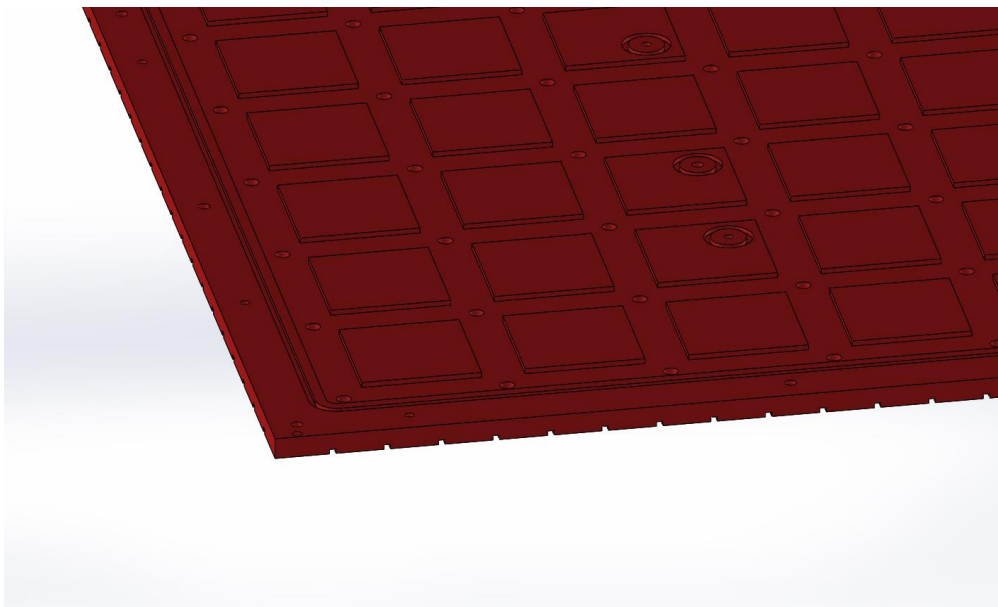
**Slika 40. Kanali unutrašnje komore**

Ukoliko se želi uštedjeti na vremenu glodanja komore, kanali mogu biti široki kao i promjer glodala kojim se obrađuju, pod uvjetom da nisu uži od rupe.

Dubina komore je u ovom slučaju proizvoljno definirana 5mm, što je dovoljno duboko da sprječava nakupljanje strugotine, dovoljno plitko da ne narušuje čvrstoću bakelita te je vrijeme glodanja komore puno kraće. Na debljim pločama bakelita komora može biti i dublja.

Da bi komora vršila svoju željenu funkciju nakon što se odozdo poklopi sa pločom, koja će u ovom slučaju biti lim debljine 3mm, sve mora biti dobro zabrtvljeno. Između bakelita i limene ploče ne smije doći do gubitaka podtlaka prilikom obrade. Jedna opcija može biti da se komora sa vanjskih rubova namaže silikonom te se poklopi i slijepi, ali ovo rješenje je neprikladno iz razloga što silikon stvara nepreciznost kod sklapanja te previše nadiže ploču na namazanim dijelovima stola. S toga je odabrano drugo rješenje gdje se čitava komora, pa i rupe za vijke, koji služe za fiksiranje stola na stroj, omeđuju kanalom za gumenu brtvu jednake širine i dubine kao na gornjem dijelu stola (Slika 41). Ovime je osigurano preciznije sklapanje bakelita s limom, a ukoliko se dogode određena oštećenja, te se stol treba raskopati, je potrebno odviti vijke i odvojiti ploče bez suvišnog čišćenja silikona kako bi se neoštećeni dijelovi dali ponovno iskoristiti.

Glavni kanal za brtvu koji omeđuje komoru treba biti pozicioniran između vanjskog ruba komore i rubnih rupa za vijke, a pomoćni kanali su postavljeni tako da omeđuju sve rupe za vijke koji se nalaze na neobrađenim područjima sredine komore.



Slika 41. Komora i rupe za vijke omeđeni kanalima za brtvu

#### 8.3.4. Definiranje rupa za vijke

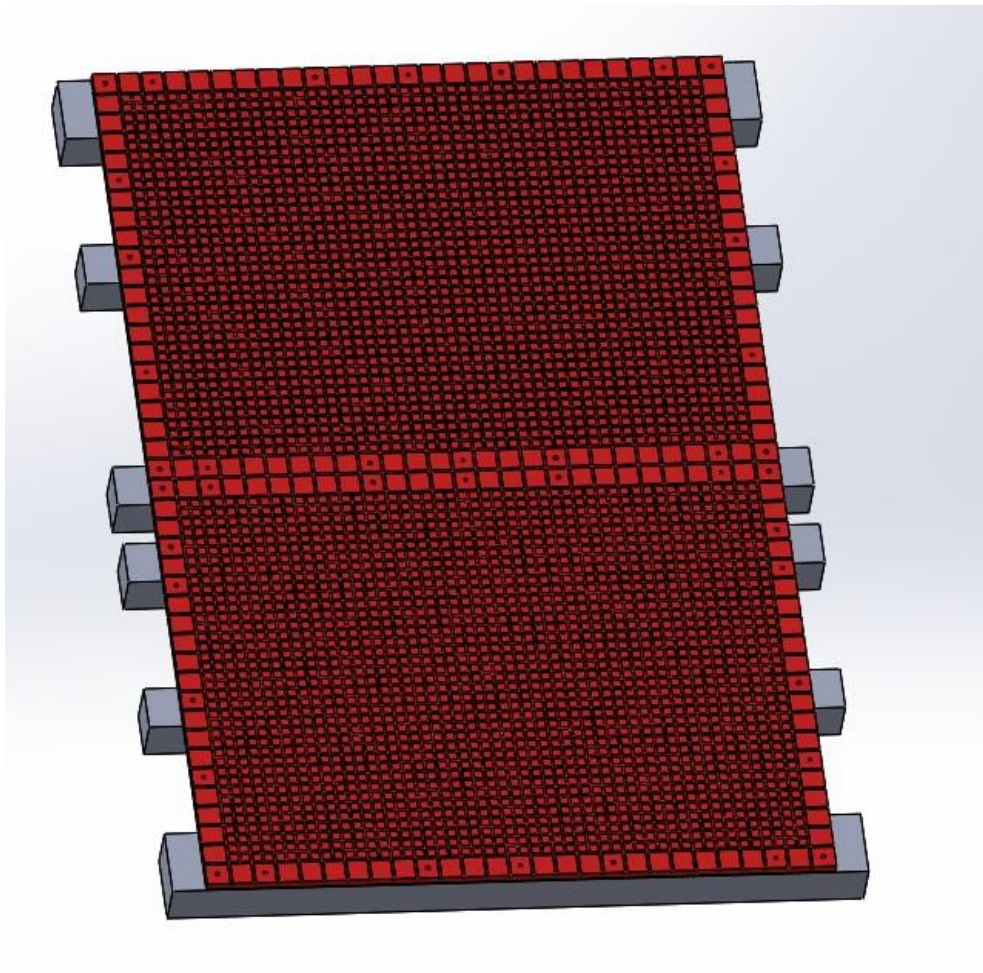
Vakuum stol je potrebno nekako povezati sa pokrovnom limenom pločom i u konačnici sa CNC strojem. Tome služi određena količina rupa vidljivih na Slika 41. Rupe za povezivanje bakelita sa limom su postavljene na svim rubovima stola te nekolicina u sredini kako bi se osiguralo da je cijeli sustav čvrsto stegnut i zabrtvljen. Rupe za vijke na sredini komore moraju obavezno, kao što je i ranije spomenuto, biti omeđene gumenom brtvom radi sprječavanja gubitaka vakuuma tijekom rada. Također je bitno da se zbog toga nalaze na neobrađenim područjima komore, a ne na području gdje je kanal. Ove rupe su definirane promjerom od 9mm što je sasvim dovoljno da se lim stegne sa bakelitom vijcima M8.

Između rupa za stezanje sa limom je ostavljeno dovoljno prostora za rupe kojima će kompletan vakuum stol biti stegnut sa CNC strojem nakon pozicioniranja. Ove rupe su promjera 11mm za M10 vijke koji moraju biti jači, a ujedno da se rupe mogu međusobno razlikovati prilikom slaganja stola nakon što se napravi. Pošto se sa stroja skida izvorni aluminijski stol te se koriste postojeće cijevi za postavljanje vakuuma stola, ove rupe su postavljene tako da odgovaraju pozicijama tih postojećih cijevi.

### 8.3.5. Definiranje druge polovice stola i kompletiranje

Kad je prva polovica vakuum stola definirana do kraja, druga se jednostavnom operacijom zrcaljenja preslika na drugu stranu. Treba uzeti u obzir pozicije vijaka za fiksiranje polovica stola za stroj. Prva prednja polovica se fiksira na već postojeće cijevi dok se za drugu trebaju zavariti nove cijevi koje možemo proizvoljno postaviti ovisno o dostupnom prostoru na stroju, ali obavezno na istu visinu postojećih.

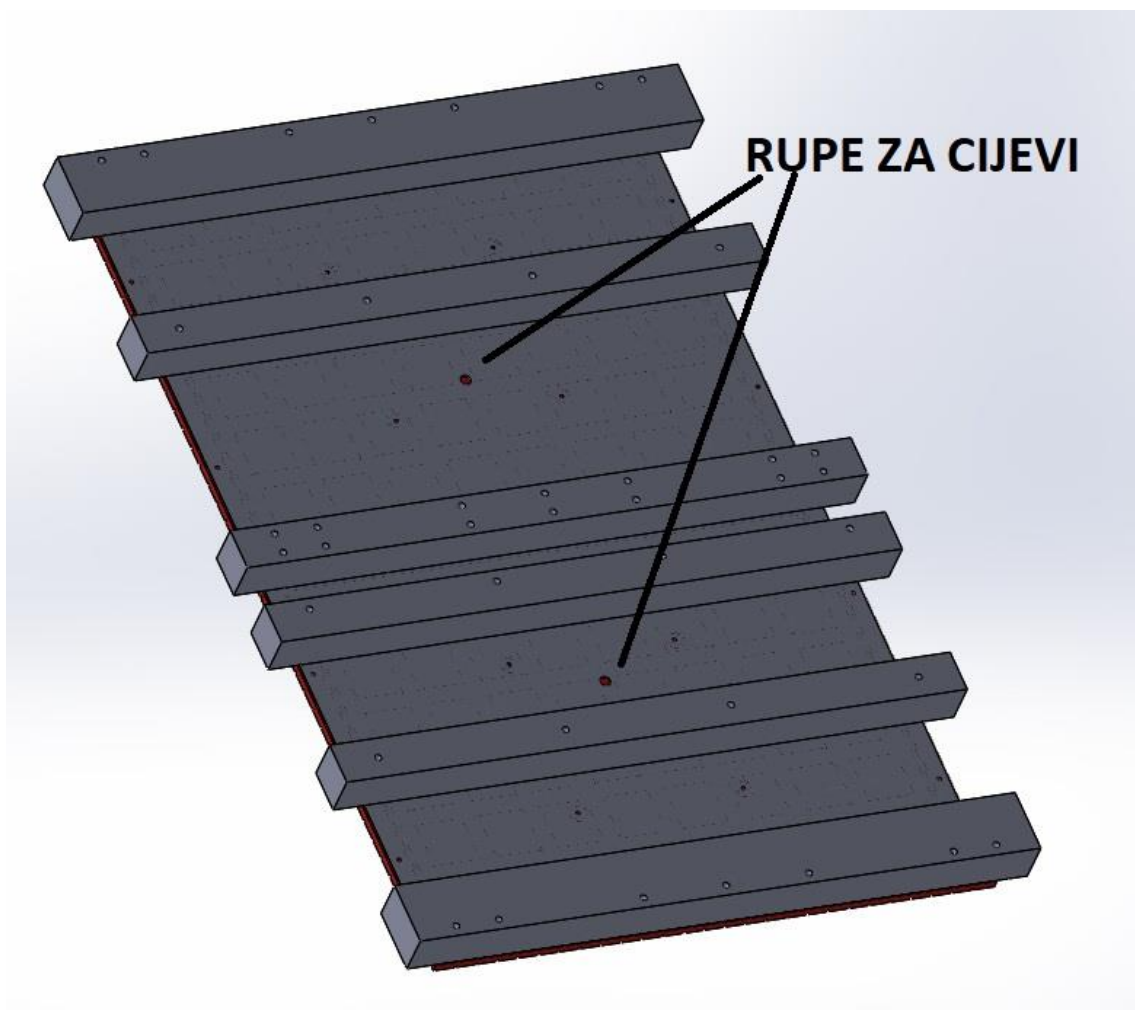
Kad se dobije model kompletnog stola, radi bolje predodžbe što se radi, najbolje je iskonstruirati i ostale elemente koji će biti vezani za stol. Ti elementi su limene ploče, i cijevi (Slika 42).



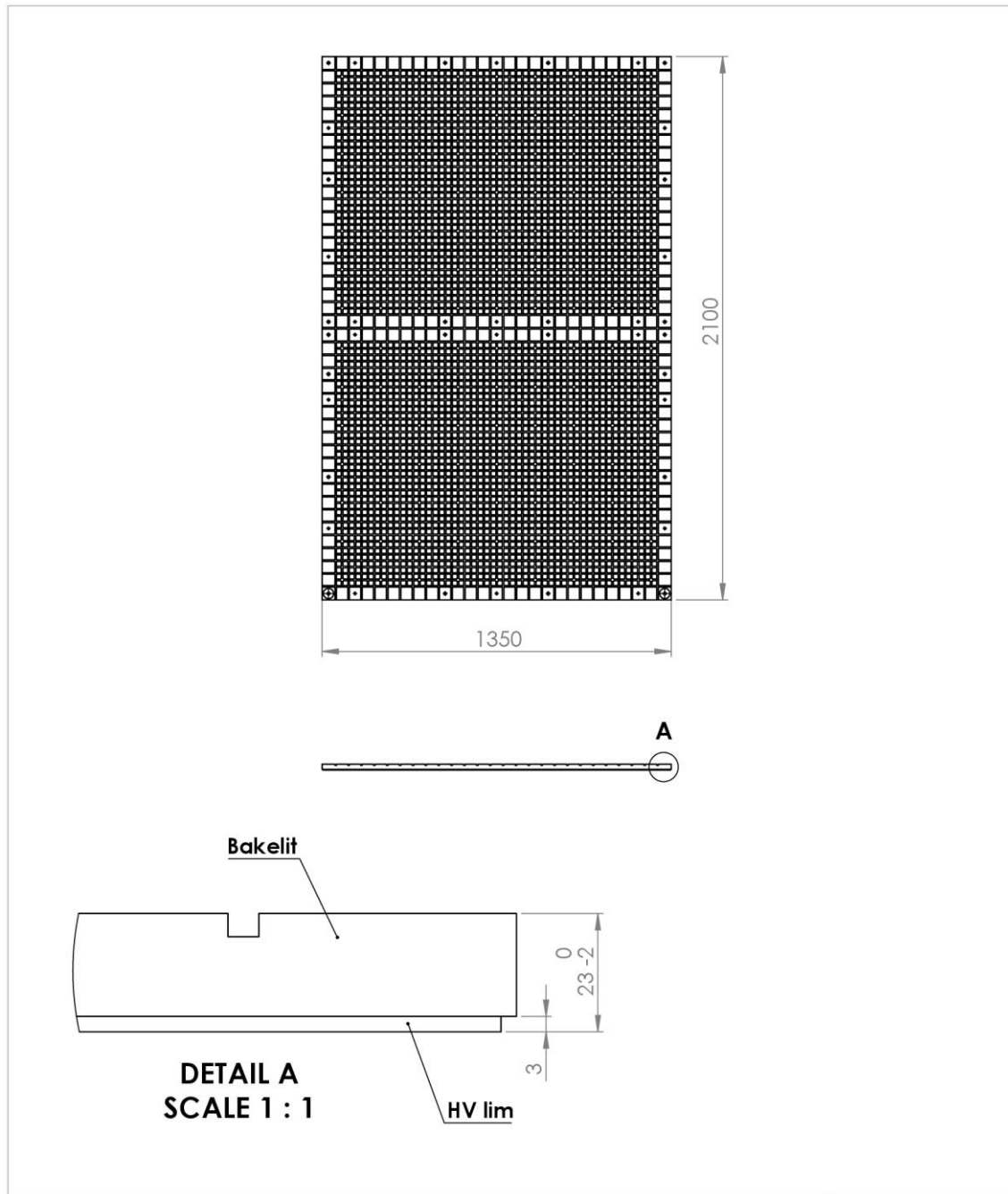
Slika 42. 3D model cijelog vakuum stola sa limom i potpornim cijevima

Preko 3D modela se najbolje može vidjeti gdje se mogu pozicionirati rupe na limu za spajanje sa tlačnom cijevi koja je drugim krajem spojena na vakuum pumpu. One mogu biti bilo gdje pod uvjetom da se nalaze na sredini kanala komore kako bi zrak mogao nesmetano cirkulirati te da nisu na mjestima gdje su potporne cijevi stroja.

Rupe na 3D modelu su samo reprezentacije konačnih rupa koja će na limu biti bušene ručno te se može birati na koji će se način izvesti spajanje sa pumpom (Slika 43). O spajanju sa pumpom će kasnije biti više riječi.



**Slika 43. 3D model vakuum stola sa donje strane**



				<b>AQUAESTIL</b>	
				TITLE: <b>Vakuumski stol za CNC Rotech</b>	
NO.		ISSUE ALTERATION		DATE	
				STANDARD:	
DRAWN		NAME		DWG NO.	
CHECKED		DATE		<b>AQ 4378.00</b>	
APPROVED		DATE			
		MATERIAL: Bakelit 20mm HV lim 3mm		SCALE: 1:20	
		WEIGHT:		SHEET 1 OF 1	

Slika 44. Nacrt vakuum stola

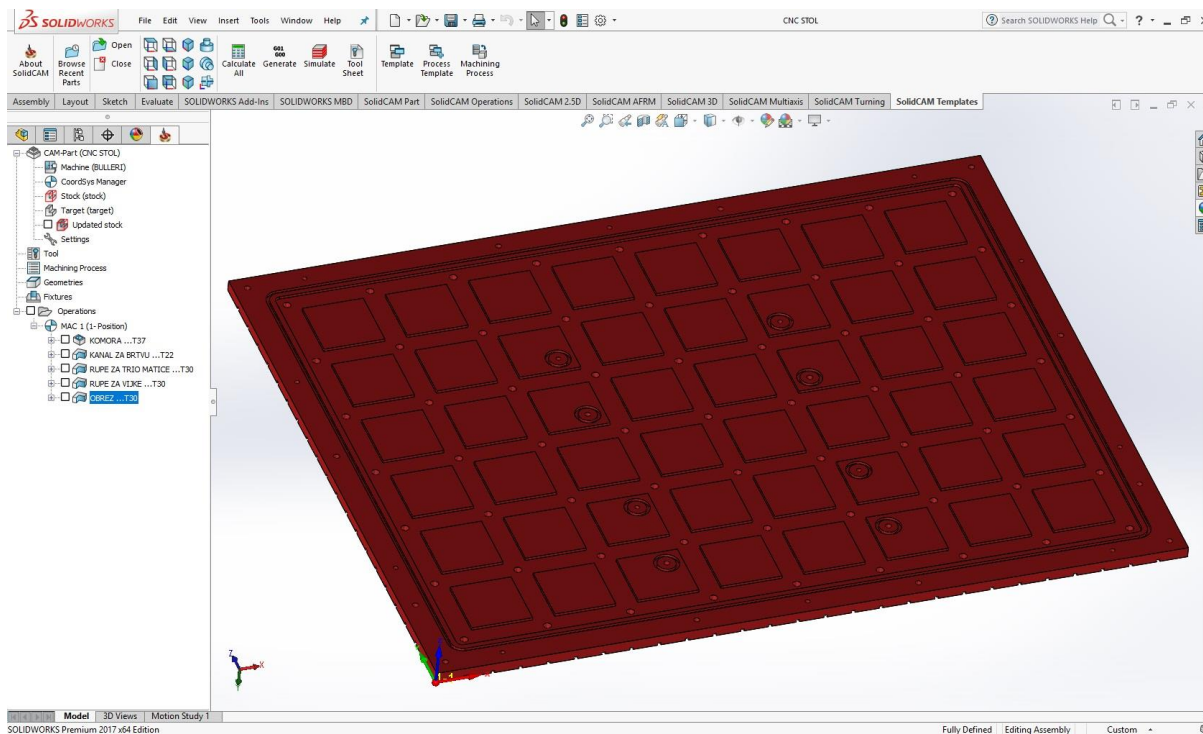
## 9. IZRADA UNUTRAŠNJE KOMORE

Kad je 3D model vakuum stola u konačnici definiran, može se krenuti u proces izrade CAM programa za glodanje komore. Komore obiju polovica se trebaju glodati na posebnom stroju, a u ovom slučaju CNC glodalica koja će odraditi taj dio posla je Bulleri koji se nalazi u pogonu pilane firme Aquaestil plus d.o.o. Ovaj CNC je također 3-osni CNC ali sa automatskom izmjenom alata.

### 9.1. CAM programiranje glodanja komore

CAM program za glodanje komora obiju polovica je napravljen u **Solidcam 2018** pluginu za Solidworks.

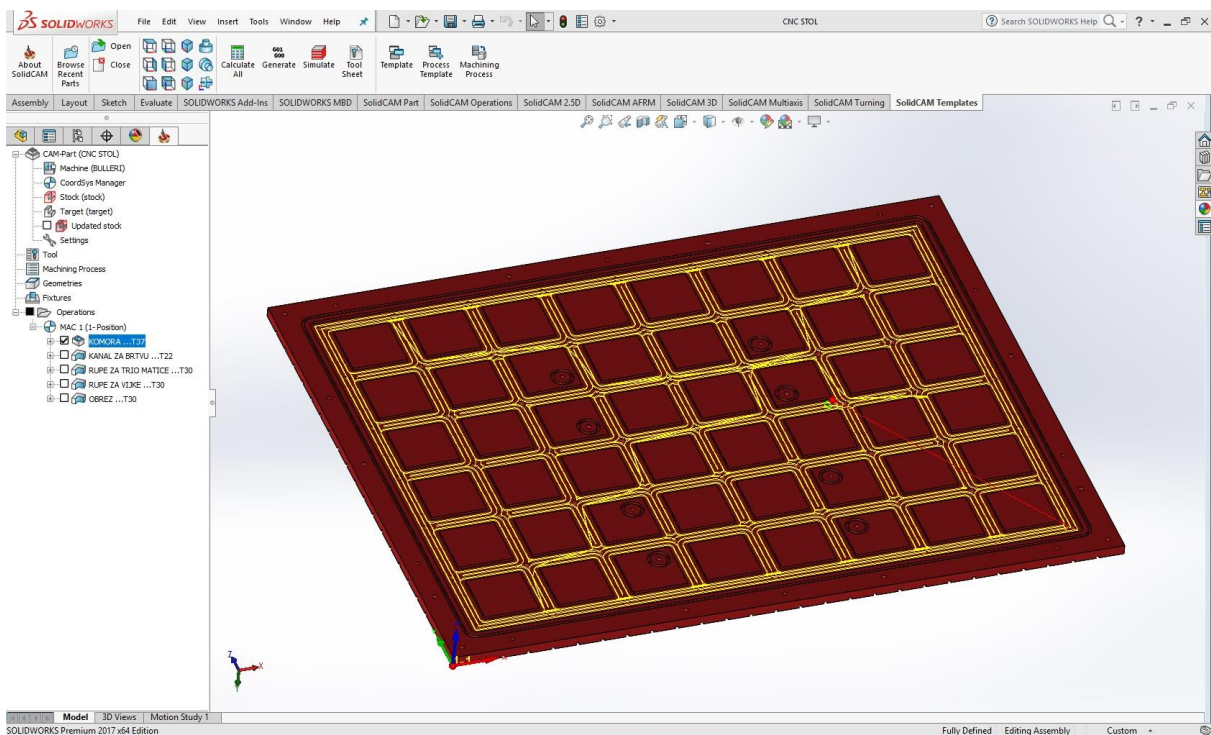
Nakon što se definira nultočka obratka te se postavi koordinatni sustav dobije se Solidcam sučelje prikazano na Slika 45.



Slika 45. 3D model polovice vakuum stola u Solidcamu 2018

Koordinatne osi su postavljene uz 3D model gdje crvena strelica prikazuje X os, zelena prikazuje Y os, a plava Z os stroja.

Prvi dio programa je glodanje kanala za komoru. Kanali za komoru se glodaju dijamantnim glodalom promjera 20mm (Slika 47). Pošto je bakelit tvrd materijal, ovo glodalo može izdržati ovaj proces. Okretaji glodala su 18000 okr/min, a odabrana posmična brzina gibanja glodala je F3000. Glodalo će kanale komore dubine od 5mm obraditi u dva spusta po 2.5mm kako bi se spriječilo oštećenje oštrica na glodalu pošto u određenim dijelovima glodalo ide svojim čitavim promjernom kroz materijal. Ovaj proces za jednu polovicu traje otprilike sat vremena pri ovim brzinama.

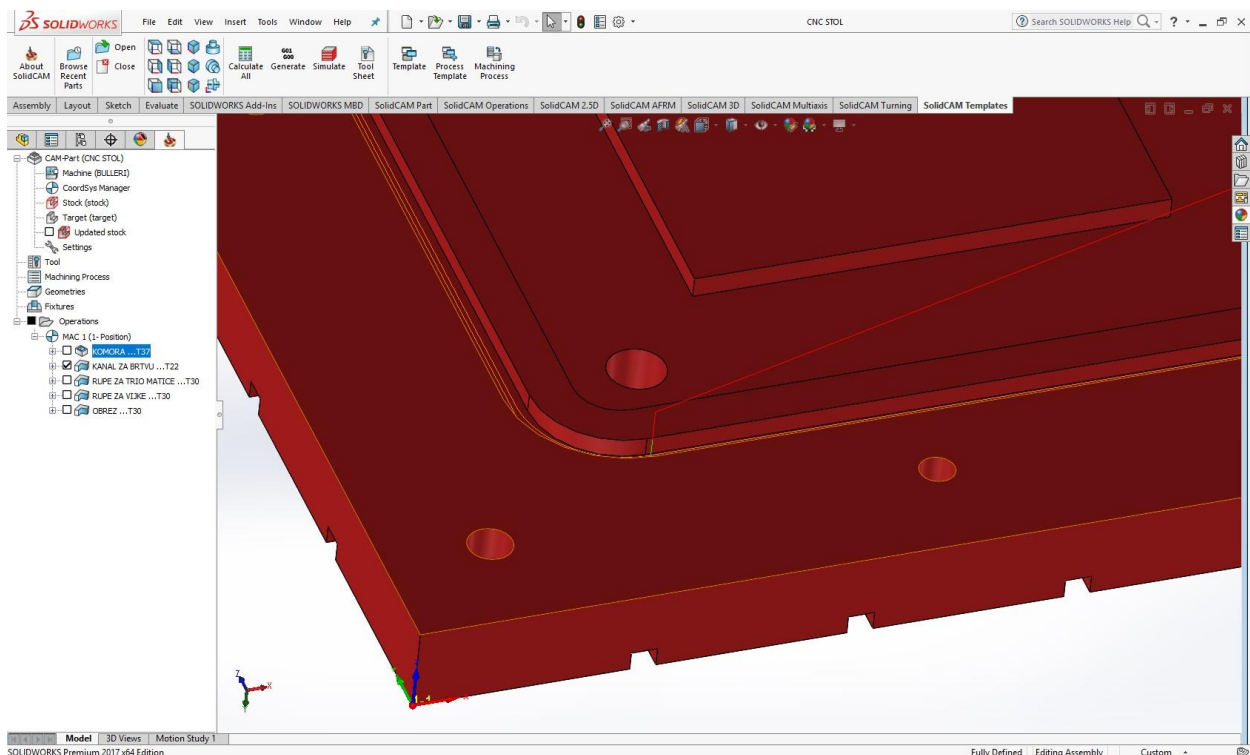


**Slika 46. Prikaz putanje alata prilikom glodanja komore**



**Slika 47. Dijamantno glodalo promjera 20mm**

Drugi dio programa je glodanje kanala za brtvu od kojih se glavni nalazi oko komore, a sporedni omeđuju rupe za vijke na unutrašnjosti komore. Pošto su definirani kanali za brtvu širine 6mm, a dubine 4.5mm, glodat će se glodalom promjera 6mm (Slika 49) također na 2 prolaza po pola dubine radi sprječavanja pucanja glodala. Glodalo je spiralno dvoperno promjera 6mm od tvrdog metala. Brzina rotacije je 18000 okr/min, a posmična brzina gibanja alata je F3000 te sa ovim parametrima ovaj dio obrade traje otprilike 5minuta za jednu polovicu stola.



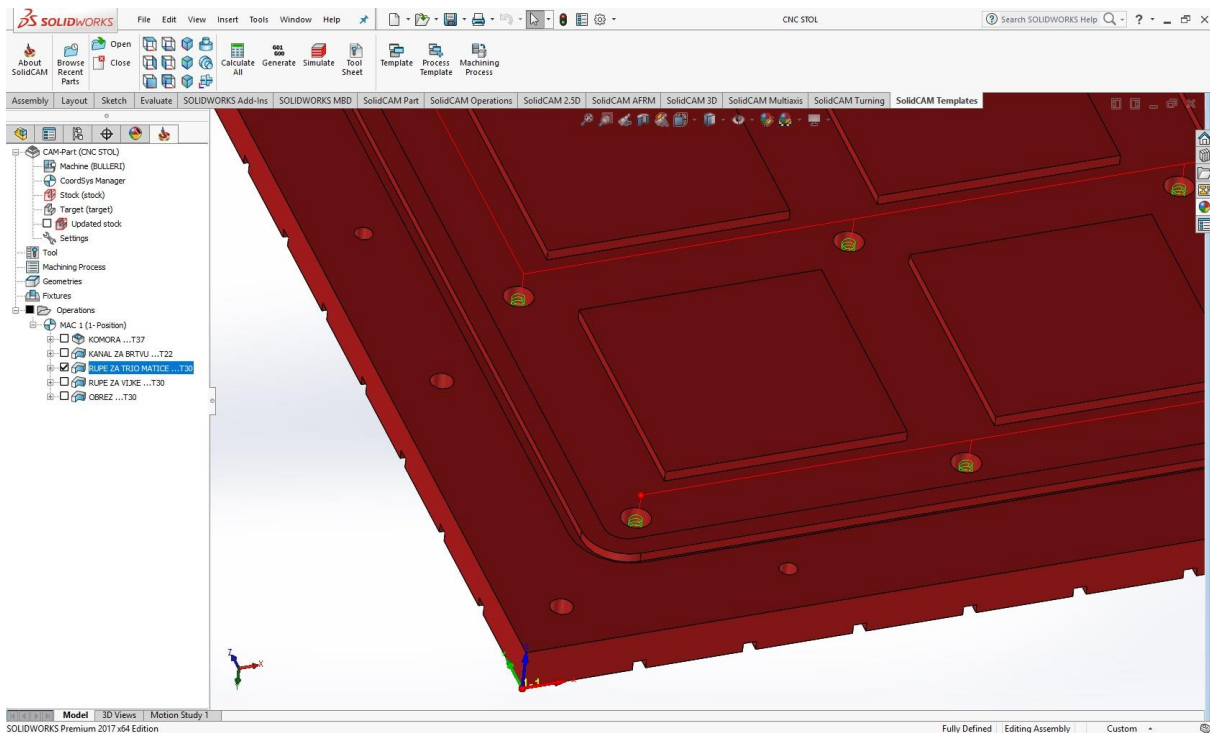
**Slika 48. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja kanala za brtvu**



**Slika 49. Spiralno dvoperno glodalo promjera 6mm**



U trećem dijelu programa se glodaju tj. buše rupe za zrak koje se nalaze na sjecištima kanala komore. Te rupe se glodaju spiralnim dvopernim glodalom od tvrdog metala promjera 8mm (Slika 51). Posmična brzina gibanja ovog glodala u ovoj fazi je F500 te se glodalo kontinuirano spiralno giba u dubinu. Ovaj dio traje otprilike 15 minuta za jednu polovicu stola.

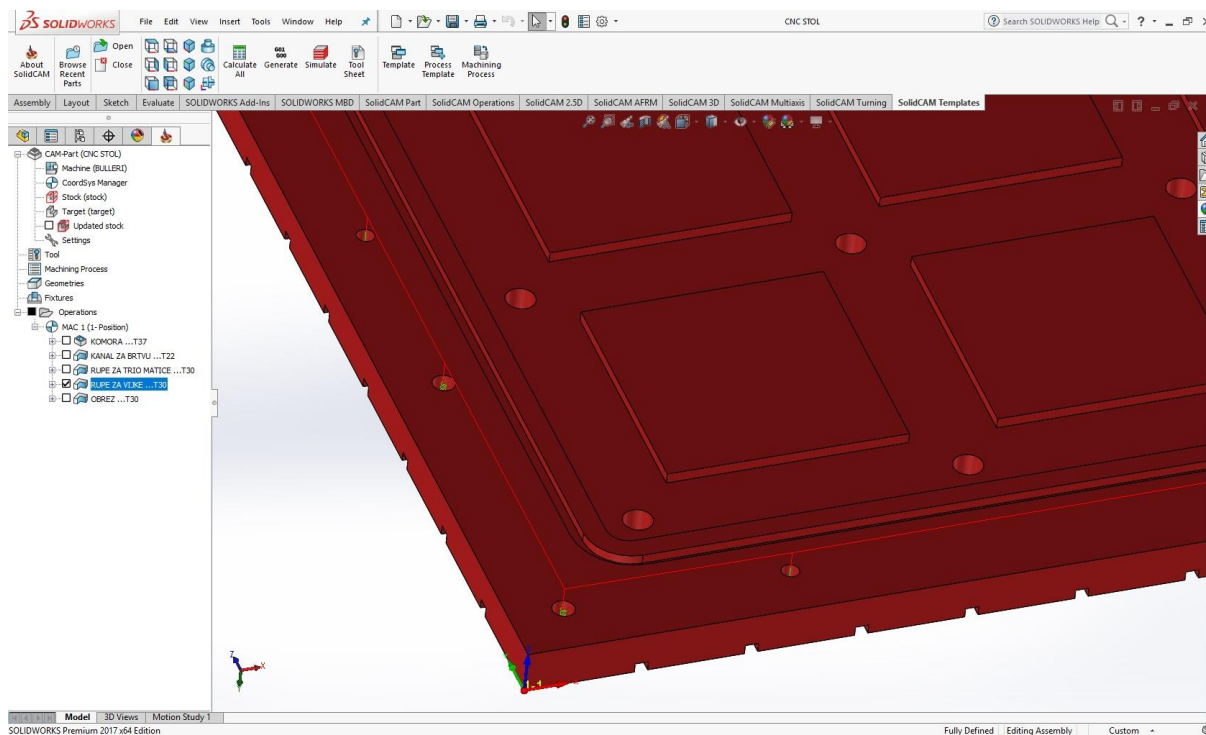


**Slika 50. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja rupa za zrak**



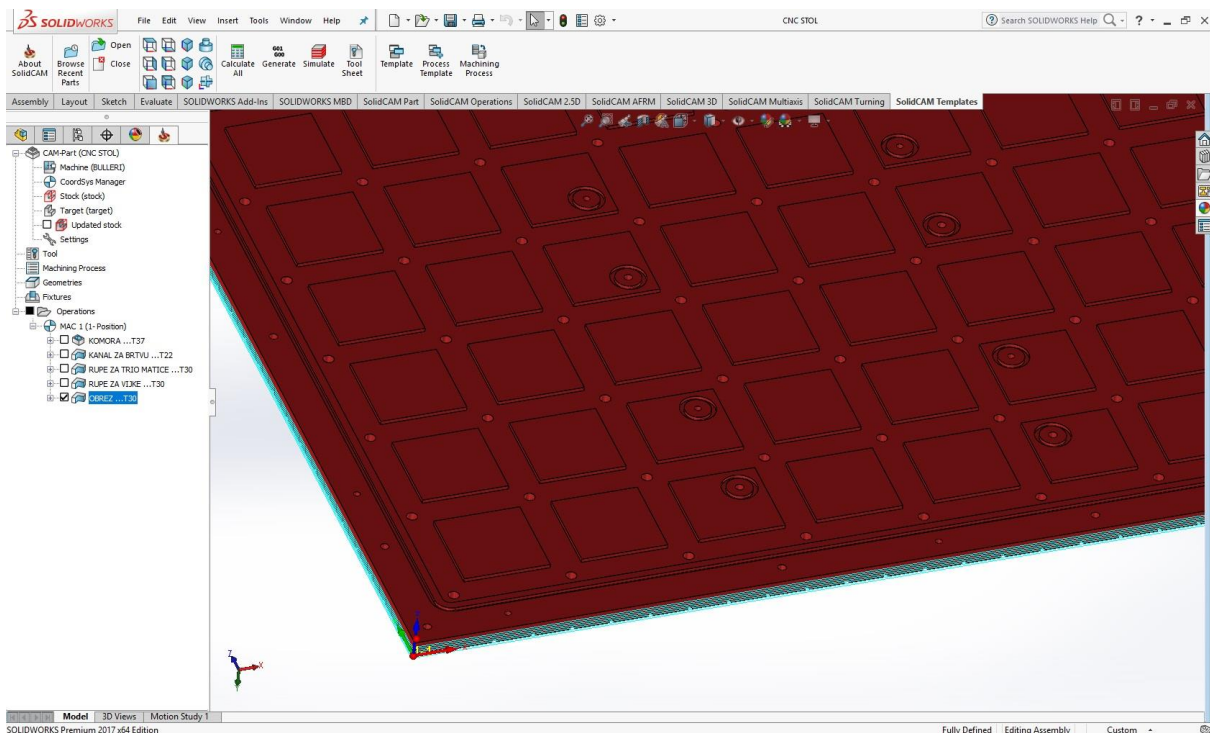
**Slika 51. Spiralno dvoperno glodalo promjera 8mm**

U četvrtom dijelu se buše rupe za vijke istim glodalom promjera 8mm sa istim brzinama posmaka. Problem u ovom dijelu može stvarati bušenje rupa promjera 9mm koje su uske u odnosu na glodalo. Bakelitna piljevina se teško izbacuje iz rupe koja se buši te treba biti vrlo oprezan prilikom procesa glodanja pošto se može nakupljati višak topline što može dovesti do zapaljenja ili pucanja glodala. Ovaj dio traje otprilike 5 minuta za jednu polovicu stola.



Slika 52. Prikaz putanje alata za vrijeme glodanja rupa za vijke

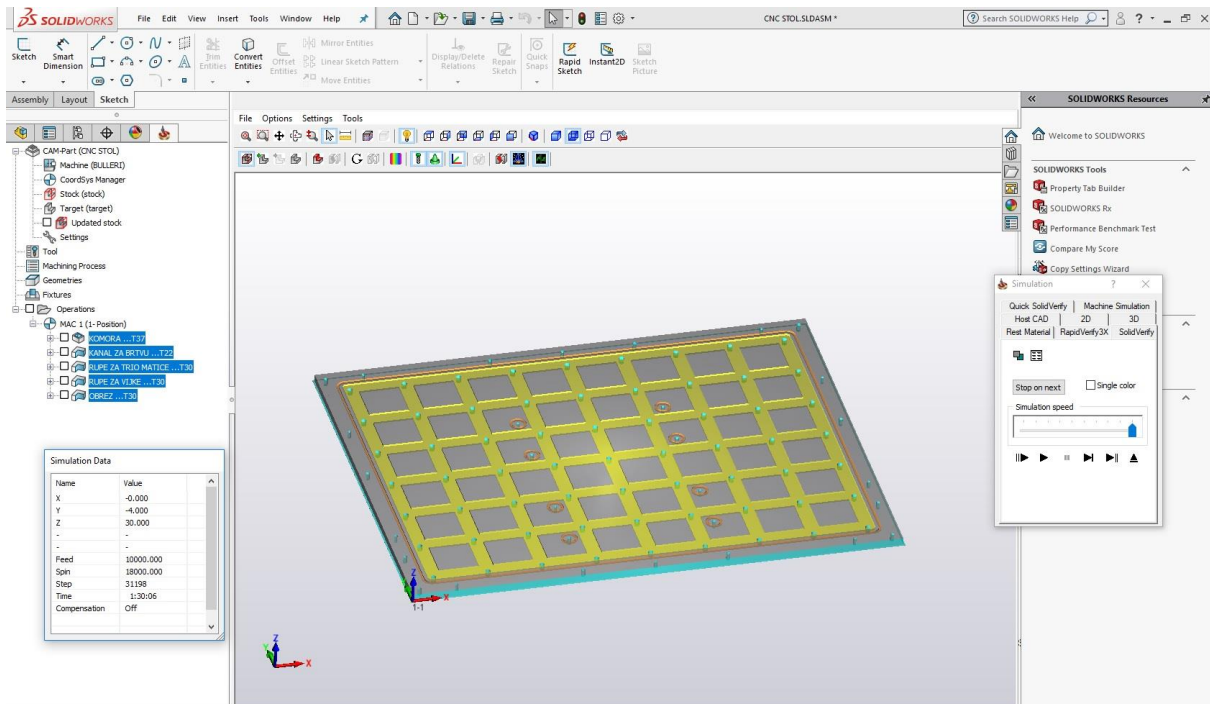
Peti dio je obrezivanje po vanjskoj konturi 3D modela kako bi se dobile konačne željene dimenzije jedne polovice vakuum stola. Obrezivanje se u ovom slučaju vrši istim glodalom promjera 8mm kako bi se dobilo na brzini izrade. Brzina posmaka za obrezivanje je F3000 te se u jednom okretaju po konturi spušta po 3mm u dubinu i traje otprilike 15 minuta za jednu polovicu stola. U konačnici cjelokupan proces glodanja traje otprilike sat i pol za jednu polovicu vakuum stola.



**Slika 53. Prikaz putanje glodala prilikom vanjskog obrezivanja**

Isti proces glodanja vrijedi i za drugu polovicu stola pošto su simetrične, a ukoliko postoje neke razlike u pozicijama rupa, CAM program se prilagodi svakoj ploči posebno.

Kad se složi struktura programa te su pažljivo odabrana glodala sa svojim brzinama, može se pustiti simulacija glodanja da se vidi da li će doći do sudara ili bilokakvih drugih problema u procesu.



Slika 54. Prikaz uspješno obavljene simulacije glodanja

Pošto je simulacija pokazala uspješno obavljeno glodanje, generira se G-kod programa te se može krenuti u nabavku sirovine, a potom obaviti potrebno umjeravanje glodala i pripreme stroja za proces glodanja.

## 9.2. Glodanje unutrašnje komore

Kad je uspješno simuliran CAM program glodanja, generirani G-kod je ubačen u CNC stroj, u ovom slučaju Bulleri, te se sirova ploča postavila na taj stroj. Odabrani alati su se umjerali, postavili u magazin za izmjenu alata te je proces glodanja komore prve polovice vakuuma stola krenuo.



**Slika 55. Sirova bakelitna ploča debljine 20mm dimenzije 2070x1070**

Navedeni CNC Bulleri za stezanje alata već koristi svoju izvedbu vakuuma stola na sličnom principu koja se želi postići. Omeđena je površina na vakuuma stolu ovog stroja u dimenziji malo manjoj od sirove bakelitne ploče te je ploča uspješno postavljena na stroj do graničnika koji definiraju nultočku stroja.



**Slika 56. Bakelitna ploča na CNC-u Bulleri u Aquaestil plus d.o.o.**

Ovako postavljena ploča prikazana je bila spremna za glodanje (Slika 56). Istim redoslijedom kako je rađen program je stroj uzimao alate i vršio proces glodanja. Prvo se glodala komora sa dijamantnim glodalom promjera 20mm.



**Slika 57. Početak glodanja komore**



**Slika 58. Završetak glodanja komore**

Nakon komore su na redu bili kanali za brtvu. Oni su glodani glodalom promjera 6mm.



**Slika 59. Glodanje kanala za brtvu**

Zatim su bušene rupe za zrak i za vijke glodalom promjera 8mm te je ploča obrezana na konačnu dimenziju. Proces je ponovljen i za drugu polovicu vakuum stola.



**Slika 60. Bušenje rupa i vanjsko obrezivanje**



## 10. SASTAVLJANJE VAKUUM STOLA

Nakon procesa glodanja je krenulo sastavljanje vakuum stola kako bi poprimio svoj konačni oblik te bio spreman za montažu na stroj. Ovaj proces ima nekoliko faza.

### 10.1. Modelarski radovi na bakelitnom dijelu vakuum stola

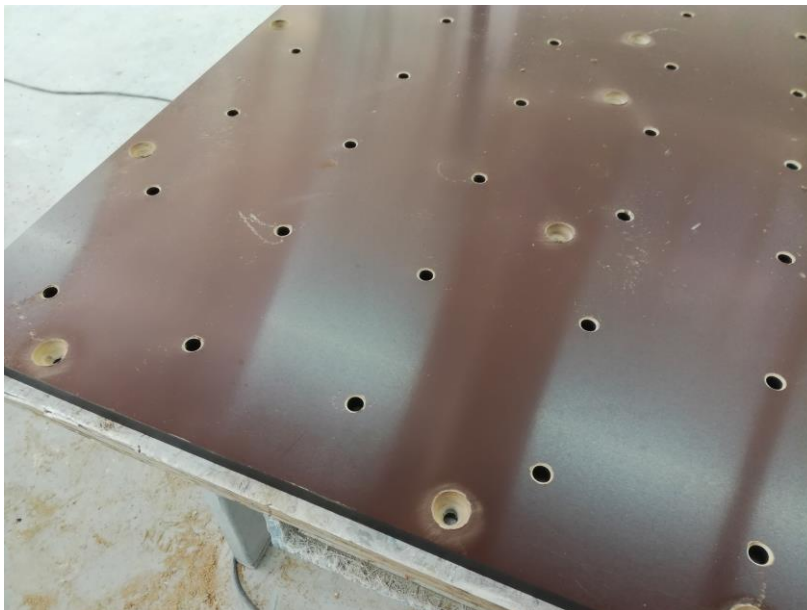
- Ugradnja pjenaste gumene brtve u donju stranu vakuum stola



Slika 61. Lijepljenje gumene brtve u komoru vakuum stola

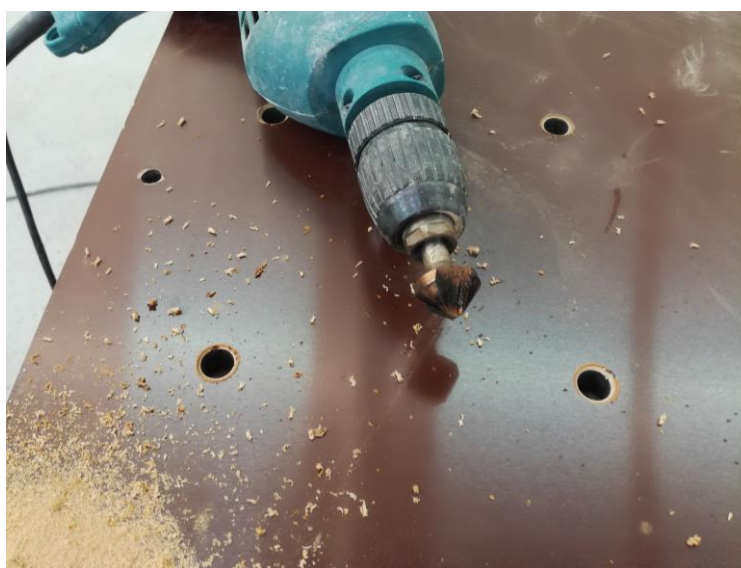
Odrezani komad pjenaste gumene brtve koji odgovara duljini kanala je unutra pažljivo zalijepljen super ljepilom. Lijepljenje je opcionalno, ali je preporučeno jer se guma uvijek može smaknuti van prilikom pozicioniranja limene ploče, a brtva se tako ionako više van ne vadi. Iskakanjem gume bi izgubili na točnosti spoja ploča i došlo bi do gubitaka podtlaka.

- **Skošenje rupa za vijke sa gornje strane**



**Slika 62. Skošene rupe za vijke**

Vijci koji su odabrani za spajanje bakelita sa limom su imbus vijci M8x30 sa upuštenom glavom DIN 7991, te je za njih bilo potrebno napraviti skošenja na svim pozicijama. To se moralo odraditi ručno jer je ova strana tijekom glodanja bila sa donje strane obrade. Skošenje se može obaviti običnom električnom bušilicom i konusnim glodalom (Slika 63).



**Slika 63. Električna bušilica sa konusnim glodalom**

## DIN 7991 – IMBUS VIJAK UPUŠTENA GLAVA

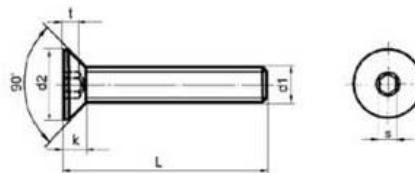


IMBUS VIJAK  
UPUŠTENA GLAVA  
**DIN 7991**  
HRN M.B1.126 | ISO 10642

DOSTUPNI MATERIJALI:  
ČELIK | INOX

KVALITETA  
ČELIK 10.9  
INOX A2 i A4

ZASTITA  
BRUNIRANO



d1	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
d2	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	27,0	30,0	33,0	36,0	36,00	39,0
k	1,7	2,3	2,8	3,3	4,4	5,5	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	13,1	14,0
s	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	10,0	12,0	12,0	14,0	14,0
t	1,2	1,8	2,3	2,5	3,5	4,4	4,6	4,8	5,3	5,5	5,9	8,8	10,3

Slika 64. Tehnički podaci imbus vijka sa upuštenom glavom DIN 7991 [5]



Slika 65. Imbus vijak M8x30 sa upuštenom glavom

Rupe za M10 vijke je također bilo potrebno skositi proporcionalno njihovoj veličini.

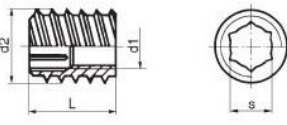

Ova faza je jedna od najnužnijih stvari prilikom izrade vakuum stola ako se koristi ovaj oblik vijka. Skošnje je bilo potrebno napraviti dovoljno plitko da se ne naruši čvrstoća bakelita kod stezanja sa pločom i u konačnici sa strojem, a dovoljno duboko da prilikom ravnjanja gornje površine i urezivanja kanala za brtvu ne dođe do sudara između glodala i vijka što može rezultirati raznim problemima.

Rupe za zrak je bilo potrebno samo malo skositi kako bi u njih bilo moguće ugraditi trio matice.

### - Ugradnja trio matica u rupe za zrak

Trio matica koja je odabrana za ugradnju u rupe za zrak je trio matica M8x15 vanjskog promjera 14mm KR 9060.

**KR 9060 – TRIO MATICA**

d1	d2	L	Bohrloch-ø	sNennmaß
M4	8,0	8	6,1	4
M4	8,0	10	6,1	4
M5	10,0	10	8,0	5
M5	10,0	12	8,0	5
M5	10,0	14	8,0	5
M6	12,0	10	9,9	6
M6	12,0	12	9,9	6
M6	12,0	15	9,9	6
M6	12,0	18	9,9	6
M8	14,0	15	11,9	8
M8	14,0	18	11,9	8
M8	16,0	14	13,3	8
M8	16,0	18	13,3	8
M8	16,0	23	13,3	8
M10	18,5	15	15,8	10
M10	18,5	20	15,8	10
M10	18,5	25	15,8	10

TRIO MATICA  
**KR 9060**

DOSTUPNI MATERIJALI:  
ČELIK

ZAŠTITA:  
CINČANO

Slika 66. Tehnički podaci trio matice KR 9060 [5]



Slika 67. Trio matica M8x15 KR9060

Nakon što je rupa, promjera 13.5mm, sa suprotne strane bušenja ručno malo skošena, navedena trio matica se mogla ugraditi u tu rupu. Ovaj promjer je odabran s razlogom što je trio matica vanjskog promjera 14mm, a pošto je bakelit tvrd materijal, ovaj promjer rupe je adekvatan da prihvati maticu bez prevelikog trenja ili pucanja matice. Trio matica sama sebi ureže navoj prilikom zatezanja.

Matice se mogu ugraditi odgovarajućim ručnim imbus ključem, što je sporija metoda, no bolja metoda je akumulatorskom bušilicom i odgovarajućim imbus bitom (Slika 68).



**Slika 68. Akumulatorska bušilica sa imbus bitom**

Prije nego je matica zategnuta u rupu je bilo potrebno navoje matice zapuniti silikonskim kitom kako bi se spriječili gubici podtlaka prilikom rada pumpe. Kad su se navoji silikonirali, matice su se zategnule u rupe. Treba imati u obziru da matice moraju biti zategnute nekoliko milimetara ispod vrha rupe kako ne bi došlo do sudara između glodala i matice prilikom obrade gornje površine u konačnoj fazi nakon montaže na stroj. Višak silikona se opere nekim otapalom.



**Slika 69. Silikoniranje vanjskog navoja trio matice**



**Slika 70. Trio matica u svojoj konačnoj poziciji**

Kad su trio matice zategnute u svoju konačnu poziciju, treba obratiti pozornost na stranu trio matice koja se nalazi u komori. Kao što je rečeno, bitno je da je dovoljno duboko u rupi da ne dođe do sudara, ali je ujedno jednako bitno da ne strši sa druge strane previše van kako ne bi smetala limu da se sa cijelom površinom poklopi sa bakelitom. Ovo je duži proces kojeg je trebalo pažljivo izvesti na svakoj matici te su provjere bile izvršene ravnom letvom i pomičnim mjerilom.

Sve su matice dovedene u svoje pravilne pozicije, a potom je na strani komore svaki vanjski navoj matice zaliven super ljepilom kako bi se dodatno spriječili gubici zraka između navoja matice i bakelita gdje nije dobro zapunjeno silikonom.

Nakon što su se silikon i ljepilo osušili, radi boljeg protoka zraka se matica običnom kutnom brusilicom zarezala u dvije ili više osi što neije oštetilo funkciju navoja matice (Slika 71).



**Slika 71. Zarezana i zalijepljena trio matica sa strane komore**

## 10.2. Bravarski radovi na limenom dijelu vakuum stola

Limeni dio stola je trebalo također obraditi na svoj način, a to znači obrezati ga na konačnu dimenziju, izbušiti potrebne rupe te zavariti spojku za tlačnu cijev.

### - Rezanje HV lima na potrebnu dimenziju

Iz ranije spomenute ploče HV lima debljine 3mm dimenzije 1250x2000 se izrezao komad lima u dimenziji jedne polovice stola 1350x1050. Zbog tehnoloških nemogućnosti se lim morao rezati običnom kutnom brusilicom, s toga je odlučeno da će se lim rezati na dimenziju 5 milimetara užu i kraću od nazivne dimenzije kako bi se spriječilo nepotrebno stršanje lima izvan dimenzija bakelita. Ovo je učinjeno zato što kod ručnog rezanja dolazi do nepreciznosti, a lim koji bi stršao bi smetao da se dvije polovice stola precizno spoje.



Slika 72. HV limena ploča cijela (lijevo) i okrajčena (desno)

- **Bušenje rupe za spoj sa vakuum pumpom i zavarivanje cijevi**

Ručnim mjerenjem i zacrtavanjem pozicije mjesta rupe na limenoj ploči je prvo predbušena, a zatim izbušena rupa promjera 30mm na koju se tada zavario ranije obrađeni prilagođeni komad cijevi istog materijala kao i lim. Komad cijevi je tako obrađen i izbrušen da se na njega može nabiti armirana gumena cijev promjera 50mm. Gumena cijev se pri montaži vakuum stola na CNC stegne odgovarajućom obujmicom.



**Slika 73. Komad cijevi spreman za zavarivanje na HV lim**



**Slika 74. Majstor zavaruje cijev na HV lim**



Komad cijevi je za HV lim zavaren MIG metodom zavarivanja te je stvoren zrako-nepropusni zavar. Zavar ne smije imati gubitke prilikom rada vakuum pumpe.



**Slika 75. Cijev u trenucima nakon zavarivanja**

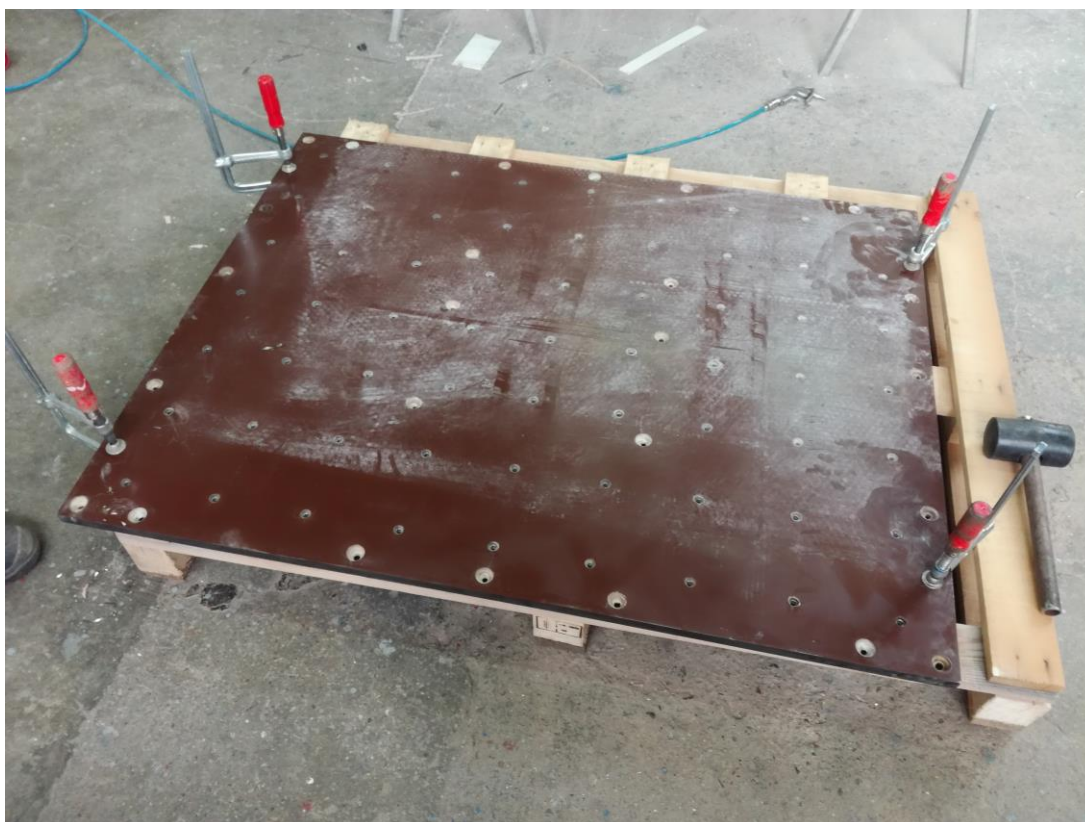
Nakon zavarivanja se mjesto zavara očisti i uredi kutnom brusilicom.



**Slika 76. Konačni oblik zavara**

### - Bušenje rupa za vijke

Količina ovih rupa i pozicije odgovaraju onima koje su na bakelitnom dijelu vakuum stola. One se mogu označiti na 2 načina. Prvi način je da se koristeći nacrt svaka rupa posebno mjeri i označuje na površini HV lima. Druga metoda je lakša, a svodi se na to da se bakelitni dio pozicionira preko HV lima u odgovarajući položaj te se postojeće rupe na bakelitnom dijelu koriste za označavanje pozicija bušenja na HV limu. Radi brže izvedbe je odabrana druga metoda.



**Slika 77. Pripreme prije bušenja HV lima**

Nakon pozicioniranja bakelita preko HV lima je bilo potrebno oboje dobro stegnuti ručnim stegama te bušiti kroz potrebne rupe. Bušenje se izvelo običnom električnom bušilicom i svrdlom koje odgovara promjeru postojeće rupe na bakelitu te se bušilo kroz njih. Ovo se radilo kako bi se rupe međusobno bolje poklopile te kako bi se uštedjelo vrijeme pripreme prije bušenja. Ujedno rupe na bakelitu centriraju svrdlo.



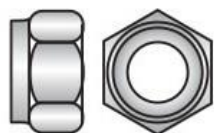
**Slika 78. Izbušene rupe u HV limu kroz bakelit**

Kad su sve rupe pravilno izbušene, ploče su privremeno odvojene prije konačnog spajanja kako bi se učinile završne dorade. Potrebno je bilo ranije spomenutim konusnim glodalom skinuti srh sa rupa na HV limu koji je nastao prilikom bušenja. Ista proceduru je učinjena i na bakelitnom dijelu. Obije komponente su ispuhane i pravilno očišćene kako bi se osiguralo da su svi komadi metalne ili bakelitne strugotine i ostalog smeća izbačeni van. Ukoliko ostanu komadići smeća između bakelita i lima, došlo bi do gubitaka na podtlaku i na većim razlikama u debljini cjelokupnog vakuum stola koje stvaraju probleme prilikom obrade stola u konačnoj poziciji na CNC stroju.

### - Sastavljanje vakuum stola

Nakon što su sve komponente vakuum stola modelarski i bravarski obrađene, te očišćene od smeća su sklopljene i trajno fiksirane. Prilikom sklapanja je bilo potrebno pripaziti da se pjenasta gumena brtva, iako je zalijepljena, ne izvuče slučajno van što bi dovelo do problema. Fiksiranje bakelitne ploče sa HV limenom pločom se izvršilo ranije spomenutim M8x30 imbus vijcima sa upuštenom glavom te odgovarajućim maticama i podloškama. Pošto će vakuum stol biti izložen konstantnim izmjenama obradaka te vibracijama stroja, stezanje ploča e izvedeno sigurnosnim maticama M8 DIN 982 i opružnim podloškama M8 DIN 127 B.

#### DIN 982 – SIGURNOSNA MATICA



SIGURNOSNE MATICE

**DIN 982**

HRN M.B1.622 | ISO 10512

DOSTUPNI MATERIJALI:

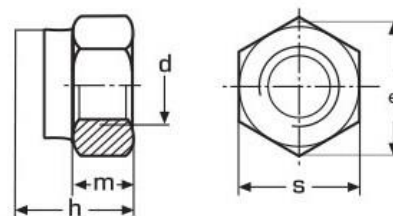
ČELIK | INOX

KVALITETA

ČELIK KLASA 8 | INOX A2

ZAŠTITA

CINČANO



d 1	h	e	m	s
M 5	6,3	8,79	4,40	8,0
M 6	8,0	11,05	4,90	10,0
M 8	9,5	14,38	6,44	13,0
M 10	11,5	18,90	8,04	17,0
M 12	14,0	21,10	10,37	19,0
M 14	16,0	24,49	12,10	22,0
M 16	18,0	26,75	14,10	24,0
M 18	20,0	29,56	15,10	27,0
M 20	22,0	32,95	16,90	30,0
M 22	25,0	35,03	18,10	32,0
M 24	28,0	39,55	20,20	36,0
M 24	39,55	24,0	36,0	

Slika 79. Tehnički podaci sigurnosne matice DIN 982 [5]



Slika 80. Sigurnosna matica M8 DIN 982

## DIN 127 B – OPRUŽNA PODLOŠKA



OPRUŽNA PODLOŠKA

**DIN 127 B**

HRN M.B2.110

DOSTUPNI MATERIJALI:

OPRUŽNI ČELIK | INOX

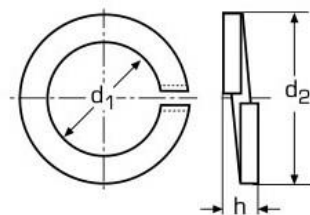
KVALITETA

INOX A2 I A4

ZAŠTITA

CINČANO

VRUĆE CINČANO



Za vijak	d 1	d 2	s
M 2	2,1	4,4	0,5
M 2.5	2,6	5,1	0,6
M 3	3,1	6,2	0,8
M 3.5	3,6	6,7	0,8
M 4	4,1	7,6	0,9
M 5	5,1	9,2	1,2
M 6	6,1	11,8	1,6
M 7	7,1	12,8	1,6
<b>M 8</b>	<b>8,1</b>	<b>14,8</b>	<b>2,0</b>
M 10	10,2	18,1	2,2
M 12	12,2	21,1	2,5
M 14	14,2	24,1	3,0
M 16	16,2	27,4	3,5
M 18	18,2	29,4	3,5
M 20	20,2	33,6	4,0
M 22	22,5	35,9	4,0
M 24	24,5	40,0	5,0
M 27	27,5	43,0	5,0
M 30	30,5	48,2	6,0
M 33	33,5	55,2	6,0
M 36	36,5	58,2	6,0
M 39	39,5	61,2	6,0
M 42	42,5	68,2	7,0

Slika 81. Tehnički podaci opružne podloške DIN 127 B [5]



Slika 82. Opružna podloška M8 DIN 127 B

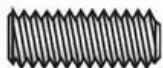
Kad su ploče ponovno poklopljene jedna na drugu u točnoj poziciji, umetnuti su vijci u odgovarajuće rupe, navijene su matice s podloškama te imbus ključem i viličastim ključem dobro stegnute. Nakon stezanja svih vijaka i matica vakuum stol je bio spreman za montažu na CNC stroj.



Slika 83. Stegnute ploče odozdo (lijevo) i odozgo (desno)

Za funkciju otvaranja i zatvaranja rupa za zrak je odabran uvrtni imbus vijak M8x16 DIN 913. Ovaj vijak je bez glave što nam omogućava da upadne u ugrađenu trio maticu te da ne smeta obradi gornje površine zbog mogućih sudara sa alatom.

#### DIN 913 – UVRTNI VIJAK



UVRTNI VIJAK

**DIN 913**

HRN M.B1.270 | ISO 4026

DOSTUPNI MATERIJALI:

ČELIK | INOX

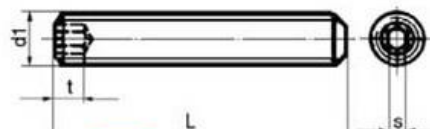
KVALITETA

ČELIK 45H (10.9)

INOX A2, A4

ZAŠTITA

CINČANO I BRUNIRANO



d1	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
s	0,9	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
t+	0,8	1,2	1,2	1,5	2,0	2,0	3,0	1,2	1,5	2,0	2,0	3,0
t*	1,7	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	5,0	2,0	2,5	3,0	3,5	5,0

Slika 84. Tehnički podaci DIN 913 uvrtnog vijka [5]



**Slika 85. Uvrtni vijak M8x15 DIN815 i desno uvijen u vakuum stol**



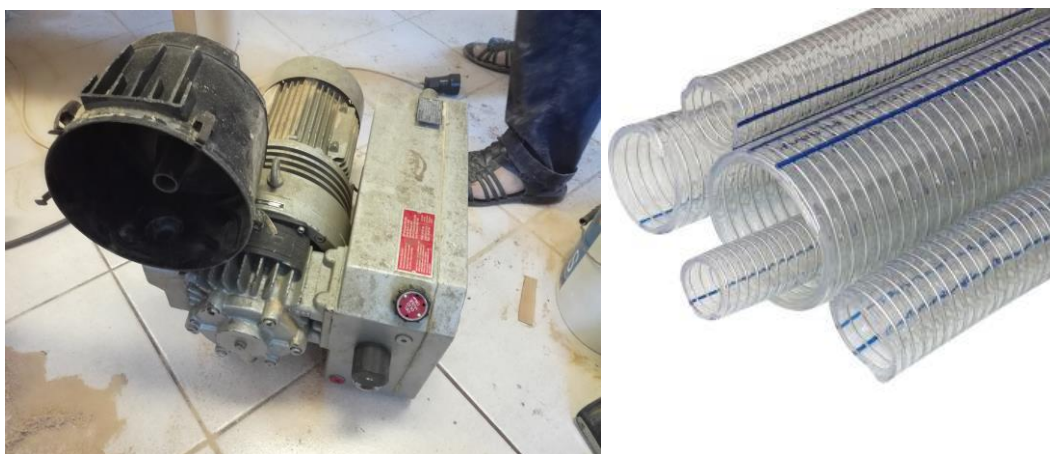
**Slika 86. Dovršena polovica vakuum stola (pogled odozdo)**

## 11. MONTAŽA I OBRADA VAKUUM STOLA NA CNC GLODALICI

### 11.1. Pripreme prije montaže

Prva i osnovna stvar prije montaže vakuum stola je pribaviti drugi osnovni dio svake vakuumske stezne naprave, a to je vakuum pumpa. Vakuum pumpa je ujedno bitan element kod završne obrade gornje površine vakuum stola. Tijekom ravnjanja stola i urezivanja kanala za brtvu, potrebno je da je sustav pod vakuumom. Ovo se radi da bi površina stola bila kakva će biti tijekom svake obrade kod koje je vakuum uvijek aktivan.

Vakuum pumpa koja je kupljena je Rietschle D-79650 Schopfheim 40 l/min (Slika 87). Cijena ove pumpe je bila 3000kn skupa sa armiranom cijevi.



Slika 87. Vakuumpumpa (lijevo), armirana gumena cijev (desno)



Slika 88. Pločica sa vakuum pumpe



## 11.2. Montaža prve polovice vakuum stola

Da bi se CNC glodalica modificirala, bilo je potrebno prvo nepotrebne elemente ukloniti, a potom nove fiksirati. Pod nove elemente naravno spada vakuum stol, ali i sve ostale cijevi, vijci te potpore koje su potrebne da bi vakuum stol bio čvrsto pričvršćen i stabilan. Čišćenje postojećih cijevi je bilo nužno obaviti što će osiguravati da će gornja površina vakuum stola biti što paralelnija sa X i Y osima te istovremeno okomitija na Z os stroja.

Kada je uklonjen aluminijski stol, cijevi na kojima je bio fiksiran su očišćene od nečistoće i ljepila koje se nalazilo na njima. Da bi se prva polovica vakuum stola fiksirala na stroj, bilo je potrebno u postojećim cijevima izbušiti rupe. Kao i ranije spomenute jedna od dvije metode su odmjeravanje, zacrtavanje pa bušenje. Druga, lakša metoda, je korištenje samog vakuum stola kao šablonu za zacrtavanje rupa što je u konačnici točnije, lakše i brže za izvesti.

Zbog vijka M10 koji se koristio za fiksiranje stola su na cijevima u označenim pozicijama izbušene rupe puno veće od promjera samog vijka. Promjeri rupa iznose 15mm. Veći promjeri rupa su strateški odabrani kako bi vakuum stol u svojoj konačnoj poziciji imao mali stupanj slobode za podešavanje.

U ovoj fazi treba biti oprezan kod pozicioniranja vakuum stola. Iako čiste cijevi osiguravaju paralelnost površine vakuum stola sa ravninom koju stvaraju X i Y osi, potrebno je što točnije podesiti vanjske bridove stola da su paralelni sa tim osima. Ovime se osigurava da će korištenje vakuum stola biti što točnije i pouzdanije.

Metoda kojom se ovo osiguralo je riskantna, ali uz pažnju, je osigurala ovu točnost. Iako ovo nije CNC glodalica za obradu metala, iskorišteno je tanko glodalo promjera 3mm kojim je u postojeće cijevi urezan plitki kanal dubine 0.1mm koji nije rezultirao pucanjem glodala. Kanal je bio L oblika, dakle jedna linija po X osi, a druga po Y osi. Stol je tada bio pozicioniran koristeći te dvije linije u konačnu poziciju.

Pri fiksiranju stola je došlo do problema duljine potrebnog M10 vijka. Potreban je bio vijak M10x130 koji ne postoji kao standardni vijak te su vijci bili improvizirani koristeći obične M10 matice i M10 navojne šipke. Kombinacijom njihovog rezanja, zavarivanja i brušenja su dobiveni vijci M10x130 kojima je prva polovica stola bila uspješno fiksirana u točnu poziciju. Ovo se činilo zato što su dimenzije cijevi 100x100 te su preširoke za standardne vijke.

Trebalo je obavezno paziti da su vijci dovoljno upušteni ispod gornje razine bakelitne ploče kako ne bi došlo do sudara sa alatom prilikom završne obrade vakuum stola.



**Slika 89. M10 matice (lijevo) i M10 najvojne šipke (desno)**



**Slika 90. Improvizirani vijak M10x130 ugrađen u vakuum stol**

### **11.3. Montaža druge polovice vakuum stola**

Najidealniji slučaj bi bio da su se na stol postavile obje polovice istovremeno, te istovremeno obradile no zbog spleta okolnosti te problema kod nabavke materijala je prvo napravljena i montirana jedna polovica stola, a onda tek druga nakon određenog vremena.

Pošto je prva polovica stola već bila u fiksnoj poziciji i obrađena uspješno, ona je iskorištena kao ispomoć za postavljanje druge.

Prvo je bilo potrebno zavariti dodatne cijevi. Spomenuto je da je prva polovica bila postavljena na već postojeće cijevi, a druga je zahtijevala dodatne.

Sa unutarnje konstrukcije stroja je očišćena zaštitna boja te su, uz pomoć stega, ravnih letvi i ostalih mjernih pomagala, zavarene još tri dodatne pravokutne cijevi istog profila kao i postojeće. Prije zavarivanja je trebalo osigurati da stroj nije uključen u struju te da su cijevi u što točnijoj visini postojećih kako bi se spriječile netočnosti između polovica vakuum stola.



**Slika 91. Proces zavarivanja dodatnih cijevi**

Kad su cijevi bile čvrsto zavarene u svoju poziciju, potrebno ih je bilo izbušiti na isti način kao i kod postavljanja prve polovice. Za označavanje rupa je korištena sama polovica vakuum stola, ali zbog već postojeće prve polovice je bilo puno lakše naći njenu točnu poziciju koristeći jednostavno prislanjanje brida druge polovice uz brid prve. Iskorištenjem simetričnosti vakuum stola, okrenut je bio na poledinu kako vijci, koji drže ploče lima i bakelita spojene, ne bi smetali pri podešavanju i zacrtavanju rupa (Slika 92).



**Slika 92. Korištenje vakuum stola za bušenje rupa u cijevima**

Nakon uspješnog bušenja rupa, stol je okrenut na pravilnu stranu, postavljen u konačnu poziciju gdje se nalazi u istom pravcu kao i prva polovica te pritegnut koristeći iste improvizirane vijke M10x130.



**Slika 93. Druga polovica vakuum stola u konačnoj poziciji**

#### 11.4. CAM programiranje glodanja gornje površine vakuum stola

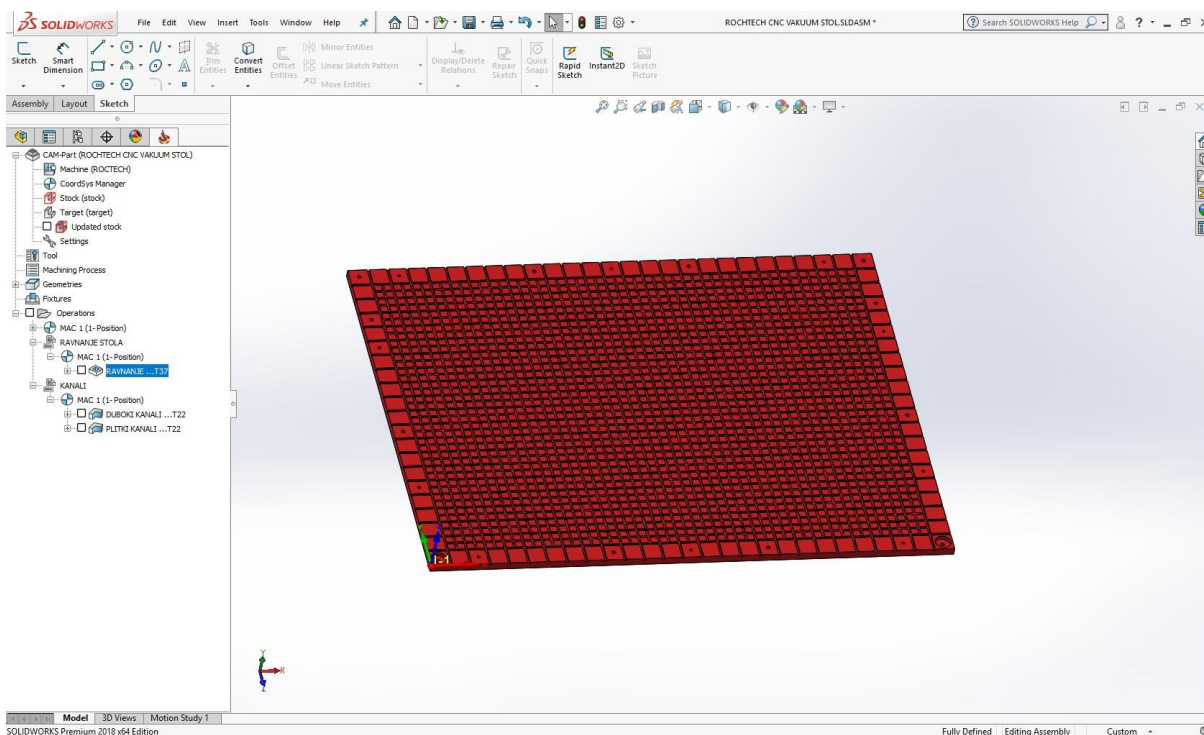
Nakon pozicioniranja i fiksiranja vakuum stola u njegov konačni položaj, potrebno ga je bilo planski poravnati te urezati potrebne kanale za gumu i zrak. Glodalo koje je vršilo ravnanje vakuum stola je tvrdo metalno spiralno glodalo sa 6 oštrica promjera 20mm, a glodalo koje je vršilo urezivanje kanala je isto ono koje je urezivalo kanal za gumenu brtvu prilikom glodanja komore.



Slika 94. Tvrdometalno spiralno glodalo promjera 20mm

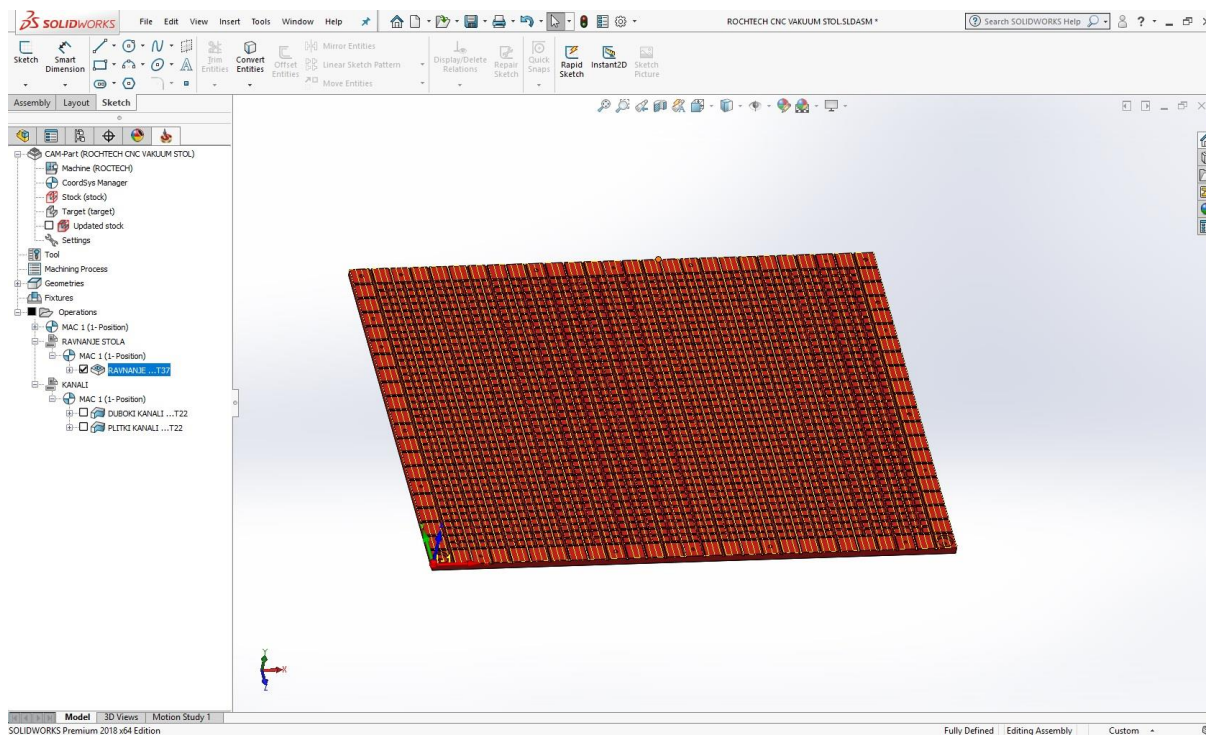
Izrada programa za ravnanje stola je puno jednostavnija od programa za glodanje komore koja je bila glodana na posebnom stroju. Ravnanjem se osigurava da će gornja površina vakuum stola biti apsolutno okomita na Z os te će tijekom redovne proizvodnje obrada biti točnija.

Kao i prilikom programiranja komore, model jedne polovice stola se ubaci u Solidcam plugin te se definira nultočka stroja na modelu.



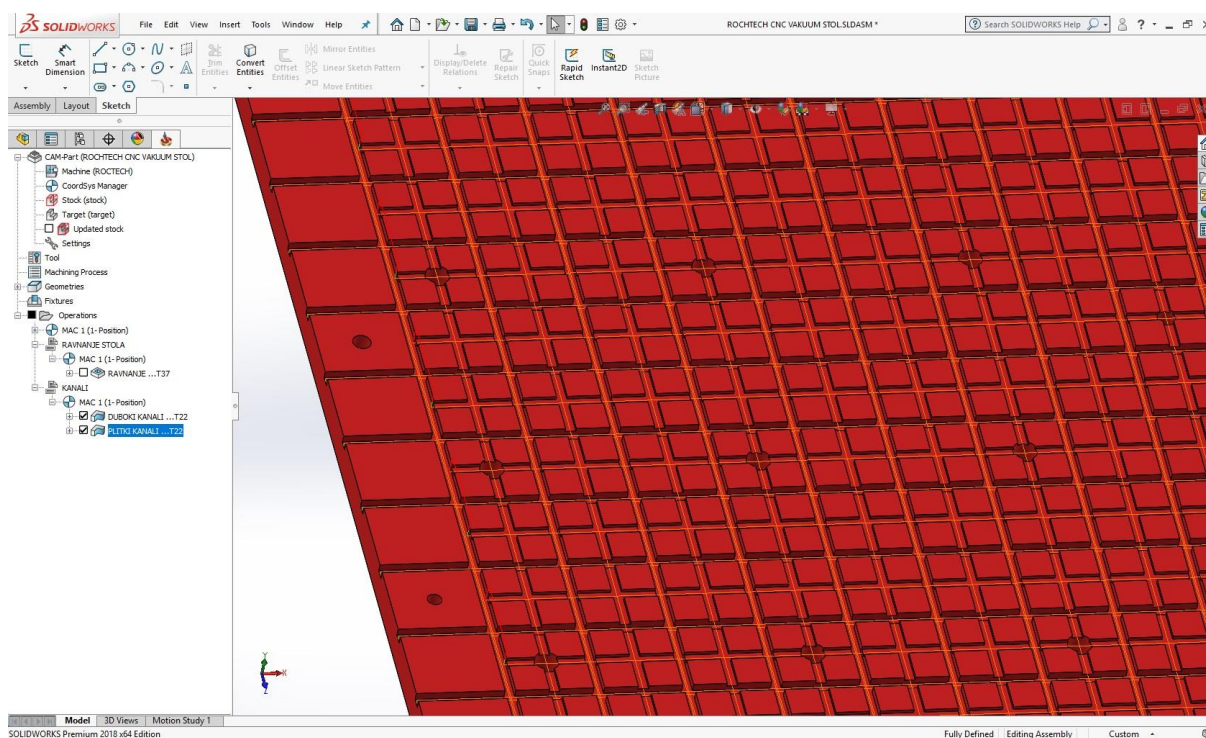
Slika 95. Definirana nultočka za glodanje gornje površine vakuum stola

Ranije spomenuto šesteroperno glodalo promjera 20mm je dovoljno sposobno da sa posmakom F10000, uz rotaciju od 15000 okr/min te sa preklopom od 5mm obavi ravnanje gornje površine u roku 15 minuta. Za razliku gdje je kod glodanja komore glodalo išlo dublje u bakelit, te se trebalo paziti na brzinu glodala, ovdje glodalo skida samo od 0.1m do 0.5mm u jednom prolazu preko gornje plohe što ne stvara opterećenje na glodalo.



**Slika 96. Prikaz putanje glodala tijekom ravnanja vakuum stola**

Tek nakon ravnanja stola kad se definira konačna površina, se u nju urezuju plitki te duboki kanali za zrak i gumenu brtvu. Plitki kanali su dubine 2 mm koji će služiti samo za bolju distribuciju zraka te i biti obrađeni u jednom prolazu, a duboki će služiti i za zrak i za ubacivanje gumene brtve. Duboki kanali su jednako duboki kao i oni kanali na strani komore, 4.5mm, s toga je, kao i prije, odabrano spiralno dvoperno glodalo promjera 6mm sa brzinom posmaka F3000 i brzinom rotacije 18000 okr/min. Svi duboki kanali s ove strane će biti obrađeni u 2 prolaza da bi se spriječilo pucanje glodala.



**Slika 97. Prikaz putanje glodala prilikom urezivanja kanala**

Ovime je kompletan CAM program za završnu obradu prve polovice vakuum stola spreman, a za drugu polovicu je potrebno na istoj visini samo pomaknuti glodalo za duljinu polovicu vakuum stola u smjeru osi Y te ponoviti proces glodanja, ali o tome će više riječi biti kasnije.

### 11.5. Spajanje polovica vakuum stola na vakuum pumpu

Da bi se gornja polovica poravnala i urezala generiranim CAM programom, potrebno ju je bilo držati pod vakuumom. Ovo se radi zbog malih pomaka u bakelitu koje se stvaraju kad se komora vakuumira, a pošto će stol biti pod vakuum tijekom svake obrade, potrebno ga je također poravnati pod vakuumom.

Prva polovica je ranije spojena i obrađena sama za sebe no nakon ugradnje druge polovice je odlučeno da će dvije polovice vakuum stola biti povezane na vakuum pumpu tako da je dana mogućnost da se vakuumiranje druge polovice stola može ventilom onesposobiti po potrebi. Ovo je izvedeno uz pomoć T-račve i običnog ventila.



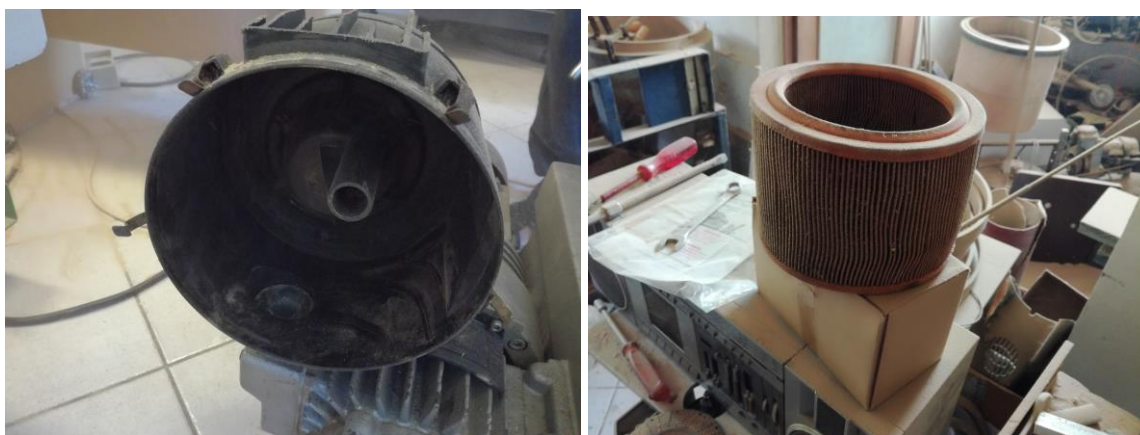
**Slika 98. Ventil sa T-račvom**

Prva polovica vakuum stola je svojom cijevi spojena na kraj T-račve bez ventila te se koristi kao primarna strana pošto je bliža operateru, a druga polovica je spojena na ventil koji se po potrebi može zatvoriti. Razlog ovoga je što za komade koji su manji od dimenzija prve polovice stola nije potrebno da je i druga polovica u funkciji.

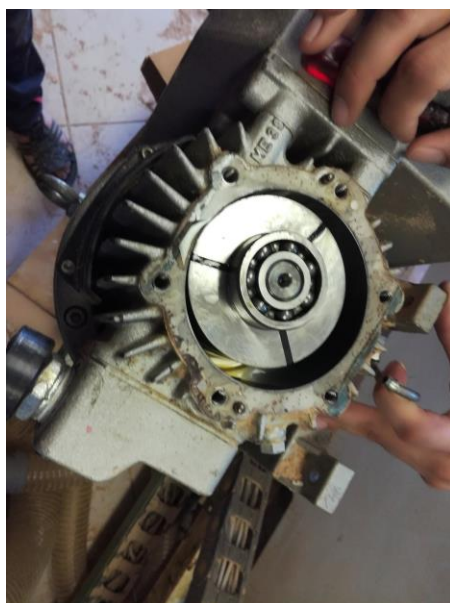


Ovime je sva snaga za držanje obradaka usmjerena u prvu polovicu stola te se smanjuju nepotrebni gubici na zazorima. Za veće komade se uključi vakuum prema drugoj polovici stola čime je logično podtlak u prvoj polovici manji na račun druge polovice, ali pošto je obradak veći, rezultatna sila stezanja je ista.

Na pumpu je postavljen filtar koji sprečava grubljim česticama, koje pobjegnu kroz stol, da ne dođu između lamela vakuuma pume, inače bi ih te čestice mogle zakrčiti i oštetiti. Filtar je potrebno redovito čistiti. Filtar je improviziran od starog auta ali uspješno vrši svoju funkciju u ovom sustavu (Slika 99).



**Slika 99. Filtar vakuuma pumpe**



**Slika 100. Lamelle u vakuuma pumpi**

## 11.6. Glodanje gornje površine vakuum stola

Kad je vakuum stol doveden u poziciji, pumpa je bila spojena i uključena, glodalo promjera 20mm za ravnanje stola je umjereno te je pušten prvi program ravnanja. Trebalo je prije toga osigurati da su sve rupe za zrak začepljene vijcima. Nultočka po Z osi je u ovom slučaju odabrana vrlo pažljivo. Nije bilo poželjno u početku ići preduboko kako se stol ne bi previše stanjio nego je potrebno imati strpljenja i učiniti prvi korak ravnanja polako i sigurno. U ovoj fazi se iskoristila tolerancija bakelitne ploče koja iskustveno nekada zna prelaziti nazivnu mjeru od 20mm te često zna biti i u zoni od 21mm debljine s toga je bilo najsigurnije krenuti sa te visine.

Pušten je program ravnanja te je pažljivo gledano da li skida površinu stola cijelim svojim putem. Ukoliko se dođe u zonu gdje ne skida materijal, što se i dogodilo, bilo je potrebno prekinuti program te spustiti nultočku po Z osi za 0.05mm ili čak 0.1, te ponovno pustiti isti program na novoj visini. Proces je ponavljan više puta, sve dok se kompletna površina vakuum stola nije poravnala na konačnu visinu. Iako ovaj dio programa traje 15minuta, čitav proces je trajao sat vremena.

Nakon što je površina potpuno poravnata, dvopernim glodalom promjera 6mm su urezani prvo duboki kanali za gumenu brtvu, a potom plitki za distribuciju zraka. U ovoj fazi programa je bilo vrlo bitno da je XY nultočka što točnije podešena u odnosu na rubove vakuum stola kako bi osigurali da su kanali ravnomjerno raspoređeni između već postojećih rupa za zrak. Prva polovica je nakon ovoga bila spremna za rad.

S obzirom da je prva polovica stola prva napravljena, tj. prije postavljanja druge, obrada druge nije trajala dugo kao prva. Glodalo za ravnanje je umjereno na Z visinu postojeće polovice te je XY dio nultočke pomaknut na rub druge polovice. Pošto smo osigurali da su potporne cijevi obiju polovica na istoj visini, a obje polovice stola su potpuno identičnih tolerancija u debljini, te ako nema pretjeranih odstupanja kod fiksiranja, program ravnanja je pušten samo jednom, Ravnanje je od prve bilo uspješno u skidanju svih dijelova površine druge polovice na visinu prve.

Nakon ravnanja, isti postupak urezivanja kanala je ponavljen i na drugoj polovici uz pomaknutu nultočku te je nakon toga kompletan vakuum stol bio spreman za korištenje.



**Slika 101. Ravnanje druge polovice vakuum stola**



**Slika 102. Druga polovica vakuum stola poravnata**



**Slika 103. Urezivanje kanala u drugu polovicu vakuuma stola**



**Slika 104. Završen vakuum stol spreman za korištenje**

### 11.7. Modifikacija vakuum stola za točnije umjeravanje alata

Iz razloga što je Roctech CNC stroj bez automatske izmjene alata, točnije operater mora korištenjem ključeva odviti maticu sa alatne glave, ubaciti glodalo, te ponovno pritegnuti maticu, nađeno je rješenje za točnije, brže i sigurnije umjeravanje alata.

Izvorno je operater nakon zatezanja alata trebao dovesti vrh centra alata u određenu XYZ poziciju te na kontrolnom uređaju potvrditi nultočku. Ovo je stvaralo problem kad se nula morala nalaziti na samom stolu, te je tada alat trebalo pažljivo dovoditi do površine stola i pritom paziti da alat i stol ne dođu u sudar što je moglo rezultirati oštećenjem stola i glodala i eventualnim kvarom stroja, a usput je rezultiralo netočnim umjeravanjem.

Kupljen je **Insize uređaj za umjeravanje alata** visine 50mm za umjeravanje alata specijalno predviđen za CNC strojeve za obradu metala sa visokom tolerancijom. Cijena uređaja je bila 2000kn.



Slika 105. Insize uređaj za umjeravanje alata

Uređaj funkcioniра na taj način da se vrh alata dovede na tipku na gornjoj strani uređaja, koja ima slobodu gibanja kako se glodalo ne bi uništilo, i pri tome preko donje površine uređaja i stola, koji je u metalnoj industriji inače metalan, zatvara strujni krug te aktivira LED lampicu koja signalizira da je vrh alata na visini 50mm od stola.

Pošto bakelit ne provodi električnu struju, u svom izvornom obliku se vakuum stol nije mogao koristiti skupa sa ovim uređajem. Rješenje je takvo da je na uglu vakuum stola gdje je nultočka uklonjen vijak M10x130 te je uglođan okrugli džep 10mm u dubinu bakelita. U taj džep je ubačen čelični disk zavaren na navojnu šipku M10 te je gornja ploha tog diska postavljena na visinu poravnatog stola. Taj disk sa navojnom šipkom sada ima dvostruku funkciju. Jedna funkcija je stezanje vakuum stola na stroj u tom području kao i izvorni vijak, a druga funkcija mu je da vrši kratki spoj između glodala i stroja preko uređaja za umjeravanje.



**Slika 106. Metalni disk za umjeravanje alata**



**Slika 107. Alat prilikom umjeravanja**

## 12. PRIJENOSNI VAKUUM STOL MALIH DIMENZIJA

Zbog tehnoloških zahtjeva firme Aquaestil plus d.o.o. je stvorena manja verzija vakuum stola sa mogućnošću postavljanja i skidanja sa 5-osne CNC glodalice u odnosu na raniji veliki stol koji je trajno fiksiran u poziciju. Vanjske dimenzije ovog stola su 550x550x285.

Stol ovih dimenzija nije predviđen za široke i dugačke obratke, ali je idealan za male i visoke obratke te ih drži fiksno u poziciji prilikom obrade sa brzim posmacima. Ujedno zbog svojih malih dimenzija i visine omogućuje 5-osnu obradu istih manjih kompliciranih obradaka.

Ovaj vakuum stol je u osnovi sastavljen od istih materijala (bakelit i HV lim) i istim redoslijedom, gdje se prvo glodala unutarnja komora, pa su se ugradile trio matice i unutarnja brtva te se u konačnici stol ravnao i urezivao u svojoj konačnoj poziciji na CNC stroju.



Slika 108. Unutarnja komora malog vakuum stola



**Slika 109. Gornja neobrađena strana malog vakuum stola**

Prevelike razlike u dizajnu bakelitne ploče, izuzev veličine, u odnosu na raniju veću verziju stola nema, osim gustoće rupa zrak i kanala za brtvu, a princip korištenja je jednak.

Ova verzija vakuum stola ima efikasniju verziju trio matice koje se ugrađuju u probušene rupe. Trio matica koja je ugrađena u ovaj stol je također M8 ali ima rub konusnog oblika (Slika 110), te je iz tog razloga svaka rupa u bakelitu pravilno skošena stupnom bušilicom i konusnim glodalom. Skošenje mora biti, kao i ranije, dovoljno duboko da prilikom ravnjanja stola ne dođe do sudara trio matice sa glodalom. Rupe za spajanje sa postoljem u ovom slučaju nisu skošene nego su upuštene sa gornje strane kako bi u njih mogao ići najobičniji M8 vijak sa imbus glavom.

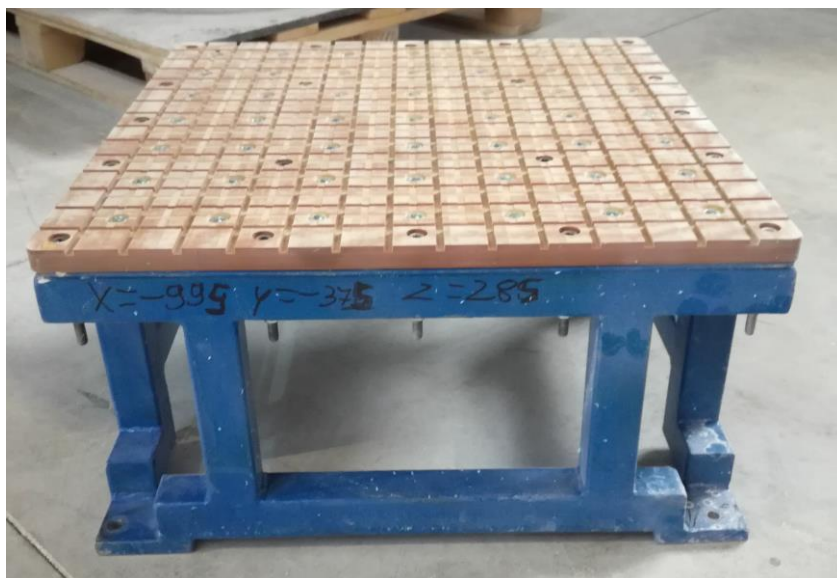
U skošenje se zavije matica korištenjem akumulatorske bušilice i odgovarajućeg bita, i zbog svog konusnog oblika ima manje gubitke nego ranija verzija (Slika 67) te joj konusni oblik omogućuje da se ne iskrivi prilikom zatezanja. U trio matice idu ranije spomenuti uvrtni vijci koji imaju funkciju zatvaranja rupa za zrak.



**Slika 110. Trio matica M8x15 s konusnim rubom**



Nakon spajanja bakelitnog dijela vakuuma stola i HV lima, koji je također obrađen istim principom kao i veći stol, je vakuum stol vijcima spojen u svoje postolje napravljeno od varenih cijevi 40x40. Ovo postolje je čvrsto vareno i pojačano kako bi spriječilo deformacije bakelitnog dijela prilikom konstantne manipulacije.

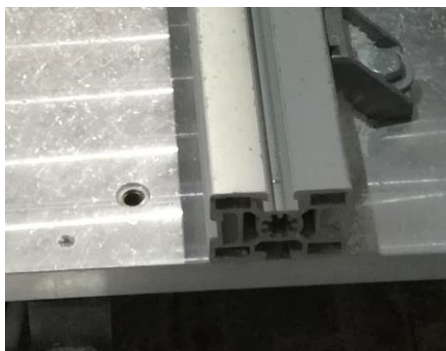


**Slika 111. Prijenosni vakuum stol**

Na donju stranu postolja su zavarene 4 čelične pakne koje su poravnate na posebnom stroju za obradu metala, te su u njima izbušene pravilno raspoređene prolazne rupe za M10 vijke. A na HV lim je zavaren navoj za brzu spojku koja će u sebe primati tlačno crijevo promjera 14mm.



**Slika 112. Donja strana (vidljive pakne i brza spojka)**



**Slika 113. M10 čahura u aluminijskom stolu predviđenog CNC-a**

Isti raspored rupa za vijke M10 je izbušen glodalom u aluminijskom stolu na CNC-u za kojeg je ovaj stol predviđen, dakle CNC je sam sebi bušio rupe, a ne ručno, kako bi poznavali točnu poziciju tj. nultočku vakuum stola svaki puta kad se postavi natrag na stroj.

Nakon što su rupe u aluminijskom stolu izbušene, u njih su ugrađene M10 čahure.

Mali vakuum stol se pozicionira preko tih rupa, te se M10 vijcima čvrsto pričvrsti za aluminijski stol, a tlačnim crijevom se spoji za brzu spojku koja ga povezuje sa vakuum pumpom te je spreman za korištenje. Gornja površina je obrađena u svojoj poziciji glodalom za ravnanje i glodalom za urezivanje kanala kao i na većoj verziji vakuum stola.



**Slika 114. Prijenosni vakuum stol u poziciji za rad**

### **13. PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD IZRADE BAKELITNOG VAKUUM STOLA**

#### **PREDNOSTI**

- Jeftini i lako nabavljivi materijali
- Modelarski i bravarski radovi izvedivi jednostavnim alatima
- Jednostavno za dizajn i prilagodbu CNC stroju
- Bakelit je dovoljno tvrd da izdrži teret obradaka, a dovoljno mekan da ga se obradi
- Moguće kombiniranje više ploča za veće dimenzije strojeva
- Dobra snaga podtlaka za držanje obradaka
- Mogućnost stvaranja više unutarnjih međusobno izoliranih polja komora

#### **NEDOSTACI**

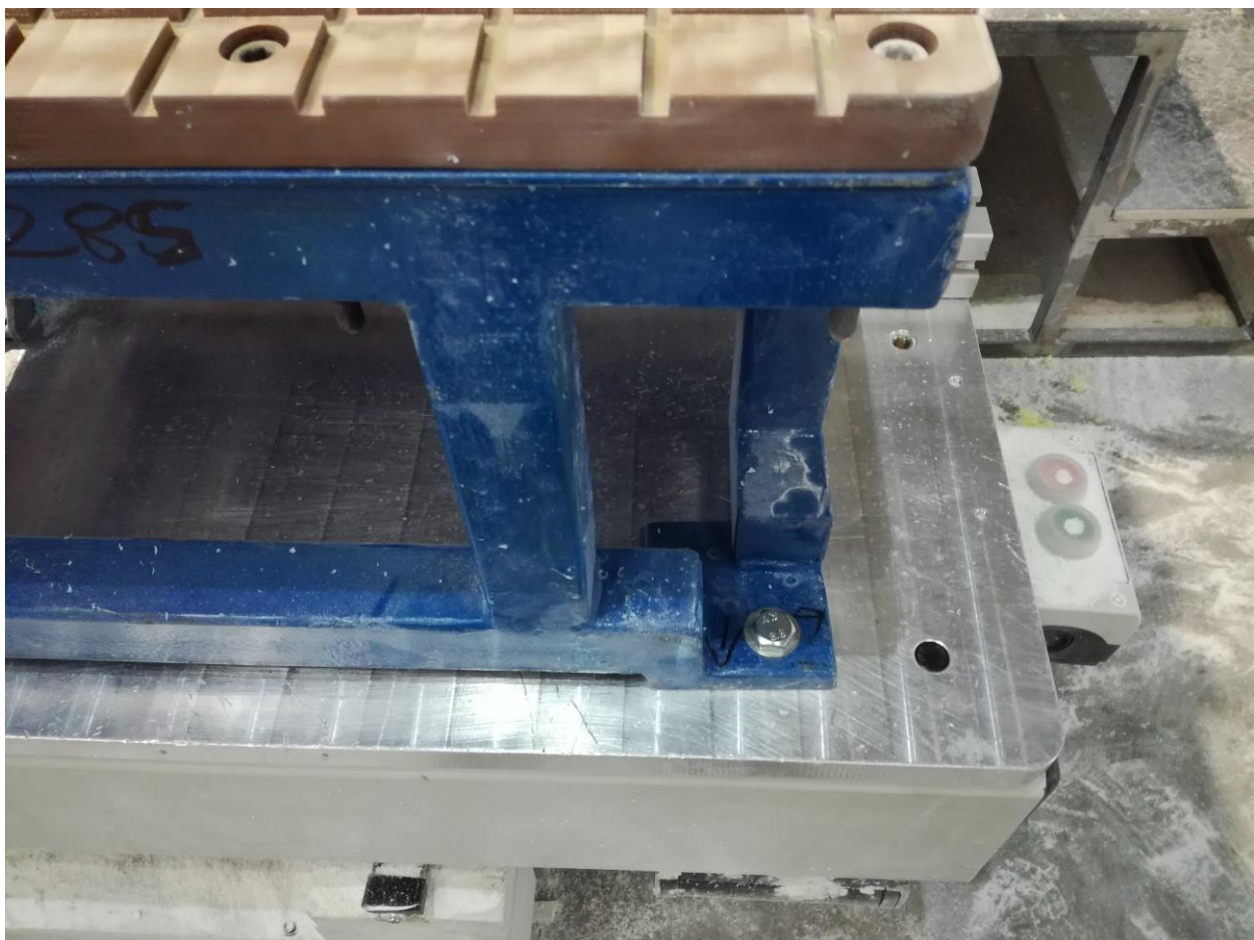
- Nejednaka debljina bakelitnih ploča
- Zapaljiva bakelitna piljevina
- Raslojavanje bakelita kod neprecizne ugradnje trio matica
- Košenje trio matica kod ne precizne ugradnje trio matica
- Sudari sa glodalom uslijed nepažnje kod dubine vijaka
- Gubici vakuuma kod lošeg postavljanja brtve i silikona

## 14. KORIŠTENJE BAKELITNIH VAKUUM STOLOVA

Obrada na ovim vakuum stolovima se može podijeliti na dva tipa koji ovise o obratku te što se želi postići.

- Stezanje obratka direktno na površini vakuum stola
- Stezanje obratka uz pomoć dodatne vakuumske šablone

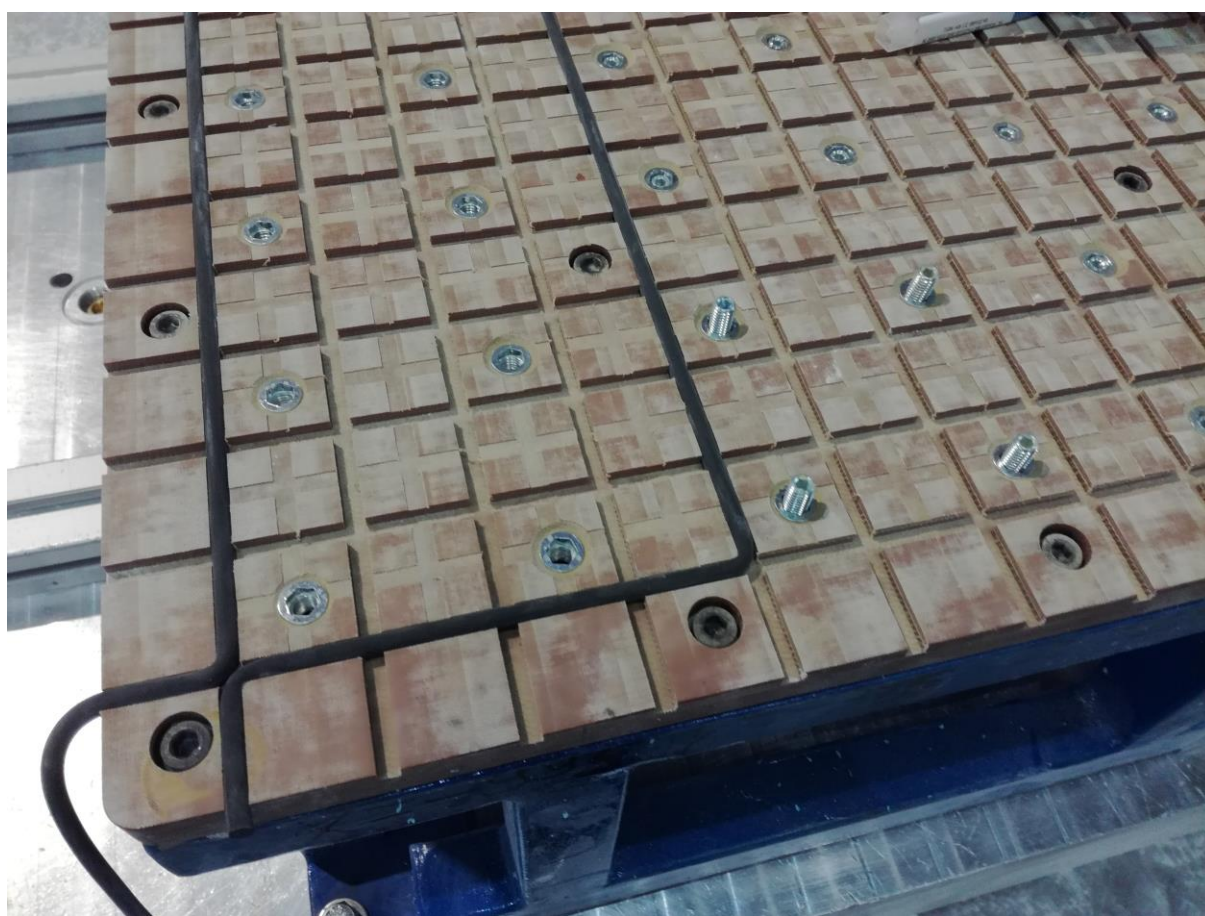
Veliki fiksni vakuum stol je spreman za korištenje u bilo kojem trenutku dok je mali prenosivi potrebno fiksirati za aluminijski stol kao i prvi puta prilikom obrade njegove gornje površine. Pozicionira se na aluminijski stol na odgovarajuću poziciju te se M10 vijcima čvrsto stegne, a potom se tlačnim crijevom poveže za vakuum pumpu.



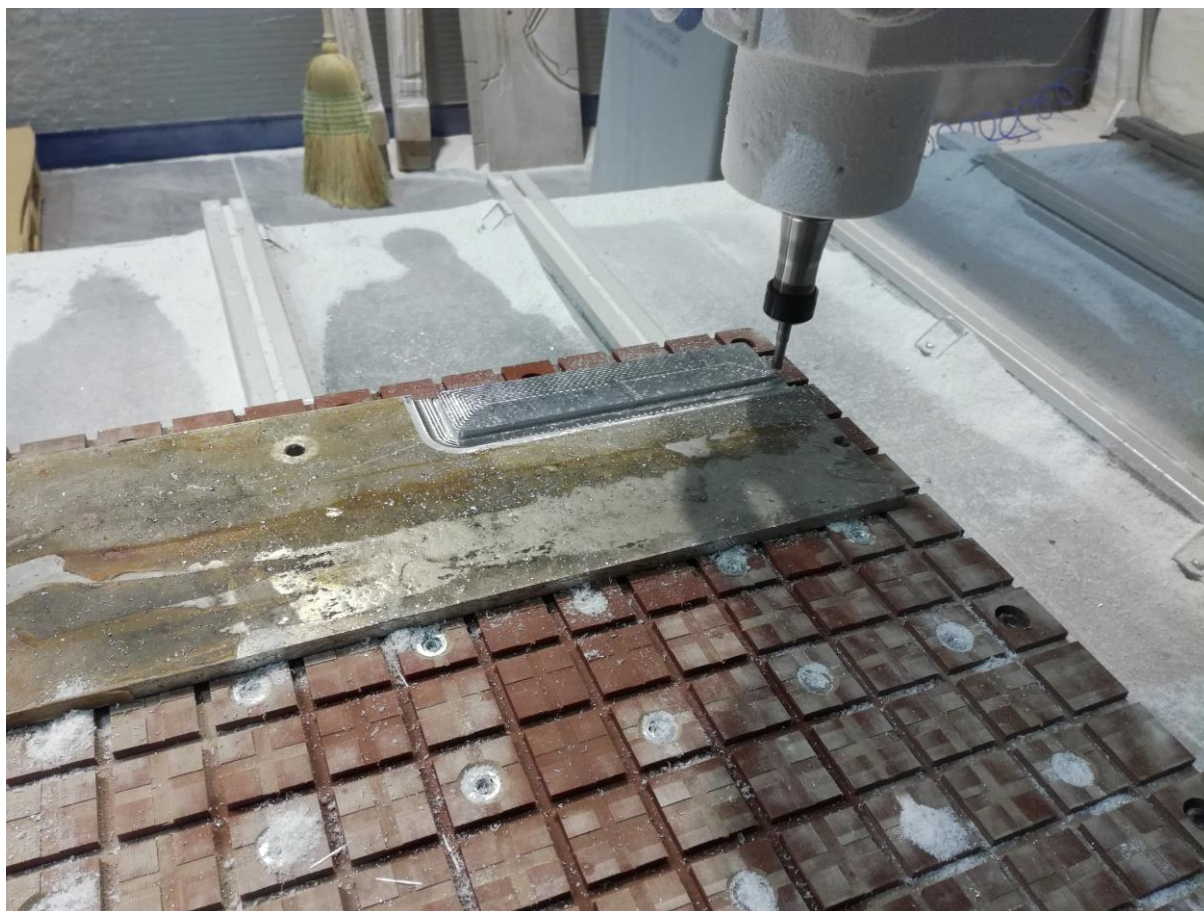
Slika 115. Prenosivi vakuum stol stegnut za aluminijski stol

#### 14.1. Stezanje obratka direktno na površini vakuum stola

Ovaj tip stezanja nam omogućuje da relativno brzo uz minimalne pripreme stegnemo obradak koji želimo obraditi. Svodi se na to da se, kao što je opisano ranije, pjenasta gumena brtva pozicionira na vakuum stol tako da stvori omeđenu površinu podjednake dimenzije obratka. Unutar tog područja se svi vijci izvade, ili barem većina, a izvan se svi vijci moraju umetnuti u rupe za usis zraka. Preko te površine se željeni obradak pažljivo pozicionira pazeći da ne dođe do izlijetanja gume iz kanala te se aktivira vakuum pumpa. (Slika 116)



Slika 116. Umetanje pjenaste gumene brtve i vijaka u mali vakuum stol



**Slika 117. Glodanje aluminijskog lima direktno na površini malog vakuum stola**

Slika 117 prikazuje primjer glodanja obratka direktno na površini vakuum stola. Obradak je bio aluminijski lim debljine 8mm te se iz njega glodao prototip aluminijskog profila za jedan Aquaestilov proizvod. Komad je ispao točan u 0.1mm što pokazuje da je vakuum stol pouzdan.

Ova metoda je riskantna i za CNC programera i za CNC operatera. Pošto se obradak obrađuje direktno na površini stola potrebno je imati sve alate precizno umjerene i podešene na točnu visinu. Ujedno ako je potrebno da se komad obrađuje do dna tj. ako se npr. obrezuje, potrebno je u programu spriječiti da glodalo dođe skroz do kraja komada. Ovo može rezultirati gubitkom vakuuma što uzrokuje pomicanje obratka u radu. Još gori problem se može dogoditi ako glodalo ode niže od donje površine obratka jer to znači da je glodalo oštetilo površinu vakuum stola ili ga probilo.

Koliki otklon će se staviti od površine stola ovisi o preciznosti stroja, stezne naprave, te koliko smo precizno umjerali alate no najviše ovisi materijal koji se obrađuje. Iskustveno je stavljanje 0.2mm do 0.3mm za aluminij, 0.5mm za bakelit, 1mm za necuron. Ovime osiguravamo da je tanka stjenka na dnu dovoljno jaka da ne popuca prilikom obrade, a dovoljno slaba da se ukloni nakon procesa glodanja.

Glodanje direktno na površini stola je prikladno za pločaste obratke velikih površina ukoliko treba nešto jednokratno izrezati, urezati, poravnati, itd. uz pažnju na otklon od stola.

Kao još jedan primjer valja navesti iz poglavlja 9.2 gdje se glodala komora za veliki vakuum stol što možemo vidjeti na Slika 56.

#### **14.2. Stezanje obradaka uz pomoć dodatne vakuumske šablone**

Ova metoda je zahtjevnija od ranije opisane metode zbog toga što je za obradu glodanjem ovdje potrebno izraditi vakuumsku šablonu specifičnu za određeni proizvod koji se radi. Iako je zahtjevnija za izraditi, puno je pouzdanija te se pokazala najboljom za serijsku proizvodnju proizvoda.

Sve se svodi na to da se od bakelita ili nekog drugog dostupnog pločastog materijala napravi šablona određenih dimenzija adekvatnih sirovini koja će se na nju pozicionirati. Ta šablona će u sebi, kao i vakuum stol, imati urezane kanale za brtvu i zrak u obliku donje površine proizvoda koji se obrađuje. Poželjno je imati i glodalom urezane kanale koji su istog oblika kao vanjska kontura tog proizvoda što omogućuje brže i lakše vizualno pozicioniranje sirovog komada. Vakuumskoj šabloni je potrebno na vakuum stolu brtvom omeđiti površinu koja odgovara obliku šablone te ju pozicionirati na to područje, a potom na nju obradak.

Vakuumske šablone se mogu podijeliti na privremene i trajne.

### 14.2.1. Privremene vakuumske šablone

Privremene vakuumske šablone su najčešće od nekog slabijeg i jeftinijeg pločastog materijala kao što su obična iverica ili protuklizna šperploča (Slika 118). Njihova prednost je to što su lagane za rukovanje i prenošenje, mekane za brzo narezivanje i glodanje, te dovoljno debele da se u njih mogu uglođati svi potrebni kanali i rupe za gumu i zrak. Debljine su im različite, a iskustveno su korištene debljine 15mm što se pokazalo sasvim dovoljno. Mana im je što su savitljive i lako pucaju pri nezgodnim udarcima, a iverica ako se smoči može nabubriti i promijeniti svoj oblik. Razlika između iverice i šperploče je ta što je iverica jeftinija ali i porozna tj. gubi vakuum kroz čitavu svoju površinu, dok šperploča ne.



**Slika 118. Iverica (lijevo), protuklizna šperploča (desno)**

Glodanje i ravnjanje ovih mekših materijala se može izvesti istim tipovima glodala kakva su korištena pri izradi bakelitne komore vakuum stola, ali sa malo bržim režimima rada. Vrijede ista pravila za dubinu kanala za brtvu i za zrak, dok se rupe za zrak mogu izbušiti ručno običnim svrdlom i akumulatorskom bušilicom. Princip izrade se svodi na prvu metodu glodanja direktno na stolu pošto će ova šablona biti u kontaktu sa stolom prilikom obrade.

Kao primjer glodanja na privremenoj šablona će biti ukratko navedeno glodanje kalupa od necurona. Necuron je specijalan materijal za izradu kalupa za lijevanje i termoformiranje polimera.

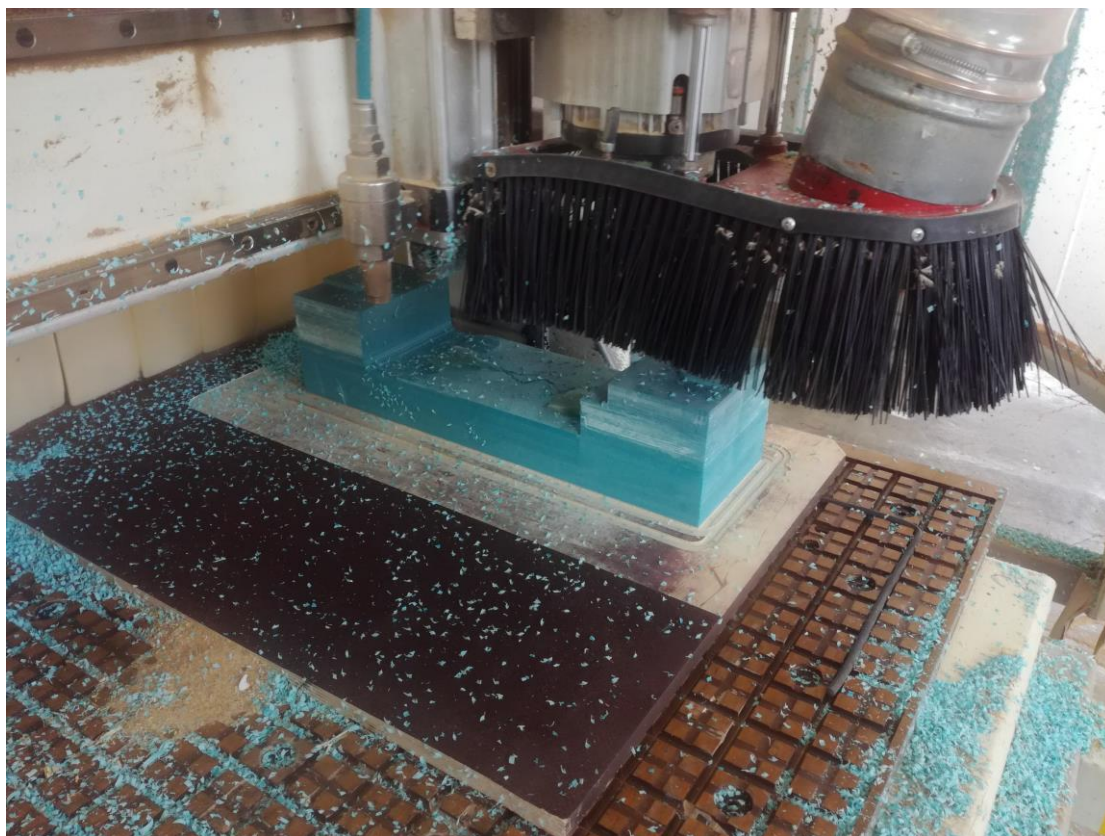




**Slika 119. Vakuumska šablona od protuklizne šperploče**

Slika 119 prikazuje pripremljeni necuronski sirovac te napravljenu šablonu od protuklizne šperploče spremnu da se na nju stavi sirovac. Na slici se može vidjeti da je u nju urezan kanal za brtvu te je brtva ubačena. Također se mogu vidjeti kanali za distribuciju zraka skupa sa rupama za zrak. Vanjski vidljivi kanali su konture oblika gotovog komada koje olakšavaju pozicioniranje sirovca s nadmjerom. Šablona se mora poravnati na području gdje se stavlja sirovac kako bi osigurali što veću točnost. Ovo se obavezno mora učiniti jer i šperploča i iverica nisu jednakih debljina po cijelom presjeku. Pošto je površina ovog sirovca relativno mala, kao dodatno osiguranje držanja su stavljena dva komadića dvostrano ljepljive trake.

Ovaj kalup se ne bi mogao stegnuti prvom metodom stezanja direktno na stolu zbog svoje male površine što je i iskustveno isprobano. Šablona je s razlogom puno većih dimenzija od obratka što ide u korist jače sile stezanja. Područje omeđeno na vakuum stolu odgovara većim dimenzijama šablone te samim time je otvoreno više usisnih rupa, a kroz usisne rupe na šablona je ta sila vakuuma fokusirana na malu površinu ispod obratka čime se obradak više nije pomicao.



**Slika 120. Glodanje kalupa na šabloni od šperploče**

Slika 120 pokazuje već obrezani komad obratka tj. kalupa. Glodanjem ovog kalupa na šabloni je omogućilo da ga se može obraditi, u ovom slučaju obrezati na konačne vanjske dimenzije, skroz do kraja. Glodalo koje je obrezivalo obradak je strateški podešeno da uđe milimetar dublje u šablonu kako bi se osiguralo skidanje donjeg srha koji bi morao ostati ako bi se obradak glodao direktno na vakuum stolu. Šablona je nakon obrade kalupa bačena.



**Slika 121. Poglodani kalup**



**Slika 122. Glodanje necuron kalupa na prenosivom stolu**

Slika 122 pokazuje kako je vakuumska sila na malom prenosivom vakuum stolu dovoljno jaka da izdrži i visoke obratke. Kalup vidljiv na slici ima relativno malu površinu stezanja vakuumom, a puno veću visinu u odnosu na tu površinu. Kalup je obrađen bez vibracija sa tačnošću 0.1mm. Glodanje je obavljeno također na šabloni od protuklizne šperploče koja je u ovom slučaju dimenzionirana na dimenzije vakuum stola kako bi se mogle otvoriti sve postojeće rupe za zrak te se iskoristiti kompletna sila stezanja.



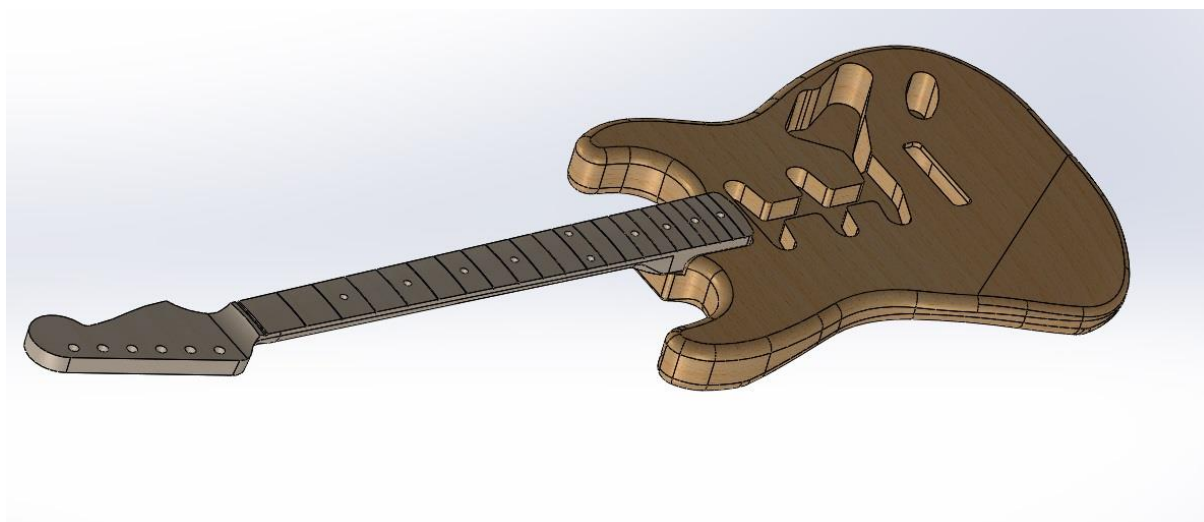
**Slika 123. Glodanje velikih obradaka**

Slika 123 je odličan primjer kojom se vidi važnost vakuumske stezanja. Ova slika je nastala u fazi kada je bila napravljena samo prva polovica vakuum stola za CNC Roctech. Na slici je prikazano glodanje medijapanskog negativa za izradu vinilesterskog kalupa za lijevanje Aquaestilovog polimernog materijala. Medijapan je mekan i porozan materijal raznih debljina, u ovom slučaju 40mm, te se relativno brzo strojno obrađuje i lako lijepi ljepilom za drvo. Ovakvi negativi se glodaju sloj po sloj te je izuzetno potrebno da se komad održi u poziciji do kraja obradnog procesa koji može potrajati i preko 20 sati ovisno o veličini i kompleksnosti proizvoda. Za razliku od ranija dva primjera, ovdje je šablona bila od iverice koja je bila vijećima pričvršćena u prvi sloj obratka te tako postavljena jednim krajem na prvu polovicu vakuum stola dok je drugi kraj bio podržan običnom gredom te stegnut stegom. Proces je trajao otprilike 15 sati te se strana sa vakuumom pokazala puno bolje obrađena nego strana bez vakuuma. Iskustvo pokazuje da pri glodanju medijapanskih negativa vakuum ima veliku ulogu u iskorištavanju svojstva poroznosti medijapana u cilju boljeg spajanja slojeva. Nakon postavljanja i druge polovice vakuum stola, svi medijapanski negativi su stegnuti i obrađeni jednako po cijeloj površini bez pomicanja ili raslojavanja slojeva.

### 14.2.2. Trajne vakuumske šablone

Trajne vakuumske šablone se po funkciji ne razlikuju previše od privremenih šablona. I jedne i druge se na isti način postavljaju na vakuum stol, te u sebi sadrže potrebne rupe i kanale. Najbitnija razlika je u materijalu od kojeg su izrađene, a to je isti materijal od kojeg je i vakuum stol napravljen, bakelit debljine 20mm. Ova debljina bakelita je dovoljno debela da u sebi sadrži sve potrebne elemente, a dovoljno lagana za manipulaciju. Šablone od bakelita, kao i vakuum stol, su čvrste, trajne, otporne na vlagu i slabije udarce prilikom skladištenja i manipulacije. Zbog svoje čvrstoće i postojanosti, za razliku od privremenih šablona, bakelitne se mogu izraditi tako da budu uvijek spremne za brzo i lako pozicioniranje na isto mjesto na vakuum stolu. Također se daju napraviti da budu sposobne i za obostrano glodanje istog obratka.

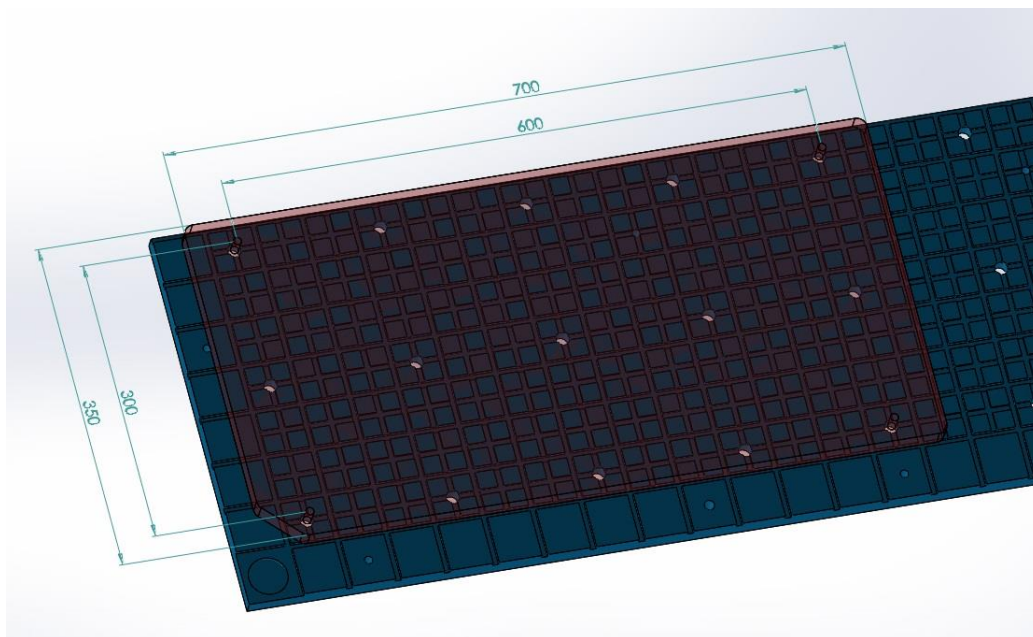
Izrada trajnih šablona, kao i privremenih, kreće od 3D modela. Zbog svoje cijene i mase, bakelitne šablone je potrebno optimizirati da obavljaju svoju funkciju stezanja obratka, a da nisu prevelike i preteške. Primjer izrade trajne šablone biti će šablona za izradu drvenih dijelova električne gitare fendera stratocastera (Slika 124), ali se princip može primijeniti na bilo koji proizvod. Tijelo gitare će imati svoju šablonu, a vrat svoju, a zbog svog oblika, oba proizvoda je potrebno obrađivati sa obje strane.



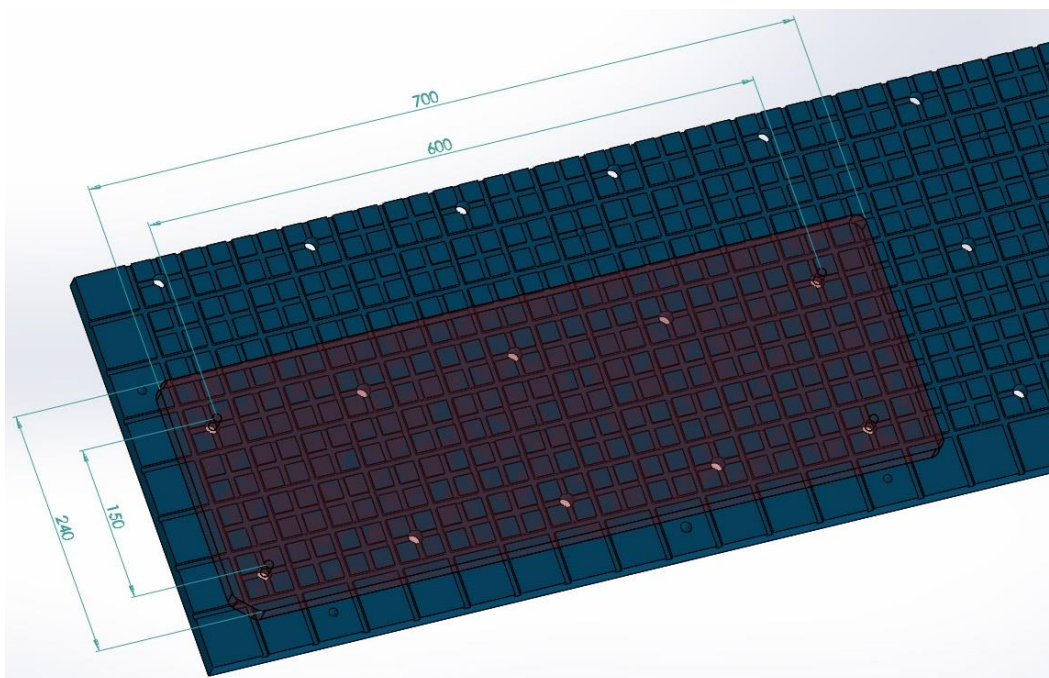
Slika 124. 3D model Fender Stratocaster

Vanjske dimenzije šablona ovise o više faktora, a to su veličina i oblik proizvoda, pozicija na vakuum stolu, količina usisnih rupa na stolu koje će šablona pokrivati te razmak i količina rupa za stezanje sa stolom koje su zaslužne za pozicioniranje šablone u istu poziciju.

Vanjske dimenzije tijela gitare su ugrubo 460x325 dok su vrata 655x95 te logika pokazuje da bi očita mala širina vrata mogla predstavljati problem kod vakuumske stezanja.



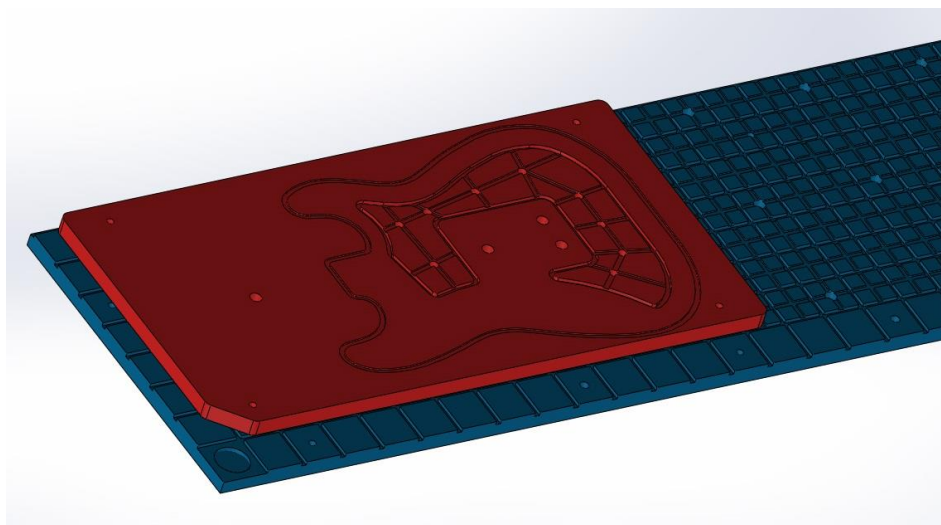
Slika 125. Početak izrade 3D modela šablone za tijelo gitare



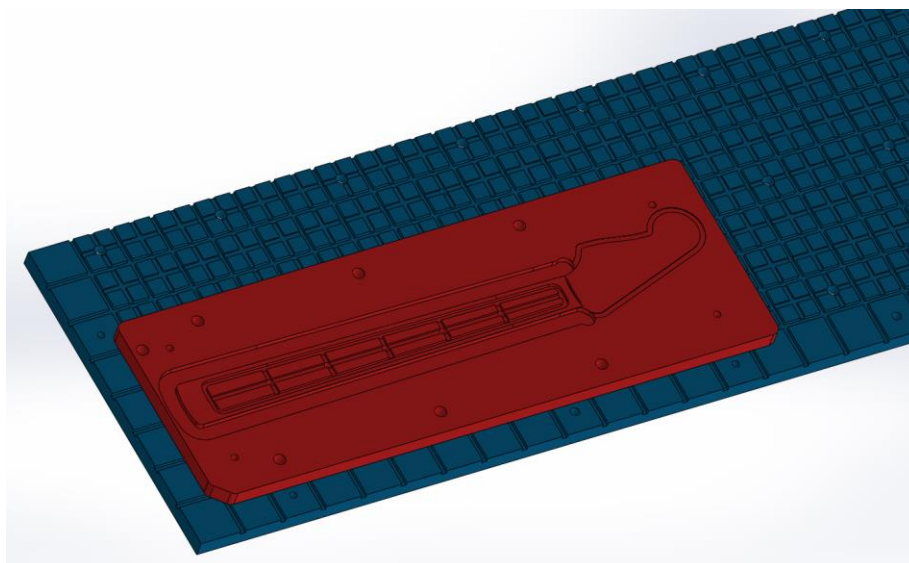
Slika 126. Početak izrade 3D modela šablone za vrat gitare

Slika 125 i Slika 126 prikazuju prve faze izrade 3D modela šablone za vrat i tijelo gitare. Plavom bojom je prikazan prednji dio vakuuma stola kod nultočke, a crvenom prozirnom bojom su prikazane šablone. Prvo što se može uočiti je da su dimenzije šablona veće od dimenzija proizvoda, a zatim se mogu uočiti prolazne rupe na šablona koje su pozicionirane koncentrično sa usisnim rupama na vakuumu stolu. Iako vakuum vrši glavnu funkciju stezanja šablona sa vakuumu stolom te obratka sa šablonom kao i kod privremenih šablona, ove rupe imaju vrlo bitnu ulogu kod redovitog pozicioniranja trajnih šablona. Promjer i razmak ovih rupa, što se vidi sa ranijih slika, ovisi o razmaku rupa na vakuumu stolu te o promjeru vijka koji će služiti za stezanje. U poglavlju 10.1 je rečeno da su u vakuumu stol ugrađene tri matice M8 sa razmacima od 150mm, s toga su te prolazne rupe na šablona stavljenе promjera 8mm kako bi M8 vijak tijesno prošao kroz njih. Razmak tih rupa je naravno faktora 150mm. Zbog tijesnog prolaza osigurano je da će šablona uvijek točno biti stegnuta u istu poziciju na vakuumu stolu. Na slikama se također vidi količina prekrivenih usisnih rupa koje će biti zaslužne za stvaranje vakuumske sile stezanja te skošenje na donjem lijevom uglu obiju šablona što je operateru pokazatelj pravilne orijentacije šablone kod pozicioniranja na stroj.

Kad su poznate vanjske dimenzije i pozicije rupa za stezanje potrebno je u gornju površinu šablone iskonstruirati sve potrebne kanale i rupe za zrak i brtvu. U podpoglavlju ranije je spomenuto da se za izradu necuronskog kalupa u privremenu šablonu, uz standardne kanale za zrak, urezao kanal koji je zapravo kontura vanjskog oblika obratka. Pošto će trajna šablona uvijek dolaziti u istu poziciju, ovaj kanal je od velike koristi u ovom slučaju jer omogućava vrlo lako i točno vizualno pozicioniranje sirovca.



**Slika 127. Dvršeni model šablone za tijelo gitare**



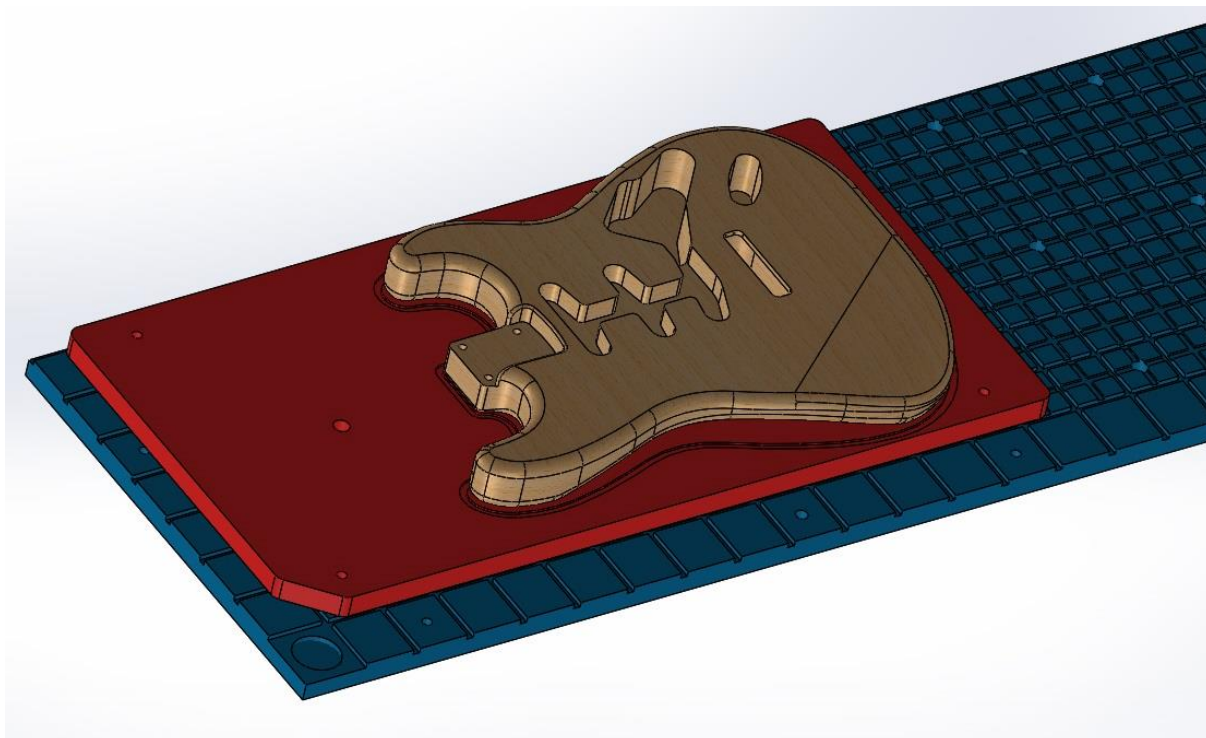
**Slika 128. Dopršeni model šablone za vrat gitare**

Na prethodne dvije slike se vidi konačni oblik i pozicija svih spomenutih rupa i kanala. Slika 127 na izgled prikazuje čudno oblikovan kanal za brtvu, ali je ovakav oblik potreban zbog oblika tijela gitare koje ima vrlo malo ravnih površina. Taj kanal je definiran tako da odgovara ravnim površinama i jedne i druge strane tijela gitare. Što se tiče šablone vrata gitare (Slika 128), oblik vrata je sa obje strane relativno jednak te je rub kanala za brtvu uvučen 5mm od vanjske konture kako bi dobili što veću površinu stezanja pošto je vrat sam po sebi jako uzak. Dakle bitno je osigurati da uz konture vanjskog oblika, svaka trajna šablona ima maksimalno iskorišteno polje za stezanje vakuumom prilagođeno za jednostranu ili dvostranu obradu.

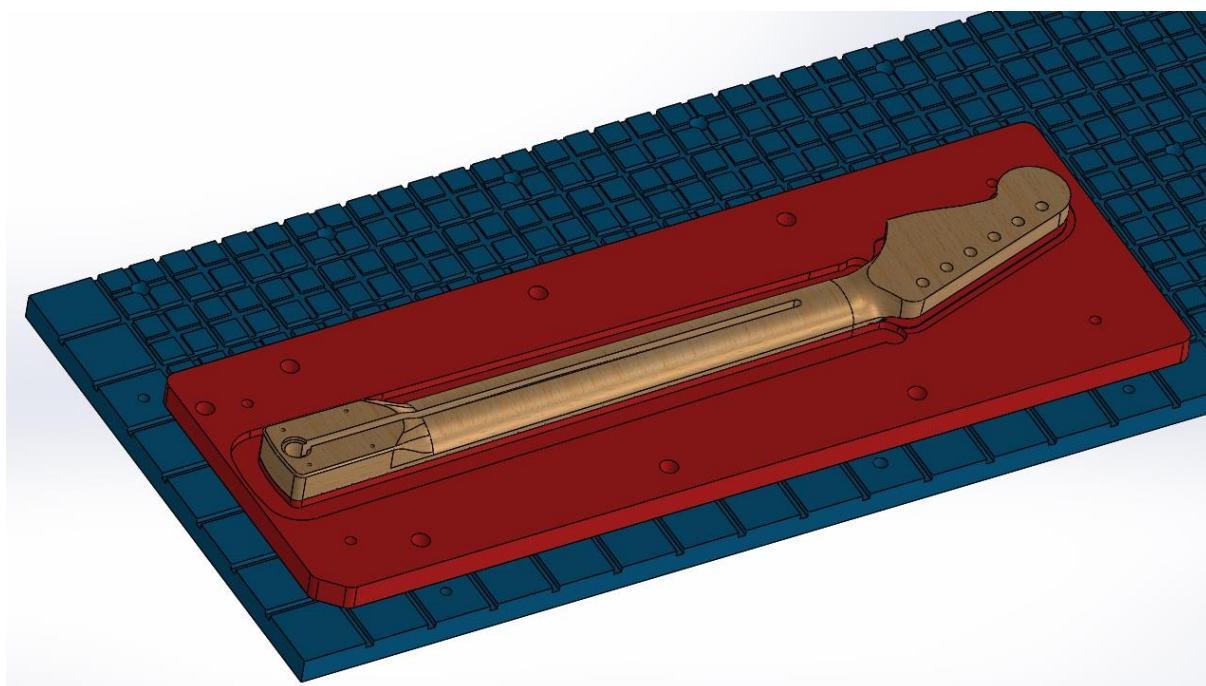
Unutar vakuumskeg polja se nalaze kanali za distribuciju vakuuma te rupe za usis zraka čija je količina i raspored proizvoljna, ali količina uvelike pridonosi sili stezanja. Širine i dubine svih kanala i rupa su također proizvoljne, te isto kao i kod izrade vakuum stola, ovise o promjeru i obliku brtve te alatima koji će se koristiti za obradu. Zbog čvrstoće i postojanosti bakelita, svi ovi kanali će biti trajno pouzdani.

Dodatna prednost trajnih šablona je ta što se zbog spomenute čvrstoće bakelita u gornju površinu, kao i u vakuum stol, mogu uglođati rupe za ugradnju pomoćnih trio matica. Te rupe se mogu vidjeti na ranije dvije slike. Pozicija i količina im je proizvoljna, a funkcija im je za vijčano pričvršćivanje dodatnih stezaljki ukoliko stezanje vakuumom nije dovoljno jako. Moguće ih je iskoristiti i za pomoć pri točnijem pozicioniranju kod okretanja obratka.





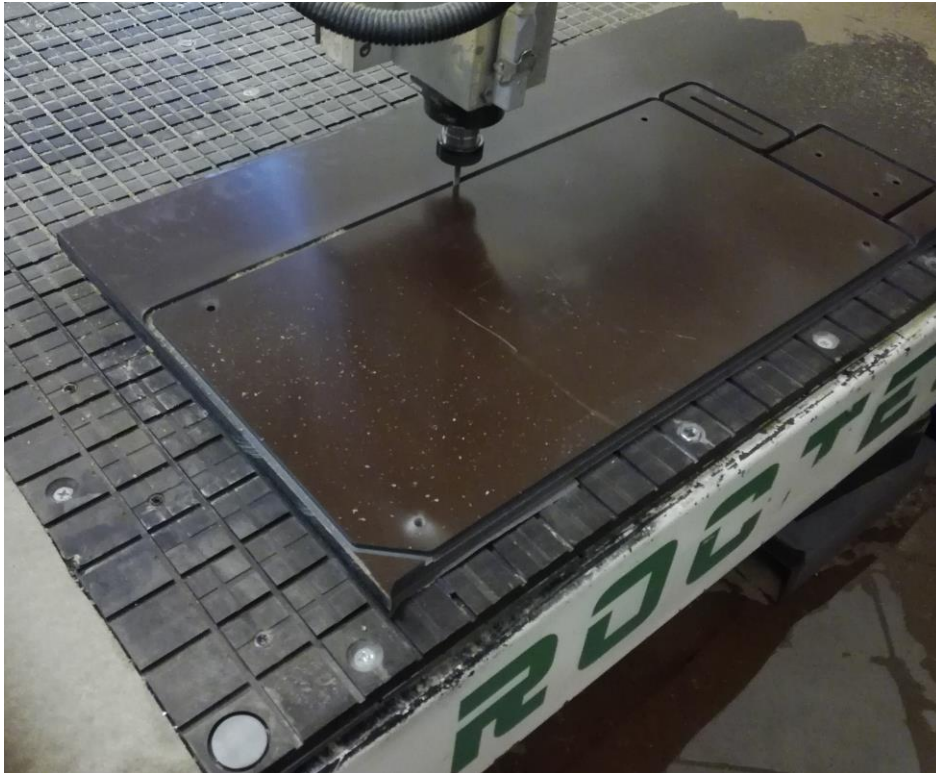
**Slika 129. 3D model tijela gitare na šabloni**



**Slika 130. 3D model vrata gitare na šabloni**

Slika 129 i Slika 130 prikazuju kompletirane 3D modele obradaka i šablona spremih za izradu CAM programa za glodanje.

Glodanje šablona je obavljeno u dvije faze. U prvoj fazi su bakelitne sirovine postavljena na vakuum stol te su u njima izbušene rupe promjera 8mm za stezanje sa stolom, a nakon toga su obrezane na konačnu dimenziju. Slika 131 prikazuje bušenje steznih rupa i izrez šablone za tijelo gitare te je ista stvar učinjena za šablonu vrata.



**Slika 131. Prva faza glodanja šablone za tijelo gitare**

Prije druge faze, tj. stezanja šablone u njenu redovitu radnu poziciju, je potrebno rupe za stezanje za vakuum stol skositi na isti način kao što je prikazano u podpoglavlju 10.1. Ovo je potrebno učiniti kako bi vijak M8 sa upuštenom glavom, prikazan u istom podpoglavlju, upao što dublje u rupu ksko bi se spriječili sudari sa glodalom prilikom ravnjanja gornje površine.



**Slika 132. Skošena stezna rupa sa vijkom M8**

Druga faza izrade šablone se odvija kad je šablona stegnuta u svoju poziciju u koju će se svaki put stavljati prilikom izrade tog proizvoda. U vakuum stol se pozicionira brtva tako da obuhvati cijelu površinu šablone te se šablona skošenim rupama stegne u svoju poziciju.



**Slika 133. Glodanje šablone za tijelo gitare**

Šablonu je potrebno poravnati, te u nju urezati sve potrebne kanale i rupe. Ovo se može obraditi istim glodalima koja su bila korištena za obradu gornje površine vakuum stola iz poglavlja 11.4 pošto je isti materijal, te će biti korištena ista brtva. Izuzetno je bitno da se ovo vrši dok je vakuum aktivan kako bi cijela šablona bila jednako stegnuta za vakuum stol radi osiguravanja točnosti.

Šablonu je potrebno očistiti, skinuti sve srhove te u nju ulijepiti brtvu što se može vidjeti na primjeru šablone za vrat (Slika 134).



Slika 134. Gotova šablona za vrat gitare

Sirovine od kojih će se raditi tijelo i vrat gitare je sad potrebno staviti na šablone te uključiti vakuum pumpu. Šablone uspješno izvršavaju svoju funkciju stezanja, čak i šablona za vrat kod koje se pretpostavilo da je površina stezanja premala.



**Slika 135. Glodanje prve strane tijela gitare**



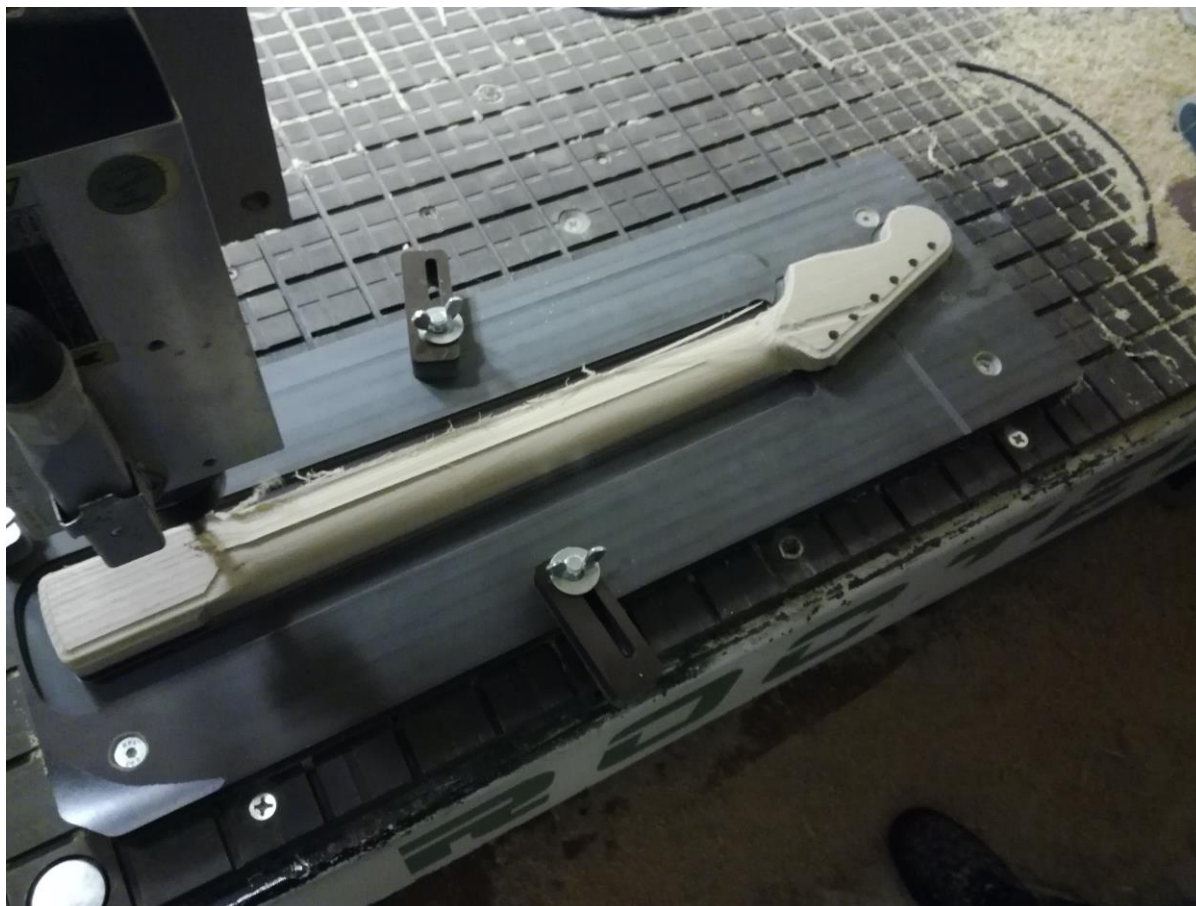
**Slika 136. Glodanje druge strane tijela gitare**

Prilikom glodanja vrata gitare je bilo potrebno na hrapavijim sirovinama koristiti bakelitne stezaljke s leptir vijcima, na rupama s trio maticama, koje prikazuju slijedeće dvije slike. Zbog hrapavosti sirovine je došlo do gubitka vakuuma te se sirovina počela gibati u smjeru gibanja glodala. Stezaljke su uspješno spriječile neželjeno gibanje. Glade sirovine nisu predstavljale problem.



**Slika 137. Glodanje prve strane vrata gitare**

Nakon što je obradak bio obrađen s prve strane i okrenut na drugu stranu, zbog glatke i fine obrade, druga strana nije imala probleme s gubitkom vakuuma tj. nije zahtijevala pomoć stezaljki (Slika 138).



**Slika 138. Glodanje druge strane vrata gitare**

I tijelo i vrat gitare su uspješno obostrano poglodani s obje strane sa svim svojim obilježjima te su se uspješno mogli sastaviti, čime se vidi kako vakuum stol skupa sa šablonama uspješno obavlja svoju željenu funkciju.



Slika 139. Fender Stratocaster tijelo i vrat





**Slika 140. Glodanje aluminijskih pločica**

Slika 140 prikazuje još jedan primjer uspješnog stezanja trajnom vakuumskom šablonom gdje se istovremeno glodalo 12 aluminijskih pločica za potrebe firme Aquaestil Plus d.o.o. Šablona je izrađena također od bakelita na isti princip kao i ranije opisane šablone. Kao dodatna sigurnost, što se vidi na slici, su ugrađene dodatne trio matice M8 za pomoćno stezanje. Aluminijska traka se izbušila na odgovarajućim mjestima te se uz vakuumsko stezanje dodatno stegnulo M8 vijcima da se spriječe eventualna gibanja uslijed otpora na glodalo. Na ovako dugačkom i uskom, a tankom sirovcu je vakuum bio od velike važnosti. Iako su vijci sa sigurnošću sprječavali pomicanje obratka, vakuum je jednoličnim držanjem po cijeloj duljini sprječavao eventualne vibracije.

## **15. PREDNOSTI I NEDOSTACI KOD KORIŠTENJA BAKELITNOG VAKUUM STOLA**

### **PREDNOSTI**

- Jednostavan za korištenje
- Brza izmjena obradaka
- Jednostavna izrada privremenih i trajnih šablona po istom principu
- Mogućnost pozicioniranja šablona u istu poziciju
- Pomaže pri spajanju i lijepljenju velikih poroznijih materijala
- Jednolično držanje po cijeloj površini sprečava vibracije

### **NEDOSTACI**

- Nepogodan za jako male, hrapave i porozne obratke bez dodatnih stezaljki
- Nepogodan za stezanje i obradu metala izuzev aluminija

## 16. NEOČEKIVANI PROBLEM I POPRAVAK

Prilikom glodanja prvog sloja jednog od spomenutih medijapanskih negativa, operater nije dovoljno stegnuo glodalo u čahuru. Tijekom glodanja je sila povukla glodalo iz čahure dovoljno da ošteti vakuum stol. Glodalo je napravilo kanal dubine 5mm (Slika 141) na više mjesta na stolu, ali srećom nije došlo do sudara sa ugrađenim trio maticama.



**Slika 141. Oštećenje vakuum stola**

Problem je riješen tako da je stol očišćen od piljevine, odmašćen te je kanal zakrpan autokitom. Nakon što se autokit skrutnuo, ta područja su ponovno poravnata te su urezani kanali, a potom je obojano u istu boju kao i bakelit.



**Slika 142. Popravak oštećenja (lijevo), pregledano i obojano (desno)**

## **17. ZAKLJUČAK**

Zbog lako nabavljivih i obradljivih materijala većina jednostavnijih CNC glodalica se može opremiti vlastitom verzijom vakuum stola. Veliku ulogu igra činjenica da je konstruktoru stola dano više parametara izrade na volju od vanjskih dimenzija do količine kanala i usisnih rupa. Vakuum stolom se postiže brza i laka izmjena obradaka. Veliku važnost također ima i iskustveno dokazana činjenica da je vakuum stolom moguće bez stezaljki obrađivati više obradaka istovremeno bez gubitka vremena na stezanje svakog obratka posebno. Vakuumsko stezanje također omogućuje bolju iskoristivost pločastih materijala te sprječava neželjene vibracije koje bi se potencijalno javile kod stezanja samo stezaljkama.

## **PRILOZI**

I. CD-R disc

## LITERATURA

- [1] [http://www.tehnoguma-zg.hr/tko-smo/ponuda/tehnicki-laminati\\_trashed/](http://www.tehnoguma-zg.hr/tko-smo/ponuda/tehnicki-laminati_trashed/)
- [2] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Bakelit>
- [3] [http://www.astaco.rs/b2b/index.php?cPath=1\\_5\\_32](http://www.astaco.rs/b2b/index.php?cPath=1_5_32)
- [4] <http://www.strojopromet.com/limovi/>
- [5] [https://vijci.com.hr/?page\\_id=4451](https://vijci.com.hr/?page_id=4451)
- [6] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Glodalica>
- [7] <https://www.slideshare.net/jagarac/om-1-ppp>
- [8] <https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO>
- [9] [https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta\\_-\\_obrada\\_materijala\\_ii\\_-\\_i\\_dio.compressed.pdf](https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta_-_obrada_materijala_ii_-_i_dio.compressed.pdf)
- [10] [http://repositorij.fsb.hr/1718/1/13\\_02\\_2012\\_Cijeli\\_zavrzni\\_3.pdf](http://repositorij.fsb.hr/1718/1/13_02_2012_Cijeli_zavrzni_3.pdf)
- [11] [http://repositorij.fsb.hr/2508/1/19\\_11\\_2013\\_Luka\\_Olivari\\_-\\_Diplomski\\_rad.pdf](http://repositorij.fsb.hr/2508/1/19_11_2013_Luka_Olivari_-_Diplomski_rad.pdf)
- [12] [http://repositorij.fsb.hr/1392/1/05\\_07\\_2011\\_Zavrzni\\_rad\\_.pdf](http://repositorij.fsb.hr/1392/1/05_07_2011_Zavrzni_rad_.pdf)
- [13] [http://repositorij.fsb.hr/1013/1/06\\_07\\_2010\\_Zavrzni.pdf](http://repositorij.fsb.hr/1013/1/06_07_2010_Zavrzni.pdf)
- [14] [http://repositorij.fsb.hr/829/1/08\\_02\\_2010\\_Nenad\\_Horvat\\_ZAVRSNI\\_RAD.pdf](http://repositorij.fsb.hr/829/1/08_02_2010_Nenad_Horvat_ZAVRSNI_RAD.pdf)