

# ROBOTSKO OBREZIVANJE OBLOGA KUPAONSKIH KADA

---

**Boljar, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:128:010847>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



**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 ODJEL  
*Prijediplomski stručni studij strojarstva*

Luka Boljar

**ROBOTSKO OBREZIVANJE  
OBLOGA KUPAONSKIH KADA**

Završni rad

Karlovac, 2023. godina

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Prijediplomski stručni studij strojarstva*

Luka Boljar

**ROBOTSKO OBREZIVANJE  
OBLOGA KUPAONSKIH KADA**

**ROBOTIC CUTTING OF  
BATHTUB LININGS**

Završni rad

Mentor:  
dr. sc. Nikola Šimunić, v.pred.

Karlovac, 2023. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i radna iskustva unutar tvrtke Aquaestil Plus d.o.o.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Nikoli Šimuniću, v.pred. na stručnoj pomoći i vođenju, radnom kolegi Luki Luketiću na prenesenom znanju i Borisu Ferkuli što mi je dozvolio i omogućio izradu ovog završnog rada. Također zahvaljujem se svojim roditeljima i prijateljima koji su mi bili velika podrška tijekom školovanja.

Luka Boljar

---

Karlovac, 2023. godina

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Povijest robota .....	2
1.2. Razvoj robota .....	3
1.3. Vrste i podjela industrijskih robota.....	4
2. ROBOTSKO OBREZIVANJE/REZANJE .....	8
2.1. Rezni alati (glodala).....	8
2.2. Postupak obrezivanja/rezanja obloge.....	13
3. ROBOTSKA ĆELIJA .....	14
3.1. Robot ABB IRB 6700.....	14
3.2. Radni stolovi .....	15
3.3. Negativ za obrezivanje/rezanje .....	17
3.4. Sigurnost i upravljanje .....	19
4. PRIPREMA CAD MODELA I CAM PROGRAMA.....	23
4.1. SolidWorks model .....	23
4.2. SolidWorks – SprutCAM prijenos modela .....	24
4.3. SprutCAM programiranje .....	24
5. UMJERAVANJE ILI KALIBRACIJA ALATA.....	30
6. USPOREDBA ROBOTSKOG I RUĀNOG OBREZIVANJA .....	32
6.1. Prednost i nedostaci robotskog obrezivanja/rezanja.....	33
6.2. Cilj robotskog obrezivanja/rezanja sa dva radna stola.....	33
7. ZAKLJUĀAK.....	34
PRILOZI.....	35
LITERATURA.....	36

## POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer proizvodnje 1940. godine [1] .....	1
Slika 2. Primjer proizvodnje 2010. godine [1] .....	1
Slika 3. Prototip robotskog viteza Leonarda da Vinci [2] .....	2
Slika 4. George Charles Devol sa svojim inženjerima i prvi Unimate [3] .....	3
Slika 5. Artikulirana robotska ruka sa 6 stupnjeva slobode [7] .....	6
Slika 6. Artikulirani robot za obrezivanje u tvornici Aquaestil. ....	7
Slika 7. Proces robotskog obrezivanja obloge. ....	8
Slika 8. Tijelo reznog alata [10] .....	9
Slika 9. Alat sa umetnutom reznom oštricom [12] .....	9
Slika 10. Neki od reznih alata firme Aquaestil. ....	10
Slika 11. ISO prihvat [13] .....	12
Slika 12. HSK prihvat [13] .....	12
Slika 13. ISO prihvat, Aquaestil .....	12
Slika 14. Shematski prikaz postupka obrezivanja/rezanja obloge. ....	13
Slika 15. ABB IRB 6700 [15] .....	15
Slika 16. Robot u procesu obrade, radni stol B. ....	16
Slika 17. Pinovi za pozicioniranje i stezaljka .....	16
Slika 18. Negativ za obrezivanje pozicioniran na radnom stolu. ....	17
Slika 19. Obloga Wall Corner L na robotskom negativu .....	18
Slika 20. Vijkom pričvršćena „antena“ .....	18
Slika 21. Pomoćni dio negativa .....	18
Slika 22. Ormar sigurnosti i kontrole .....	19
Slika 23. Sigurnosne zavjese [16] .....	20
Slika 24. ABB controller [17] .....	21
Slika 25. Jedno od sučelja ABB robota .....	21
Slika 26. Wall Corner L obloga .....	23
Slika 27. Modificirani oblik Wall Corner L obloge .....	24
Slika 28. Model ćelije robota i model Wall Corner L obloge u SprutCAM-u .....	25
Slika 29. Programska nul-točka .....	26
Slika 30. Geometrija obrezivanja/rezanja akrila .....	26
Slika 31. Geometrija obrezivanja/rezanja poliestera .....	27
Slika 32. Axes map .....	28
Slika 33. Detekcija sudara robota sa ćelijom .....	28
Slika 34. Parametri obrade akrila .....	29
Slika 35. Umjeravanje alata .....	30
Slika 36. Robotsko sučelje za umjeravanje alata .....	31
Slika 37. Postavke sučelja za umjeravanje alata .....	31
Slika 38. Robotsko obrezivanje .....	32
Slika 39. Ručno obrezivanje .....	32

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba pogonskih sustava [5]. ..... 5

## POPIS OZNAKA

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
ISO	-	International Organization for Standardization
ABB	-	Asea Brown Boveri
CNC	-	Computer numerical control
CAD	-	Computer-Aided Design
CAM	-	Computer-Aided Manufacturing
<i>L</i>	[ m ]	Radni doseg
<i>m</i>	[ kg ]	Nosivost
<i>t</i>	[ h ]	Vrijeme rada
<i>v</i>	[ mm/min ]	Brzina obrade
<i>d</i>	[ mm]	Promjer



## **SAŽETAK**

Tema ovog završnog rada je robotsko obrezivanje obloga kupaonskih kada.

U ovom završnom radu opisan je robot i robotska ćelija koju koristi firma Aquaestil Plus d.o.o. za obrezivanje obloga, te vrsta, povijest i razvoj robota u svijetu. Navedene su vrste reznih alata, njihovo umjeravanje i prihvat koji se koriste. Opisan je način pripreme 3D modela obloge u SolidWorks-u i programiranje u SprutCAM-u, te prijenos modela iz SolidWorks-a u SprutCAM, izvedbu robotske ćelije sa dvije radne stanice i njezinu prednost, način rada sigurnosnih zavjesa i dijelove robotskog negativa za pričvršćenje obloge. Uspoređeno je robotsko i ručno obrezivanje i navedene prednosti i mane robotskog obrezivanja. Na kraju je napisan zaključak.

Ključne riječi: obrezivanje/rezanje, CAD, CAM, ABB, obloga.

## **SUMMARY**

The topic of this final thesis is robotic cutting of bathtub linings.

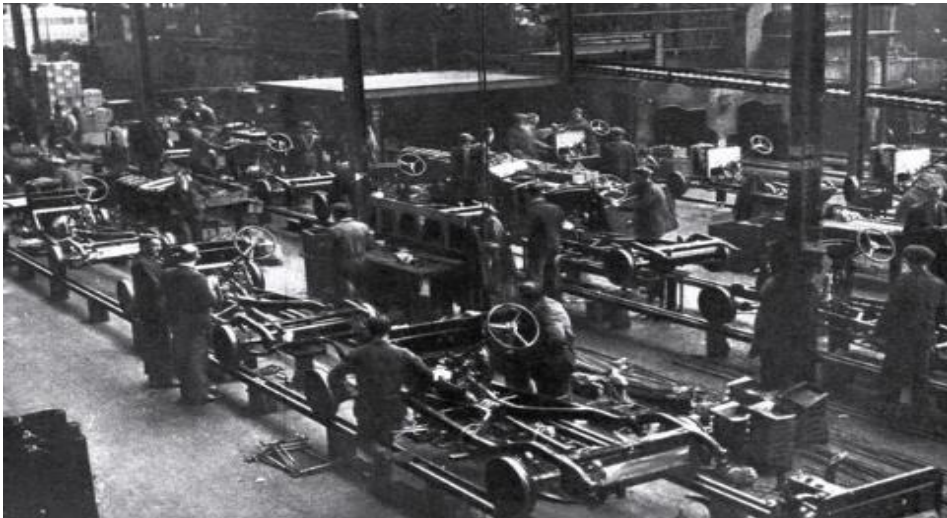
This final paper describes the robot and robotic cell used by Aquaestil Plus d.o.o. for trimming linings, and types, history and development of robots in the world. I have listed the types of cutting tools, their calibration and the grips we use. I described the method of preparing a 3D model of the lining in SolidWorks and programming in SprutCAM, and transferring the model from SolidWorks to SprutCAM, the performance of the robotic cell with two workstations and its advantage, the way the safety curtains work and the parts of the robotic negative for attaching the lining . I compared robotic and manual pruning and listed the pros and cons of robotic pruning. At the end, a conclusion is written.

Key words: trimming/cutting, CAD, CAM, ABB, lining.

## 1. UVOD

Danas se nalazimo u vremenu konstantnog rasta potražnje za novim proizvodima gdje nam je cilj maksimalno povećanje proizvodnje uz smanjenje vremena i troškova. U realizaciji toga cilja potrebna nam je konstantna brzina, snaga, preciznost i ušteda, a na čovjeka se ne može računati da će uvijek biti na 100 posto tj. da će biti sposoban odraditi cijelo radno vrijeme istom brzinom, snagom i preciznošću te da neće pogriješiti i povećati potrošnju.

Zbog toga danas sve više čovjeka zamjenjujemo robotom koji daleko bolje može zadovoljiti naš cilj, ali ne u potpunosti jer još uvijek nam je potreban čovjek koji igra bitnu ulogu u proizvodnom procesu.



**Slika 1. Primjer proizvodnje 1940. godine [1]**



**Slika 2. Primjer proizvodnje 2010. godine [1].**

## 1.1. Povijest robota

Početak robota možemo naći u starom grčkom mitu, gdje se spominje bog Hefest, koji se smatra bogom kovača i zaštitnikom obrtnika, kipara, metalurga i vatre. On je stvorio mehaničke djeve od zlata koje su imale dar govora.

Oko 400 godina prije Krista, grčki filozof Arhitas iz Tarantuma je bio među prvim tvorcima mehaničkih igračaka. Napravio je drvenu golubicu sa mehanizmom za let koja je najvjerojatnije bila pogonjena parom i mogla je letjeti.

Nakon Grčke, u 15. stoljeću, Leonardo da Vinci koji je bio fasciniran ljudskom anatomijom, provodio je sate i dane proučavajući ljudsko tijelo te je 1495. godine dizajnirao robotskog viteza. On se sastojao od oklopa, prijenosnih kotača, zupčanika i kablova, koji su trebali omogućiti samostalno izvođenje pokreta kao što su pomicanje udova i glave, ali se ne zna da li je dizajn ikada izrađen u to vrijeme. Kasnije 2002. godine napravljen je prototip robotskog viteza koji se čuva u Berlinskom muzeju (Slika 3.) [2].



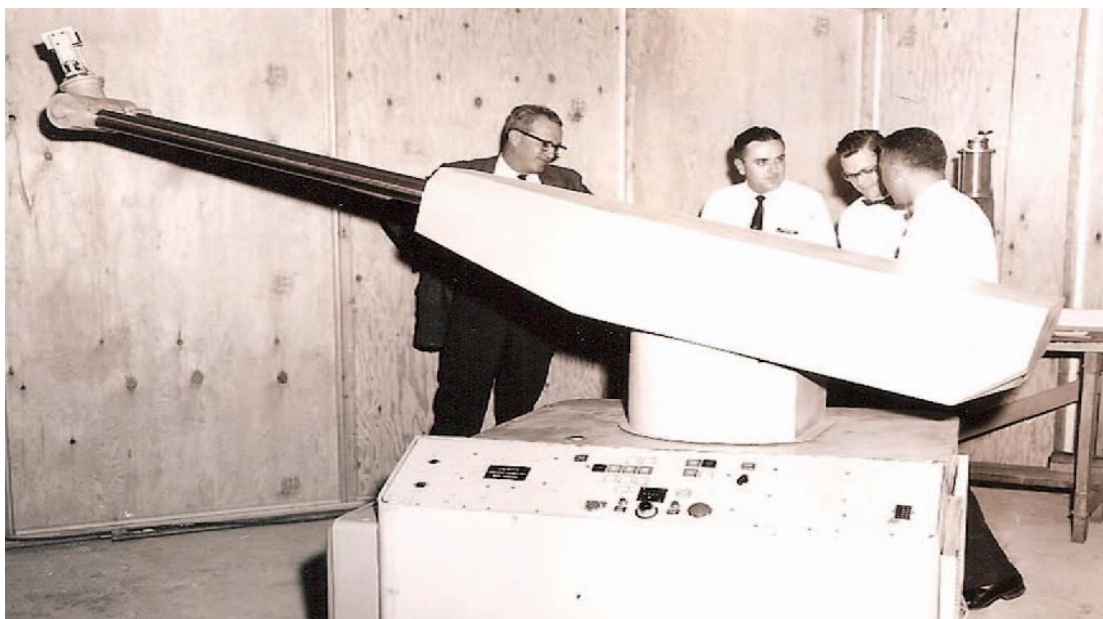
**Slika 3. Prototip robotskog viteza Leonarda da Vincija [2].**

## 1.2. Razvoj robota

Industrijski robot je automatizirani stroj višestruke namjene, koji može obavljati neke zadaće slično ljudskom djelovanju. Naziv je prvi put uporabio 1920. godine Karel Čapek u drami „Rossumovi univerzalni roboti“ za opis čovjekolikoga stroja sposobnoga za rasuđivanje, a konstruiranoga kako bi zamijenio ljudski rad u tvornicama.

Počeci razvoja robota počinju s razvojem prvih automata, napose s njihovim značajnijim uvođenjem u proizvodnju u prvoj polovici 20. stoljeća, te kasnijim razvojem numerički upravljanih alatnih strojeva, CNC. Istodobno s njima počeli su se razvijati manipulatori, tzv. Robotske ruke s velikom slobodom pokreta, namijenjene za rad s radioaktivnim materijalima.

Američki izumitelj George Charles Devol kojeg često nazivamo ocem robotike, projektirao je prvi industrijski robot 1954. godine imena „Unimate“, a prvi robot proizvela je 1961. godine američka tvrtka Unimation [3]. Bio je to stroj težak oko dvije tone sa zadaćom premještanja predmeta s jednog mjesta na drugo (Slika 4.).



**Slika 4. George Charles Devol sa svojim inženjerima i prvi Unimate [3].**

Budućnost industrijskog robota uz sav interes i ulaganja te napredak sensorike, elektronike i računarstva bila je obećavajuća.

Prvi industrijski roboti korišteni su u Fordovim tvornicama radi povećanja učinkovitosti proizvodnje, a nakon Fordovog primjera uspješnog uvođenja robota u proizvodni sustav, razvoj i primjena robota krenula je širom svijeta.

Jedna od najrazvijenijih industrijskih zemalja je bio Japan koji je najspremnije prihvatio robote. Kawasaki Heavy Industries je već 1968. godine od tvrtke Unimation otkupio licencu i nastaje Japanska udruga industrijskih robota, a nedugo nakon toga osniva se Američki institut za robotiku te 1977. godine i Britansko udruženje za robote.

U Hrvatskoj je tek kasne 1994. godine osnovano Hrvatsko društvo za robotiku.

### **1.3. Vrste i podjela industrijskih robota**

Industrijski roboti se općenito mogu podijeliti u generacije koje su definirane po složenosti informatičkog sustava i stupnju inteligencije, a dijele se na tri generacije:

1. Roboti prve generacije (programski roboti),
2. Roboti druge generacije (adaptivni roboti),
3. Roboti treće generacije (inteligentni roboti).

#### **Roboti prve generacije (programski roboti)**

Najrašireniji su u području obavljanja jednostavnih poslova kao npr. pomoćne operacije kod prešanja i zavarivanja. Imaju samo programsku memoriju u koju se pohranjuje program, nemaju senzora i karakterizira ih čisto upravljanje.

#### **Roboti druge generacije (adaptivni roboti)**

Opremljeni su velikom količinom senzora preko kojih dobivaju stanje radne okoline i mogu imati sustav za raspoznavanje. Zadaća ove generacije robota je npr. vađenje predmeta iz kutije, a sve se obavlja putem jednostavne logike ugrađene u računalo.

#### **Roboti treće generacije (inteligentni roboti)**

Opremljeni su računalima nove generacije i bazirani su na elementima umjetne inteligencije. Za umjetnu inteligenciju je najbitnija mogućnost učenja odnosno povezivanja novih iskustava s postojećim znanjem tako da robot samostalno reagira na utjecaje iz okoline bez programske upute.

Prema vrsti pogona razlikujemo tri vrste:

1. Električne,
2. Pneumatske,
3. Hidraulične.

### Električni pogon

Koriste se istosmjerni, izmjenični i koračni električni motori jer su relativno jeftini, s velikom brzinom i točnosti i kod njih je moguća primjena složenih algoritama upravljanja.

### Pneumatski pogon

Imaju relativno nisku cijenu i veliku brzinu rada, a ne onečišćuju okolinu pa su pogodni za laboratorijski rad. Takvi pogoni nisu pogodni za rad s velikim teretima, jer je zbog stlačivosti zraka nemoguće mirno održavati željeni položaj. Uz to su bučni, a potrebno je i dodatno filtriranje i sušenje zraka zbog nepoželjne prašine i vlage.

### Hidraulični pogon

Takvi pogoni imaju zadovoljavajuću brzinu rada, a zbog nestlačivosti ulja moguće je mirno održavanje položaja i kod rada s većim teretima. Glavni nedostaci tih motora njihove su visoke cijene, buka i onečišćavanje okoline zbog mogućeg istjecanja ulja.

**Tablica 1. Usporedba pogonskih sustava [5].**

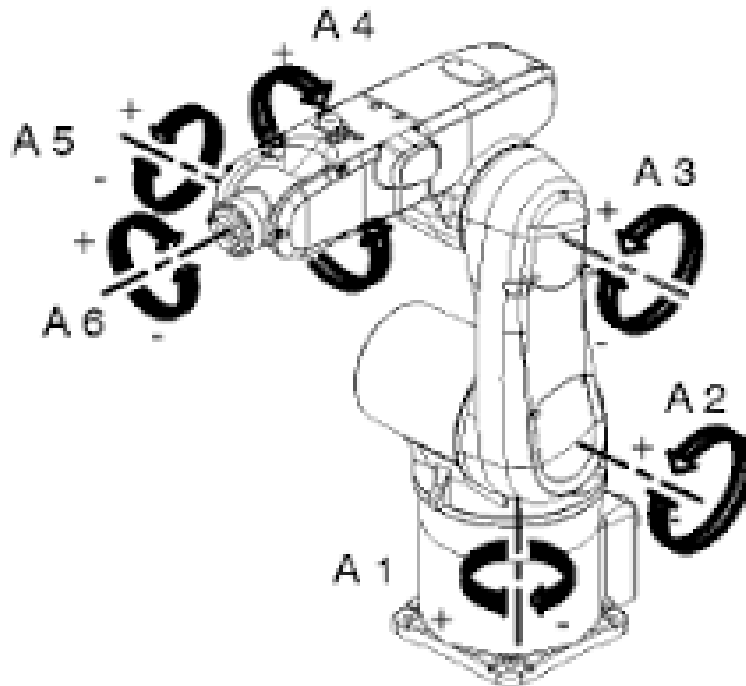
VRSTA POGONA	NOSIVOST (kg)	TOČNOST POZICIONIRANJA (mm)	BRZINA (m/s)
Pneumatski	0.2 – 15	$\pm 0.1 - 1$	0,3 – 1
Električni	1 – 100	$\pm 0.02 - 1$	0.5 – 10
Hidraulički	40 – 500	$\pm 0.1 - 2$	0.75 – 5

Također industrijske robote možemo podijeliti prema vrsti kretanja tj. po stupnjevima slobode gibanja, primjeni, arhitekturi i marki.

Za primjer ćemo navesti jedan od najraširenijih i najdominantnijih robota koji se koriste u tvornicama širom svijeta, a riječ je o **artikuliranim** robotima.

### Artikulirani roboti

To su roboti koji najčešće imaju šest osi (Slika 5.), ali mogu ih imati čak i do 10. Ovi roboti imaju više stupnjeva slobode gibanja od bilo kojeg drugog robota na tržištu i to ih čini više privlačnijima kupcu. Sposobni su za obavljanje više vrsta različitih poslova kao što su lijepljenje, bojanje, zavarivanje, glodanje, **obrezivanje**, montiranje itd.



**Slika 5. Artikulirana robotska ruka sa 6 stupnjeva slobode [7].**

Svaka os robota ima svoj zadatak koji omogućuje zglobno i interpolirano gibanje do bilo koje točke unutar radnog prostora, ali ima svoj „limit“ tj. granice koje postavlja programer zbog sigurnosti, a i mogućnosti robota.

Robotske osi i njihove zadaće (Slika 5.):

- A1 (baza) – rotira robotsku ruku oko x osi,
- A2 (rame robota) – pokreće robotsku ruku naprijed/nazad,
- A3 (nadlaktica) – podiže/spušta robotsku ruku,
- A4 (podlaktica) – rotira robotsku ruku,
- A5 (ručni zglob) – podiže/spušta robotsku ruku,
- A6 (ručni zglob) – rotira robotsku ruku.



Prednosti artikuliranih robota:

- Velika pokretljivost hvataljke alata,
- Dobar omjer veličine i dosega,
- U usporedbi sa ostalim robotima zauzima najmanje podnog prostora.

Nedostatci artikuliranih robota:

- Visoki troškovi ulaganja.



**Slika 6. Artikulirani robot za obrezivanje u tvornici Aquaestil.**

## 2. ROBOTSKO OBREZIVANJE/REZANJE

Robotsko obrezivanje je obrada odvajanjem čestica tj. obrada kada roboti automatiziraju proces uklanjanja dijelova iz radnog materijala s ciljem njihovog oblikovanja [8-9]. Primjene obrezivanja bitne su za pripremu dijelova za dodatne proizvodne korake te je ključno da su rezovi točni, ujednačeni i dosljedni.

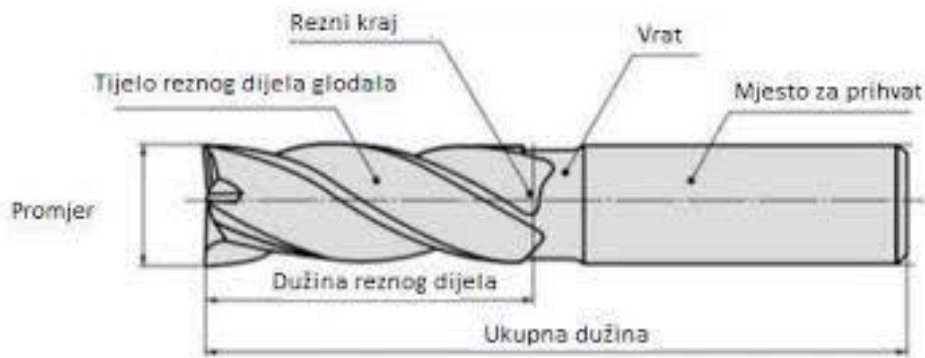
Obrezivanje se uglavnom provodi na kompozitnim dijelovima za koje određeni proizvodni procesi zahtijevaju promjenu veličine.



**Slika 7. Proces robotskog obrezivanja obloge.**

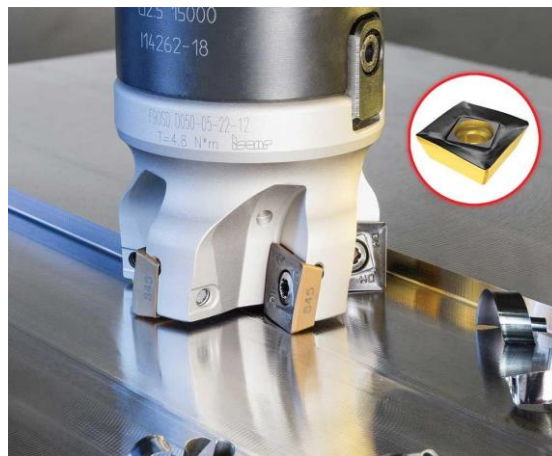
### 2.1. Rezni alati (glodala)

Svrha reznih alata (rezača) je sabijanje određenog sloja radnog materijala kako bi se odrezao. Rezače općenito možemo prepoznati po cilindričnom obliku sa oštrim dijelom kojeg zovemo rezni dio, on služi za uklanjanje materijala tijekom obrade i po ravnom glatkom dijelu koji služi kao mjesto za prihvatanje, prikazano na slici 8.. Ne moraju nužno biti cilindričnog oblika, mogu biti pločasti, pločasti sa umetnutim zubima, pilasti, konusni, vretenasti, profilni itd.



**Slika 8. Tijelo reznog alata [10].**

Rezni alati mogu biti napravljeni od jednog komada, slika 8., ali također mogu biti i sa umetnutom reznom oštricom, slika 9.. Prednost alata s umetnutom reznom oštricom je ekonomičnost. Kada se umetnuta rezna oštrica istroši, dovoljno ju je zamijeniti novom bez da se mijenja cijeli alat.



**Slika 9. Alat sa umetnutom reznom oštricom [12].**

Svaki rezni alat u postupku obrade odvajanjem čestica mora ispuniti sljedeće osnovne zadaće:

- u jedinici vremena mora odvojiti što veću količinu određenog sloja materijala sa obratka,
- te uz minimalne troškove i određenu kvalitetu površine mora osigurati geometriju oblika i potrebne dimenzije.

### Materijali reznih alata

Bitna stvar kod izbora reznog alata je vrsta materijala, ona mora biti zadovoljavajućih svojstava. To znači da mora zadovoljiti sve parametre obrade željenog materijala. Jedna od njih je tvrdoća. Alat koji obrađuje uvijek mora biti „tvrđi“ od obratka.

Za odabrani alat postoji opcija nanošenja odgovarajućeg premaza za poboljšanje različitih svojstava, ali ima manu koja ne dopušta jednostavno ponovno oštrenje reznog dijela kada se istroši.

Neke od vrsta materijala koje su dostupne na tržištu:

- Brzorezni čelik (HSS),
- Volframov karbid,
- Keramika,
- Dijamant.



**Slika 10. Neki od reznih alata tvrtke Aquaestil.**

**Prihvat reznog alata**

Mjesto za prihvat (prikazano na prijašnjoj slici, slika 8.) kao što samo ime govori je mjesto na koje dolazi prihvat alata.

Prihvat alata predstavlja fizički medij između alata i alatnog stroja. Njihova uloga je osiguranje velike krutosti i pouzdanosti držanja alata te dobro pozicioniranje. Mogu se pričvrstiti ili montirati na razne načine ovisno o samoj vrsti prihvata.

Vrste prihvata alata:

- HSK prihvat,
- ISO prihvat.

**HSK prihvat**

HSK prihvat alata (DIN 69893) je novi standard kod obradnih centara. U vreteno se pričvršćuje pomoću konusa i kontaktne površine na prirubnici pa zbog toga osigurava veliku aksijalnu točnost.

Karakteristike:

- pogodan za VBO (visoko brzinska obrada),
- visoka aksijalna krutost i točnost,
- kratki hod kod izvlačenja iz glavnog vretena,
- mala masa zbog šupljeg konusa i manje dužine,
- konus 1:10.

**ISO prihvat**

ISO prihvat alata (ISO 26623) je inovativan sustav prihvata alata s maksimalnom preciznošću. Koristi se najviše na više operacijskim strojevima.

ABB robot koristi ISO prihvat.

Karakteristike:

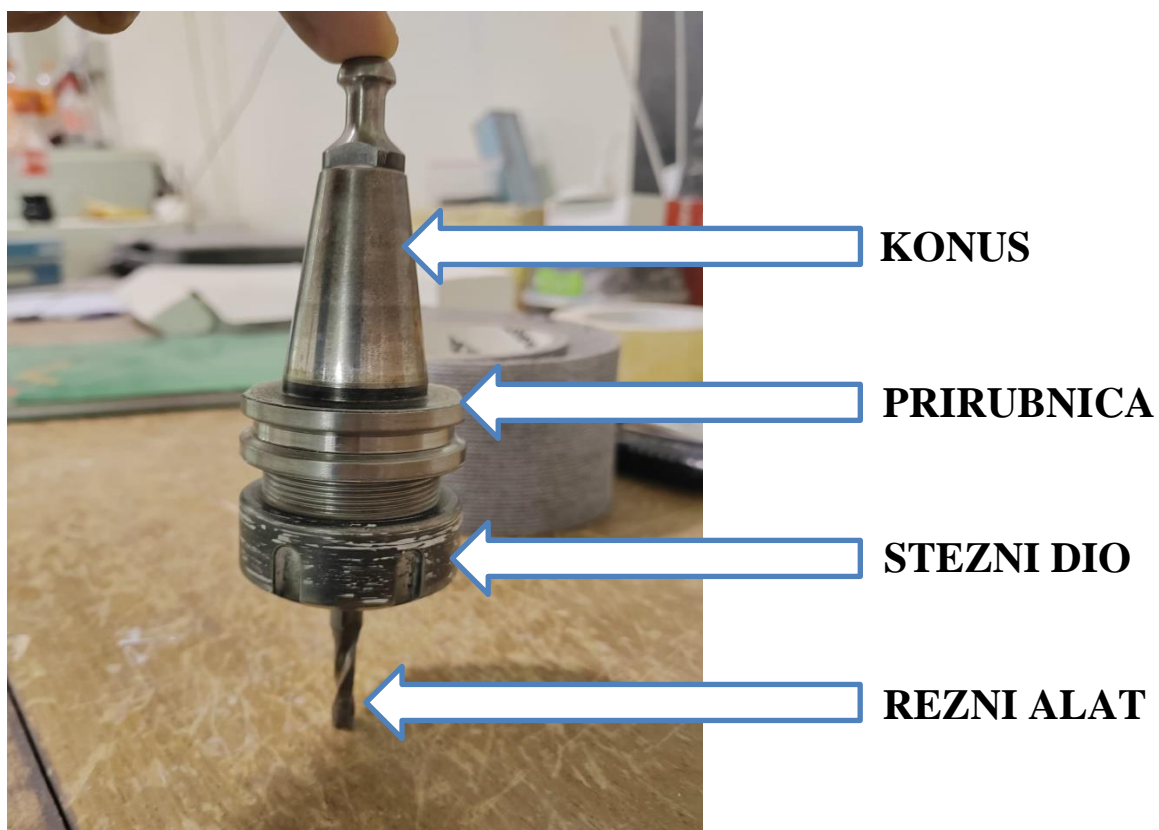
- velika masa držača zbog dužeg konusa,
- konus 7:24,
- aksijalna točnost ovisi o aksijalnoj sili stezanja,
- smanjena radijalna i aksijalna točnost kod visokih okretaja.



Slika 11. ISO prihvata [13].



Slika 12. HSK prihvata [13].



Slika 13. ISO prihvata, Aquaestil.

## 2.2. Postupak obrezivanja/rezanja obloge

Postupak obrezivanja/rezanja obloge se sastoji od četiri dijela:

- CAD i CAM dio,
- Komunikacijski dio računalo – robot,
- Operacijski dio (rad na stroju),
- Provjera kvalitete.

U nastavku će ukratko biti opisan tok postupka obrezivanja/rezanja obloge, a opširnije pod naslovom pojedine cjeline.

### CAD i CAM dio

CAD i CAM dio služi za računalno dizajniranje, projektiranje, konstruiranje, simulaciju, izradu dokumentacije za proizvodnju, planiranje proizvodnje, programiranje te izgled budućeg tehničkog predmeta.

CAD program – SolidWorks (konstruiranje).

CAM program – SprutCAM (programiranje).

### Komunikacijski dio računalo – robot

Komunikacijski dio je veza između računala i robota preko koje komuniciramo i šaljemo podatke tj. programe/zadaje robotu.

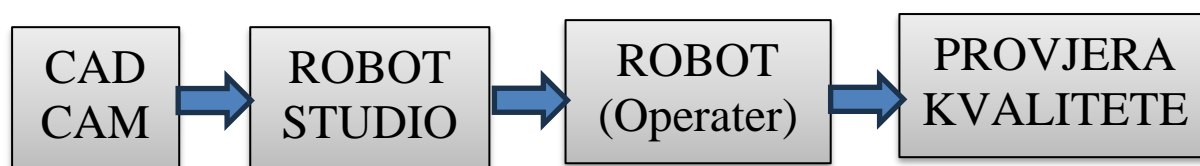
Komunikacijski software – RobotStudio (prijenos programa).

### Operacijski dio (rad na stroju)

Za operacijski dio je zadužen operater na stroju. Operater je obučen za pripremu radnog prostora, montiranje, odabir programa i manipuliranje robotom.

### Provjera kvalitete

Završni dio postupka je provjera kvalitete. Zadužena osoba provjerava da li proizvod zadovoljava zadane parametre ili ne.



Slika 14. Shematski prikaz postupka obrezivanja/rezanja obloge.

### 3. ROBOTSKA ĆELIJA

#### 3.1. Robot ABB IRB 6700

IRB 6700 su roboti s najboljim performansama u klasi od 150-300 kilograma sa 20 postotnim smanjenjem ukupnih troškova vlasništva postignutim robusnijim dizajnom, duljim servisnim intervalima, povećanom učinkovitosti i pojednostavljenim održavanjem u odnosu na prethodnu generaciju. [14].

Cjelokupna struktura robota ojačana je većom krutošću, što daje povećanu preciznost, kraće trajanje ciklusa i bolju zaštitu. Rezultat je vidljiv po kvaliteti proizvoda i uveliko povećanom proizvodnjom.

Opremljen je sustavom zaštite Foundry Plus 2 i dizajniran je za prilagodbu LeanID-a. LeanID olakšava programiranje i simulaciju i produljuje servisne intervale zbog manjeg trošenja i habanja. Također ima olakšani pristup motorima i ostalim dijelovima zbog čega je vrijeme servisa i popravka smanjeno za 15 posto.

Prednosti u odnosu na ostale konkurentne robote:

- Dulje vrijeme rada ( $t$ ) – oko 400 000 sati (h) između kvarova,
- Povećana brzina i kraće vrijeme ciklusa – u prosjeku oko 5 posto,
- 15 posto manja potrošnja energije,
- Velika nosivost ( $m$ ) – između 150 – 300 kilograma (kg),
- Radni doseg ( $L$ ) – između 2,6 – 3,2 metara (m),
- Dostupan je kao podna i obrnuta montažna verzija.





**Slika 15. ABB IRB 6700 [15].**

### **3.2. Radni stolovi**

Robotska ćelija se sastoji od dva radna stola, radni stol A i radni stol B prikazani na slici 16. Razlog izvedbe robotske ćelije sa dva radna stola je povećanje produktivnosti i funkcionalnosti što se pokazalo jako dobro. Uostalom, povećanje proizvodnje se povećalo za 50 posto.

Usporedba:

Jedan robot sa jednim radnim stolom tokom jedne smjene odradi oko 30 obloga, dok taj isti robot sa dva radna stola odradi duplo više, 60.

#### **Način rada**

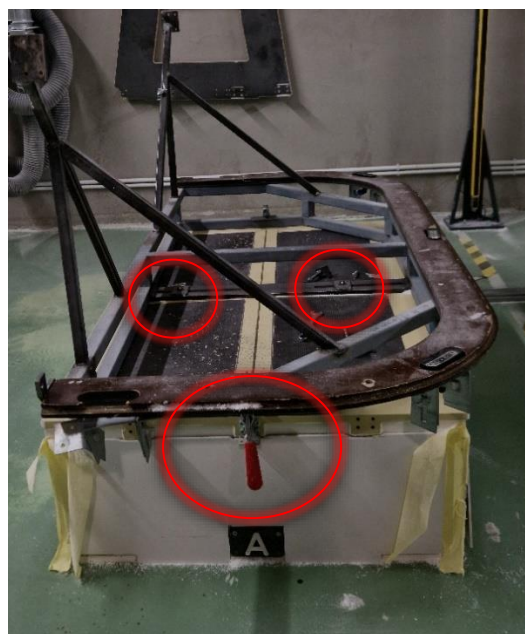
Operater napravi pripremu radnog stola A i pokrene program na robotu za obradu pripremljenog radnog stola A. Dok je robot u procesu obrade na radnom stolu A, operater ima dovoljno vremena da napravi pripremu radnog stola B. Kada robot završi obradu na radnom stolu A, operater pritiskom na gumb da znak robotu da je radni stol B spreman i robot kreće u obradu, a operater kreće do radnog stola A.



**Slika 16. Robot u procesu obrade, radni stol B.**

### **Način pozicioniranja**

Svaki radni stol na sebi ima po dva pina koji služe za pozicioniranje negativa i po jednu stezaljku sa svake strane za dodatno pričvršćivanje, prikazano na slici 17. Također radni stol ima mogućnost vakuum stola, ali još nije bilo potrebe za tom opcijom.



**Slika 17. Pinovi za pozicioniranje i stezaljka.**

### 3.3. Negativ za obrezivanje/rezanje

Svaki radni stol i svaka obloga ima posebno izveden negativ zbog svoje pozicije i različitog oblika obloga. Negativ se sastoji od metalnog i bakelitnog dijela. Metalni dio se sastoji od dvije komponente, baze koja je identična za svaku oblogu i „antene“ ili „antena“ ovisno o obliku obloge. Bakelitni dio ima specifični oblik koji je napravljen po samom rubu obloge.



**Slika 18. Negativ za obrezivanje pozicioniran na radnom stolu.**

#### **Zadatak pojedinog dijela negativa**

Baza metalnog dijela sadrži dvije pločice na kojima su izbušene rupe za pozicioniranje na već spomenute pinove radnog stola. Kada pločice dobro nasjednu na pinove radnog stola, stezaljkama dodatno fiksiramo bazu negativa.

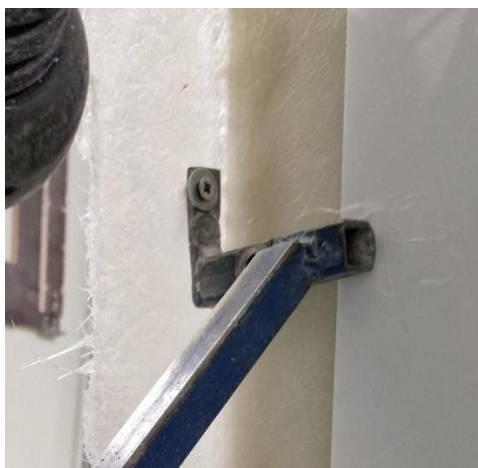
„Antene“ su zavarene u točnoj poziciji na bazu negativa tako da pločice na njihovim krajevima prijanjaju tik uz rub poliestera obloge kroz koji ih pričvršćujemo vijkom, prikazano na slici 20.

Bakelitni dio se pričvršćuje na metalnu bazu negativa i na svom vanjskom rubu ima izgledani dosjed na koji nasjeda rub obloge i drži ju u poziciji uz pomoć „antena“ negativa.

Također bakelitni dio ima izvedene priključke za vakuum preko sisaljka, ali kao što je navedeno još nije bilo potrebe za njihovu uporabu.



**Slika 19. Obloga Wall Corner L na robotskom negativu.**



**Slika 20. Vijkom pričvršćena „antena“.**



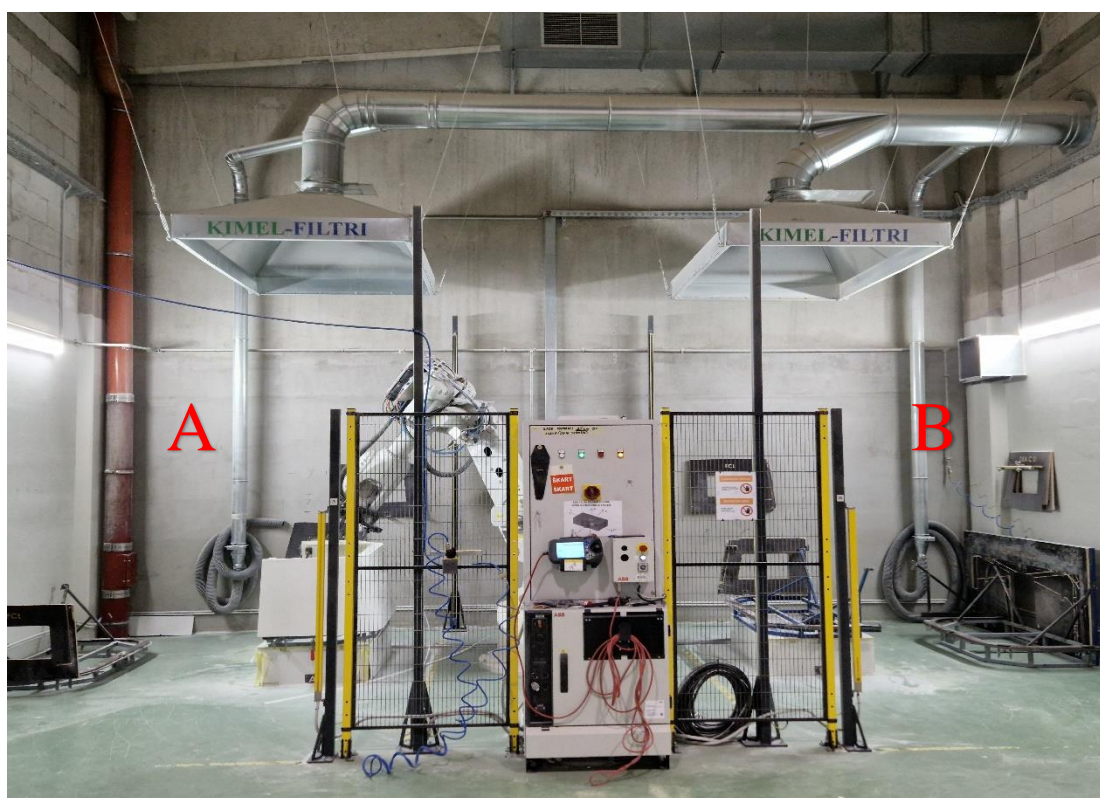
**Slika 21. Pomoćni dio negativa.**

Pomoćni dio negativa (slika 21.) služi za pozicioniranje Corner obloga. Izrađen je od vodootporne šperploče (bosanke), montira se na bakelitni dio negativa i mobilan je.

### 3.4. Sigurnost i upravljanje

SAFETY PLC (SIEMENS 1200F) je jedan uređaj koji upravlja standardnim i sigurnosnim zadacima automatizacije, npr. sigurnosne zavjese. Štedi prostor i podržava PROFI-safe, omogućujući povezivanje sigurnosnih uređaja putem PROFINET-a [16]. Na primjer, sigurnosne funkcije ugrađene u Siemensove pogone mogu se koristiti izravno putem PROFINET-a. CPU također smanjuje količinu potrebnog ožičenja te štedi prostor i podržava fleksibilnije sigurnosne koncepte.

PROFI-safe je sigurnosna komunikacijska tehnologija za diskretne sustave proizvodnje i automatizacije procesa.



Slika 22. Ormar sigurnosti i kontrole.

### **Sigurnosne zavjese**

Robotska ćelija ima 4 sigurnosne zavjese, dvije vanjske i dvije unutarnje.

Vanjske sigurnosne zavjese predstavljaju barijeru između operatera i radnih ćelija A i B, prikazano na slici 22., a unutarnje zavjese između robota i radnih ćelija. Svaka radna ćelija ima svoje tipkalo na koje operater potvrđuje/resetira sigurnosne zavjese da su spremne za rad, u protivnom tipkala daju svjetlosni signal da su zavjese u prekidu.



**Slika 23. Sigurnosne zavjese [16].**

### **ABB controller**

ABB controller ima jednostavno sućelje koje omogućuje operateru:

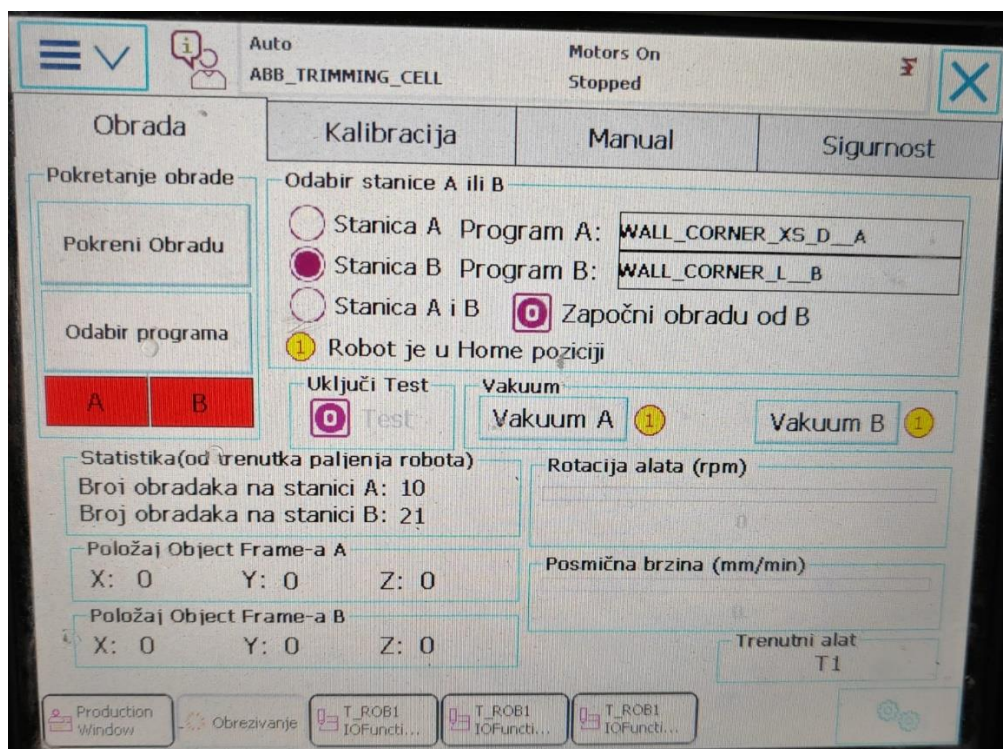
- Odabir programa,
- Umjeravanje i izmjenu alata,
- Odabir načina obrade,
- Kontrolu obrade,
- Ručni način upravljanja itd.

### **Neke od opcija obrade:**

- Započni obradu samo na stanici A,
- Započni obradu samo na stanici B,
- Započni obradu na stanici A i B, kreni od stanice A,
- Započni obradu na stanici A i B, kreni od stanice B.



Slika 24. ABB controller [17].



Slika 25. Jedno od sučelja ABB robota.

### Način rada

Operater pritiskom na tipkalo za resetiranje sigurnosnih zavjesa daje signal PLC-u da su sigurnosne zavjese resetirane, potvrđene i da nisu u prekidu. Zatim operater na controlleru odabire program i stanicu obrade, slika 24. Nakon pritiska tipkala start pokreće se obrada.

Ako je operater odabrao stanicu B kao na slici 24., robot će početi obradu na radnoj stanici B nakon pritiska tipkala start. Ovaj odabir obrade znači da će sigurnosne zavjese između robota i radne stanice A i operatera i radne stanice B biti aktivne, dok će sigurnosne zavjese između robota i radne stanice B i operatera i radne stanice A biti neaktivne tj. u prekidu. To omogućuje operateru da sa sigurnošću može ući u radnu stanicu A, odraditi pripremu obrade na radnoj stanici A bez da ometa radnu stanicu B koja je u obradi, ali ako prekine sigurnosnu zavjesu između robota i radne stanice A, PLC će reagirati i robot će stati, ista stvar će se dogoditi ako prekine sigurnosnu zavjesu između operatera i radne stanice B. Ako se to dogodi, potrebno je resetirati sigurnosne zavjese i ponovno pokrenuti obradu. Robot će nastaviti obradu od onog položaja di je bio prekinut. Kada završi obradu, vraća se u početnu poziciju i ako bi ponovno pokrenuli obradu na tipkalo start bez promjena na controlleru, robot bi ponovno počeo obradu na radnoj stanici B. Obrnuti slučaj bi bio kod odabira radne stanice A.

Ovaj slučaj vrijedi samo kod odabira opcije:

- Započni obradu samo na stanici A i započni obradu samo na stanici B.

Kod odabira opcije „započni obradu na stanici A i B, kreni od stanice B“ robot kreće u obradu na radnu stanicu B i cijeli postupak rada će se odvijati isto kao kod odabira opcije „započni obradu samo na stanici B“. Jedina razlika je kod završetka ove opcije obrade kada operater ponovnim pritiskom na start započne obradu, robot će krenuti u obradu radne stanice A dok kod opcije „započni obradu samo na stanici B“ neće. Isto vrijedi za obrnuti slučaj.

Ovaj način upravljanja omogućuje operateru lakšu manipulaciju robotom, lakše organiziranje posla i najbitnije, povećanje proizvodnje uz smanjenje vremena.

Npr. Ako operater ima zadatak odraditi dvije vrste obloge tokom smjene, zašto bi koristio samo jednu radnu stanicu i radio zamjenu negativa za svaku oblogu, ako može paralelno raditi dvije vrste obloge na dvije stanice.



## 4. PRIPREMA CAD MODELA I CAM PROGRAMA

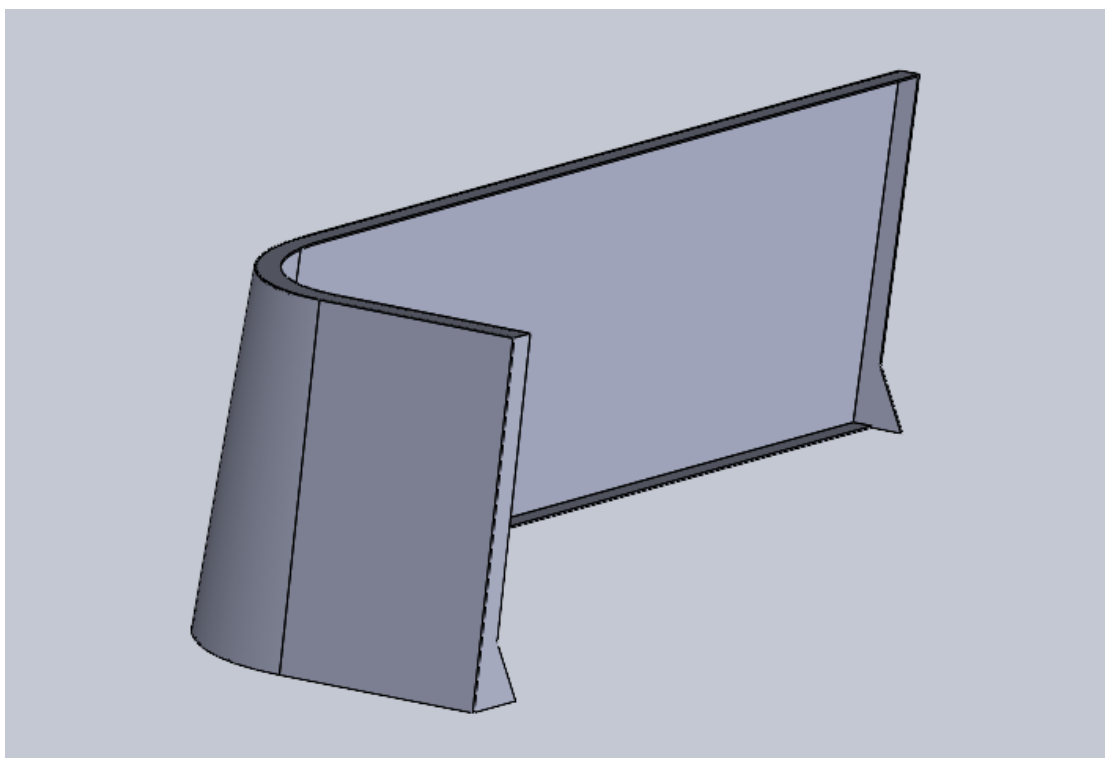
### 4.1. SolidWorks model

SolidWorks je robna marka unutar tvrtke Dassault Systèmes koja razvija i prodaje računalno potpomognuto projektiranje čvrstog modeliranja, računalno potpomognuto inženjerstvo, 3D CAD dizajn i softver za suradnju, analizu i upravljanje podacima o proizvodu [18].

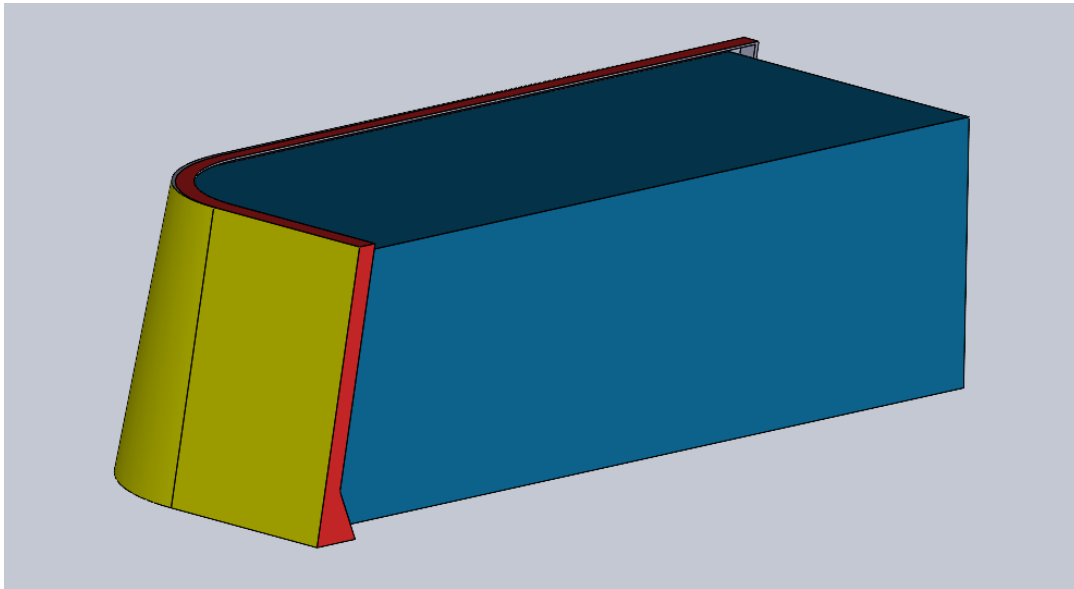
Do 2023. godine približno 7 milijuna inženjera i dizajnera koristilo je softver SolidWorks za izradu 2D i 3D inženjerskih crteža i naprednih 3D modela spremnih za proizvodnju.

#### Priprema modela

Firma Aquaestil ima svaku kadu u obliku 3D modela koju programeri dalje modificiraju tj. pojednostave koliko je god moguće. Iz 3D modela kade se izdvoji samo obloga (obloga je dio kade) jer je jedino ona potrebna za izradu programa.



Slika 26. Wall Corner L obloga.



**Slika 27. Modificirani oblik Wall Corner L obloge.**

Slika 27. prikazuje modificirani oblik obloge koji je spreman za programiranje. Bitne stvari kod modificiranja su vanjski rubovi akrila i unutarnji rubovi poliestera koji moraju biti točnih dimenzija i kontinuiranih linija. Akril je označen žuto, poliester crveno. Plavi dio obloge je unutarnji dio obloge koji je uvučen i zadebljan prema van, ali on u stvarnosti ne postoji. Plavi dio služi kao pomoć kod programiranja putanje robota, da ga nema robot bi detektirao prazninu, kao što u stvarnosti je i došlo bi do sudara tj. prolaska robota kroz oblogu.

## **4.2. SolidWorks – SprutCAM prijenos modela**

Veza između SolidWorks-a i SprutCAM-a je jedan klik. Uvjeti za prijenos CAD modela je da program SprutCAM-a mora biti pokrenut, odabrana određena robotska ćelija i slobodna licenca koja omogućuje pokretanje SprutCAM-a. Trenutno tvrtka Aquaestil posjeduje samo jednu licencu koja omogućuje programiranje samo jedne osobe.

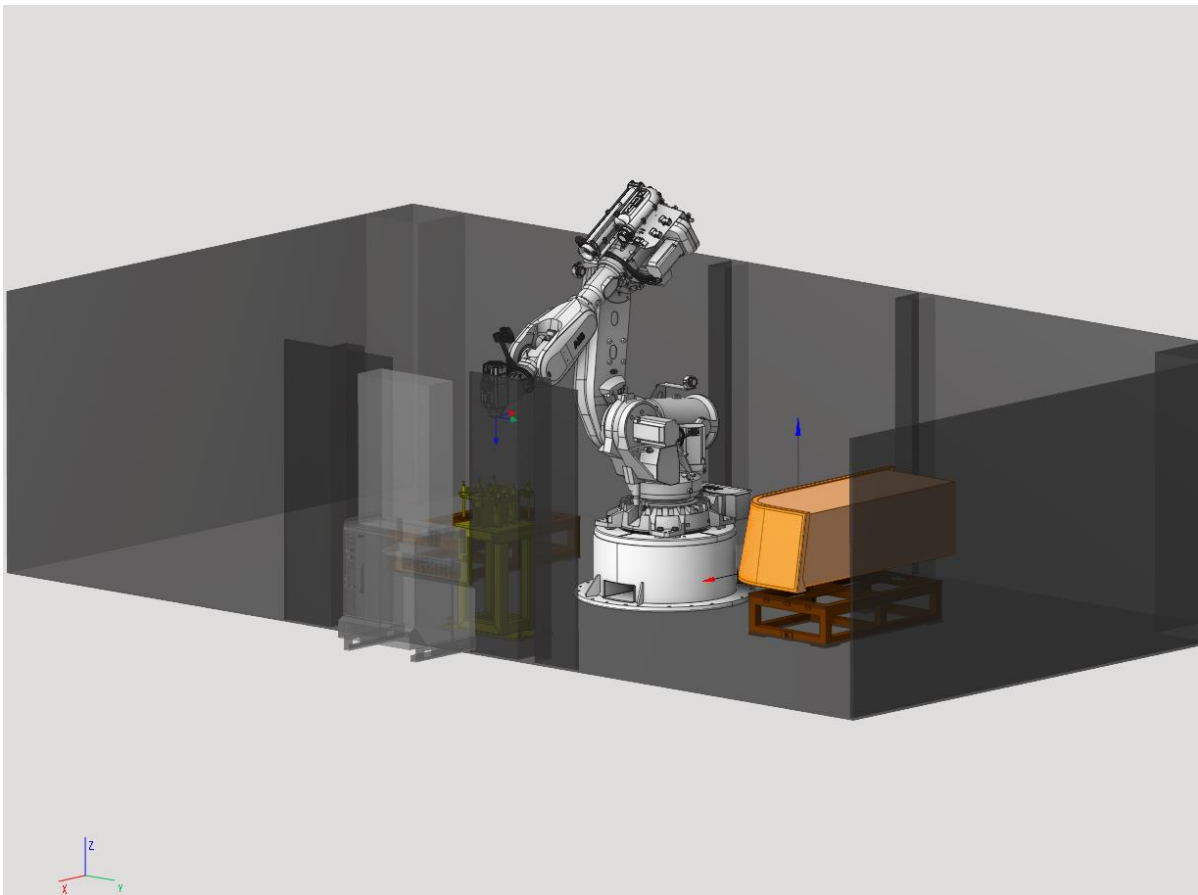
## **4.3. SprutCAM programiranje**

Programiranje obloga tj. robotsko obrezivanje/rezanje obloga je nastalo po uzoru na robotsko brušenje. Robotsko brušenje je bio prvi robotski projekt koji se razvio u suradnji sa tvrtkom KROKK, ujedno i prvi susret sa programom SprutCAM. Početci su bili teški, ali tvrtka KROKK na temelju naših istraživanja i testiranja, odradila je odličan posao oko postprocessora koji je zadovoljio naše potrebe i robotsko brušenje se pokazalo kao odlična investicija. Također robotsko obrezivanje/rezanje je bio zajednički projekt tvrtke Aquestil i KROKK.

SprutCAM je program visoke razine za računalno potpomognutu proizvodnju koji pruža izvan mrežne značajke za programiranje raznih robota, ali i CNC strojeva.

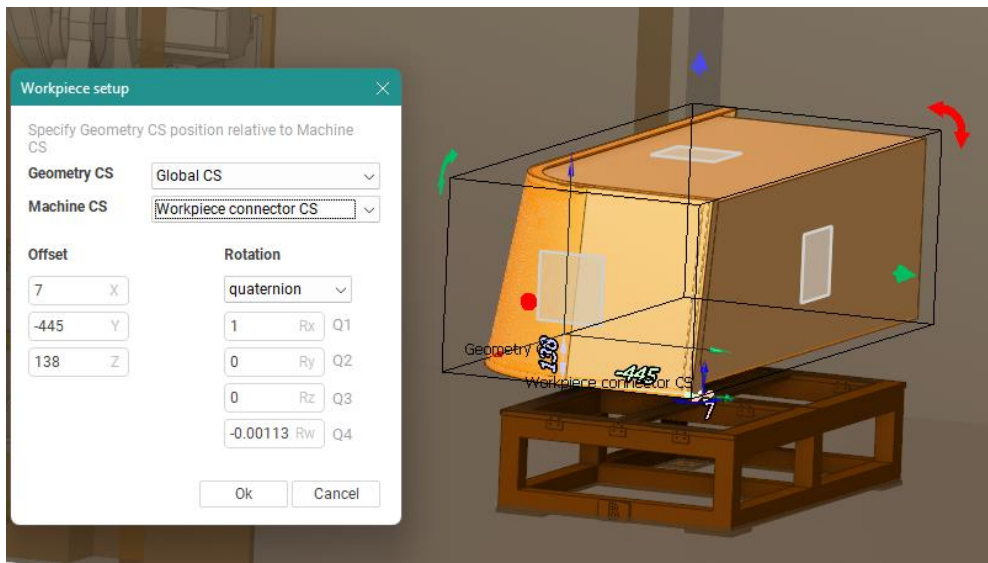
### Programski izgled robotske ćelije

Slika 29. prikazuje izgled robotske ćelije u programu SprutCAM koje je gotovo identična onoj stvarnoj, što i mora biti. Robotska ćelija je uvijek ista, a modeli obloga su različiti.



**Slika 28. Model ćelije robota i model Wall Corner L obloge u SprutCAM-u.**

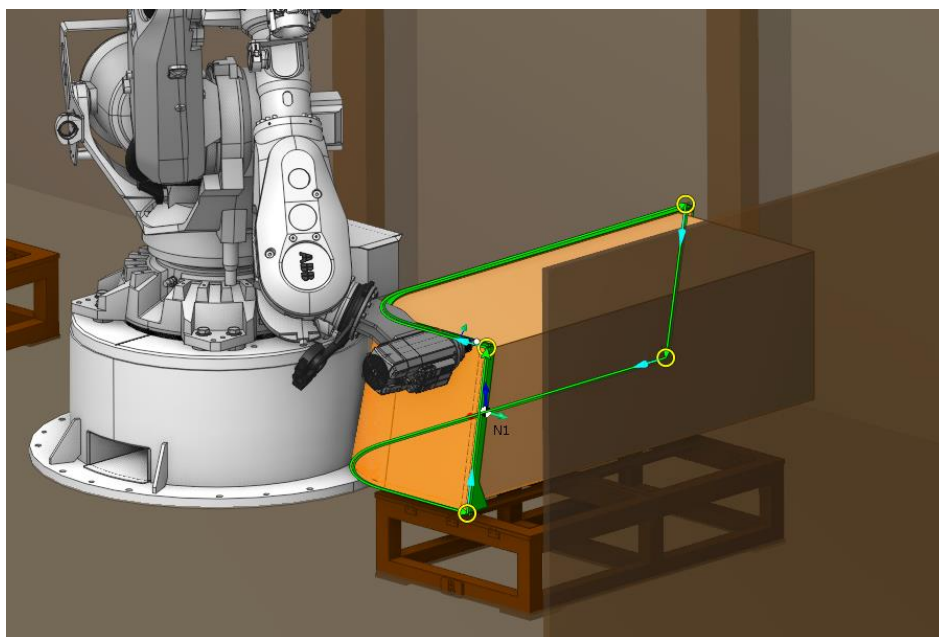
## Pozicioniranje



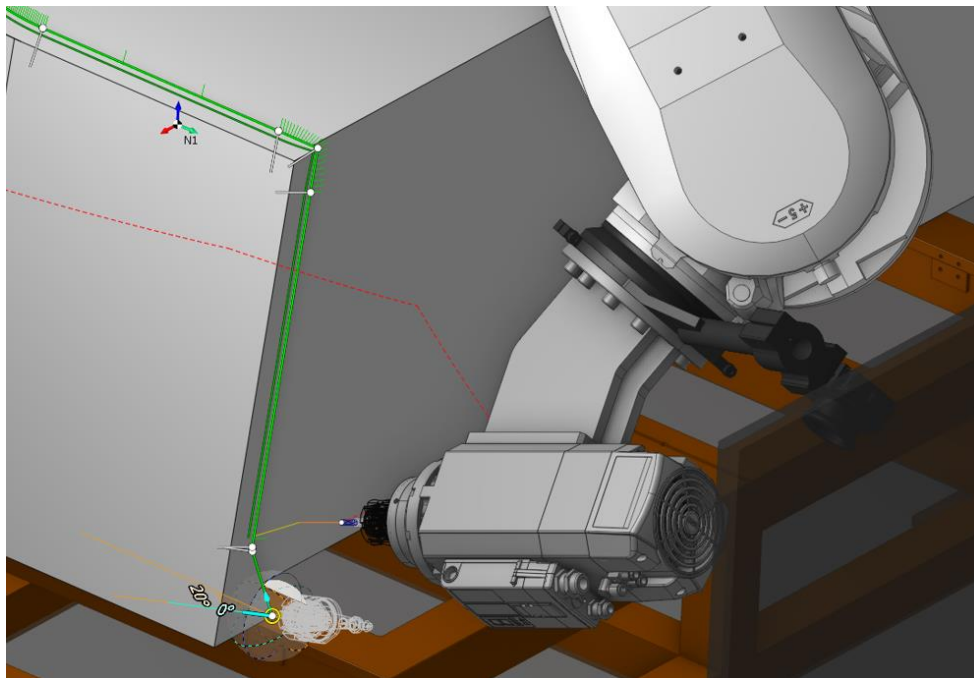
**Slika 29. Programska nul-točka.**

Nakon prijenosa CAD modela u CAM određuje se željena pozicija modela (Slika 30.). Odabir radne stanice (A ili B), zatim slijedi programsko pozicioniranje nul-točke koja se obavezno moramo prekontrolirati na licu mjesta prije same obrade.

## Odabir geometrije za obrezivanje/rezanje akrila



**Slika 30. Geometrija obrezivanja/rezanja akrila.**



**Slika 31. Geometrija obrezivanja/rezanja poliestera.**

Slika 31. i 32. prikazuju putanju i položaj alata u pojedinom dijelu obrade. Putanja alata je već unaprijed definirana u CAD modelu preko rubova obloge koja je odabrana u SprutCAM-u unutar 6D contouring operacije kao i način ulaska alata u obradu, dubinu proreza, kut obrade alata itd.

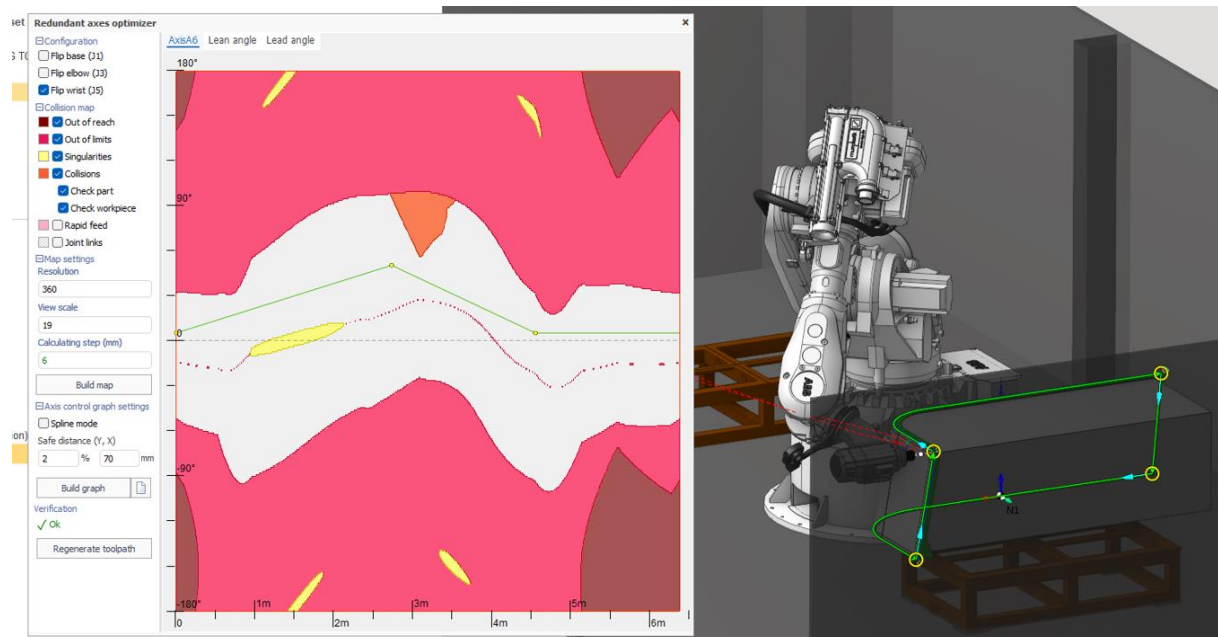
### **Axes map**

Jedna od najzanimljivijih opcija programiranja je AXES MAP.

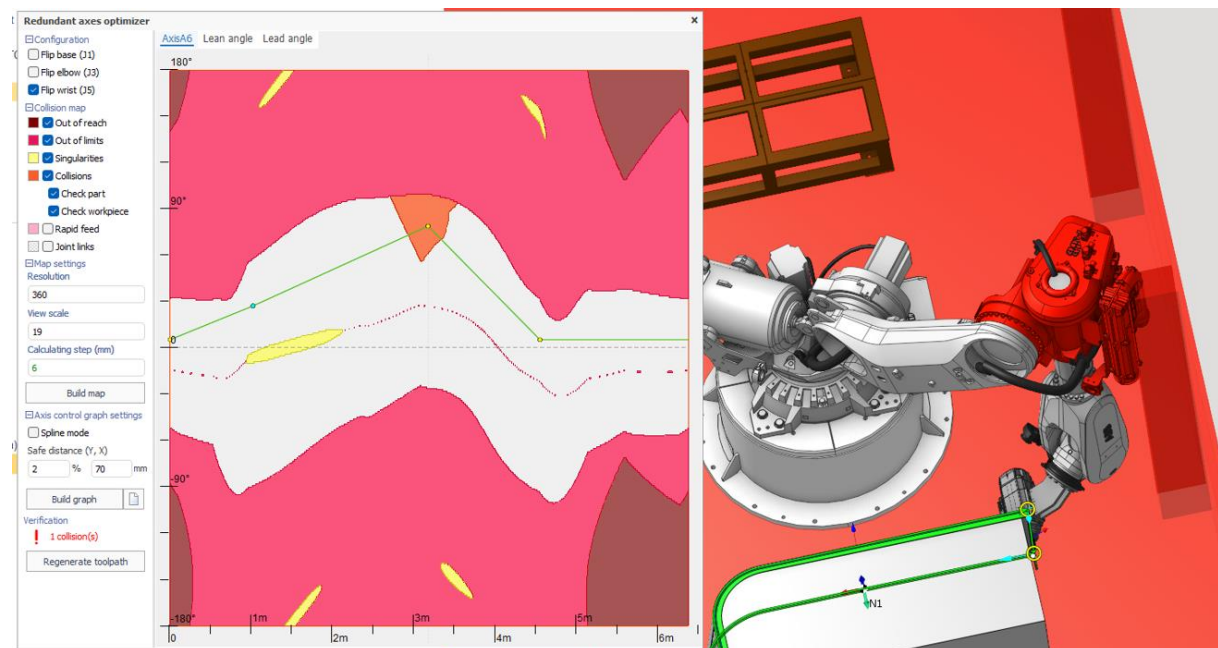
Axes map nudi detaljnu sliku limita robotskih osi, doseg i potencijalne sudare robota sa ćelijom, modelom, nekim objektom unutar ćelije ili sa samim sobom. To omogućuje izbjegavanje mogućih sudara određivanjem najboljeg položaja robota tijekom obrade pomoću pravaca ili krivulja unutar mape.

### **Značenje boja na mapi:**

- Crvena je limit robotskih osi,
- Žuta je singularnost,
- Narančasta je sudar robota sa ćelijom ili modelom,
- Smeđa je van dosega.



Slika 32. Axes map.



Slika 33. Detekcija sudara robota sa ćelijom.

## Alati za obradu

- Obrada akrila – jednoperno glodalo promjera 6 milimetara,
- Obrada poliestera – dvoperno glodalo promjera 6 milimetara.

Na temelju testiranja se pokazalo da jednoperno glodalo daje najbolje rezultate za obradu akrila, dok dvoperno za poliester.

## Parametri obrade

Feeds/Speeds		T#1: FI6 JEDNOPERNO GLODALO ZA AKRIL
Feeds/Speeds	Click to calculate	✓ ✗
> Spindle	24000 rev/min	
> Coolant	(Flood)	
--- Rapid feed	60000 mm/min	
> Work feed	5000 mm/min	
> Engage feed	50 %	
> Retract feed	50 %	
> Short link feed	50 %	
> Long link feed	100 %	
> Approach feed	50 %	
> Return feed	100 %	
> Approach from safe surface feed	Rapid	
> Return to safe surface feed	Rapid	
> Transition on safe feed	Rapid	

**Slika 34. Parametri obrade akrila.**

Svi prikazani parametri na slici 35. su dobiveni na temelju testiranja. Brzine ulaska i izlaska iz obrade su usporene na 50 posto što je pokazalo bolju obradu akrila, također i brzinu prelaska između manjih dijelova. Kod obrade poliestera svi parametri su isti osim brzine obrade (work feed, V) koja je manja zbog veće tvrdoće poliestera, 3000 mm/min.

## Generiranje koda

Prvo je odabir odgovarajućeg postprocessora, zatim lokacija gdje će nastati NC file i ime. Nastavak NC file-a je .MOD. NC file se prebacuje u robot preko programa RobotStudio.

## 5. UMJERAVANJE ILI KALIBRACIJA ALATA

Alat koji je istrošen, oštećen ili pukao potrebno je zamijeniti, a nakon zamjene obavezno umjeriti. Smisao umjeravanja ili kalibracije alata je točnost i preciznost obrade.



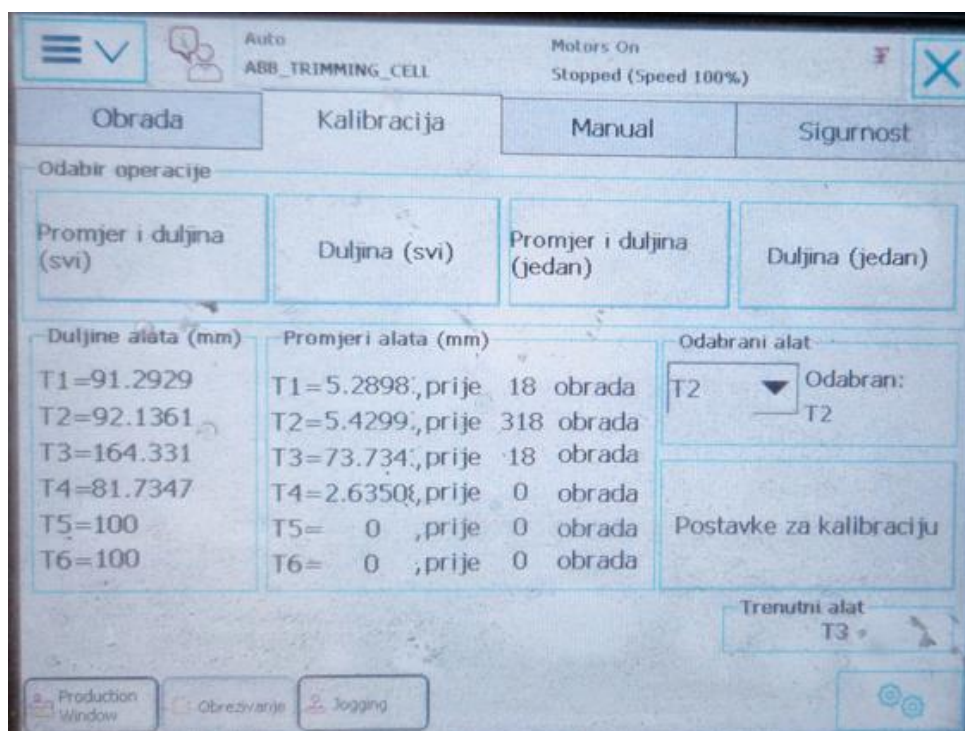
Slika 35. Umjeravanje alata

Umjeravanje alata odvija se na magazinu alata gdje je pričvršćen umjerivač, prikazano na slici 36. Umjeravanje alata je osmišljeno tako da operater u robotskom sučelju ima naznačeno koji se alat trenutno nalazi u „špindli“ robota s mogućnošću izbacivanja alata i odabira umjeravanja željenog alata. Također ima opcije:

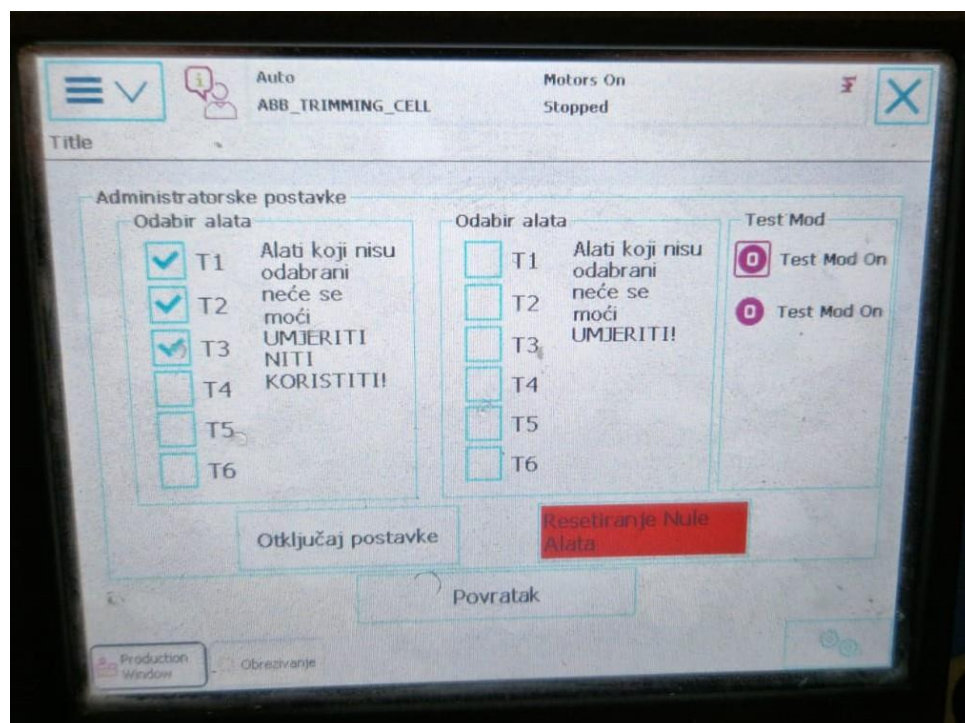
- Umjeravanje svih alata, promjer ( $d$ ) i duljina ( $L$ ),
- Umjeravanje svih alata, samo duljina ( $L$ ),
- Umjeravanje jednog alata, promjer ( $d$ ) i duljina ( $L$ ),
- Umjeravanje jednog alata, samo duljina ( $L$ ).

Podatci nakon umjeravanja svakog alata ostaju vidljivi u robotskom sučelju i ažuriraju se nakon svakog novog umjeravanja. Sučelje ima i brojač koji broji koliko završenih ciklusa obrade ima alat. To omogućuje uz vizualnu kontrolu i programsku kontrolu da li je alat istrošen i spreman za zamjenu. Prikazano na slici 37.





Slika 36. Robotsko sučelje za umjeravanje alata.



Slika 37. Postavke sučelja za umjeravanje alata.

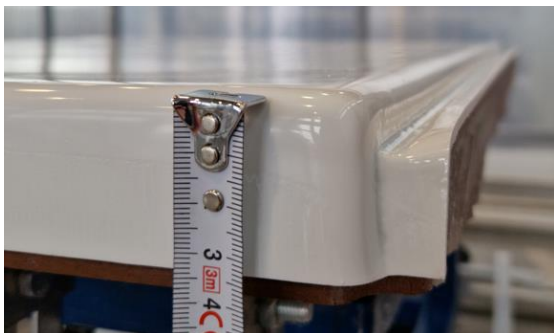
## 6. USPOREDBA ROBOTSKOG I RUČNOG OBREZIVANJA

Robotsko obrezivanje (Slika 38.):

- Vrijeme obrezivanja jedne obloge – 3 do 4 minute,
- Visoka točnost - unutar jednog milimetra,
- Visoka kvaliteta obreza - kontinuirana linija, ravni rez,
- Visoka produktivnost – do 60 obloga tokom jedne smjene,
- Rad bez pauze.

Ručno obrezivanje (Slika 39.):

- Vrijeme obrezivanja jedne obloge – do 10 minuta,
- Točnost i kvaliteta ovise o radniku,
- Potrebno osposobljavanje radnika za rad,
- Potrebna pauza,
- Produktivnost – ovisi o radniku.



**Slika 38. Robotsko obrezivanje.**



**Slika 39. Ručno obrezivanje**

### Mana CNC obrade s jednim danim stolom

Također u tvornici koristi se CNC obrezivanje/rezanje ali sa jednim radim stolom.

Mana tog načina proizvodnje je pauza CNC stroja dok radnik radi pripremu nove neobrezane obloge za obradu. Ujedno to je i glavna mana koja je dovela do ideje robotskog obrezivanja/rezanja sa dva radna stola.

## 6.1. Prednost i nedostaci robotskog obrezivanja/rezanja

Prednosti:

- **Produktivnost** – konstantan rad u odnosu na čovjeka kojemu je potrebna pauza. Rijetki kvarovi uz redoviti servis, što povećava produktivnost.
- **Sigurnost** – Roboti udaljavaju čovjeka iz opasnih okruženja rada kao što opasni i otrovni materijali te smanjuje rizik od ozljeda podizanjem teških tereta i naglih pokreta.
- **Kvaliteta** – Roboti nam daju kvalitetan i vrlo precizan proizvod koji povećava kvalitetu proizvodnje.
- **Efikasnost** – Roboti su brži i sposobniji odrađivati stvari bolje nego čovjek u raznim zadacima.
- **Isplativost** – gledano na dugoročni period, roboti su isplativiji od čovjeka, što utječe na cijenu proizvoda.

Nedostaci:

- Veliki troškovi ulaganja u samom početku,
- Skupi popravci kod kvara i zastoje proizvodnje.

## 6.2. Cilj robotskog obrezivanja/rezanja sa dva radna stola

Cilj uvođenja robotskog obrezivanja/rezanja sa dva stola je ubrzanje te povećanje proizvodnje naspram CNC i ručnog obrezivanja/rezanja.

Brzina CNC obrezivanja akrila koja je iznosila 3000 mm/min na robotu je povećana na 5000 mm/min što je dalo istu kvalitetu, ali uz manje vrijeme obrade. Kod ručnog obrezivanja/rezanja oslobođena su dva radnika za neku drugu vrstu posla jer se gotovo i ne koristi više. Također s robotom je količina proizvodnje na dnevnoj bazi povećana za **50%** uz isti utrošak sredstava, te nema više utroška vremena na pauzama i pripremama nakon obrade zbog konstantnog rada tj. mogućnosti pripreme jedne radne jedinice dok je druga u obradi.

## **7. ZAKLJUČAK**

Automatizacija nudi mnoštvo potencijala. Također, proces automatizacije se vidi kao rješenje brojnih problema jer omogućuje optimizaciju radnih procesa, kvalitetnije izvođenje procesa te smanjenje troškova i grešaka nastalih ljudskim radom. Prednosti koje automatizacija donosi treba iskoristiti i raditi na njihovom poboljšanju kako bi nam poslovanje bilo prije svega efikasnije, isplativije i sa što manje pogrešaka. Tehnologija je nastala od čovjeka i čovjeku služi kao alat koji olakšava poslovne i društvene procese.

Uvođenje ABB robotskog obrezivanja sa dvije radne stanice smanjilo je vrijeme obrade i udvostručilo proizvodnju.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

## LITERATURA

- [1] <https://www.alamy.com/stock-photo-industry-vehicle-industry-assembly-line-in-opel-factory-bodywork-1960s-24100661.html> , 20.07.2023.
- [2] <https://rusoboz.ru/hr/desyat-robotov-iz-proshlyh-vekov-robot-leonardo-da-vinchi-leonardo-da-vinchi/> , 20.07.2023.
- [3] [https://robotics.kawasaki.com/en1/anniversary/history/history\\_01.html](https://robotics.kawasaki.com/en1/anniversary/history/history_01.html) , 20.07.2023.
- [4] <https://ilonagojak.wixsite.com/website/roboti-kroz-povijest> , 20.07.2023.
- [5] <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A2480/datastream/PDF/view> , 27.7.2023.
- [6] <https://www.directindustry.com/prod/abb-robotics/product-30265-1825679.html> , 6.8.2023.
- [7] <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201303672.pdf> , 6.8.2023.
- [8] <https://www.robotmaster.com/en/applications/trimming> , 6.8.2023.
- [9] Postupci završne obrade, Prof.dr.sc. D.Ciglar, predavanje PDF , 6.8.2023.
- [10] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/ricent:24/preview> , 6.8.2023.
- [11] <http://ss-industrijska-strojarska-zg.skole.hr/upload/ss-industrijska-strojarska-zg/multistatic/27/4.%20Rezni%20alati.pdf> , 6.8.2023.
- [12] <https://www.canadianmetalworking.com/canadianmetalworking/product/cuttingtools/isc-ar-heliquad-f90sd-12-indexable-milling-tools-carry-single-sided-square-inserts> , 10.9.2023.
- [13] <https://www.elposnaradi.cz/upinaci-hlava-iso30-er32/> , 10.9.2023.
- [14] <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-6700> , 20.9.2023.
- [15] <https://www.propluscorp.co.th/product/abb-robot-irb6700/> , 20.9.2023.
- [16] <https://www.linkedin.com/pulse/s7-1200f-distributed-safety-controller-profisafe-plant-jana-kocianova> , 20.9.2023.
- [17] <https://www.turbosquid.com/FullPreview/1860946> , 20.9.2023.
- [18] <https://www.3ds.com/products/solidworks> , 21.9.2023.