

Automatska robotska paletizacija u neuređenoj okolini

Babić, Helena

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:386912>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Helena Babić

Zagreb, 2022. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Tomislav Stipančić, dipl. ing.

Student:

Helena Babić

Zagreb, 2022. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru dr. sc. Tomislavu Stipančiću, dipl. ing. na pruženoj prilici i izdvojenom vremenu za kontinuirano praćenje rada.

Zahvaljujem asistentu Leonu Korenu, mag. ing. mech. za praktične savjete koji su mi olakšali proces izrade ovog završnog rada.

Hvala prijateljima i kolegama na podršci.

I najveće hvala mojoj obitelji na potpori i strpljenju pruženom tijekom studija.

Helena Babić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur broj: 15 - 1703 - 22 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Helena Babić**

JMBAG: **0035223269**

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Automatska robotska paletizacija u neuređenoj okolini**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Automatic robotic palletization in an unstructured environment**

Opis zadatka:

Automatska montaža predmeta od interesa može biti ostvarena koristeći fleksibilne montažne jedinice koje mogu uključivati programabilne sustave, senzore, radne alate i prihvate, komponente računalnih mreža, komponente pneumatskih ili hidrauličkih sustava i sl.

U radu je potrebno:

- izraditi programsku podršku za šestoosni industrijski robot koja omogućuje robotsku paletizaciju predmeta u sklopu neuređene okoline. Akvizicija informacija koje opisuju predmete rukovanja (koordinate i orijentacija predmeta) treba biti temeljena na 2D vizijskom sustavu koji je povezan s robotom,
- dizajnirati i izraditi konstrukcijsko rješenje za prihvatač pneumatske robotske hvataljke. Idejno rješenje treba biti modelirano koristeći programsku podršku za izradu 3D modela. Konstrukcijsko rješenje je potrebno izraditi koristeći 3D printer.

Razvijeno rješenje robotske paletizacije potrebno je eksperimentalno evaluirati u sklopu Laboratorija za projektiranje izradbenih i montažnih sustava. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

9. 5. 2022.

Datum predaje rada:

2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.,
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.,
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Tomislav Stipančić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
1.1. O 3D pisaču.....	1
1.2. Robotika	2
1.3. Razvoj paletizacije	2
2. PRINCIP RADA 3D PISAČA	4
2.1. Oblikovanje geometrije.....	4
2.2. G-kod	6
2.3. Ispis na 3D pisaču	6
2.4. Primjena	7
3. IZRADA 3D MODELA	8
3.1. Modeliranje dijelova u Onshape-u	8
3.2. 3D ispis gotovih modela	10
4. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE	14
4.1. Tehničke karakteristike robota Fanuc LR Mate 200iC	14
4.2. Upravljačka jedinica R-30iA	16
4.3. Načini programiranja	16
4.3.1. Izravno programiranje.....	16
4.3.2. Neizravno programiranje	17
5. KALIBRACIJA KOMPONENTI ROBOTA	18
5.1. Kalibracija kamere	18
5.2. Kalibracija alata	19
5.3. Kalibracija korisničkog koordinatnog sustava	20
6. PALETIZACIJA.....	21
7. ZAKLJUČAK.....	22
LITERATURA.....	23
PRILOZI.....	24

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prvi 3D ispisan dio	1
Slika 2.	Euro-paleta s pripadajućim dimenzijama u milimetrima	2
Slika 3.	Automatiziran proces paletizacije	3
Slika 4.	Usporedba sučelja u programima SolidWorks i Inventor	5
Slika 5.	Usporedba CAD modela i STL datoteke	5
Slika 6.	Držać hvataljke	8
Slika 7.	Prst hvataljke	9
Slika 8.	Nastavak	9
Slika 9.	Predmet rada	10
Slika 10.	Model ubačen u PrusaSlicer	10
Slika 11.	Korišteni fakultetski 3D pisac	11
Slika 12.	Početak ispisa držača hvataljke	11
Slika 13.	Gotov model držača hvataljke	12
Slika 14.	Hvataljka	12
Slika 15.	Gotov model nastavka za hvataljku	13
Slika 16.	Gotov model predmeta rada	13
Slika 17.	Fanuc LR Mate 200iC	14
Slika 18.	Radni prostor robota	15
Slika 19.	Upravljačka jedinica	16
Slika 20.	Privjesak za učenje	16
Slika 21.	Primjer rada u programu Roboguide	17
Slika 22.	Kalibracija kamere u sustavu iRVision	18
Slika 23.	Ugrađeni koordinatni sustav	19
Slika 24.	Kalibracija alata	19
Slika 25.	Korišten koordinatni sustav prikazan na paleti	20

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Tehničke karakteristike	15
------------	-------------------------------	----

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

08-22-001	Hvataljka
08-22-002	Hvataljka nastavak
08-22-003	Predmet rada
08-22-004	Držač

SAŽETAK

Tema ovog rada je izrada programske podrške za industrijskog robota. Također, izrađeno je konstrukcijsko rješenje za prihvat i predmet rada te je bilo potrebno izraditi ih na 3D pisaču. Provedene su kalibracija kamere, alata i korisničkog koordinatnog sustava. Svi predmeti rada istih su dimenzija i oblika, a robot ih svojim vizijskim sustavom prepoznaje i odlučuje kojim redom će ih paletizirati. Na paleti je zadana prva točka, a sljedeće točke određene su tako da se na svaku prethodnu koordinatu doda određena udaljenost. Program će se izvoditi dokle god kamera na paleti detektira zadane obrasce. Cijeli program pisan je ručno u laboratoriju pomoću privjeska za učenje.

Ključne riječi: 3D ispis, Fanuc, paletizacija

SUMMARY

The topic of this paper is the creation of software support for an industrial robot. Also, a structural solution for the reception and object of work was created and made on a 3D printer. Camera, tool and user coordinate system calibrations were performed. All work items have the same dimensions and shape, and the robot recognizes them with its vision system and decides in which order to palletize them. The first point on the palette is given, and the following points are determined by adding a certain distance to each previous coordinate. The program will run as long as the camera on the pallet detects the given patterns. The entire program was written by hand in the lab using a teach pendant.

Key words: 3D printing, Fanuc, palletization

1. UVOD

1.1. O 3D pisaču

3D ispis [4][5] jest izrada trodimenzionalnog predmeta iz CAD modela na način da se materijal dodaje sloj po sloj polako gradeći gotov predmet. Murray Leinster u svojoj je kratkoj priči *Things Pass By* 1945. godine prvi govorio o konceptu i postupku 3D ispisa. No, tek je četrdesetak godina kasnije prvi poznati 3D pisac izumio Charles W. Hull te je istovremeno ispisan prvi 3D izradak.



Slika 1. Prvi 3D ispisan dio

3D pisačima za komercijalnu upotrebu cijena se kreće od desetaka tisuća pa do nekoliko milijuna kuna. Naime, visoka cijena uređaja nagnala je zainteresirane pojedince da istražuju o ovom području te popularizirala njegovu izradu kod kuće. To je jedan od glavnih razloga jako brzog razvoja ove tehnologije. Postoje čak web stranice na kojima ljudi objavljuju svoje radove s ciljem razmjene iskustva i znanja s drugima, tzv. „open source“ projekti koji omogućuju komentiranje i korištenje tuđih radova bez povrede autorskih prava. U 21. stoljeću ističu neki patentni povezani sa 3D ispisom. Tako je 2009. godine istekao patent za ispis Fused Deposition Modeling (FDM) te je cijena takvih pisača pala za 90 posto i novi proizvođači su 3D ispis učinili dostupnijim. [11]

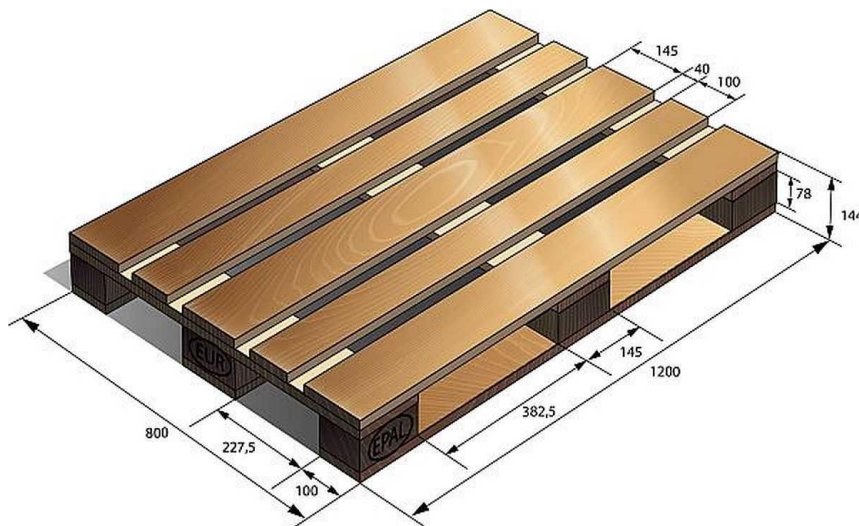
1.2. Robotika

Robotika [7] jest interdisciplinarno područje koje se bavi projektiranjem, konstruiranjem, upravljanjem i primjenom robota, a sastoji se od mehanike, elektrotehnike i pripadajućih softvera. Njezina primarna zadaća je pomoći ljudima u obavljanju nekih rutinskih, ponavljajućih ili pak opasnih radnji. Danas se robotika razgranala pa se također radi na humanoidnim robotima koji uspješno sudjeluju u ljudskim interakcijama. No, kako se u ovom radu bavimo paletizacijom, robotiku ćemo promatrati iz kuta industrijske primjene.

1.3. Razvoj paletizacije

Paletizacija [2] je postupak stavljanja proizvoda na paletu za otpremu ili skladištenje, tj. način skladištenja i transporta robe pomoću paleta. U planiranju procesa teži se slaganju proizvoda prema uzorku koji maksimizira količinu proizvoda, a da pritom sve ostane stabilno i očuvano. Najpoznatija paleta je „Euro-paleta“ čija je masa 20 – 24 kg, a nosivost joj je do 1500 kg.

Dimenzije su joj 1200x800x144 mm što je izrazito povoljno za manevriranje kroz uže prolaze skladišta. U standardne palete ubrajaju se još sjevernoamerička, australska i azijska.



Slika 2. Euro-paleta s pripadajućim dimenzijama u milimetrima

Dugo vremena su ljudi slagali predmete na palete, no kao što smo već rekli, čovjek uvijek teži olakšati si barem neke banalne radnje, a razvojem robotike i pripadajućih softvera uspio je automatizirati proces paletizacije. To ne znači da je robotska paletizacija potpuno neovisna o čovjeku – on i dalje treba planirati i kontrolirati proces, no fizički posao obavlja robot.



Slika 3. Automatiziran proces paletizacije

2. PRINCIP RADA 3D PISAČA

3D ispis ili aditivna proizvodnja [6] je proces izrade predmeta iz digitalnog modela. U principu je to suprotan način proizvodnje od CNC stroja s ciljem dobivanja iste stvari. CNC stroj predmet izrađuje različitim obradnim tehnologijama skidanjem i obradom materijala sa sirovca,. 3D pisač kreće iz nule te postepeno dodaje sloj po sloj materijala dok se ne dobije željeni predmet. U proizvodnji prednost ipak ima 3D pisač zbog toga što su gubici materijala gotovo nikakvi dok je kod CNC stroja sav odstranjen materijal gubitak. Također, postupkom 3D ispisa moguće je izraditi složenije oblike i sklopove, nego što je to moguće klasičnim obradnim postupcima.

2.1. Oblikovanje geometrije

Modeliranje je proces matematičke reprezentacije neke trodimenzionalne površine objekta čiji se rezultat naziva 3D model. Danas je dostupan velik broj različitih programa za modeliranje za različita područja primjene. Većina ih je licenciranih, no neki od njih imaju edukacijske licence ili besplatne probne verzije, a također postoje oni potpuno besplatni sa ograničenim ili nepotpunim mogućnostima.

Navešćemo neke češće upotrebljavane programe:

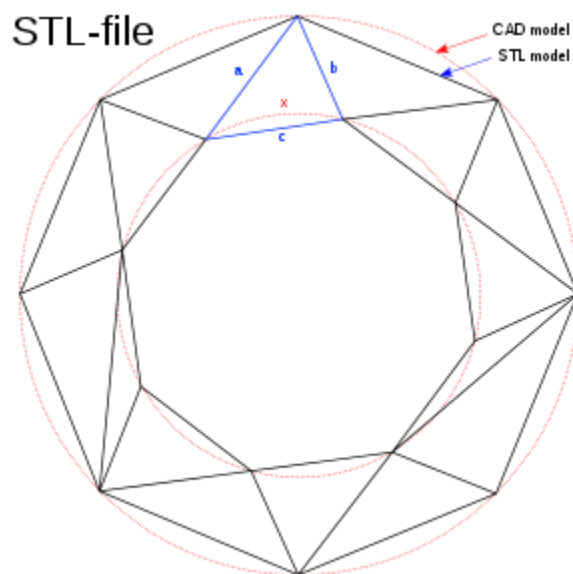
- Fusion 360
- Inventor
- SolidWorks
- Solid Edge
- CATIA
- ProE
- AutoCAD
- Creo
- Rhino

Svi programi za modeliranje imaju iste ili slične funkcije koje mogu imati različite nazive, ali većinom vrijedi da ako se usvoji znanje u jednom, relativno jednostavno nauče se koristiti i ostali programi.



Slika 4. Usporedba sučelja u programima SolidWorks i Inventor

Za 3D ispis konkretno je potreban STL format datoteke (eng. StereoLithography) kojeg većina današnjih programa podržava i omogućuje takav izvoz modela. STL format je ustvari trokutast prikaz 3D modela, tj. u CAD programu krug vidimo kao krug, dok u STL datoteci površina tog kruga ispunjena je nizom povezanih trokuta.



Slika 5. Usporedba CAD modela i STL datoteke

2.2. G-kod

G-kod [9] je programski jezik koji služi za komunikaciju čovjeka i stroja, odnosno govori stroju koju operaciju treba obaviti sljedeću. Sastoji se od naredbi koje opremi govore kojom brzinom se treba kretati, kakve položaje treba zauzeti te kada i kako koristiti alat. Konkretno, kod 3D pisača G-kod sadrži naredbe za pomicanje dijelova unutar stroja.

STL datoteku [8] nije potrebno ručno prevoditi u G-kod, za to postoje gotovi alati koji uveliko olakšavaju postupak.

Neki od njih su:

- CraftWare
- Slic3r
- Cura
- PrusaSlicer
- Repetier
- SuperSkien
- SkeinForge
- MakerBot Print
- PyCam

U programu možemo vidjeti vrijeme trajanja ispisa i potrebnu količinu materijala. Nakon što je datoteka pretvorena u G-kod, potrebno ju je prenijeti na pisač i kalibrirati ga da se pripremi za ispis. Datoteku koja sadržava G-kod može se prenijeti direktno s računala putem programa ili putem SD memorijske kartice. Teži način prijenosa jest putem USB-a jer tako računalo mora čitavo vrijeme biti priključeno na pisač te se upravlja pomoću računalnog programa, npr. Pronterface. Sljedeći korak je pokrenuti ispis.

2.3. Ispis na 3D pisaču

Svaki redak u G-kodu pisaču govori kako upravljati motorima, ekstruderom, ventilatorom i grijanom podlogom. Unutar ekstrudera je grijač koji topi materijal po potrebi, a ekstruder dobiva instrukcije kojom brzinom i kada treba dodavati talinu. Pisač zapravo pretvara trodimenzionalni crtež u mnogo dvodimenzionalnih poprečnih presjeka koje slaže na način da ekstruder istisne jedan sloj, pričekava da se talina ohladi pa na njega istiskuje sljedeći sloj. Najčešći materijali koje pisač koristi su termoplasti poput ABS-a, PLA i PETG.

2.4. Primjena

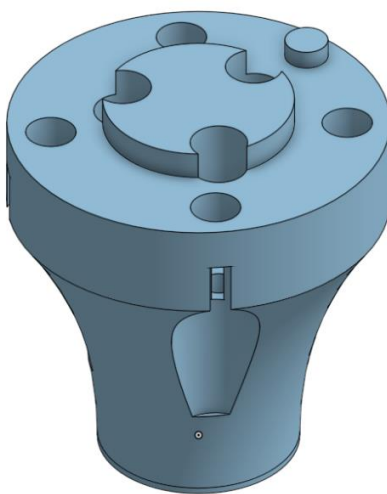
Rapid prototyping [10] naziv je za brzu izradu prototipova temeljenu na izradi 3D modela koji se ispisuje na 3D pisaču. To je uvelike olakšalo proizvodnju novih komponenti jer je izrada prototipova postala brza i relativno jednostavna te se na njima mogu provoditi potrebni testovi prije serijske proizvodnje. To omogućava uočavanje potencijalnih pogrešaka koje ne bismo primijetili na računalu. Velik problem s 3D ispisom bio je taj što je zahtijevao velike ulazne troškove pa nije bilo moguće učiniti ga masovno upotrebljavanom načinom proizvodnje. Zahvaljujući nedavnoj eksploziji 3D ispisa zbog povoljnijih uvjeta na tržištu, omogućen je brži izlazak novih proizvoda na tržište. Danas postoje i tvrtke koje se bave 3D ispisom te ga nude kao uslugu kupcima, bilo da se radi o jednom komadu ili čitavoj seriji. Napredak u tehnologiji omogućio je uvođenje materijala koji su prikladni za konačnu proizvodnju poput ABS-a, nylon-a, TPU-a te je na taj način moguće proizvesti gotovu, odmah upotrebljivu komponentu. To obećava jeftiniju proizvodnju malog broja dijelova. [12] Ako postoji potreba za ispisom u više boja, postoje pisači koji koriste isti materijal u različitim bojama. Neke komponente zahtijevaju korištenje više različitih materijala. Takav ispis bit će brz ako se koristi pisač s više ekstrudera, u suprotnom je proces spor jer se materijal u jednom ekstruderu mora konstantno mijenjati. Ovakav način ispisa omogućava izbjegavanje naknadnog slaganja, sve je ispisano u jednom komadu i nema potrebe za povezivanjem dijelova.

3. IZRADA 3D MODELA

Za potrebe izrade ovog završnog rada bilo je potrebno modelirati četiri dijela: hvataljku, nastavak, držač hvataljke te predmet rada. Program koji je odabran jest Onshape. Onshape je online CAD software koji ima besplatnu studentsku licencu. Razlog odabira jest upravo taj što je online, ne ovisi o performansama računala i ne zauzima mjesto te se sve sprema u njegovom Cloudu i po potrebi izvozi u jednom od oblika.

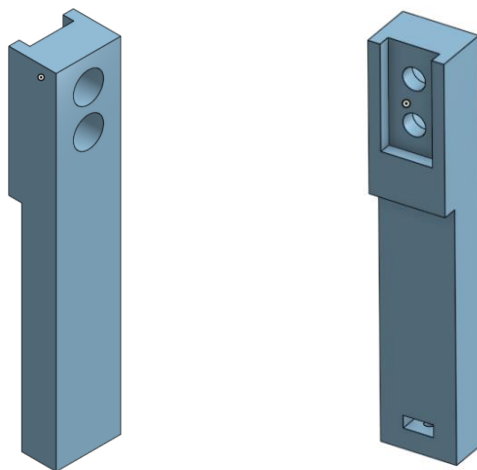
3.1. Modeliranje dijelova u Onshape-u

Dio koji je prvi modeliran jest držač za hvataljku. Konstrukcija prethodnog držača u laboratoriju bila je preslaba za hvataljku i uslijed opterećenja držač bi puknuo pa je ovaj put on konstruiran sa zaobljenim ojačanjem. Najprije je izmjerena prihvata na robotu te je nakon toga držač modeliran u programu.

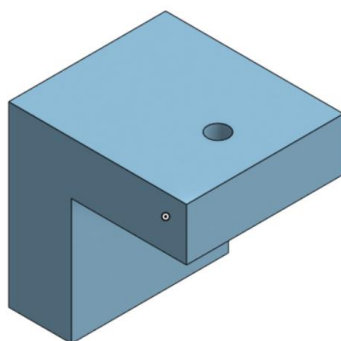


Slika 6. Držač hvataljke

Sljedeći dio bili su prsti za hvataljku. Problem u laboratoriju bio je to što uobičajena hvataljka nije prilagođena za prihvrat svakog predmeta. Iz tog razloga hvataljka je izrađena u dva dijela, prvi dio prsti koji se pričvrste na konstrukciju, a drugi je nastavak koji se može skidati i mijenjati ovisno o konstrukciji i zahtjevima predmeta rada. Prvi dio pri dnu ima šupljinu predviđenu za ubacivanje matice, a zamišljeno je na način da vijak s donje strane prolazi kroz nastavak pa kroz hvataljku gdje se uvije u maticu i tako sve ostane čvrsto povezano.

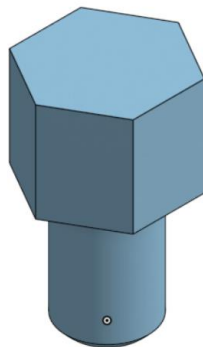


Slika 7. Prst hvataljke



Slika 8. Nastavak

Posljednji modelirani dio je predmet rada. Predmet je pojednostavljen sa ravnim plohamo kako bi ga hvataljka što lakše prihvatila.

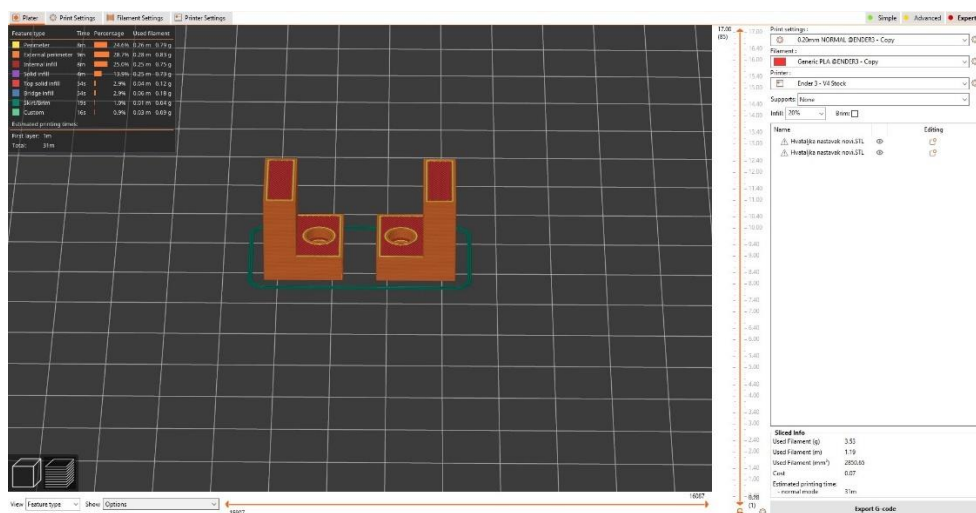


Slika 9. Predmet rada

Tehnička dokumentacija ubačena je kao Prilog na kraju dokumenta.

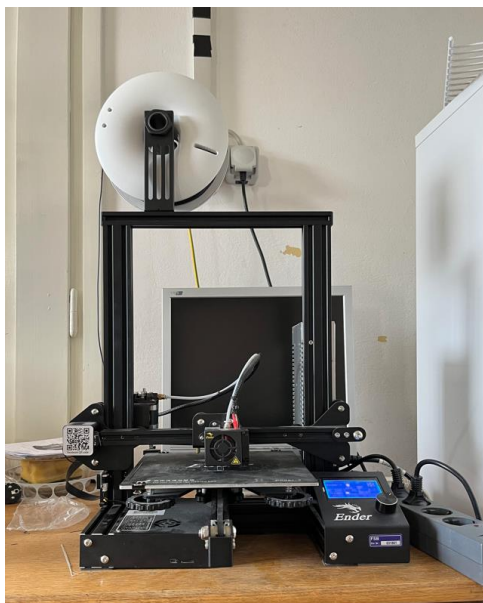
3.2. 3D ispis gotovih modela

Kad su dijelovi završeni i provjereni, kreće se na pripremu za ispis. Kao što je spomenuto u prijašnjim poglavljima, sljedeći korak jest izvoz u obliku STL datoteke i to se ubacuje u neki od slice programa, konkretno korišten je program PrusaSlicer.



Slika 10. Model ubačen u PrusaSlicer

Time je dobiven G-kod potreban za 3D pisac. Potrebno je još to nekako prebaciti na pisac, a to je učinjeno putem SD memorijske kartice te je pokrenut postupak ispisa. Komadi su ispisani od polimera PLA.



Slika 11. Korišteni fakultetski 3D pisac



Slika 12. Početak ispisa držača hvataljke



Slika 13. Gotov model držača hvataljke



Slika 14. Hvataljka



Slika 15. Nastavak hvataljke

Nakon ispisa držača hvataljke, prstiju i nastavaka, preostaje ih pričvrstiti na robotsku ruku.



Slika 15. Gotov model nastavka za hvataljku

Tijekom ispisa predmeta rada došlo je do blokade pisača. Naime, rastaljeni materijal kojeg mlaznica ispušta stvrdnuo se i time začepio mlaznicu. To se dogodilo jer je u jednom trenutku nastao propuh u prostoriji te je pala temperatura taljevine što joj je promijenilo agregatno stanje i izazvalo začepljenje. Naposljetku je taj problem riješen te je ispisano šest komada.



Slika 16. Gotov model predmeta rada

4. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

4.1. Tehničke karakteristike robota Fanuc LR Mate 200iC

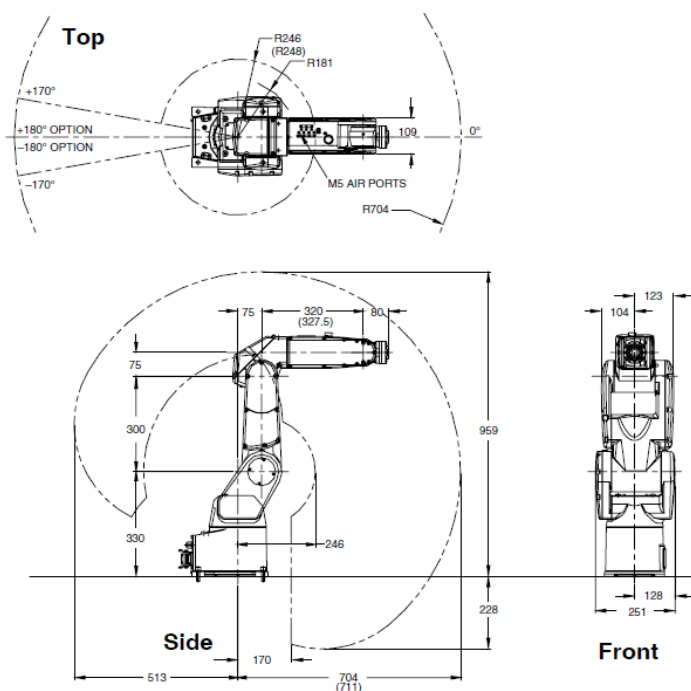
Fanuc LR Mate 200iC [1] je električni robot koji radi na servo pogon i namijenjen je da stoji na radnom stolu. Pogodan je za industrijske svrhe. To je robot sa šest osi rotacije i težine 28 kg. Nosivost mu je do 5 kg, a prostor rada obuhvaća 704 mm što je idealno za paletizaciju lakših predmeta, elektrolučno zavarivanje, doziranje i točkasto zavarivanje. Ponovljivost ovog robota kod maksimalnog opterećenja i pri punoj brzini u cijelom radnom području iznosi $\pm 0,02$ mm. Robot se također može umrežavati putem interneta, a programski jezik koji koristi jest Karel. Karel [3] je bazičan programski jezik koji se koristi za upravljanje robotom koji se nalazi u okolini sastavljenoj od mreže ulica i avenija. Program razumije pet naredbi: move, turnoff, turnLeft, pickBeeper i putBeeper. Neke naprednije zahtjeve moguće je kreirati naredbama if i while.

LR Mate 200iC Isometric



Slika 17. Fanuc LR Mate 200iC

Sljedeća slika prikazuje radne opsege robota, a u Tablici 1 dane su točne karakteristike robota preuzete sa službene Fanuc stranice.



Slika 18. Radni prostor robota

Broj osi	6	
Nosivost zglobov (kg)	5	
Doseg (mm)	704	
Ponovljivost (mm)	±0,02	
Težina (kg)	27	
Opseg pokreta (stupanj)	J1	340
	J2	200
	J3	388
	J4	380
	J5	240
	J6	720
Brzina pokreta (stupanj/sekunda)	J1	350
	J2	350
	J3	400
	J4	450
	J5	450
	J6	720

Tablica 1. Tehničke karakteristike

4.2. Upravljačka jedinica R-30iA

Fanuc LR Mate 200iC [1] ima pripadajuću upravljačku jedinicu R-30iA Mate bez koje se ne bi mogao pokretati.



Slika 19. Upravljačka jedinica

4.3. Načini programiranja

4.3.1. Izravno programiranje

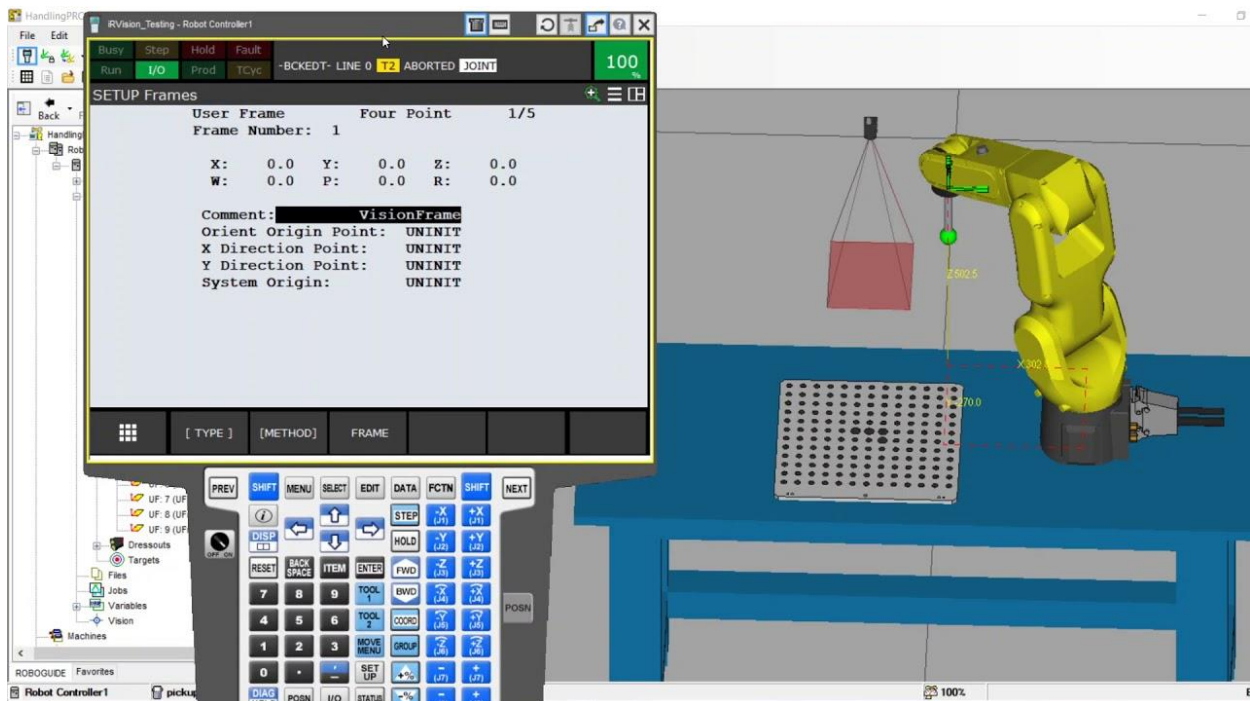
Svaki robot uz upravljačku jedinicu dolazi s pripadajućim privjeskom za učenje pomoću kojeg možemo programirati robota. On je potreban za pokretanje programa i uvelike olakšava postupak. Sadrži sve funkcije dostupne kod programiranja putem računala. U nastavku su pomoću slike objašnjene funkcije tipki na privjesku za učenje.



Slika 20. Privjesak za učenje

4.3.2. Neizravno programiranje

Robota je moguće programirati i neizravnim putem, pomoću programa Roboguide. U tom slučaju programski kod potrebno je prenijeti na robota spajajući se na njegovu mrežu. U programu imamo vizualiziran privjesak za učenje sa svim istim funkcijama kao u stvarnosti pa je sam postupak programiranja identičan. To je možda praktičniji način s obzirom da se posao može obavljati s neke druge lokacije dok izravnim programiranjem moramo biti u blizini robota.

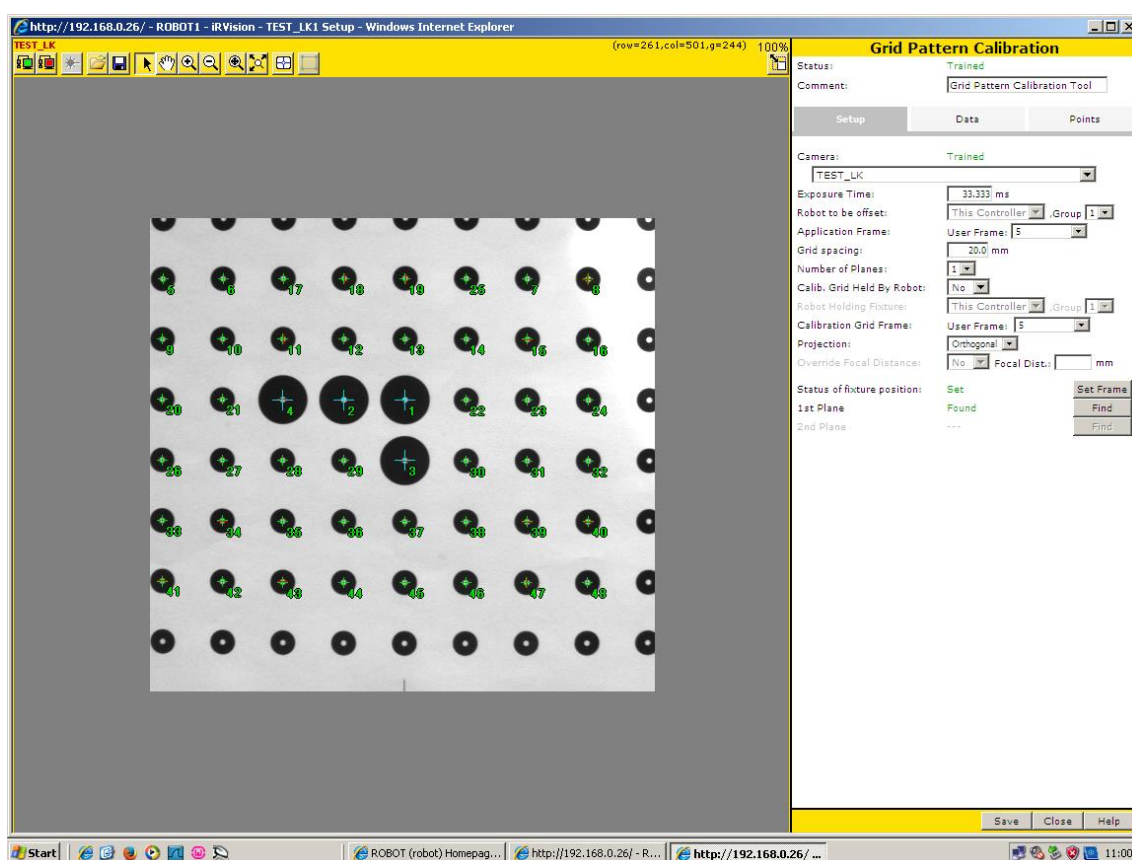


Slika 21. Primjer rada u programu Roboguide

5. KALIBRACIJA KOMPONENTI ROBOTA

5.1. Kalibracija kamere

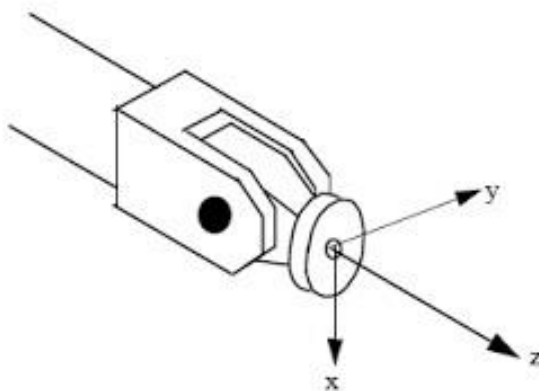
Postupak kalibracije kamere izvodi se radi povezivanja koordinatnog sustava kamere i robota. Kamera okolinu definira pikselima te na neki način to moramo pretvoriti u milimetre. Potrebna nam je kalibracijska mreža na kojoj su četiri točke veće od ostalih te za njih kamera zna koliko su udaljene u pikselima i milimetrima. Kamera skenira središta točaka i udaljenosti implementira na svoju snimljenu okolinu. Zadnje što radimo jest definicija predmeta rada kako bi kamera znala kakve obrasce traži prilikom svakog skeniranja.



Slika 22. Kalibracija kamere u sustavu iRVision

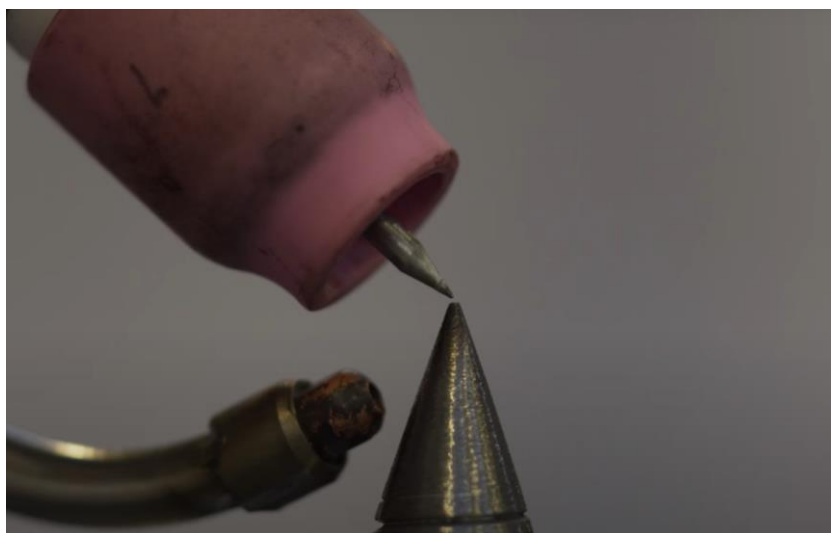
5.2. Kalibracija alata

Svaki robot dolazi sa ugrađenim koordinatnim sustavom alata na dnu prirubnice. Na prirubnicu se može staviti mnoštvo različitih hvataljki i alata pa je poanta kalibracije upravo da se taj koordinatni prenese u vrh alata s kojim radimo.



Slika 23. Ugrađeni koordinatni sustav

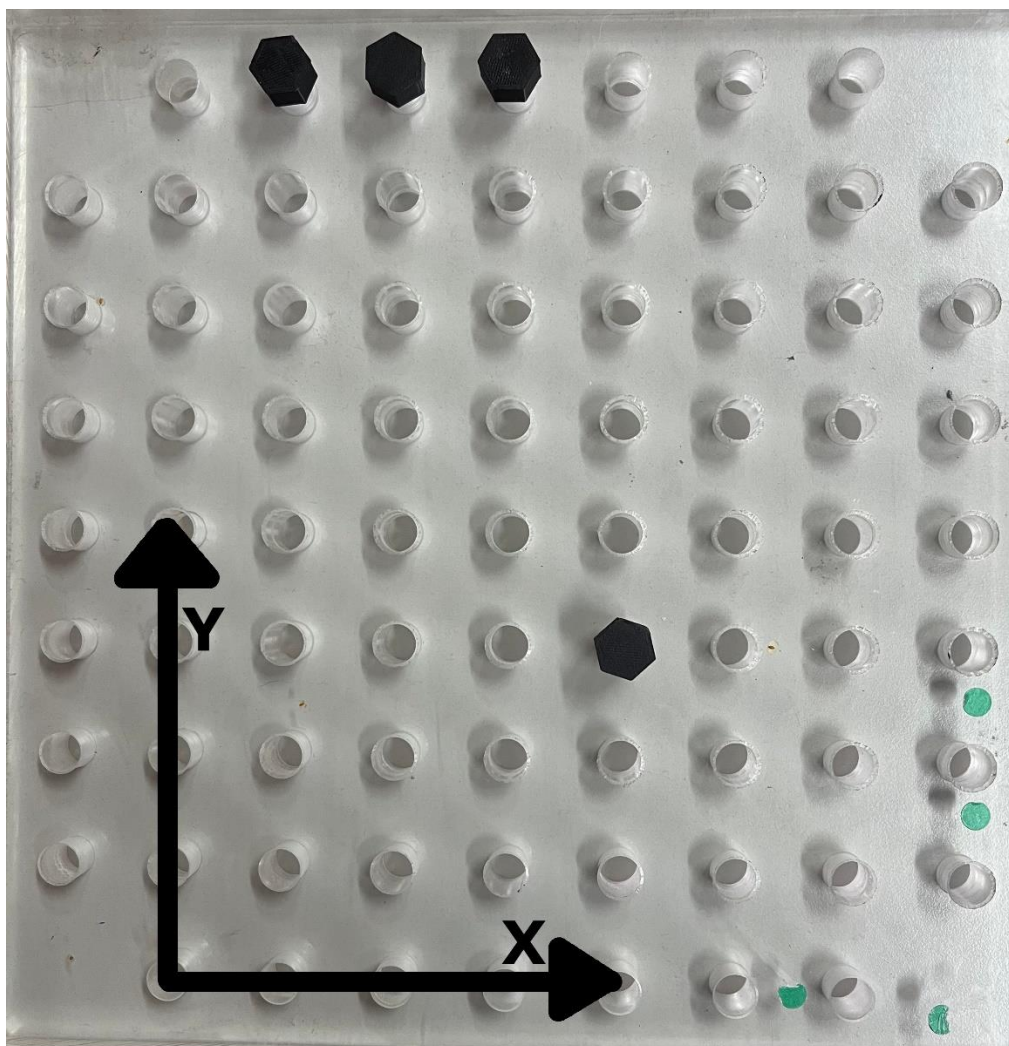
Može se koristiti nekoliko metoda, a u ovom radu korištena je metoda tri točke. Za izvođenje je potreban stožasti predmet i igla koju hvataljka drži. Vrh stošca se sa iglom prilazi iz tri različita položaja, svaka se točka snima i time je završena kalibracija alata.



Slika 24. Kalibracija alata

5.3. Kalibracija korisničkog koordinatnog sustava

U ovom radu korištena su dva korisnička koordinatna sustava, jedan za svaku paletu. Za kalibraciju su potrebne tri točke. Prvo se odabire ishodište koordinatnog sustava i nad tu točku dovede se robot te se spusti na željenu visinu. Točka se zatim snima i postupak se ponovi nad još dvije rupe u paleti, jedna u smjeru X osi, a druga u smjeru Y osi. Treba imati na umu da o položaju ove dvije koordinatne osi ovisi smjer osi Z, a za ovaj slučaj Z os gleda prema gore.



Slika 25. Korišten koordinatni sustav prikazan na paleti

6. PALETIZACIJA

Nakon što su svi potrebni dijelovi sustava kalibrirani, sljedeći korak jest izrada koda za potrebe paletizacije. Sve je rađeno ručno pomoću privjeska za učenje. U ovom radu na početku procesa nalazi se šest predmeta na prvoj paleti. Proces kreće snimanjem palete kamerom. Ona zatim traži uzorak koji smo joj kalibracijom kamere stavili kao zadani te robotu šalje podatke gdje se on nalazi u prostoru. Kako je na paleti šest komada, kamera sama odlučuje do kojeg će prvo slati robota na temelju vidljivosti. Robotu je u kodu definirano da najprije stigne na neku visinu nad odabranim predmetom rada i tek onda se linearno spusti do njega. Zatim on zatvara hvataljku, pričekava pola sekunde te se dignu u početnu točku. Tu je posao kamere završen za prvi predmet rada. Robot se prebacuje u novi koordinatni sustav koji je definiran na paleti za odlaganje. U njemu mu je definirana točka iznad prve rupe u koju ćemo odlagati predmet rada. Pri dolasku na zadanu poziciju spušta se na određenu visinu, otvara hvataljku te se podiže natrag u istu točku. Potrebno je postupak ponoviti n puta i to je teoretski moguće izvesti kopiranjem ovog koda, a svaki put samo zadati novu točku za odlaganje. No, teži se optimalnosti samog procesa te je za izvođenje odabrana petlja. Kad se robot dignuo, potrebno je promijeniti vrijednost koordinati odlaganja, odnosno pomaknuti točku za 31 mm po X osi. Nakon toga dovoljno je unijeti naredbu JMP LBL (Jump Label), za ovaj slučaj JMP LBL[1], gdje je LBL[1] definirana kao početna linija koda. To omogućuje ponovljivost procesa dokle god kamera uočava dostupne predmete rada na prvoj paleti, odnosno n puta. Tada kamera ponovno snima prvu paletu, definira novi predmet rada i proces se izvodi ispočetka. Također je definirana situacija kada više nema dostupnih predmeta rada. U tom slučaju program se prebacuje na dno koda naredbom JMP LBL[100] (LBL[100] definirana je kao predzadnji redak), robot staje u zadnjoj točki te proces paletizacije završava.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu razrađen je proces modeliranja, izrada na 3D pisaču, potrebne kalibracije te programiranje robota za postupak paletizacije. Hvataljka je modelirana s idejom da će se predmet rada u budućnosti mijenjati pa se tako i njen nastavak može lako zamijeniti, a kod je pisan sa ciljem optimizacije čitavog procesa.

U današnje vrijeme teži se automatizaciji većine repetitivnih poslova jer čovjek u takvim poslovima ne može biti jednako produktivan čitavo vrijeme što dovodi do grešaka ili usporavanja izvođenja radnji. U početku se jednom poduzeću kupnja industrijskog robota može činiti kao prevelika i nepotrebna investicija. Detaljnijom procjenom troškova i uzimanjem u obzir radnog vijeka robota, visoke ponovljivosti i činjenice da će izvesti zadani posao u zadanom vremenu, vrlo brzo dolazimo do zaključka da će se robot isplatiti možda već i nakon godine dana, ovisi o količini i cijeni posla kojeg obavlja i broja ljudi kojeg zamjenjuje.

Podijeljena su mišljenja o tome treba li uvoditi toliku robotizaciju poslova koji su do sad bili namijenjeni isključivo ljudima. Uzmimo za primjer skoriju budućnost u kojoj roboti većinom izvide proizvodnju i nema ljudi koji radi na pokretnoj traci. Tada će biti više onih koji se bave održavanjem robota, planiranjem i kontrolom procesa i slično. U tom slučaju ljudi će imati priliku kvalificirati se za drugačiji tip posla, ali neće biti više nezaposlenih niti manje prilika za rad.

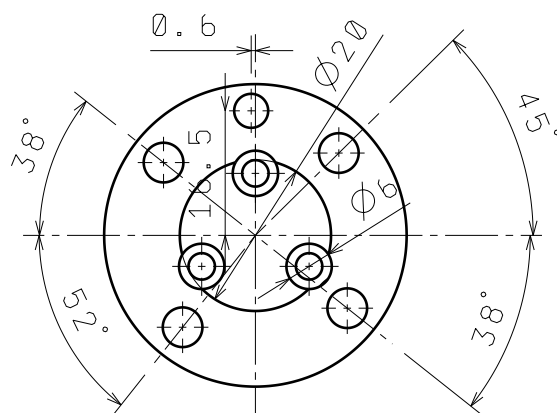
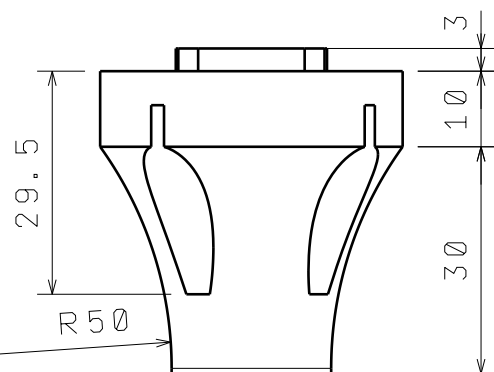
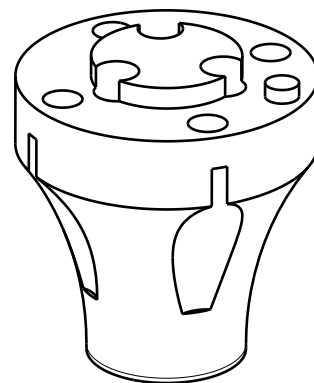
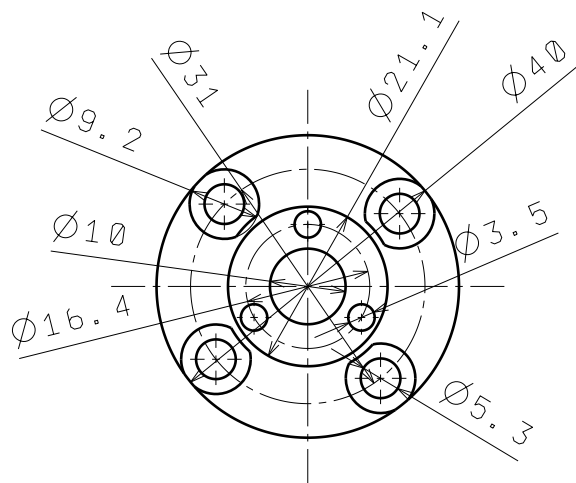
Završni kod iz ovog rada bio bi lako primjenjiv u industriji. Svakako bi bile potrebne neke minimalne promjene ovisno o predmetu rada i udaljenostima. Lako bi se proces mogao i unaprijediti stavljanjem kamere na samog robota pa bi on mogao detektirati i predmete rada na prvoj paleti i prazna mjesta za odlaganje na drugoj paleti. Takav bi proces bio pogodan za učestale paletizacije sa više predmeta rada. U takvim sustavima osvjetljenje se strogo kontrolira pa bi se izbjegao problem ovisnosti vidnog polja kamere o trenutnom osvjetljenju predmeta rada.

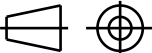
LITERATURA

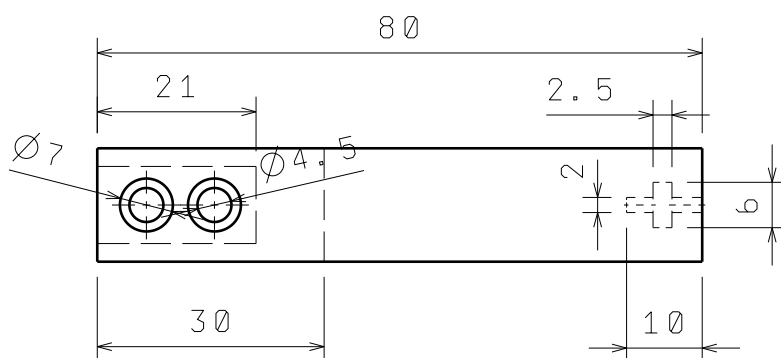
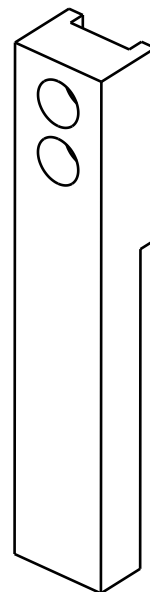
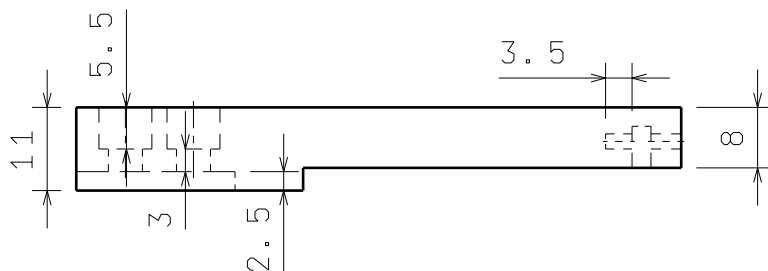
- [1] LR Mate 200iC Series_10.pdf
- [2] Marko Šimić: Završni rad – Algoritam za robotsku paletizaciju predmeta različitih oblika; Zagreb, 2018.
- [3] >>Karel<< [https://en.wikipedia.org/wiki/Karel_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Karel_(programming_language)), (zadnji pristup 30. kolovoz 2022.)
- [4] >>3D printing<< https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing, (zadnji pristup 30. kolovoz 2022.)
- [5] >>History of 3D printing: It's older than you think<< <https://redshift.autodesk.com/articles/history-of-3d-printing>, (zadnji pristup 31.kolovoz 2022.)
- [6] >>How do 3D printers work<< <https://www.explainthatstuff.com/how-3d-printers-work.html>, (zadnji pristup 31. kolovoz 2022.)
- [7] >>Robotika<< <https://hr.wikipedia.org/wiki/Robotika>, (zadnji pristup 31. kolovoz 2022.)
- [8] >>How to convert STL files to G-code<< <https://all3dp.com/2/stl-to-g-code-how-to-convert-stl-files-to-g-code/>, (zadnji pristup 31. kolovoz 2022.)
- [9] >>What is G-code<< <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012733080-What-is-g-code->, (zadnji pristup 31. kolovoz 2022.)
- [10] >>What is rapid prototyping?<< <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-manufacturing-what-is-rapid-prototyping>, (zadnji pristup 14. rujna 2022.)
- [11] >>How expiring patents are ushering in the next generation of 3D printing<< <https://techcrunch.com/2016/05/15/how-expiring-patents-are-ushering-in-the-next-generation-of-3d-printing/>, (zadnji pristup 15. rujna 2022.)
- [12] >>Multi-material 3D printer<< <https://all3dp.com/2/multi-material-3d-printing-an-overview/>, (zadnji pristup 15. rujna 2022.)

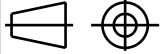
PRILOZI**I. Programski kod**

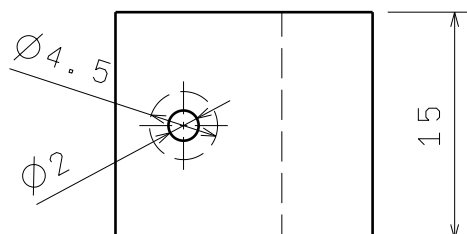
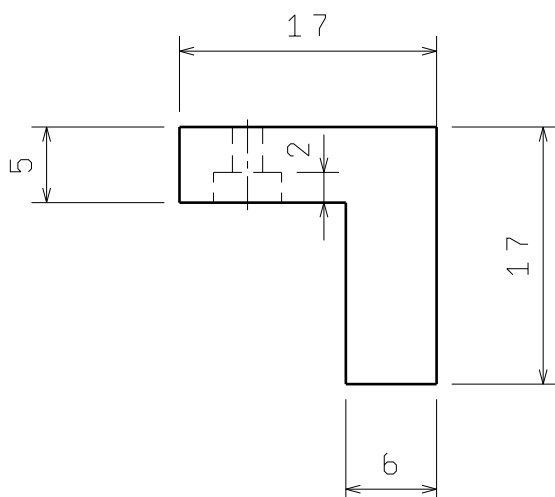
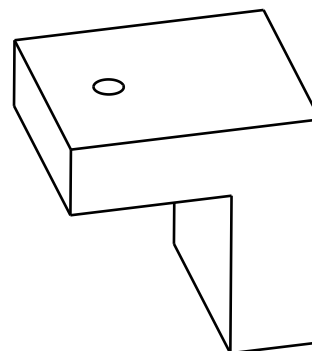
```
1: LBL[1] ;
2: UFRAME_NUM=5 ;
3: UTOOL_NUM=1 ;
4: VISION RUN_FIND 'HB_ZAVRSNI' ;
5: VISION GET_OFFSET 'HB_ZAVRSNI' VR[1] JMP LBL[100] ;
6: ;
7:L P[1] 100mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[13] ;
8:L P[1] 100mm/sec FINE VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[14] ;
9: RO[1]=OFF ;
10: RO[2]=ON ;
11: WAIT .50(sec) ;
12:L P[1] 100mm/sec FINE VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[13] ;
13: ;
14: UFRAME_NUM=6 ;
15: UTOOL_NUM=1 ;
16:L PR[15] 100mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[13] ;
17:L PR[15] 100mm/sec FINE ;
18: RO[1]=ON ;
19: RO[2]=OFF ;
20:L PR[15] 100mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[13] ;
21: PR[15,1]=PR[15,1]+31 ;
22: JMP LBL[1] ;
23: LBL[100] ;
24: PR[15,1]=0 ;
25: ;
```

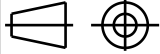


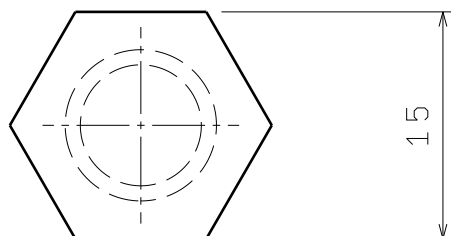
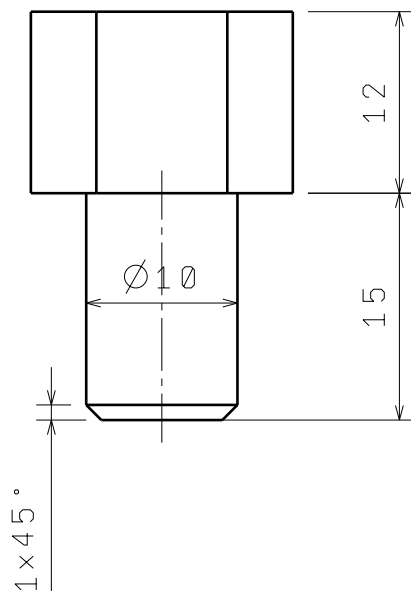
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
Projektirao	11.07.2022.	Helena Babić				
Razradio	25.08.2022.	Helena Babić				
Crtao						
Pregledao						
Objekt:			Objekt broj:			
			R. N. broj:			
Napomena:						
Materijal:			Masa:	Kopija		
		Naziv:				Pozicija:
		D r ž a č				1
Mjerilo originala						Format: A4
1 : 1		Crtež broj: 08-22-004				Listova: 1
				List: 1		

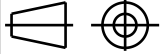


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11.07.2022.	Helena Babić		
Razradio	25.08.2022.	Helena Babić		
Crtao				
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:			Masa:	
			Naziv:	
Mjerilo originala			H v a t a l j k a	
1 : 1			Pozicija:	
			1	
			Format: A4	
			Listova: 1	
			List: 1	



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11.07.2022.	Helena Babić		
Razradio	25.08.2022.	Helena Babić		
Crtao				
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:			Masa:	
		Naziv:		Pozicija:
		H v a t a l j k a n a s t a v a k		1
Mjerilo originala				Format: A4
2 : 1		Crtež broj: 08-22-002		Listova: 1
				List: 1



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11.07.2022.	Helena Babić		
Razradio	25.08.2022.	Helena Babić		
Crtao				
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal:			Masa:	
			Naziv:	
			P r e d m e t r a d a	
Mjerilo originala			Pozicija:	Format: A4
2 : 1			1	Listova: 1
			Crtež broj: 08-22-003	
			List: 1	