

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Andrej LAVKA

AVTOMATIZACIJA STREGE CNC STROJA

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

AUTOMATION CNC MACHINE TENDING

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za mehanske in obdelovalne tehnologije lesa, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, kjer so bili izvedeni poskusi in meritve.

Senat Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete je za mentorico diplomskega dela imenoval doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja dr. Bojana Gospodariča in za recenzenta dr. Gorazda Fajdigo.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Andrej LAVKA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 674.54
KG	robot/rezkanje
AV	LAVKA, Andrej
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentorica)/ GOSPODARIČ, Bojan (somentor)/ FAJDIGA, Gorazd (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2016
IN	AVTOMATIZACIJA STREGE CNC STROJA
TD	Diplomsko delo (Visokošolski strokovni študij)
OP	IX, 33 str., 4 pregl., 24 sl., 3 pril., 10 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V lesni industriji se ne srečamo velikokrat s pojmom avtomatizacija streg stroja. V manjših podjetjih, ki prevladujejo, strega strojev ni avtomatizirana in jo izvajajo zaposleni. Namen diplomskega dela je prikazati avtomatizacijo streg CNC stroja s 6-osnim industrijskim robotom KUKA, ki smo ga imeli na voljo na Biotehniški fakulteti, Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije lesa. Za komunikacijo med industrijskim robotom in CNC strojem smo izdelali elektro vezje in ga povezali s programsko opremo industrijskega robota ter s programsko opremo Mach3, ki je krmilila CNC stroj. Za prijem obdelovancev smo uporabili mehansko prijemo, ki smo ga vpeli na industrijskega robota. S prikazom avtomatizacije streg stroja z industrijskim robotom smo prikazali, da je uporaba industrijskih robotov v lesni industriji smiselna, saj smo lahko z njim učinkovitejši, hitrejši in konkurenčni.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 674.054
CX	robot/milling
AU	LAVKA, Andrej
AA	GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/ GOSPODARIČ, Bojan (co-supervisor)/ FAJDIGA, Gorazd (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2016
TI	AUTOMATION CNC MACHINE TENDING
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	IX, 33 p., 4 tab., 24 fig., 3 ann., 10 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	In the timber industry, the term “machine handling automatization“ is not often encountered. In Slovenia, small businesses prevail in which machine handling is not automatized, but is carried out by the employees. The purpose of this diploma thesis is to depict the CNC machine handling automatization with an 6-axle industrial robot KUKA that was provided for us by the laboratory for mechanical wood processing technologies. An electric circuit was devised for connecting the industrial robot and the CNC machine. The circuit was then connected to the industrial robot software and to the Mach3 software controlled by the CNC machine. A mechanical gripper, clamped to the industrial robot, was used to attach the workpiece. A demonstration of the machine handling automatization with an industrial robot proved that in the timber industry, the use of industrial robots should be considered because it can result in faster and more effective processes which help to make a business more competitive.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PRILOG	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	IX
1 UVOD	1
1.1 CILJ DIPLOMSKE NALOGE	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE	3
2 PREGLED OBJAV	4
3 MATERIAL IN METODE	7
3.1 STROJNA OPREMA	7
3.1.1 CNC rezkalni stroj	7
3.1.2 Vpenjalni sistem CNC stroja (vakuumska črpalka)	8
3.1.3 Kuka robot KR 150 L150/3	8
3.1.3.1 Ročna naprava za programiranje	11
3.1.3.2 Umerjanje robota (»masteriziranje«)	12
3.1.3.3 Koordinatni sistemi robota	13
3.1.3.4 Merjenje orodja	14
3.1.3.5 Merjenje »baze«	15
3.1.3.6 Prijemalo robota	17
3.2 PROGRAMSKA OPREMA	19
3.2.1 CNC krmilnik Mach3	19
3.2.2 Programski jezik KUKA	20
3.2.2.1 Način gibanja robota	20
3.2.2.2 Programiranje logičnih funkcij	22
4 STREGA CNC STROJA Z ROBOTOM	23
4.1 OPIS IZVEDBE	23
4.2 POVEZAVA CNC STROJA S KUKA ROBOTOM	24
5 REZULTATI IN RAZPRAVA	26
6 SKLEPI	30
7 POVZETEK	31
8 LITERATURA IN VIRI	32
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Opis tipk na KPC napravi	11
Preglednica 2: Opis električnih priključkov prijemala.....	18
Preglednica 3: Opis priključkov konektorja LPT 2 na krmilniku CNC stroja.....	25
Preglednica 4: Opis priključkov konektorja X 11 na krmilniku robota	25

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: CNC rezkalni stroj (Diplomsko delo Tomaž Boštjančič, 2011).....	7
Slika 2: Vakuumska črpalka.....	8
Slika 3: Robotska roka KUKA (KUKA System Software, 2008)	9
Slika 4: Delovno območje robota KR 150–2 (KUKA Technical details KR 150–2)	10
Slika 5: Ročna naprava za programiranje (KUKA System Software, 2008).....	11
Slika 6: Prvi zagon robota (KUKA System Software, 2008)	12
Slika 7: Merilna ura (KUKA System Software, 2008)	13
Slika 8: Koordinatni sistem (KUKA System Software, 2008)	13
Slika 9: XYZ 4-točkovna metoda (KUKA System Software, 2008).....	15
Slika 10: 3-točkovna metoda merjenja baze (KUKA System Software, 2008).....	16
Slika 11: Mehansko prijemalo	17
Slika 12: Električna shema prijemala.....	18
Slika 13: Oblika grafičnega vmesnika Mach3 CNC krmilnika (Mach3 Software, 2016) ..	19
Slika 14: Premik PTP (KUKA System Software, 2008)	20
Slika 15: Premik LIN (KUKA System Software, 2008).....	21
Slika 16: Premik CIRC (KUKA System Software, 2008)	22
Slika 17: Električno vezje	24
Slika 18: Blokovna shema električnih povezav med robotom in CNC strojem ter drugimi napravami	25
Slika 19: HOME pozicija robota.....	26
Slika 20: Prijem obdelovanca	27
Slika 21: Premik k CNC stroju	27
Slika 22: Pozicioniranje obdelovanca	28
Slika 23: CNC obdelava.....	29
Slika 24: Odlagališče	29

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Program CNC stroja (Mach3)

Priloga 2: Program za KUKA robot

Priloga 3: Input/Output

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

CNC: Computer Numerical Control

KCP: Ročna naprava za programiranje

PTP: Point To Point Motions

CIRC: Circular Motions

LIN: Linear Motions

BASE: Baza

HOME: Prva in zadnja pozicija v programu (definirana)

TCP: Tool Center Point

IN: Digitalni vhod

OUT: Digitalni izhod

1 UVOD

Avtomatizacija se je prvič pojavila v 40. in 50. letih prejšnjega stoletja za potrebe v kemični industriji v ZDA. Avtomatizacija je oblika tehnologije, v kateri prisotnost človeka ni potrebna, saj njegovo naloge prevzamejo stroji. Pri avtomatizirani tehnologiji stroj prevzame izvrševalno funkcijo, medtem ko človek obdrži nadzorovalno ter načrtovalno funkcijo (Wikipedija, 2016).

Zahteve tržišča, zniževanje stroškov izdelave ter krajši izdelovalni časi, kakor tudi vprašanja delovne sile, pa so v 60. letih priveli do drugačnega pojmovanja pomena pretoka materiala v proizvodnji. Z avtomatizacijo delovnih postopkov je delež časa za strego obdelovancev v končnem času bistveno povečan tako, da je avtomatizacija strežnih funkcij postala stroškovno zanimiva (Kopač J., 1989).

Cilj avtomatizacije strege je na eni strani delati več, bolje in ceneje, ter na drugi strani humanizirati delo. Humanizacija dela omogoča tudi varnejše delo, zmanjšuje število nezgod in poklicnih obolenj (Kopač J., 1989).

S pojmom strega (Industrial Handling) označujemo vrsto opravil, vezanih na transport, pripravo in menjavo obdelovancev v procesu obdelave, montaže in varjenja ... S strego poskrbimo, da so obdelovanci v pravilnem položaju, v ustrezeni količini in ustreznem času na določenem mestu, pripravljeni za obdelavo in montažo. Strežne funkcije lahko opravlja človek ali naprava, kot so robotske roke. Te funkcije so: urejanje, dodajanje, odvzemanje, pozicioniranje, vpenjanje, vodenje, prenašanje (Kopač J., 1989) ...

Robot je stroj, ki ga nadzoruje računalnik in ga programiramo tako, da za nas opravlja določeno delo. Uporabljam jih v serijski industriji in v manjših delavnicah za izvajanje določenih ponavljajočih se opravil (prenašanje, dvigovanje) (Wikipedija, 2016).

V zadnjih desetletjih se je robotika utrdila v številnih industrijskih procesih kot nepogrešljiv del moderne in ekonomične tehnologije. V avtomatizaciji imajo čedalje večjo vlogo tudi roboti. Največ se uporablja za strego strojem. Razvoj robotike se je začel v

avtomobilski industriji, zdaj pa si skoraj ne moremo predstavljati panoge, ki bi lahko nemoteno delovala brez robota. Robotika se bo še kar nekaj časa izpopolnjevala, saj obstaja še veliko možnosti za izboljšave, kot npr. pri robotskem krmiljenju, umetnem vidu in inteligenci (Robotika, 2012).

Za uvajanje robotike se odločimo predvsem takrat, ko z ročnim delom in človeškimi zmožnostmi ni mogoče učinkovito opravljati določenih nalog. Človek namreč ni zmožen na ročno vodenem obdelovalnem stroju zagotoviti vodenja orodja po zapletenih krivuljah prostora in časa, točnosti in natančnosti obdelave, ki jih omogočajo sodobni več osni obdelovalni stroji (Robotika, 2012).

Strah pred zmanjševanjem števila delovnih mest zaradi avtomatizacije in robotizacije je danes povsem odveč. V Sloveniji sta dobri dve petini robotov namenjeni stregi strojem, približno ena petina varjenju in ena šestina sestavi izdelkov. Sledijo še uporaba robotov za nanos lepil in drugih mas za lakiranje (Robotika, 2012).

Približno pet odstotkov robotov izvaja operacije, kot so brušenje, poliranje, rezanje, odstranjevanje strega in podobno. V tujini in večjih industrijskih državah, kjer je avtomobilska industrija glavna panoga, je v avtomatiziranih sistemih implementiranih zelo veliko robotov (Robotika, 2012).

1.1 CILJ DIPLOMSKE NALOGE

Osnovni cilj naloge je zasnova in izvedba avtomatizacije stregi stroja, s čimer bomo razbremenili operaterja, zmanjšali možnost napak pri pozicioniranju ter povečali izkoriščenost stroja. Namen diplomskega dela je povezati robotsko roko s CNC strojem. Doseči želimo, da je robot strega našemu CNC stroju in da skupaj nemoteno obdelujeta večje število obdelovancev.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Šest osni industrijski robot bo med delovanjem izpolnjeval vse varnostne kriterije. Predpostavljam, da bo deloval zanesljivo, natančno, varno in bo prilagodljiv glede na njegove naloge. Njegovo delovanje se bo dalo sprotno posodabljati.

2 PREGLED OBJAV

Strega robota v lesni industriji se v veliki večini nanaša na problem, kako z robotom izboljšati produktivnost in znižati stroške ter izboljšati ponovljivost in kakovost izdelkov.

Macklin A. (2012) opisuje povečano investiranje v robotizacijo lesnoobdelovalne industrije v Kanadi, s ciljem izboljšanja učinkovitosti in trenutnega pomanjkanja zaposlenih. Po statističnih podatkih se v Kanadi roboti v 85 % uporabljajo za strego strojev, v 10 % za sestavo mehanizmov in v 5 % za obdelavo izdelkov. Pri AP Industries, kjer imajo 150 zaposlenih, so začeli uvajati robote zaradi večjega števila upokojitev v naslednjih letih in s tem grozečega pomanjkanja ustrezno usposobljenega kadra. Ena od strateških koristi za uvajanje robotike in avtomatizacije v industriji lesnih proizvodov je bil interes, da bi s to tehnologijo zaposlili bodoče študente.

Lašič T. (2010) navaja najpomembnejše razloge za uvedbo robotov v industrijo na osnovi raziskave, ki jo je podjetje ABB opravilo za IFR (International Federation of Robotics). Ti segajo od zmanjšanja operativnih stroškov, izboljšanja kakovosti proizvodov, kakovosti dela za zaposlene, fleksibilnosti proizvodnje izdelkov, zmanjševanja odpadnega materiala in povečanja izkoristka do prihranka dragih proizvodnih prostorov.

Po navedbah IFR, 2015 se je prodaja industrijskih robotov v letu 2014 v primerjavi z letom 2013 povečala za 29 % na 229.261 enot in je tako dosegla rekord. Dobavitelji avtomobilskih delov in električna/elektro industrija so bili največji dejavniki rasti. Od leta 2010 se je zaradi avtomatizacije v industriji povpraševanje po industrijskih robotih povečalo. Največja regija v letu 2014 je bila Azija, ki je prodala 139.300 industrijskih robotov. Obstaja pet glavnih trgov, ki predstavljajo 70 % celotnega obsega prodaje v letu 2014: Kitajska, Japonska, ZDA, Koreja in Nemčija. Globalno povprečje je 66 industrijskih robotov na 10.000 zaposlenih. Najbolj izstopajo Koreja, Japonska in Nemčija. Od tega ima Koreja 478 robotov na 10.000 zaposlenih, kar je daleč največji delež.

Raziskave kažejo, da bo med letoma 2015 in 2018 dvoštevilčna rast industrijskih robotov. Sodelovanje človek – robot bo imelo v tem obdobju preboj. Poenostavitev uporabe robotov

bodo odprle potenciale v vseh panogah, tako za srednja kot tudi za mala podjetja. Zaradi povečanja raznolikosti proizvodov bo prišlo do zahtev v fleksibilnosti avtomatizacije proizvodnje. Stalno izboljševanje kakovosti pa zahteva visokotehnološke robote.

Ocena prodaje robotov za leto 2015 je znašala 264.000 enot na globalni ravni. Od leta 2016 do leta 2018 se bo prodaja povečala za 15 % v povprečju na leto in bo v letu 2018 dosegla 400.000 enot. Med letom 2016 in 2018 ocenjujejo, da bo prodanih 1,3 milijona industrijskih robotov po vsem svetu.

Knepper A. (2013) predstavlja sodelovanje robotskega sistema, sposobnega sestave enostavnega kompleta pohištva iz Ikee. Robot opravlja geometrično in simbolično načrtovanje, prevzema različne naloge in usklajuje ukrepe za dokončanje naloge. Roboti so sposobni locirati dele v prostoru in jih vijačiti za sestavo izdelka. Za sestavo izdelka so razvili novo orodje za vijačenje, ker robot ne more izvajati manevra vijačenja. Prikazali so na primeru sestave mizne noge v mizo. Za prihodnost načrtujejo poenostaviti izvajanje simbolnih ukazov za manipulacije pri sestavi različnega pohištva. Doseči želijo tudi zaznavanje in odpravljanje napak pri robotiki.

Gornik Bučar D. (2015) piše o uporabi robotskih manipulatorjev v lesni industriji. V osnovi se v lesni industriji uporabljajo 3- in 5- osni CNC stroji. Nadgradnjo predstavljajo avtomatizirani CNC stoji v povezavi z robotskim manipulatorjem. Z avtomatizacijo pri paletiranju in pakiranju končnih izdelkov v pohištveni industriji bi z industrijskimi roboti lahko za 45 % povečali produktivnost in investicija bi se povrnila v manj kot treh letih. Zaradi prilagajanja željam kupcev za različne proizvode v malih serijah je velik izziv v vzpostavitev fleksibilne, avtomatizirane proizvodnje z osnovno komponento industrijskim robotom. Roboti bi bili opremljeni z različnimi enotami za obdelavo in programsko podporo CAD/CAM.

Robote bi lahko uporabljali tudi pri proizvodnji lesenih elementov za montažne hiše. Če bi robota dali na dodatno linearo os bi lahko obdeloval in sestavljal poljubne velikosti elementov.

Za popolno avtomatizirano proizvodnjo elementov bi bilo treba obdelovalni center opremiti z izmenjavo obdelovalnih agregatov, ker je proizvodnji proces obdelave

sestavljen iz več operacij, kot so rezanje, lepljenje, upravljanje in nadzor. Sistem za izmenjavo agregatov je smiselno narediti nadgradljivega in se avtomatizacija proizvodnje naredi postopoma in po potrebah investitorja.

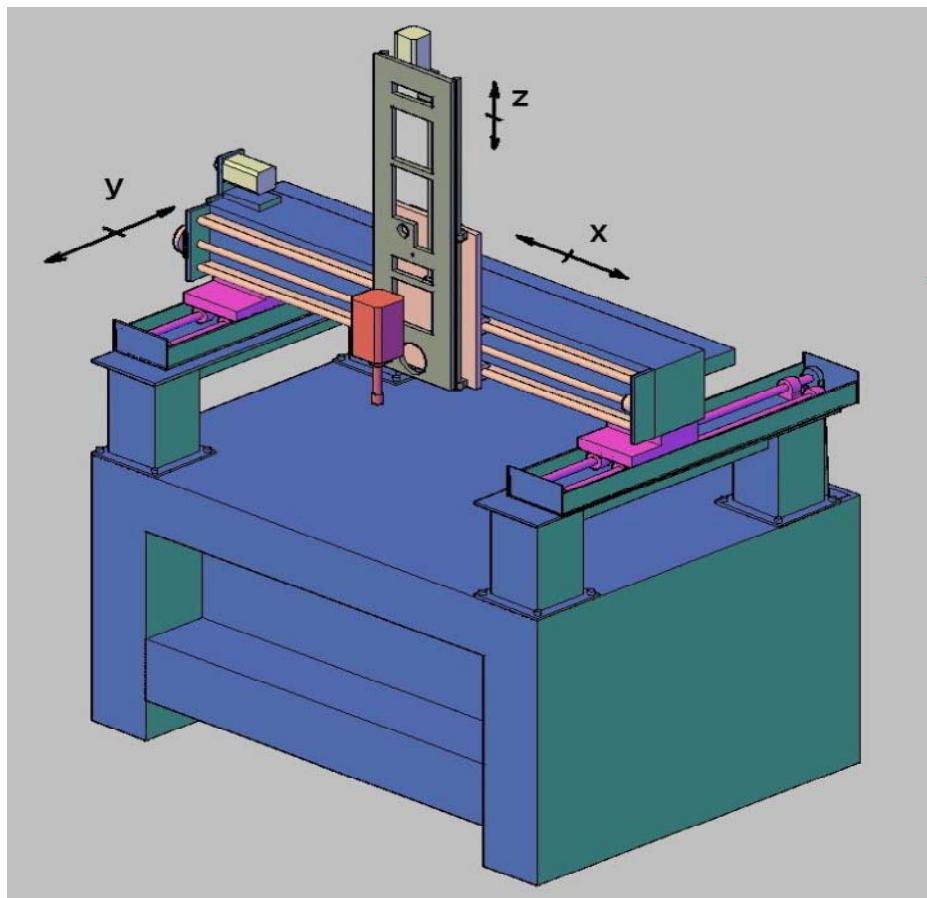
3 MATERIAL IN METODE

3.1 STROJNA OPREMA

3.1.1 CNC rezkalni stroj

V delovni skupini za mehanske obdelovalne tehnologije so v raziskovalne namene izdelali 3-osni CNC stroj. Stroj se pomika v smeri treh osi x, y, z koordinatnega sistema. Rezkalni agregat je vpet na most stroja, ki mu omogoča pomikanje nad delovno mizo. V našem primeru smo uporabili vakuumsko delovno mizo, kamor je robot odlagal obdelovance.

V rezkalni agregat se rezkarji vpenjajo ročno. CNC stroj se programira z G kodo. Na sliki 1 je prikazan 3-osni CNC rezkalni stroj.



Slika 1: CNC rezkalni stroj (Diplomsko delo Tomaž Boštjančič, 2011)

3.1.2 Vpenjalni sistem CNC stroja (vakuumska črpalka)

Pri našem projektu smo uporabili vakuumsko črpalko (slika 2), ki je bila izdelana v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije. S pomočjo vakuma, ki ga je proizvedla vakuumska črpalka, smo vpeli obdelovanec na CNC mizo. Sistem črpalke sestavlja 0,8 kW elektromotor, 0,3 m³ zalogovnik in regulacijski ventil, ki uravnava vakuum.



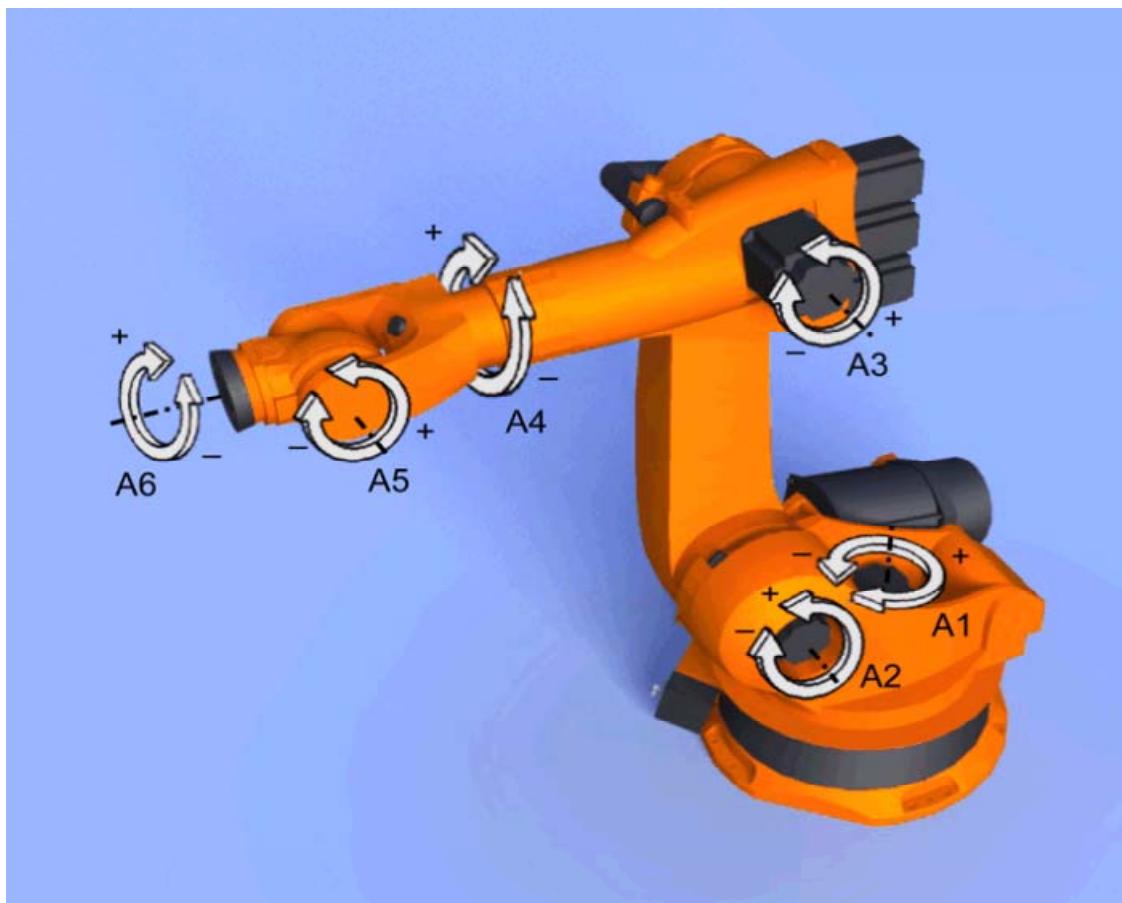
Slika 2: Vakuumska črpalka

3.1.3 Kuka robot KR 150 L150/3

Robot se pomika v šestih oseh, kar mu omogoča izvajanje najbolj zahtevnih nalog. Lahko pa ga tudi postavimo na sedmo os, da se pomika po prostoru. Je reprogramabilen, kar pomeni, da ga lahko znova in znova programiramo za različne naloge. Uporablja se za

varjenje kovin, rezkanje lesenih izdelkov, prenašanje paketov ali palet, lakiranje avtomobilov ali kakšnih drugih izdelkov. V našem primeru se uporablja za nalaganje, pozicioniranje in odvzemanje obdelovancev.

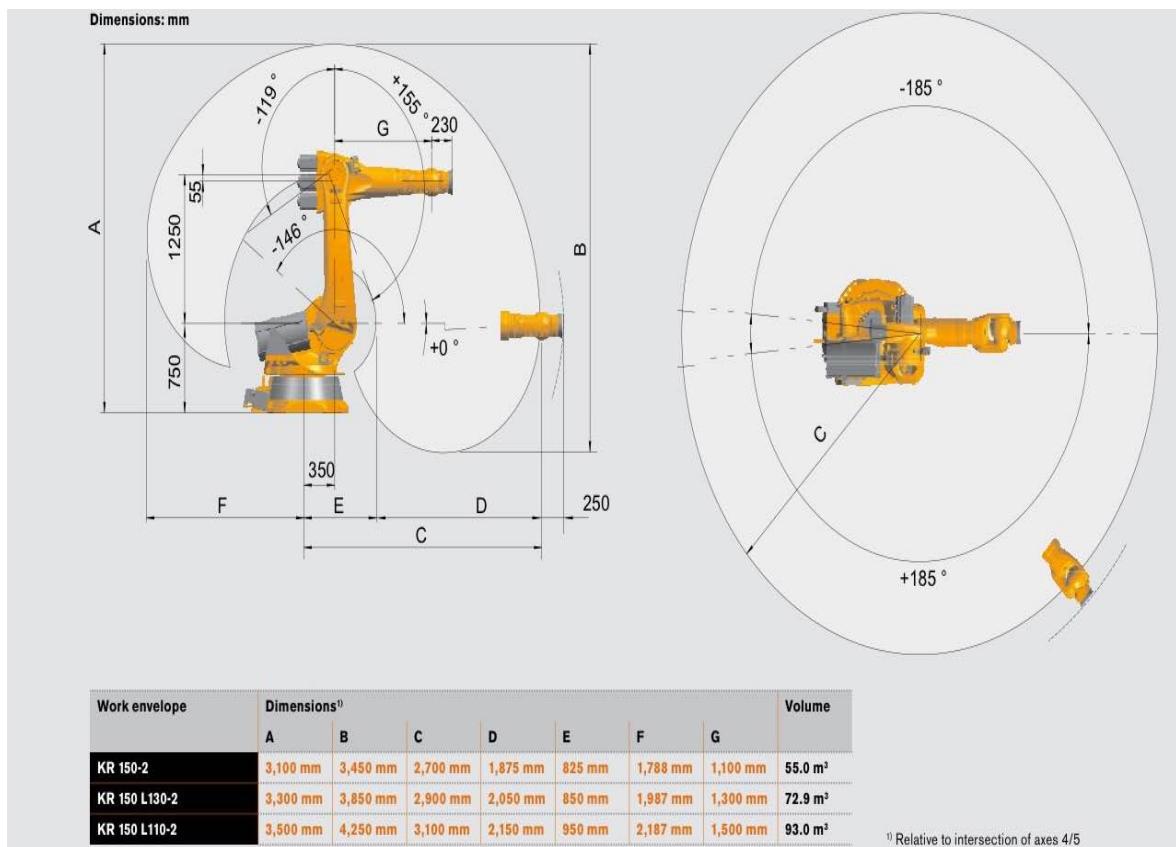
Robota krmilimo s kontrolorjem KCP, ki je povezan z energetsko omarico. Ima šest osi (A1 – A6), ki so gnane s servomotorji in so zaščitene proti preobremenitvi. Izdelan je tako, da ni potrebnih velikih in rednih servisiranj (prvi servis je predviden šele po 20.000 urah). Na sliki 3 je prikazana robotska roka KUKA in na sliki 4 delovno območje robota.



Slika 3: Robotska roka KUKA (KUKA System Software, 2008)

Karakteristike robotske roke KUKA:

- NATANČNOST OZ. PONOVLJIVOST (ang.: position repeatability): 0,06 mm
 - NOSILNOST (ang.: payload, handling capacity): 150 kg
 - ŠTEVILLO OSI (ang.: number of axes): 6
 - TEŽA (ang.: weight): 1245 kg
 - DELOVNI DOSEG (ang.: working range area): 2950 mm



Slika 4: Delovno območje robota KR 150-2 (KUKA Technical details KR 150-2)

3.1.3.1 Ročna naprava za programiranje

KCP je ročna naprava za programiranje robotskega sistema (slika 5). KCP ima vse funkcije (preglednica 1), ki so potrebne za upravljanje in programiranje robotskega sistema.



Slika 5: Ročna naprava za programiranje (KUKA System Software, 2008)

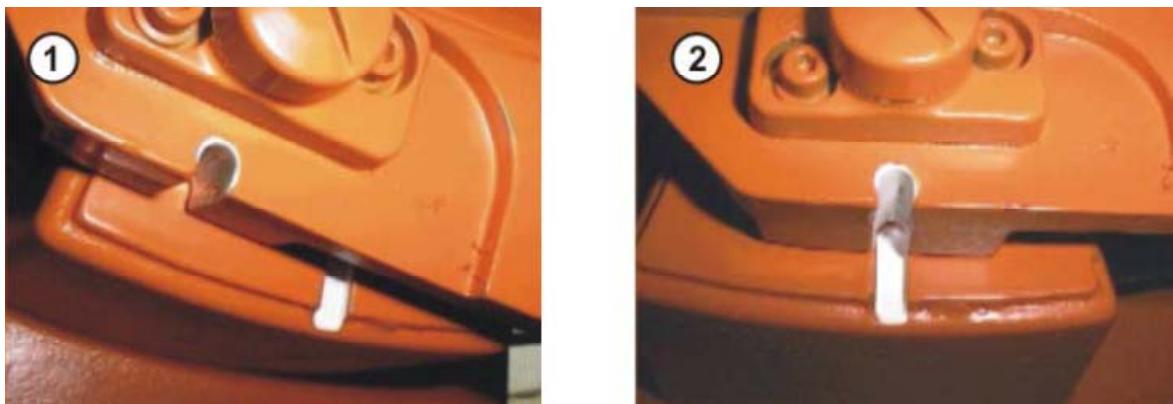
Preglednica 1: Opis tipk na KPC napravi

1 Izbirno stikalo obratovalnih programov	10 Numerični del
2 Pogoni VKLOP	11 Variabilne tipke
3 Pogoni IZKLOP / SSB – GUI	12 Tipka start – nazaj
4 Tipka za IZKLOP V SILI	13 Tipka start
5 Space Mouse	14 Tipka STOP
6 Statusne tipke desno	15 Tipka za izbiro okna
7 Vnosna tipka	16 Tipka ESC
8 Kurzorske tipke	17 Statusne tipke levo
9 Tipkovnica	18 Tipke menija

3.1.3.2 Umerjanje robota (»masteriziranje«)

Vsakega robota je treba umeriti. Ko je nastavljen, se lahko pomika po programiranih pozicijah. Pri nastavljanju sta mehanska in elektronska pozicija robota skladni. Za nastavljanje robota lahko uporabimo metodo EMT (elektronska merska tehnika) metodo ali z merilno uro.

Pred vsako nastavitevijo je treba osi pomakniti v položaj za prednastavitev. Na sliki 6 je prikazan prvi zagon robota.



Slika 6: Prvi zagon robota (KUKA System Software, 2008)

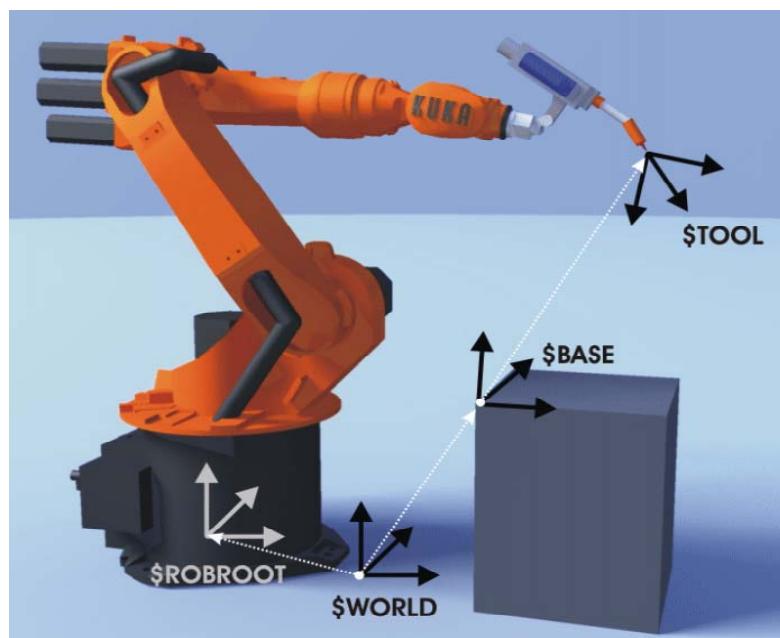
V našem primeru smo robota nastavili z merilno uro (slika 7). Z njeno nastavitevijo izvedemo ročni pomik do položaja za nastavljanje. Vedno se nastavlja z bremenom. Osi robota nastavljamo po vrstnem redu, ki je določen v KCP napravi. Na vsaki osi najprej odstranimo varovalni pokrov meritne »patrone« in nato pritrdimo merilno uro. Nato se z ročnim pomikom pri hitrosti 1 % pomikamo po osi in določimo izhodiščno točko. To ponovimo za vsako os posebej.



Slika 7: Merilna ura (KUKA System Software, 2008)

3.1.3.3 Koordinatni sistemi robota

Na sliki 8 so prikazani koordinatni sistemi robota.



Slika 8: Koordinatni sistem (KUKA System Software, 2008)

V robotskem sistemu so definirani naslednji kartezični koordinatni sistemi:

World

- je fiksno definiran kartezični koordinatni sistem in je izhodišče za koordinatni sistem ROBROOT in BASE. Prednastavljen je v nogi robota.

ROBROOT

- je kartezični koordinatni sistem, ki vedno leži v nogi robota. Opisuje pozicijo robota glede na koordinatni sistem WORLD. Prednastavljen je tako, da je koordinatni sistem ROBROOT skladen s koordinatnim sistemom WORLD.

BASE

- koordinatni sistem BASE je kartezični koordinatni sistem, ki opisuje pozicijo obdelovanca. Nanaša se na koordinatni sistem WORLD. Prednastavljen je tako, da je koordinatni sistem BASE skladen s koordinatnim sistemom WORLD. Uporabnik ga pomakne v obdelovanca.

TOOL

- koordinatni sistem TOOL je kartezični koordinatni sistem, ki leži v delovni točki orodja. Nanaša se na koordinatni sistem BASE. Prednastavljen je tako, da je izhodišče koordinatnega sistema TOOL v središču prirobnice.

3.1.3.4 Merjenje orodja

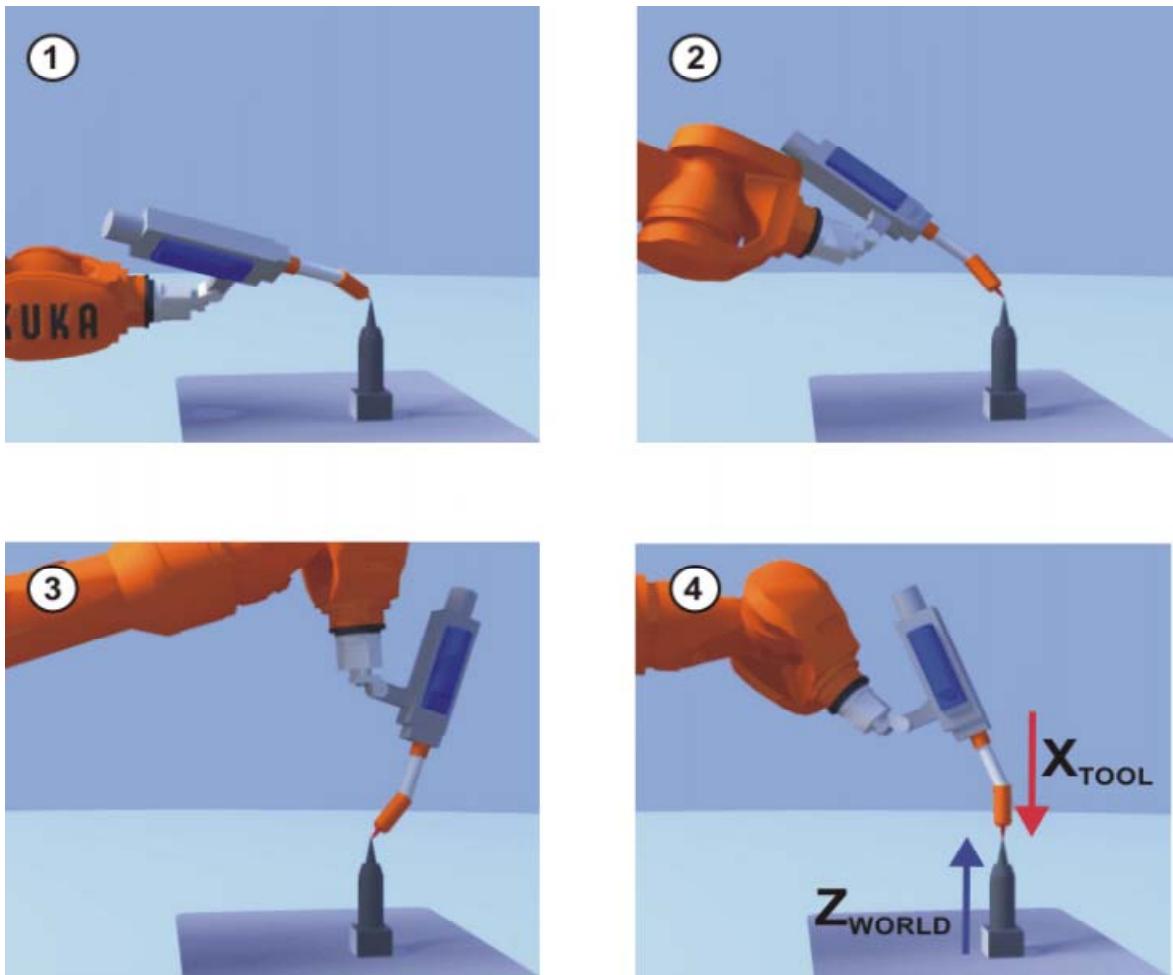
Ko smo pri prvem zagonu robota vzpostavili pravo pozicijo osi, moramo prav tako pri vsakem novem orodju ali prijemalu, določiti koordinatni sistem (TOOL).

Obstaja več metod določanja:

- XYZ – 4-točkovna metoda
- XYZ – referenčna metoda
- ABC – World metoda
- ABC – 2-točkovna metoda

XYZ 4-točkovna metoda

Pri XYZ 4-točkovni metodi se s TCP orodja, ki ga moramo izmeriti, zapeljemo do referenčne točke s 4 različnih smeri (slika 9). Referenčno točko lahko poljubno izberemo. Štiri pozicije, ki jih izberemo, morajo biti dovolj oddaljene druga od druge.



Slika 9: XYZ 4-točkovna metoda (KUKA System Software, 2008)

3.1.3.5 Merjenje »baze«

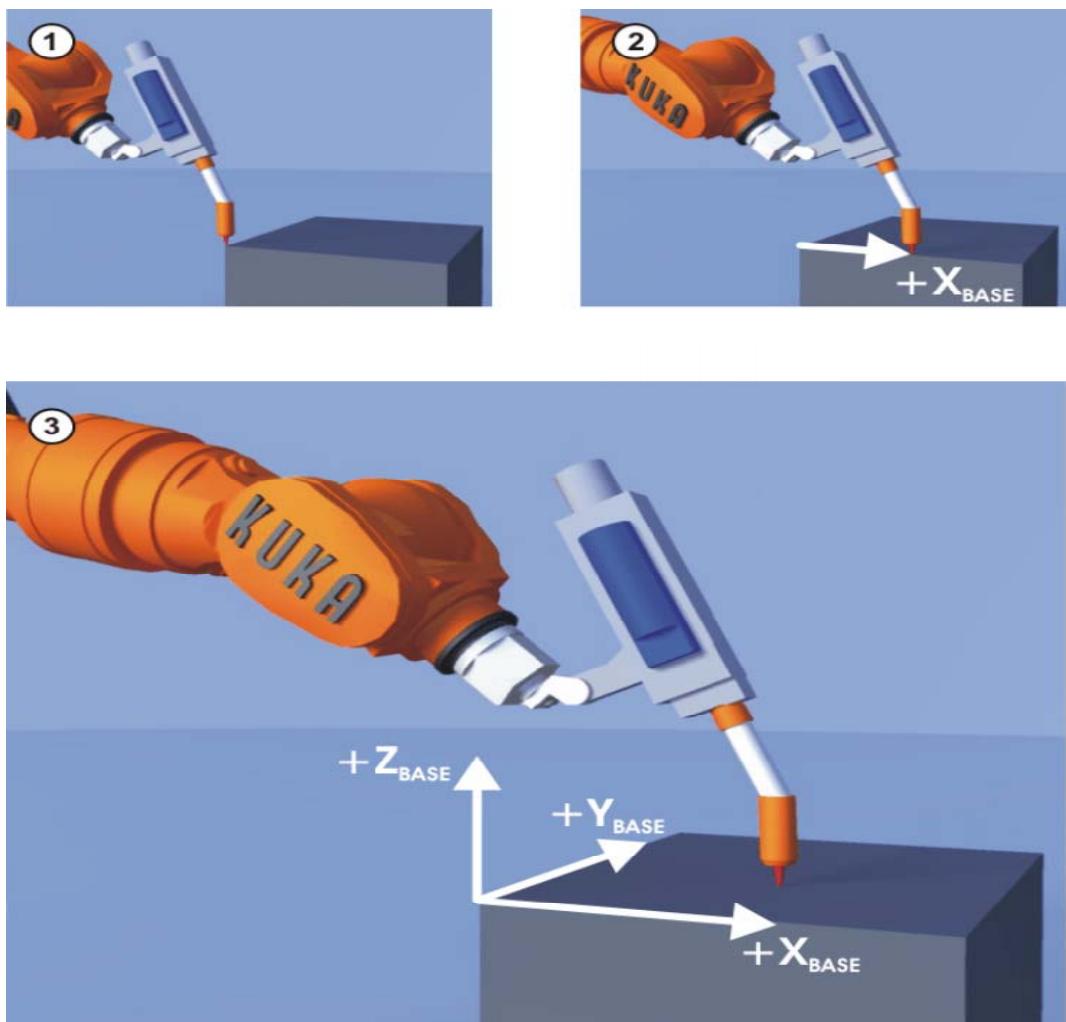
Pri merjenju »baze« dodeli uporabnik delovni površini ali obdelovancu kartezični koordinatni sistem (koordinatni sistem BASE). Prednost merjenja osnove je, da se TCP lahko ročno pomika vzdolž robov delovne površine ali obdelovanca.

Ostajata dve metodi določanja:

- 3-točkovna metoda
- indirektna metoda

3-točkovna metoda

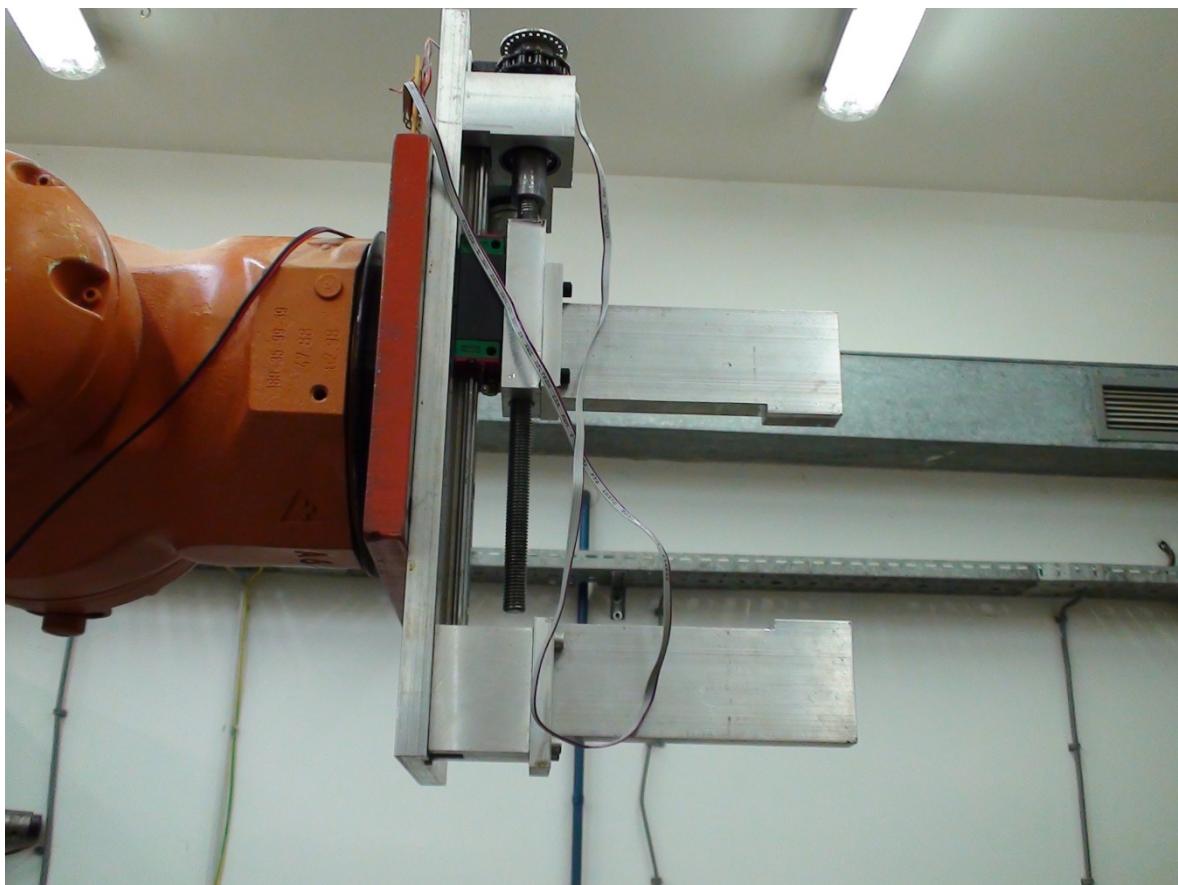
Pomik se izvede od izhodišča in do dveh nadaljnjih točk nove osnove. Te točke definirajo novo osovo. Že izmerjeno orodje je pritrjeno na montažni prirobnici. S TCP se pomaknemo do izhodišča nove osnove, nato se pomaknemo do točke na pozitivni X osi nove osnove in na koncu se še s TCP na nivoju XY do točke s pozitivno Y vrednostjo. Slika 10 prikazuje 3-točkovno metodo merjenja baze.



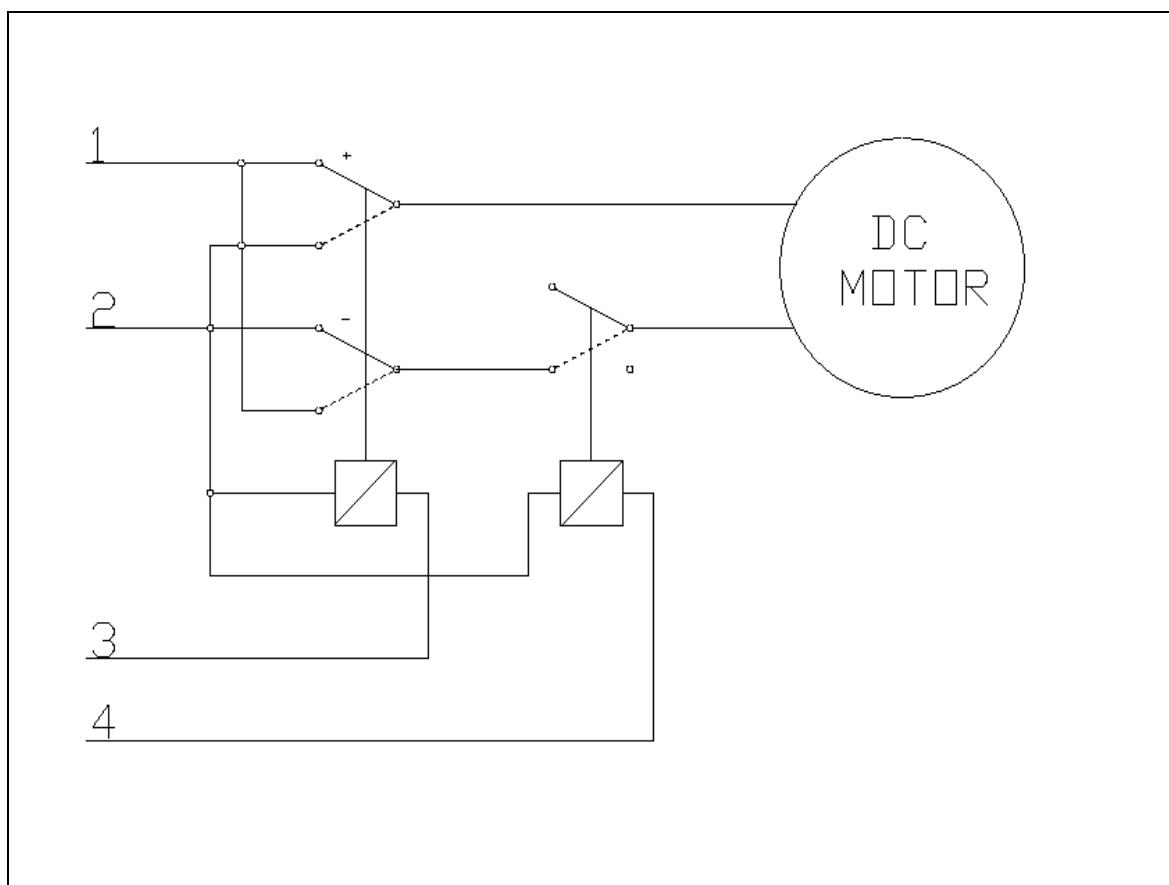
Slika 10: 3-točkovna metoda merjenja baze (KUKA System Software, 2008)

3.1.3.6 Prijemalo robota

Prijemala se uporabljajo za prijem predmetov, v našem primeru lesenega obdelovanca. Obstajajo različne vrste prijemal, kot so vakumska, pnevmatska, magnetna, mehanska ... Trenutno se najpogosteje uporablja pnevmatska prijemala, katerim nastavljamo pritisno silo ročno, prek reducirnega ventila, s katerim nastavimo tlak v cilindru prijemala. Vendar pa so v Laboratoriju za mehanske obdelovalne tehnologije izdelali elektromotorsko gnano prijemalo. Pritisno silo prijemala enostavno nastavljamo z velikostjo toka skozi elektromotor, želeno dolžino prijemala pa s pozicijo prijemala, saj elektromotor deluje v pozicijskem načinu delovanja. Prijemalo krmili v programu robota s programiranimi digitalnimi vhodi in izhodi. Na sliki 11 je prikazano mehansko prijemalo in na sliki 12 električna shema prijemala (Inovativne tehnologije primarne predelave lesa, 2014).



Slika 11: Mehansko prijemalo



Slika 12: Električna shema prijemala

V preglednici 2 so opisi električnih priključkov prijemala.

Preglednica 2: Opis električnih priključkov prijemala

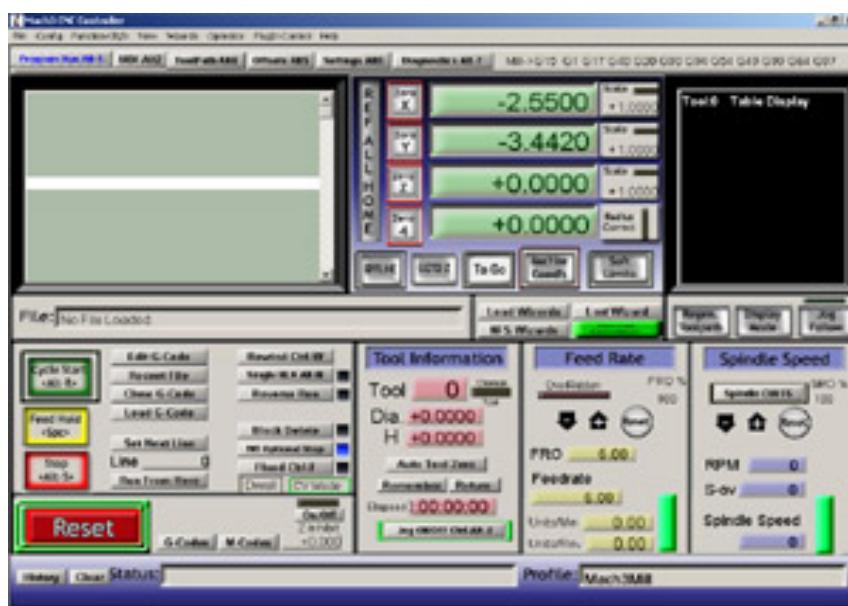
Priključek	Opis
1	pozitivni priključek napajanja motorja prijemala
2	priključek za vklop prijemala
3	priključek za določitev smeri prijemala (zapri / odpri)
4	negativni priključek napajanja motorja prijemala

3.2 PROGRAMSKA OPREMA

Programska oprema (tudi »softver«, angleško *software*) je skupek računalniških programov, ki skupaj s strojno opremo računalnika tvori celoto. Je abstraktna zadeva, običajno pa se fizično nahaja v računalniškem pomnilniku. Omogoča delovanje robota oz. robotskega sistema. Z njo opravljamo programiranje, komunicirnje in simuliranje (Wikipedija, 2016).

3.2.1 CNC krmilnik Mach3

Mach3 je programska oprema, ki omogoča uporabo klasičnega osebnega računalnika kot CNC krmilnik za vodenje CNC strojev. Jezik za vodenje in sporazumevanje s strojem se imenuje G-koda. G-koda vsebuje vse podatke za pomike CNC stroja, kot so pomik in hitrost CNC stroja po xyz osi. Pri programiranju si pomagamo tudi z makri. Z njimi si programer ustvari več podprogramov, ki jih nato uporablja v programiranju in si z njimi olajša in pospeši delo ter pri tem onemogoči oziroma minimizirana pojav napak. V makru je zaporedje večjih programiranih ukazov, ki so nato označena z oznako npr. M101. Z napisom makro si pomagamo z VB scriptom. Z njim pišemo in urejamo makre. Oblika grafičnega vmesnika Mach3 CNC krmilnika je prikazana na sliki 13.



Slika 13: Oblika grafičnega vmesnika Mach3 CNC krmilnika (Mach3 Software, 2016)

3.2.2 Programski jezik KUKA

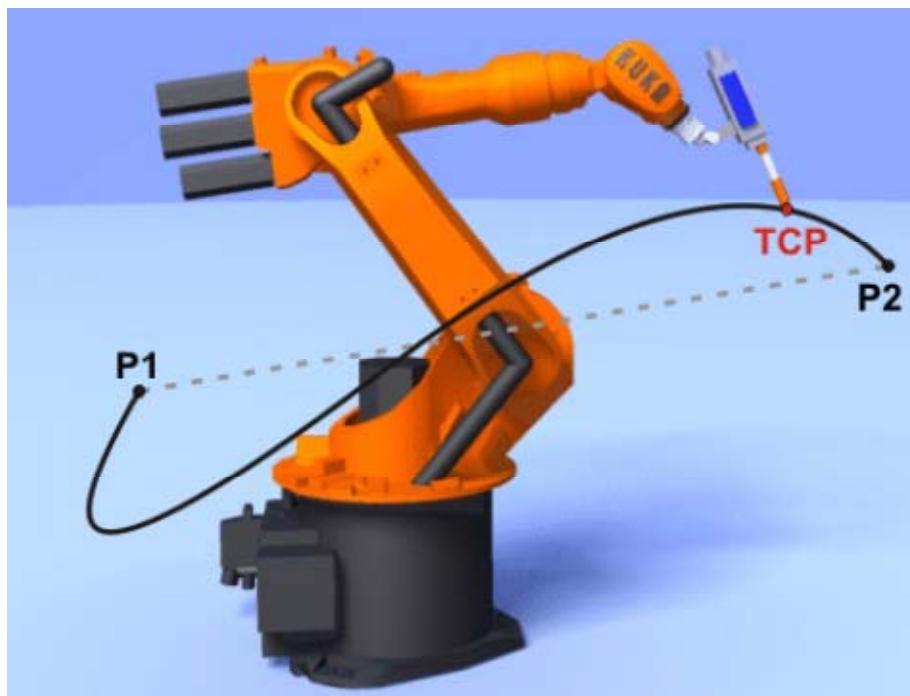
3.2.2.1 Način gibanja robota

Premik robota lahko programiramo na tri načine:

- Premik od točke do točke (PTP – Point to point)
- Linearni premik (LIN)
- Cirkularni premik (CIRC)

Premik od točke do točke (PTP – Point to point):

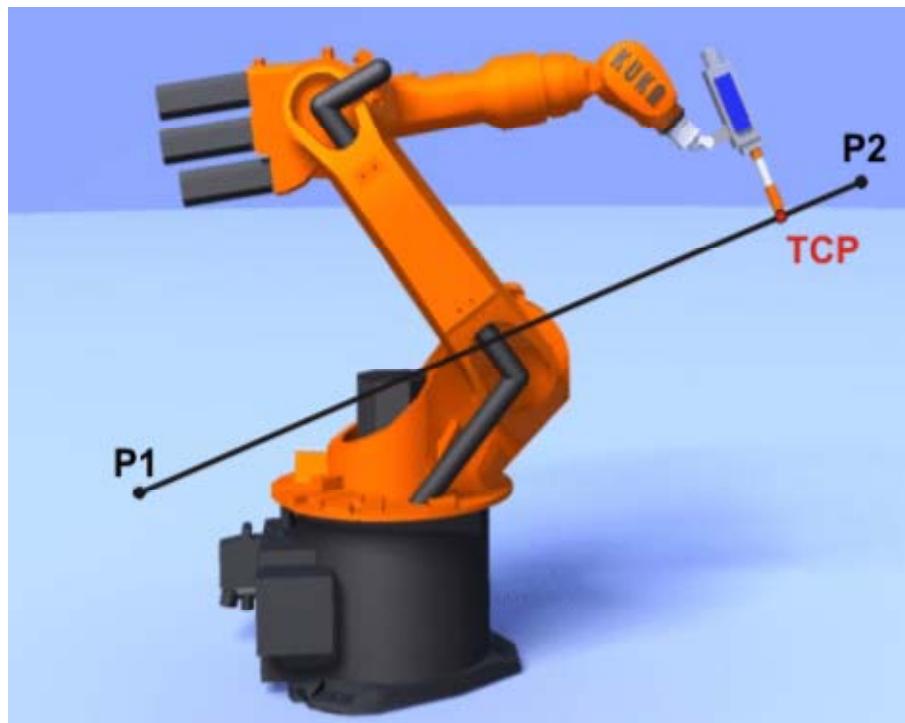
Robot vodi TCP (Tool-Center-Point) vzdolž najhitrejše proge do ciljne točke. Najhitrejša proga praviloma ni najkrajša (slika 14), torej ni ravna. Ker se osi robota premikajo rotacijsko, se lahko vijugaste proge izvajajo hitreje kot ravne.



Slika 14: Premik PTP (KUKA System Software, 2008)

Linearni premik (LIN):

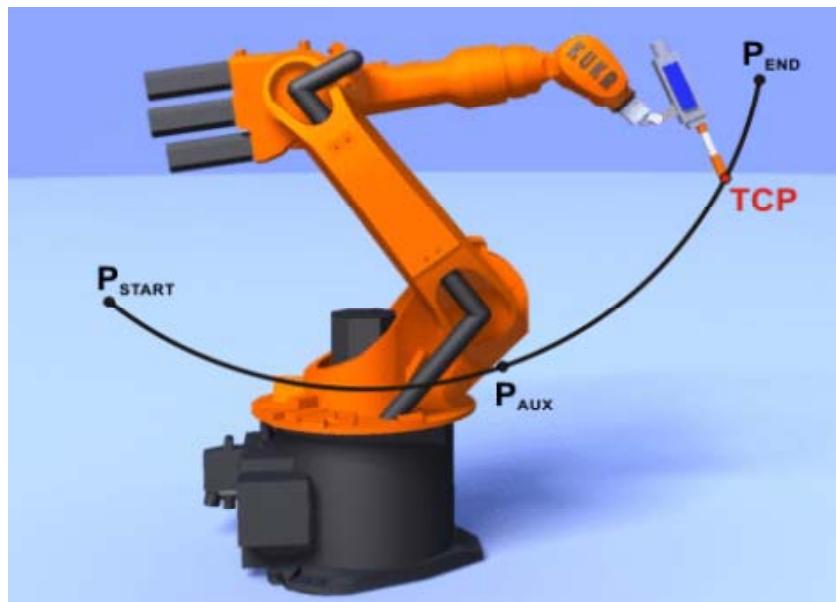
Robot vodi TCP (Tool–Center–Point) z definirano hitrostjo vzdolž premice do ciljne točke (slika 15).



Slika 15: Premik LIN (KUKA System Software, 2008)

Cirkularni premik (CIRC):

Robot vodi TCP (Tool–Center–Point) z definirano hitrostjo vzdolž krožnice do ciljne točke. Krožnica je definirana z začetno, pomožno in ciljno točko (slika 16).



Slika 16: Premik CIRC (KUKA System Software, 2008)

3.2.2.2 Programiranje logičnih funkcij

Logična navodila so ukazi, s katerimi si pomagamo programirati robota. V to skupino spadajo digitalni vhodi in izhodi, analogni vhodi in izhodi, števci in matematične zanke. Z vhodi in izhodi se lahko robot sporazumeva z drugimi napravami, v našem primeru s CNC obdelovalnim strojem. Drug drugemu pošiljata signale za nemoteno delovanje. Z matematičnimi zankami pa robot opravlja določeno število ponovitev in čaka na poljubne ukaze. V našem primeru smo uporabili:

- digitalni vhod z oznako IN – kar pomeni input
- digitalni izhod z oznako OUT – kar pomeni output
- ukaz WAIT Time – kar pomeni počakaj dololčen čas
- ukaz WAIT FOR IN – kar pomeni počakaj digitalni vhodni signal

4 STREGA CNC STROJA Z ROBOTOM

Pri stregi CNC stroja z robotom zmanjšamo napake pri pozicioniranju na stroj in povečamo izkoriščenost CNC stroja. Robot je natančen in prilagodljiv za hitro reprogramiranje pri novih izdelkih.

4.1 OPIS IZVEDBE

Pri prvem zagonu smo na robottu najprej izvedli operacijo MASTER, kar pomeni, da smo vseh šest osi robota postavili v začetno, izhodiščno točko. Pomagali smo si z merilno uro. Nato smo na robotsko roko namestili mehansko prijemalo, s katerim smo prijemali obdelovance in jih pozicionirali na CNC stroj. Mehanskemu prijemalu smo določili koordinatni sistem in ga s tem programsko pozicionirali na robotta. Uporabili smo točkovno metodo ABC 2, ki nam jo ponuja programska oprema robotta. Po končanem programskem pozicioniranju je robot sprejel navodilo, kako veliko je prijemalo in kje se nahaja ($v x, y, z$, koordinatnem sistemu). Mehansko prijemalo smo v programu krmili z digitalnim izhodom output 17 (OUT 17) in output 18 (OUT18). Output 17 smo programirali tako, da je prižgal ali ugašal elektromotor prijemala. Z operacijo OUT 17 TRUE se je motor prižgal in z operacijo OUT 17 FALSE se je ugasnil. Da se je prijemalo odpiralo in zapiralo, pa smo s signalom OUT 17 TRUE ali FALSE spremajali smer vrtenja elektromotorja.

Poleg robotta smo pozicionirali delovno mizo in jo definirali kot bazo, s katero je robot prijemal in odlagal naše obdelovance. S 3-točkovno metodo smo določili x, y, z pozicijo v koordinatnem sistemu BAZE in robot je zaznal, kje se nahaja obdelovanec.

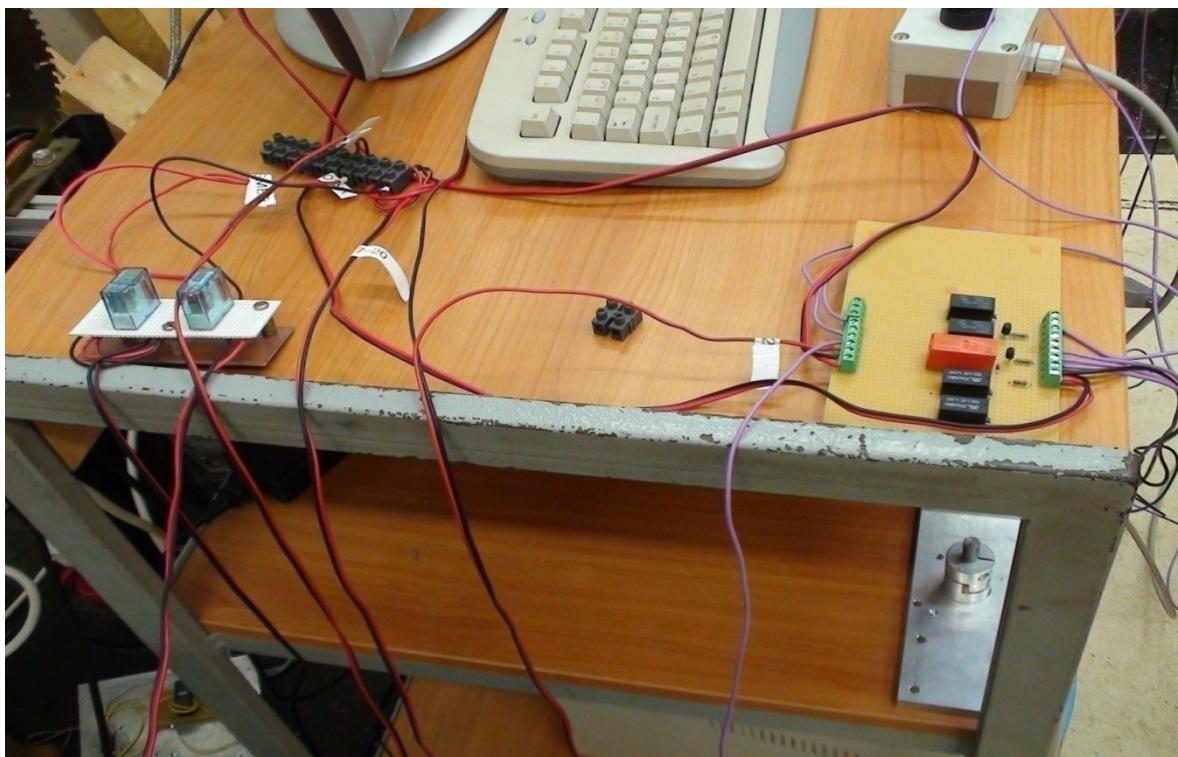
V programu Mach3 smo najprej definirali vhode in izhode, ki smo jih potrebovali za komunikacijo z robottom. Uporabili smo *input1*, definiran kot signal, ki ga je pošiljal robot. Z njim smo krmili vakuumsko črpalko in z *output2* smo pošiljali signal robottu. Za povezavo med robottom in računalnikom, ki ga je upravljal s CNC strojem, smo uporabili PLC (programabilni logični krmilnik). Preden smo napisali program, ki bo krmilil CNC stroj, smo v VB scriptu napisali majhne podprograme, imenovane makri (M101), za lažjo izvedbo samega programiranja.

Pri programiranju robota smo uporabili funkcijo PTP premik robota. V napravi KCP smo izbrali funkcijo učenje, v kateri si robot zapomni naše ukaze, tako je naša izhodiščna pozicija HOME, ki je že definirana v robotu. Za vsakim premikom robotske roke smo shranjevali pozicijo robota in ga s tem načinom učili pot, ki jo bo izvajal.

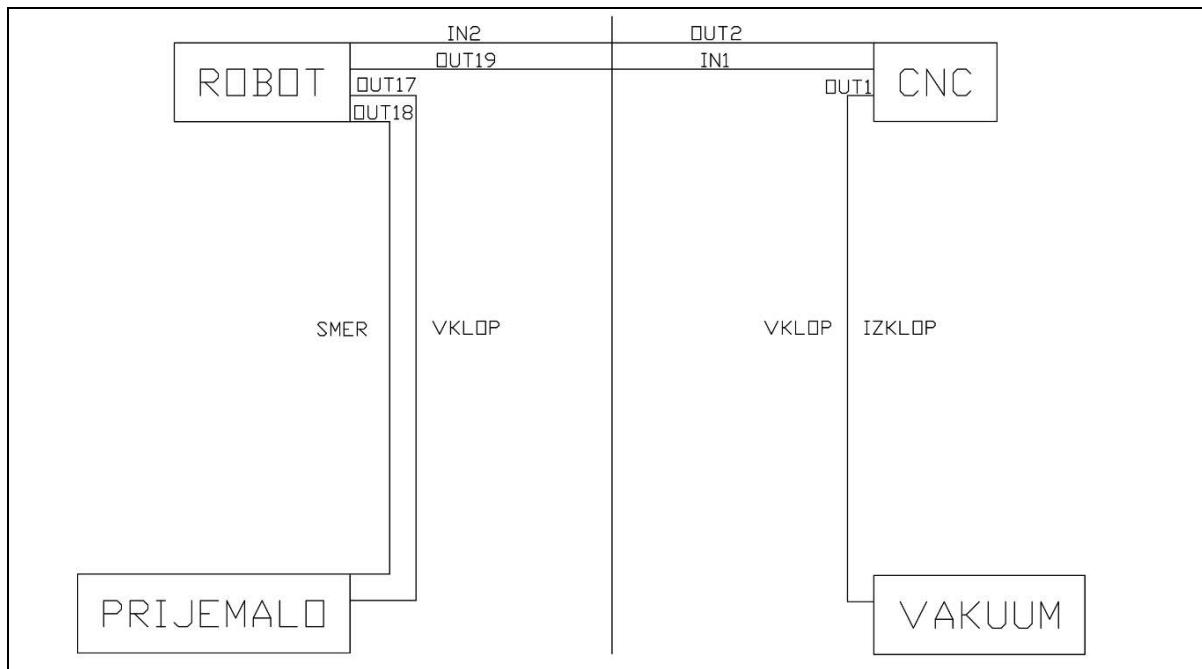
4.2 POVEZAVA CNC STROJA S KUKA ROBOTOM

Izdelali smo električno vezje za povezavo med robotom in CNC strojem. Pri robotu smo imeli vhod (IN2), ki je sprejemal podatke CNC stroja, izhod (OUT19), s katerim je oddajal podatke CNC stroju, z izhodom (OUT17) in (OUT18) smo prek robota krmilili mehansko prijemalo.

CNC stroj je za povezavo z robotom imel vhod (IN1) in izhod (OUT2) z izhodom (OUT1) in smo prek CNC stroja krmilili vakuumsko črpalko. Na sliki 17 je prikazano električno vezje in na sliki 18 blokovna shema električnih povezav med robotom in CNC strojem ter drugimi napravami.



Slika 17: Električno vezje



Slika 18: Blokovna shema električnih povezav med robotom in CNC strojem ter drugimi napravami

Preglednici 3 in 4 prikazujeta priključke konektorja LPT 2 na CNC stroju in konektorju X 11 na krmilniku robota.

Preglednica 3: Opis priključkov konektorja LPT 2 na krmilniku CNC stroja

SIGNAL	PRIKLJUČEK	OPIS
OUT2	5	VKLOP STREGE
IN1	10	VKLOP OBDELAVE
OUT1	4	VKLOP VAKUUMA

Preglednica 4: Opis priključkov konektorja X 11 na krmilniku robota

SIGNAL	PRIKLJUČEK	OPIS
IN2	82	VKLOP STREGE
OUT19	74	VKLOP OBDELAVE
OUT17	91	VKLOP, IZKLOP PRIJEMALA
OUT18	56	PRIJEM, SPUST PRIJEMALA

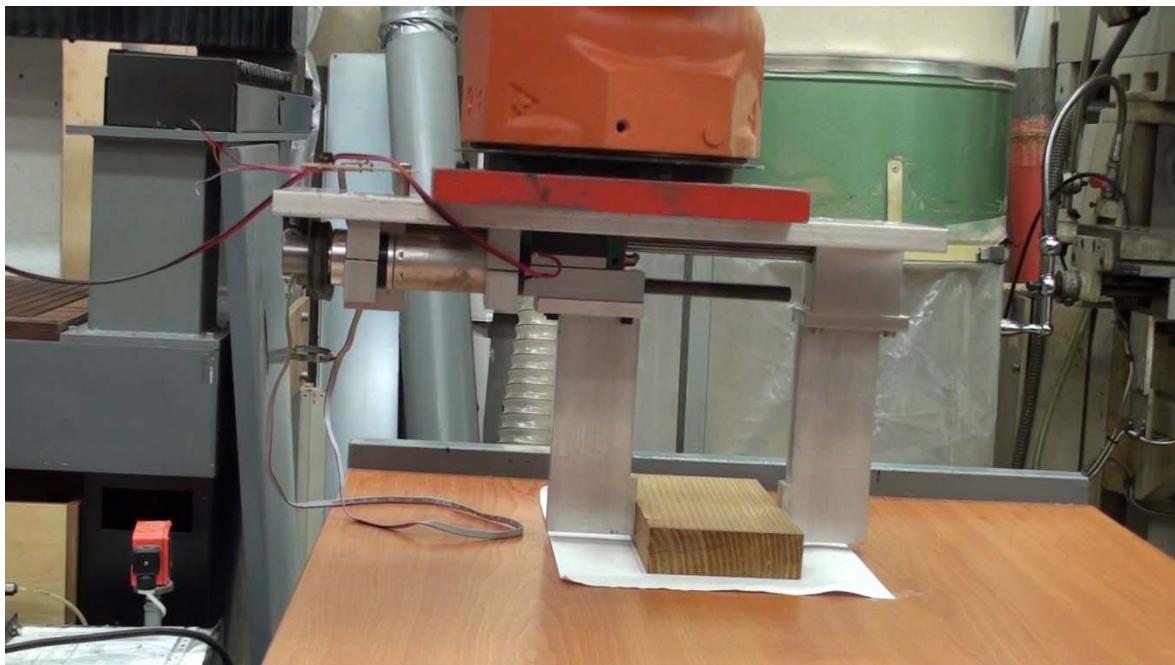
5 REZULTATI IN RAZPRAVA

Na sliki 19 je prikazan robot v HOME poziciji. Priporočljivo je, da je izhodiščna pozicija, pozicija HOME, ki je že definirana v robotu. Zato smo tudi začeli programirati z izhodiščem HOME. To pozicijo smo uporabili, ko je robot miroval, CNC stroj pa obratoval.



Slika 19: HOME pozicija robota

Robota smo premaknili nad obdelovanec in shranili prvo pozicijo. Sledil je spust do obdelovanca z zmanjšano hitrostjo. Robot je z OUT17 vklopil elektromotor na prijemalu in prikel obdelovanec (slika 20).



Slika 20: Prijem obdelovanca

Naslednji korak je bil premik v bližino CNC stroja (slika 21). Z OUT19 je dal ukaz CNC stroju o pripravljenosti za pozicioniranje obdelovanca na CNC delovno mizo in s tem signalom zagnal program v Mach3. Prvi ukaz v Machu je bil vklop vakuumske črpalke z OUT1, nato je CNC stroj čakal na ponovni signal robota.



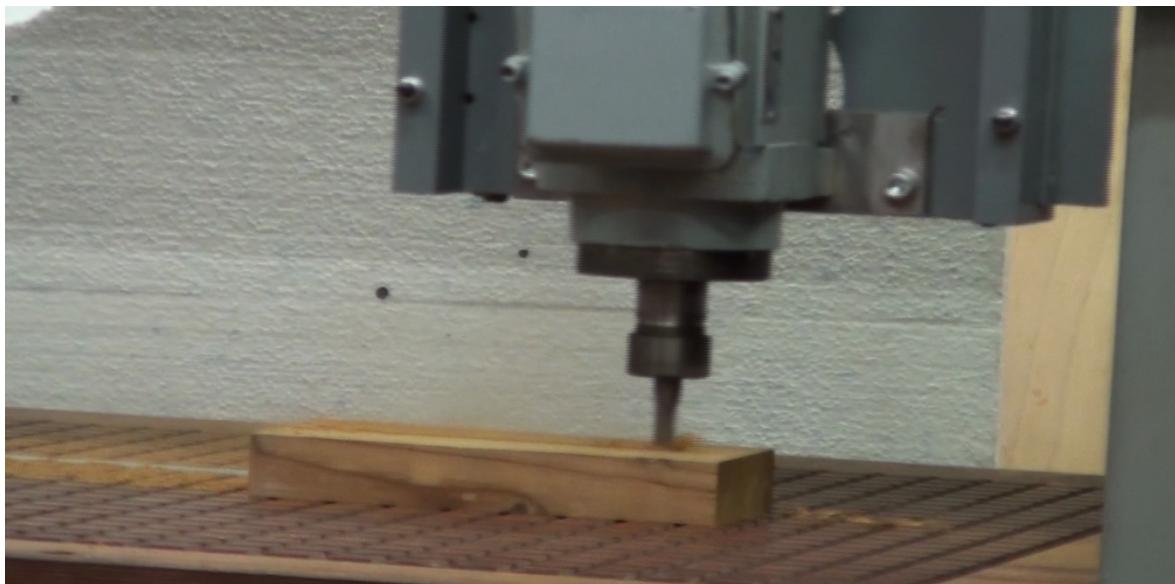
Slika 21: Premik k CNC stroju

Vakuum se je vzpostavil in robot je dobil signal o položitvi obdelovanca na delovno mizo stroja. Robot se je približal nad vakuumsko mizo. Z zmanjšano hitrostjo se je spustil in obdelovanec položil na vakuum. Vklopili smo signal OUT17 in OUT18, tako je prijemalo spustilo obdelovanec in robota dvignilo iz območja CNC stroja ter ga vrnilo v pozicijo HOME. Robot je s signalom OUT19 sporočil umik ter CNC stroju sporočil za nadaljnjo obdelavo. Na sliki 22 je prikazano pozicioniranje obdelovanca.



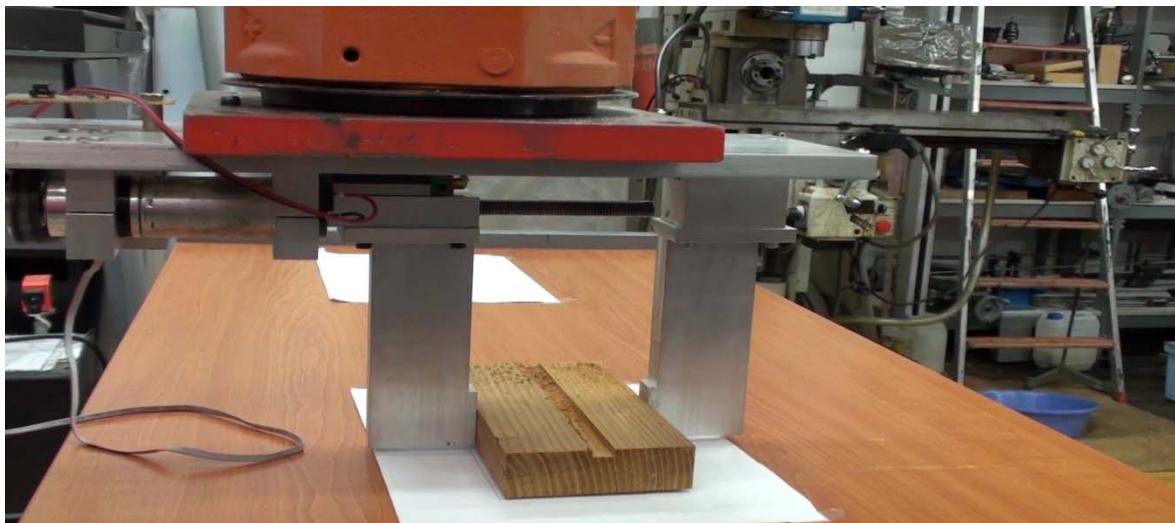
Slika 22: Pozicioniranje obdelovanca

CNC stroj je obdelovanec obdelal z rezkarjem, ki je bil voden v G-kodi. Ta je po končani operaciji z OUT2 sporočil, da je obdelovanec končan in pripravljen za odvzem iz CNC stroja (slika 23).



Slika 23: CNC obdelava

Robota smo iz HOME pozicije pripeljali na CNC delovno mizo, se ponovno počasi spustili do obdelovanca in ga s prijemalom prijeli. Sledil je dvig in umik od CNC stroja ter nato še premik nad odlagališče in počasen spust do mize. S signali smo odprli prijemalo in obdelovanec položili na odlagališče (slika 24). Na koncu smo robota poslali v pozicijo HOME, kjer je čakal na nadaljnje operacije.



Slika 24: Odlagališče

6 SKLEPI

Z diplomskim delom smo prikazali, da je 6-osni industrijski robot primeren za strego določenega stroja v lesni industriji. V našem primeru je industrijski robot stregel CNC stroju. S pravo programsko opremo in potrebnim orodjem pa se lahko avtomatizacija strege izvede skoraj na vseh strojih v mizarstvu. Industrijski robot je zelo uporaben pri velikih količinah obdelovancev, kjer lahko brez prestanka usklajeno s strojem izdeluje izdelke. Zaradi šestih osi je industrijski robot zelo fleksibilen in zato zelo uporaben, ker lahko izvaja gibe, ki jih človek ne more. Zaradi njegove močne konstrukcije lahko dviguje težke obdelovance, kjer bi bila za isto delo potrebna dva ali več zaposlenih. Z njegovo programsko opremo ga je možno zelo hitro programirati in reprogramirati vsakič, ko imamo nove obdelovance.

7 **POVZETEK**

S 6-osnim industrijskim robotom smo dokazali, da bi lahko v lesni industriji izboljšali avtomatizacijo streg CNC strojev. Robot lahko deluje zanesljivo brez prestanka in konstantno brez napak. Z avtomatizacijo streg v lesni proizvodnji bi lahko dosegli večjo učinkovitost in kvaliteto pri izdelavi izdelkov. V povezavi s CNC strojem lahko v serijski proizvodnji znižamo stroške dela in povečamo produktivnost. Industrijski robot je narejen tako, da deluje brez prestanka z enako kvaliteto in hitrostjo 24 ur na dan.

V diplomski nalogi smo povezali industrijski robot s CNC strojem. Robot je imel vpeto mehansko prijemo, s katerim smo prijeli obdelovanec in ga pozicionirali na vakuumsko mizo stroja. Za krmiljenje CNC stroja smo uporabili programsko opremo Mach3, s katero smo naredili program za obdelavo obdelovanca ter ga pozicionirali z robotom in s tem prikazali avtomatizacijo streg stroja.

Industrijski robot lahko prenaša težke obdelovance in jih pozicionira na stroj ali pa na koncu linije le »paletira« izdelke. Če na robota vpnemo obdelovalni agregat, robot postane 6-osni, visoko zmogljiv obdelovalni stroj z neskončno zmožnostmi obdelave izdelka, in ne samo s funkcijo streg. Če robota postavimo na sedmo os, pa mu omogočimo še premik po industrijskem obratu. Tako smo mu omogočili neomejeno število obdelovalnih faz. Možnosti je veliko in industrijski robot, ki je fleksibilen lahko zadovolji vse naše potrebe.

8 LITERATURA IN VIRI

Boštjančič T. 2011. Zasnova stružnega aparata za CNC obdelovalni stroj. Dipl. delo.
Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Glamnik A., Veber M. 2012. Mehanotronika je poklic prihodnosti, Robotika

Gornik Bučar D., Fajdiga G., Merhar M., Gospodarič B. 2015. Fleksibilna avtomatizacija,
DRVOTEHNIKA

Gornik Bučar D., Merhar M., Gospodarič B. 2014, Inovativne tehnologije primarne
predelave lesa. Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Knepper A., Layton A., Romanishin Y., Rus D., IkeaBot: An Autonomous Multi-Robot
Coordinated Furniture Assembly System
<http://people.csail.mit.edu/rak/www/sites/default/files/pubs/KneEtal13.pdf>

Kopač J., Noe D. 1898. Strega in Montaža Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v
Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

KUKA System Software 5.2, 5.3, 5.4. 2008. Navodila za uporabo in programiranje

KUKA Technical details KR 150 – 2

http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0020_KR_150-2_en.pdf

Lašič T. 2010, Robotska strega varilnega robota

Macklin A., 2012 Handling Robotic

<http://www.woodbusiness.ca/harvesting/handling-robotics>

World Robotics 2015 Industrial Robots, 2015

<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>

Wikipedija 2016

<https://www.wikipedia.org/wiki/Avtomatizacija>

https://www.wikipedia.org/wiki/Programska_oprema

<https://www.wikipedia.org/wiki/Robot>

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in odlično vodenje se zahvaljujem pokojnemu mentorju doc. dr. Bojanu Bučarju in mentorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar, ki je po odhodu prevzela mentorstvo pri nadaljevanju njegovega dela. Za tehnično in strokovno pomoč pri izvedbi praktičnega dela diplomske naloge se zahvaljujem asistentu dr. Bojanu Gospodariču.

Zahvaljujem se tudi prof. dr. Gorazdu Fajdigi za opravljeno recenzijo diplomske naloge in vsemu osebju delovne skupine za mehanske obdelave tehnologije na Oddelku za lesarstvo, ki ste mi na kakršenkoli način pomagali pri izvedbi diplomske naloge.

Za vso podporo se zahvaljujem družini, sošolcem in prijateljem.

PRILOGE

Priloga 1

Program CNC stoja (Mach3)

- 1 G91
- 2 F1000
- 3 M102
- 4 M101
- 5 G1 X520 Y-200 Z-270
- 6 G1 Z270
- 7 G1 Y200
- 8 G1 X-770
- 9 M103
- 10 M104
- 11 M30

Makro

M101 – Sytem Wait For (INPUT1) – program čaka na signal robota

M102 – ActivateSignal (OUTPUT1) – vklop vakuumske črpalke

M103 – DeActivateSignal (OUTPUT1) – izklop vakuumske črpalke

M104 – ActivateSignal (OUTPUT2)

Sleep 100 – robotu da signal, da pobere obdelovanec

DeActivateSignal (OUTPUT2)

Priloga 2

Program za KUKA robot

```
1  INI
2  PTP HOME Vel = 100 % DEFAULT 1
3
4
5  PTP P1 Vel = 100 % PDAT1 Tool (1):a1 Base(0)
6  PTP P2 Vel = 100% PDAT18 Tool (1):a1 Base(0)
7  OUT 18 `` State = TRUE
8  OUT 17 `` State = TRUE
9  WAIT Time = 2 sec
10 OUT 17 `` State = FALSE
11 PTP P3 Vel = 100 % PDAT3 Tool (1):a1 Base(0)
12 PTP P4 Vel = 100 % PDAT23 Tool (1):a1 Base(0)
13 OUT 19 `` State = TRUE
14 WAIT Time = 1 sec
15 OUT 19 `` State = FALSE
16 PTP P8 Vel = 50 % PDAT20 Tool (1):a1 Base(0)
17 PTP P9 Vel = 3 % PDAT19 Tool (1):a1 Base(0)
18 OUT 18 `` State = FALSE
19 OUT 17 `` State = TRUE
20 WAIT Time = 1 sec
21 OUT 17 `` State = FALSE
22 PTP P22 Vel = 50 % PDAT28 Tool (1):a1 Base(0)
23 PTP P18 Vel = 100 % PDAT24 Tool (1):a1 Base(0)
24 PTP HOME Vel = 100 % DEFAULT
25 OUT 19 `` State = TRUE
26 WAIT Time = 1 sec
27 OUT 19 `` State = FALSE
28 WAIT FOR IN 2 `` State = TRUE
29 PTP P19 Vel = 100 % PDAT25 Tool (1):a1 Base(0)
```

```
30 PTP P20 Vel = 50 % PDAT26 Tool (1):a1 Base(0)
31 PTP P21 Ve l= 3 % PDAT27 Tool (1):a1 Base(0)
32 OUT 18 .. State = TRUE
33 OUT 17 .. State = TRUE
34 WAIT Time = 2 sec
35 OUT 17 .. State = FALSE
36 PTP P23 Vel = 100 % PDAT29 Tool (1):a1 Base(0)
37 PTP P24 Vel = 100 % PDAT30 Tool (1):a1 Base(0)
38 PTP P25 Vel = 100 % PDAT31 Tool (1):a1 Base(0)
39 OUT 18 .. State = FALSE
40 OUT 17 .. State = TRUE
41 WAIT Time = 2 sec
42 OUT 17 .. State = FALSE
43 PTP P26 Vel = 100 % PDAT32 Tool (1):a1 Base(0)
44 PTP HOME Vel = 100 % DEFAULT
```

Priloga 3

Input/Output

IN 2 – input 2 signal od CNC

OUT 19 – output robot da signal CNC

OUT 17 – vklop mehanskega prijemala

OUT 18 – smer premika prijemala (stisk, razteg)