

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Alojz TOMAŽIN

**STREGA CNC STROJA Z ROBOTOM V IZBRANEM
LESNO PREDELOVALNEM PODJETJU**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Alojz TOMAŽIN

**STREGA CNC STROJA Z ROBOTOM V IZBRANEM LESNO
PREDELOVALNEM PODJETJU**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**TENDING CNC MACHINE WITH A ROBOT IN THE CHOSEN
WOOD PROCESSING COMPANY**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno v Delovni skupini za mehanske obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Dominiko Gornik Bučar, za somentorja doc. dr. Mirana Merharja, za recenzenta pa prof. dr. Gorazda Fajdigo.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomska naloga 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 delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Alojz Tomažin

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 674: 004.896
KG	lesno podjetje/proizvodnja/robotizacija/strega CNC stroja
AV	TOMAŽIN, Alojz
SA	GORNIK BUČAR, Dominika (mentor)/MERHAR, Miran (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	STREGA CNC STROJA Z ROBOTOM V IZBRANEM LESNO PREDELOVALNEM PODJETJU
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	VIII, 35 str., 7 pregl., 20 sl., 18 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V nalogi je predstavljena strega CNC strojev z robotom v podjetju Podgorje d. o. o. Šentjernej. Posluževanje CNC strojev z robotom je najbolj poznano v avtomobilski in kovinski branži, v lesarstvu pa je takšna uporaba redkejša. Odločili smo se, da še pred nakupom in uvedbo industrijskih robotov v našo proizvodnjo analiziramo prednosti in možne ovire pri uvajanju robotizacije. Izvedena je bila analiza obstoječega stanja v podjetju in analiza konkurenčnih podjetij. Pri tem smo ugotovili, da je naše podjetje eno najboljših v tej branži. Postavili smo zahteve robota za dano proizvodnjo, pregledali vse možne ponudnike in njihove ponudbe. Po ponudbi, ki je vključevala najboljšo rešitev za naš primer, se investicija povrne v 1,6 leta. Izdelali smo predlog umestitve robota v proizvodni proces ter izdelali SWOT analizo robotizacije, kjer smo zaznali največjo prednost v nižjih stroških dela in s tem dvig dodane vrednosti na zaposlenega. V prihodnje vidimo možnost uporabe robotov še na treh delovnih mestih v naši proizvodnji.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND	Vs
DC	UDC 674: 004.896
CX	wood company/production/robotization/tending CNC machine
AU	TOMAŽIN, Alojz
AA	GORNIK BUČAR, Dominika (supervisor)/ MERHAR, Miran (co-advisor)/ 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
TY	TENDING CNC MACHINE WITH A ROBOT IN THE CHOSEN WOOD PROCESSING COMPANY
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	VIII, 35p., 7 tab., 20 fig., 18 ref.
LA	sl
Al	sl/en
AB	In the thesis, serving CNC machines with the robot in the company Podgorje d.o.o. Šentjernej is presented. Serving CNC machines with the robot is the most commonly known in the automobile and metalworking branches. In woodworking such usage is rarer. We decided to research before the purchase and introduction of the industrial robots into our production. We analyzed the advantages and possible obstacles in introducing the robotization. An analysis of the existing condition was performed in the company and the analysis of the competitive companies as well. In the process we ascertained that our company is one of the best in the branch. We set the demands for the robot for the existing production. We surveyed all the possible providers and their offers. According to the offer that included the best solution for our case (the investment would be repaid in 1.6 years), we produced the proposal of the introduction of the robot into the production process and made a SWOT analysis of robotization, where we sensed the greatest strength in lower costs of work and thus the raise of the value added per employee. In future, we see the opportunity of the usage of the robots on three additional working positions in our production.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VII
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA	1
2 PREGLED OBJAV.....	2
2.1 ROBOT	2
2.1.1 Kartezični robot	2
2.1.2 Cilindrični robot	3
2.1.3 Sferični oz. polarni robot.....	3
2.1.4 Artikulirani robot	5
2.1.5 Antropomorfni manipulator	5
2.1.6 Paralelni robot.....	6
2.1.7 SCARA roboti	6
2.1.8 Prostostne stopnje	7
2.1.9 Neredundanten in redundanten robot	7
2.2 ROBOTIZACIJA V INDUSTRIJI	8
2.3 ROBOTIZACIJA V LESNI INDUSTRIJI	9
2.3.1 Ovire pri uvajanju robotizacije v lesarstvo	14
3 MATERIAL IN METODE	17
3.1 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA V PODJETJU PODGORJE NA CNC LINIJI.....	17
3.2 ANALIZA KONKURENČNIH PODJETIJ	19
3.3 ZAHTEVEVANE KARAKTERISTIKE ROBOTOV	21
3.4 PREGLED PONUDNIKOV USTREZNIH ROBOTOV IN NJIHOVA ANALIZA GLEDE NA ZAHTEVE PODJETJA	24
3.5 VERIFIKACIJA PODANIH PARAMETROV ROBOTA GLEDE NA DINAMIČNE ZAHTEVE DANEGA PROBLEMA.....	25
4 REZULTATI.....	25
4.1 PREDLOG UMESTITVE ROBOTA V PROIZVODNI PROCES.....	25
4.2 ANALIZA PONUDBE	27
4.3 RAZISKAVA MOŽNIH OVIR IN REŠITEV PRI APLIKACIJI ROBOTOV V PODJETJU.....	28
4.4 OVREDNOTENJE INVESTICIJE.....	30
5 SKLEP	31

6	POVZETEK	33
7	VIRI.....	34
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Kartezična robotska roka.....	3
Slika 2: Cilindrična robotska roka.....	3
Slika 3: Sferična robotska roka.....	4
Slika 4: Unimate mehanska roka.....	4
Slika 5: Artikularni robot.....	5
Slika 6: Antropomorfna robotska roka.....	5
Slika 7: Paralelni robot.....	6
Slika 8: SCARA robotska roka.....	6
Slika 9: SCARA robotska roka.....	7
Slika 10: Gostota robotov - število večnamenskih industrijskih robotov na 10.000 zaposlenih v industriji leta 2014.....	9
Slika 11: Avtomatsko sestavljanje pohištva.....	10
Slika 12: Robotiziran manipulativno obdelovalni center.....	11
Slika 13: Uporaba robota za brušenje robov.....	12
Slika 14: Uporaba robota izdelavi palet.....	13
Slika 15: Robotska celica s komponentami in frezalno glavo.....	14
Slika 16: Trenutno stanje na CNC liniji.....	18
Slika 17: Trenutno stanje na posameznem CNC delovnem mestu.....	19
Slika 18: Skica zahtev robotske celice.....	23
Slika 19: Delež inštaliranih robotov po proizvajalcih.....	24
Slika 20: Predlagana postavitev robotov na CNC liniji.....	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: SWOT analiza za industrijske robote (Tjemsland in Johansen, 2014).....	16
Preglednica 2: Pregled domače konkurence (Interni vir 2015)	20
Preglednica 3: Pregled tuje konkurence (Interni vir 2015).....	20
Preglednica 4: Spremljanje rezultatov poslovanja v Podgorju leta 2014 (Interni vir)	21
Preglednica 5: Analiza vseh elementov v SP in elementov debeline 12 mm na mesečnem nivoju za obdelavo na CNC strojih.....	26
Preglednica 6: Pregled ponudnikov za postavitev RC.....	28
Preglednica 7: SWOT analiza uvedbe robotov v proizvodnjo Podgorja.....	29

1 UVOD

V nalogi je prikazan predlog strege Computerized Numerical Control (CNC) stroja z robotom v izbranem lesno predelovalnem podjetju Podgorje d. o. o. Šentjernej. Podjetje se ukvarja z izdelavo pohištva na področju »caravaninga«, »yachtinga« in pohištva specialnih izvedb. V posodobitev proizvodnje s pomočjo robotov na CNC liniji nas je pripeljala strategija stalnih izboljšav, saj vsako leto velik del sredstev namenimo v ta namen in tako povečujemo prednost pred konkurenco z visoko tehnološko opremljenostjo. Glavni razlog, zaradi katerega smo se v podjetju za to odločili, je dvig dodane vrednosti na zaposlenega, da bi skozi čas dosegli evropsko povprečje.

V sklopu posodobitve proizvodnje bosta izvedeni avtomatizacija ter robotizacija posameznih delovnih mest, na katerih danes fizično delo opravljajo ljudje, v prihodnje pa želimo, da bi delo potekalo hitreje, avtomatizirano, z manj fizičnega dela. V proizvodnji obvladujemo obdelavo preko 40.000 različnih artiklov, od tega je 60 % izdelkov narejenih iz ravne vezane plošče, oplemenitene s papirjem, debeline 12 mm, pravokotne ali kvadratne oblike, obdelane iz vseh šestih strani, z rezkanjem ali vrtanjem. V nadaljevanju je potrebno 80 % teh elementov obdelati na 20 CNC strojih, ki se med seboj razlikujejo glede na 12 različnih tipov strojev in 5 različnih proizvajalcev. Material, ki ga uporabljamo, je lahek, v povprečju težak 5 kg/m^2 , večina elementov pa je manjša od velikosti 1 m^2 . CNC stroji delajo v treh izmenah. Na njih delajo samostojni operaterji ali se jih poslužujejo delavci, ki opravljajo le menjavo obdelovancev na CNC stroju. Ti elemente iz palete nalagajo v delovno območje stroja in jih po končani izdelavi zlagajo na drugo paleto. Delo nakladanja elementov na in iz stroja je monotono, a zahteva vestnega delavca, ki mora slediti hitrosti izdelave elementov na stroju. V kolikor delavec hkrati opravlja kako drugo operacijo, npr. pripravljanje palete, stroj konča operacijo in čaka naslednji ukaz delavca. S tem se zmanjšuje učinkovitost proizvodnje, zato je smiselna uvedba robotov, ki bi lahko nakladali elemente na stroj in jih zlagali na palete hitreje, kot to danes počne delavec.

Danes za posamezne procese poznamo avtomatizacijo in robotizacijo. Avtomatizacija pride v poštev na tistih delovnih mestih, kjer se ponavljajoče izdelujejo elementi enakih dimenzij, medtem ko je robotizacija lahko bolj fleksibilna. Prav zaradi tega smo se odločili za robotizacijo CNC delovnih mest. Ugotovili smo tudi, da lahko robot zamenjuje delo človeka na področju, kjer se uporablja sam stroj.

1.1 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Način posluževanja CNC strojev s pomočjo robotov je bolj poznan v avtomobilski in kovinski panogi, v lesarstvu pa bistveno manj. Proizvodnja v našem podjetju je zelo specifična zaradi zelo velike količine različnih elementov, različnih dimenzij, različnih

materialov, majhnih serij in velike občutljivosti površin elementov. Na vse to moramo biti še posebej pozorni, da bi bilo težav ob zagonu robotizacije čim manj. Zato moramo v veliki meri poskrbeti sami ter jih že pred tem čim več odpraviti ali najti ustrezne rešitve pri aplikaciji nove opreme.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ROBOT

Beseda robot se je prvič pojavila leta 1920 v dramski igri R.U.R. (Rossum's Universal Robots), ki jo je napisal Karel Čapek, češki pisatelj in scenarist. Robot je pomenil delo.

Glamnik in Veber (2012) delita robote v tri skupine:

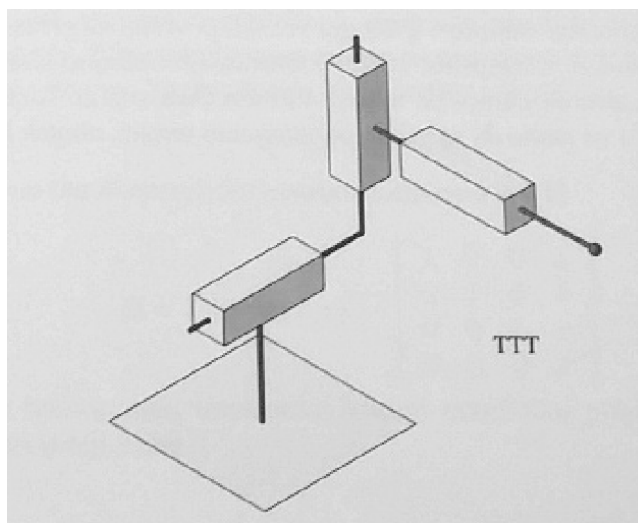
- antropomorfni (človeku podobni roboti),
- neantropomorfni (po obliki spominjajo na stroje),
- lokomocijski (robot z elementi hoje).

Industrijske robote delimo še po sami zgradbi, in sicer na:

- kartezični robot,
- cilindrični robot,
- sferični oz. polarni robot,
- artikulirani robot (antropomorfni manipulator),
- paralelni robot,
- SCARA roboti.

2.1.1 Kartezični robot

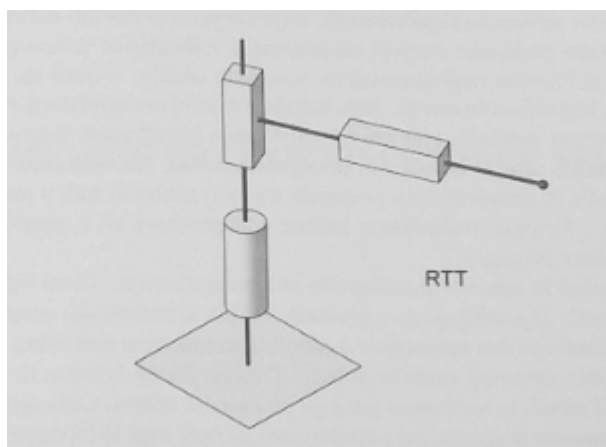
Kartezični robot (Slika 1) ima možnost linearnega gibanja v treh smereh, x, y, z, sklepi so med seboj pravokotno postavljeni in so translacijski (TTT), lahko pa dodamo še rotacijsko os, če je potreben še zasuk obdelovanca po Z osi. So zelo natančni in primerni za prenašanje težkih bremen. Oblika delovnega prostora, kartezičnih robotov je kvader (Bajd in Mihelj, 2008).



Slika 1: Kartezična robotska roka (Bajd in Mihelj, 2008)

2.1.2 Cilindrični robot

Cilindrični robot (Slika 2) ima možnost linearnega translacijskega gibanja v dveh smereh, prvi sklep pa je rotacijski. Os druge prostostne stopnje je postavljena vzporedno prvi, tretja pa je postavljena pravokotno na drugo (RTT). Oblika delovnega prostora cilindričnih robotov je valj (Bajd in Mihelj, 2008).

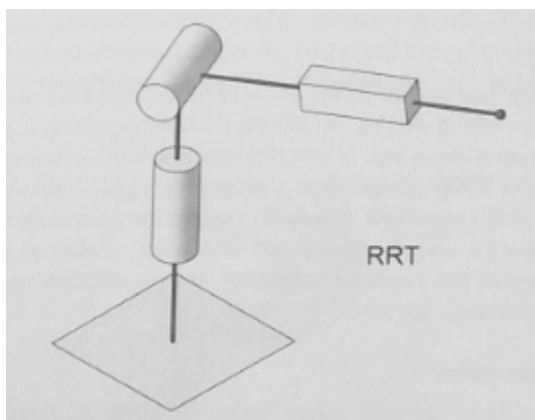


Slika 2: Cilindrična robotska roka (Bajd in Mihelj, 2008)

2.1.3 Sferični oz. polarni robot

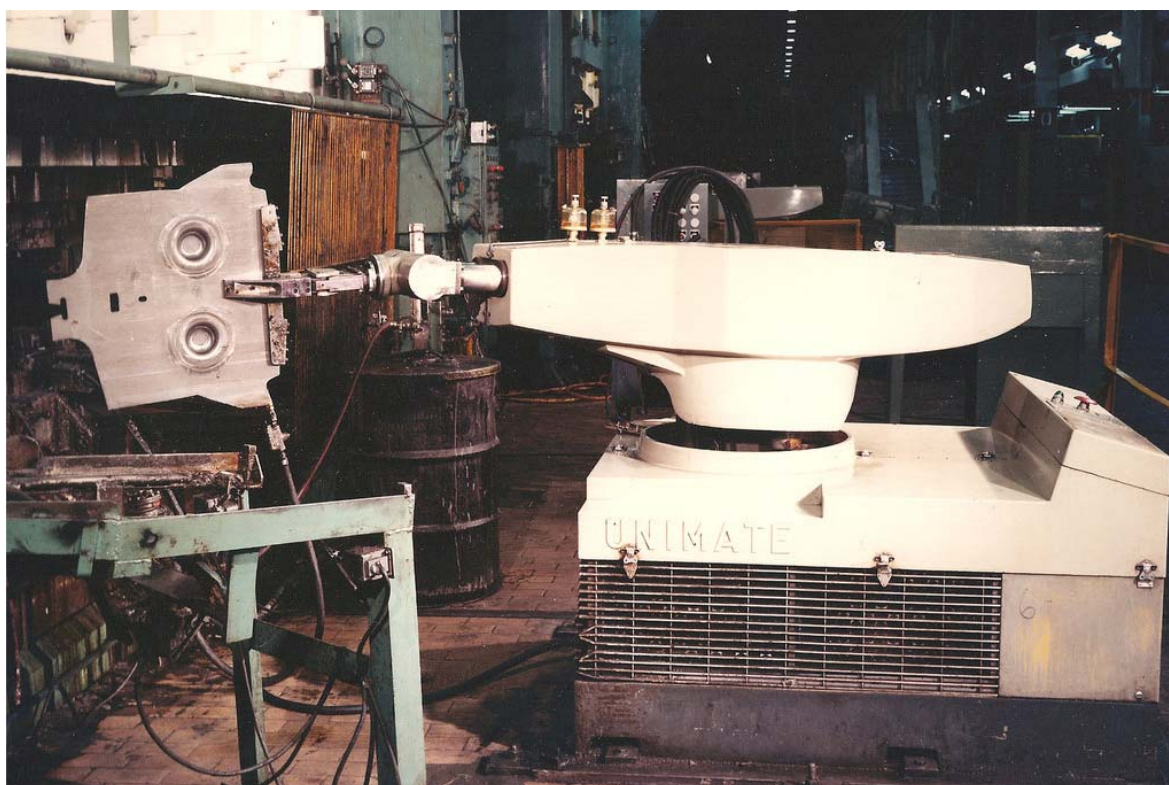
Sferični oz. polarni robot (Slika 3) ima možnost rotacijskega gibanja v dveh prostostnih stopnjah, tretji sklep pa je translacijski. Os druge prostostne stopnje je postavljena pravokotno glede na prvo, tretja pa je postavljena pravokotno glede na drugo (RRT).

Oblika delovnega prostora, ki ga določa vrh manipulatorja, je podobna krogli (Bajd in Mihelj, 2008).



Slika 3: Sferična robotska roka (Bajd in Mihelj, 2008)

Prvi sferični industrijski robot z imenom UNIMATE se je pojavil leta 1961 (Slika 4), ki ga je predstavilo podjetje Unimation Incorporated. V proizvodnji so jih prvi začeli uporabljati pri podjetju General Motors za pobiranje in zlaganje vročih kovinskih delov iz kalupov.

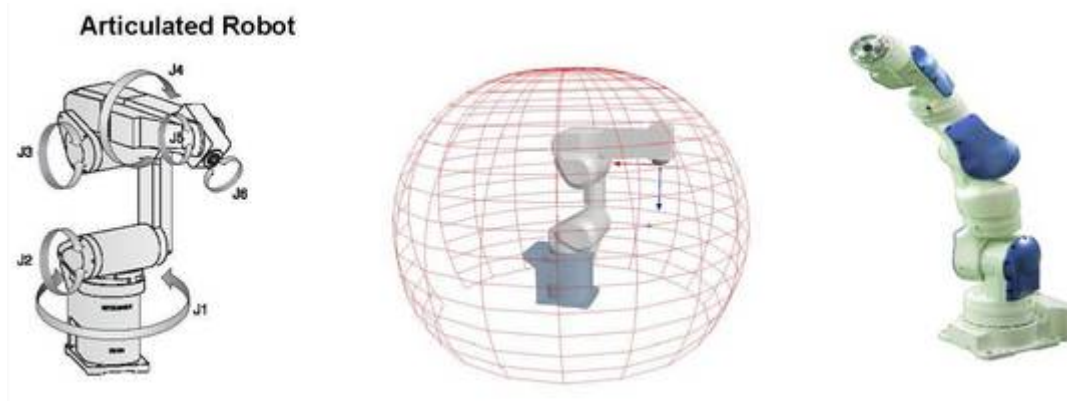


Slika 4: Unimate mehanska roka (Pearce in Devol, 2011)

2.1.4 Artikulirani robot

Artikulirani robot (Slika 5) ima minimalno dve zaporedni rotacijski prostostni stopnji ali rotacijska sklepa, ki se gibljeta okrog paralelnih osi (Bajd in Mihelj, 2008). Pri iskanju vidimo, da ga poimenujejo tudi antropomorfni manipulator: »The articulated manipulator is also called a revolute, or anthropomorphic manipulator« (Spong, 2004).

Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.

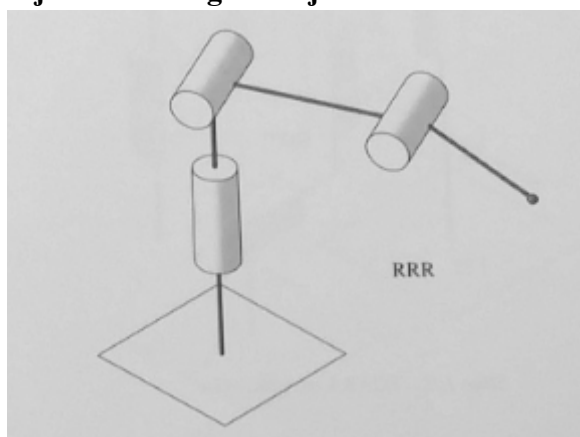


Slika 5: Artikularni robot (IFR, 2016)

2.1.5 Antropomorfni manipulator

Antropomorfni manipulator (Slika 6) ima tri rotacijske prostostne stopnje in je najbolj podoben človeški roki; od tod izvira tudi njegovo ime. Druga in tretja prostostna stopnja imata usmerjeni osi pravokotno na prvo in sta vzporedni (RRR). Antropomorfni manipulator ima okroglo obliko delovnega prostora (Bajd in Mihelj, 2008).

Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.



Slika 6: Antropomorfna robotska roka (Bajd in Mihelj, 2008)

2.1.6 Paralelni robot

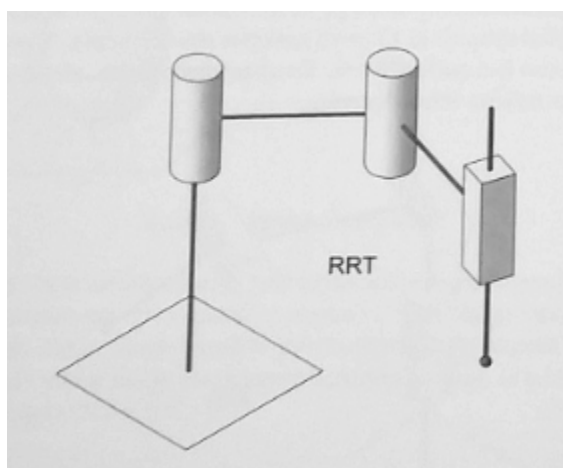
Paralelni robot (Slika 7) ima zaprtozančno kinematično verigo dveh ali več verig samega mehanizma, ki povezujejo vrh z osnovo. Delovni prostor je v obliki polkrogle. Zaradi večjega števila nog je njihova struktura zelo toga, imajo lahko visoko nosilnost, so izredno hitri ter natančni. Največkrat se uporabljajo v kombinaciji tekočega traku in strojnega vida (Ozmec, 2012).



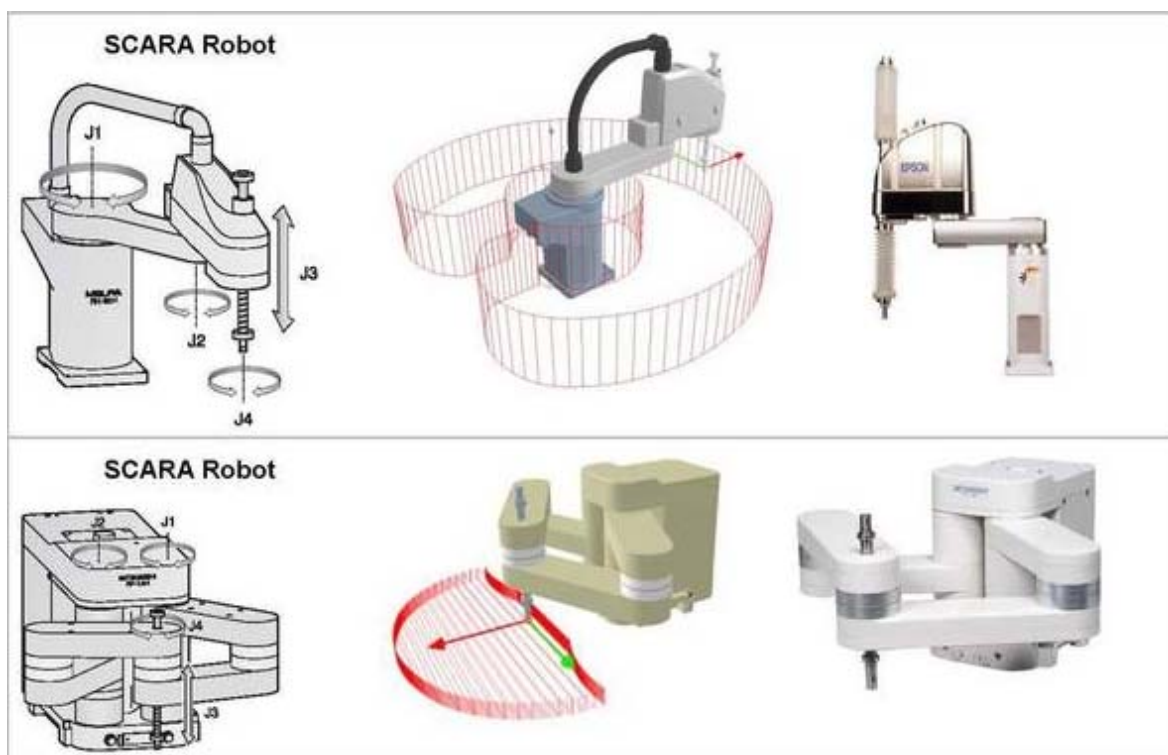
Slika 7: Paralelni robot (IFR, 2016)

2.1.7 SCARA roboti

SCARA roboti (Slika 8 in 9) v dveh prostostnih stopnjah imajo dva sklopa rotacijskega gibanja, tretji sklep pa je translacijski. Vse osi prostostnih stopenj so vzporedne (RRT). Oblika delovnega prostora SCARA robota je podobna valju (Bajd in Mihelj, 2008).



Slika 8: SCARA robotska roka (Bajd in Mihelj, 2008)



Slika 9: SCARA robotska roka (IFR, 2016)

2.1.8 Prostostne stopnje

Pri določanju pozicije in orientacije togih teles v prostoru se srečamo s šestimi prostostnimi stopnjami – s tremi rotacijami in tremi translacijami. Rotacije določajo orientacijo, translacije pa določajo pozicijo. Lego telesa dobimo, ko sta znani točna pozicija in orientacija. Za reševanje nalog, kjer so potrebne vse tri translacije in vse tri rotacije, potrebujemo robota s šestimi sklepi. »Prostostna stopnja (angl. Degree Of Freedom) označuje geometrijo načina spreminjanja odnosa med dvema segmentoma glede na osi sklepa, ne da bi upoštevali čas. Dva segmenta sta preko sklepa povezana s svojo določeno kinematiko in v robotiki jima pravimo tudi kinematični par. V primeru, da pride do večjega zaporedja kinematičnih parov, to zaporedje imenujemo kinematična veriga.« (Glamnik in Veber, 2012).

2.1.9 Neredundanten in redundanten robot

Roboti, ki imajo največ 6 prostostnih stopenj za orientacijo in pozicioniranje predmeta v prostoru, so neredundantni. Sem spada večina vseh industrijskih robotov. Zanje je značilno, da je upravljanje in reševanje dinamike veliko enostavnejše kot pri redundantnih. Redundanten robot ima več kot šest prostostnih stopenj in je zato upravljanje z njim težavno za industrijske namene, saj imamo na voljo neskončno možnih rešitev, kako doseči točko v prostoru. Tu pa se lahko pojavi težava v odločanju. V primeru, da želimo rešiti

nalogo, ki ima več prostostnih stopenj, kot je število prostostnih stopenj vrha našega robota, pride do singularne konfiguracije. »Če lahko položaj in orientacijo vrha robota dosežemo z več kot eno možno rešitvijo vrednosti notranjih koordinat, imenujemo to redundanca ali singularna funkcija.« (Glamnik in Veber, 2012).

2.2 ROBOTIZACIJA V INDUSTRIJI

Industrijski roboti se danes uporabljajo že skoraj na vseh področjih. 90 % jih je inštaliranih v industriji, največ v avtomobilski in elektronski. Najdemo jih tudi (Doe, 2011):

- v letalski industriji,
- v kemični in plastični industriji,
- v filmski industriji,
- v živilski industriji,
- pri steklarstvu,
- v lesni in pohištveni industriji,
- pri tiskanju in graviranju,
- pri montaži, sestavljanju,
- pri manipulaciji nevarnih materialov,
- pri lakiranju, barvanju,
- pri kontroli dimenzij,
- pri rezanju in poliranju,
- pri krivljenju,
- pri lepljenju.

Stopnja avtomatizacije se danes pospešeno odvija v vseh naprednih industrijah, saj je želja, da bi bila stopnja izdelave proizvodov najvišja, kar posledično vpliva na stroške izdelave in kvaliteto. Industrijski roboti se največkrat uporabljajo kot manipulator pri stregi in pakiranju izdelkov ter v fazi nanašanja površinskih materialov. S hitrejšim razvojem programske in strojne opreme bi lahko imeli več aplikacij tudi na področju lesarstva.

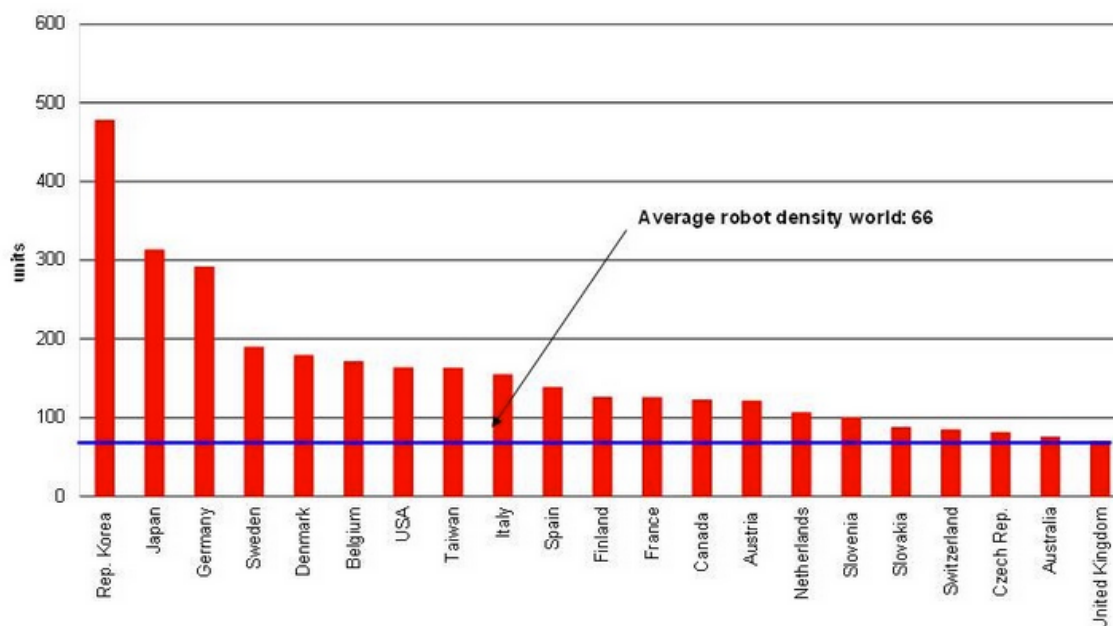
Sam začetek avtomatizacije proizvodnje prikazuje uporaba NC strojev, ki so jih kasneje nadomestili CNC stroji (Gornik Bučar in sod., 2015).

Število robotov v svetu zelo hitro narašča in do leta 2018 bo inštaliranih približno 1,3 milijona industrijskih robotov. V obdobju 2013–2014 so se v svetu povečale naložbe v industrijske robote za 43 %. Gostota uporabe robotov je ključni kazalnik uspešnosti avtomatizacije na mednarodnih trgih, kar prikazuje tudi Slika 10.

V svetu je povprečno 66 robotov na 10.000 zaposlenih; pri tem ima 21 držav nadpovprečno robotsko gostoto. Več kot polovica – 14 držav se nahaja v Evropski uniji, sledijo Azija (Južna Koreja, Japonska in Tajvan) ter ZDA in Kanada.

Najmočnejša in vodilna na tem področju je Južna Koreja, ki presega svetovno povprečje za sedemkrat, s 478 enotami, sledi ji Japonska s 314 enotami in Nemčija z 292 enotami. Slovenija je na 16 mestu, kar dokazuje, da dobro sledimo razvoju novih tehnologij.

Po raziskavi World Robotics News (2016) bo do leta 2018 začelo obratovati 1,3 milijona industrijskih robotov.



Slika 10: Gostota robotov – število večnamenskih industrijskih robotov na 10.000 zaposlenih v industriji leta 2014 (World Robotics News)

Roboti lahko izvajajo opravila bolj učinkovito in hitreje kot ljudje. Z njimi lahko zagotovimo večjo varnost in zdravje zaposlenih, dvignemo produktivnost, izboljšamo kakovost in zmanjšamo izmet.

2.3 ROBOTIZACIJA V LESNI INDUSTRIJI

Robotizacija v lesni industriji se pojavlja predvsem pri manipulaciji materialov, barvanju in lakiranju, nanosu lepil, pri izdelavi palet in mehanski obdelavi, kot so rezkanje, vrtanje, brušenje in podobno.

»V lesni industriji predstavljajo glavno stopnjo avtomatizacije klasični 3 osni in 5 osni CNC stroji, njihovo nadgradnjo pa predstavljajo avtomatsko posluževanje teh strojev z industrijskim manipulatorjem (robotom). Avtomatizacija lakiranja in pakiranja izdelkov, ter paletizacija z industrijskimi roboti lahko poveča storilnost proizvodnje za 45 %, investicija pa se povrne v manj kot treh letih.« (Gornik Bučar in sod., 2015).

Z vse večjim prilagajanjem željam kupcev ter vse manjšimi serijami je projektiranje postalo eden večjih izzivov, povsem avtomatizirane in prilagodljive proizvodnje. Osnovni segmenti takih proizvodenj so industrijski roboti z različnimi obdelovalnimi agregati za obdelavo ter podprti s CAD/CAM programsko opremo. V kolikor te robote postavimo na vodeno mobilno platformo, dobimo neomejene možnosti uporabe tudi v lesarstvu. Na Sliki 11 je prikazan primer dveh vodenih mobilnih platform z industrijskim robotom, ki sestavljata pohištvo (Gornik Bučar in sod., 2015).



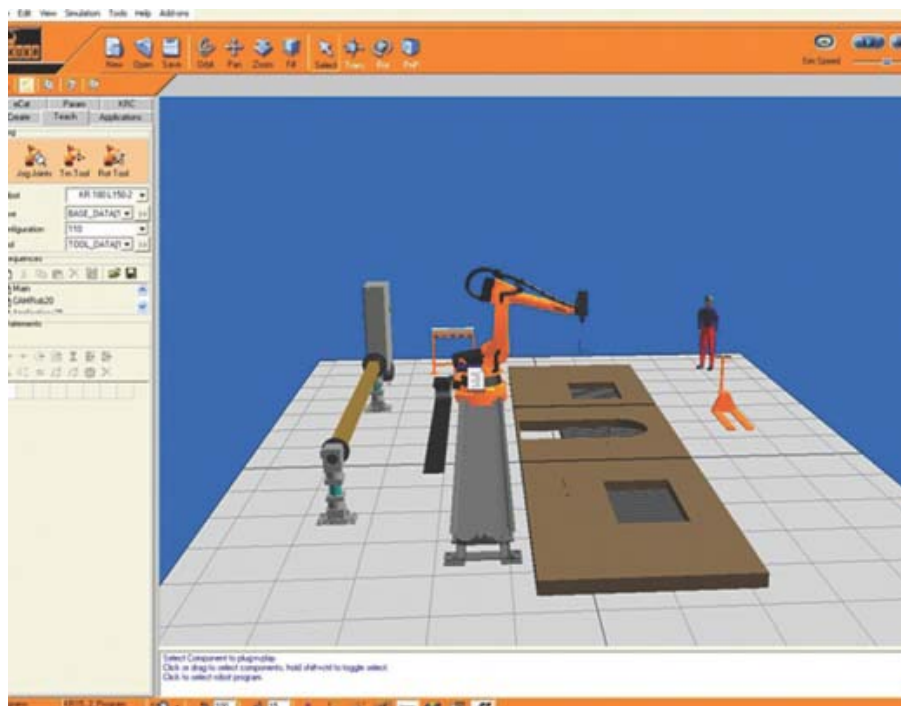
Slika 11: Avtomatsko sestavljanje pohištva (Klampfer in Curk, 2008)

Slika 12 prikazuje robotski center za proizvodnjo elementov lesenih hiš – velikost elementov, ki se jih lahko izdela, je odvisna od velikosti obdelovalnega prostora CNC strojev ali manipulacijskega obdelovalnega robotskega centra, ki je lahko poljubne dolžine, če industrijskega obdelovalnega robota postavimo na linearno os. Take izvedbe so bistveno cenejše od primerljivih CNC strojev s tako velikimi dimenzijami. Pri tem je potrebno izbrati primerne robota glede na zahteve in natančnost obdelave ter dinamiko robotskega manipulativnega obdelovalnega centra. Posebno pozornost je potrebno nameniti tudi pritrjevanju obdelovancev, menjavi orodij ter obliki elementov.

Lesna industrija v stopnji avtomatizacije sicer zaostaja za avtomobilsko industrijo, vendar zaradi zahtev po prilagoditvi tržišču, zniževanju stroškov proizvodnje in dobave izdelkov visoke kakovosti stopnja avtomatizacije tudi v lesni industriji hitro raste.

Na trgu se že pojavljajo industrijski roboti s sistemi, posebej razvitimi za lesno industrijo.

Velike možnosti za integracijo industrijskih robotov so v procesu predelave lesa za gradnjo in proizvodnjo panelnih sistemov. Za še večjo integracijo industrijskih robotov v tem segmentu bo robota potrebno opremiti z izmenjevalci orodij, obdelovalnih agregatov, saj robot opravlja več operacij v procesu izdelave končnega izdelka. Pogosto je za ta namen potrebno narediti posebne namenske obdelovalne agregate, kar poveča stroške posamezne vrste obdelave (Gornik Bučar in sod. 2015).



Slika 12: Robotiziran manipulativno obdelovalni center (Gornik Bučar in sod. 2015)

Robotizacija v lesni industriji je najbolj uporabljena pri dobaviteljih pohištva za podjetje IKEA (Slika 13), ki dosegajo največje serije. Mednarodno podjetje Swedwood je lastnik okoli 40 podjetij. Eno izmed podjetij v njihovi skupini je tudi podružnica Spartan na Slovaškem, kjer uporabljajo robote za brušenje robov plošč ter za lakiranje. Roboti so nadomestili delavno silo na mestih, kjer je bilo delo težko in zdravju škodljivo, s tem pa so izboljšali kvaliteto dela in delovne pogoje zaposlenih. Spartan na Slovaškem je za svojega ponudnika robotov izbral skupino ABB zaradi splošnega sporazuma o sodelovanju s skupino Swedwood ter iz preprostega razloga, ker ima ABB Robotics poslovalnico tudi v Trnavi, ki je njihov domači kraj. Tako lahko pričakujejo večjo podporo strank, boljše vzdrževanje in ostale storitve iz tega naslova. Postavili so dve liniji za lakiranje v U obliki, na katerih ličnice predalov najprej obdelajo po robovih, nato še po ploskvi, jih zatem sušijo v sušilnem kanalu, brusijo ter končno obdelajo. Za ta namen so uporabili pet robotov pri lakiranju ter dva za namene brušenja. Sedaj je zmogljivost njihovih dveh robotiziranih linij 280.000 palet letno, na katerih delajo štirje ljudje v eni izmeni, medtem ko so v preteklosti

delali na liniji z dvanajstimi ljudmi v treh izmenah. Dodatna prednost, ki so jo dosegli, je tudi, da so za 15 % zmanjšali količino porabljenega laka (IFR, 2014a).



Slika 13: Uporaba robota za brušenje robov (IFR, 2014a)

Za robotizacijo svoje proizvodnje se odloča vse več manjših podjetij, kar prikazuje primer manjšega družinskega podjetja na severu Nemčije, ki robotizacijo uporablja pri izdelavi palet (Slika 14). Robot KUKA tipa KR 210 L180 K so namestili pod manjšo streho in ker prostor ni ogrevan, se pozimi, kadar se temperature spustijo na okoli 0 °C, na robotu aktivira program za ogrevanje robota pred začetkom dela, kar zagotavlja polno učinkovitost robota tudi ob nizkih temperaturah. Družina Gerich je sedaj zelo ponosna na svojo odločitev in investicijo v napredno tehnologijo, ki jim je olajšala delo (IFR, 2014b).



Slika 14: Uporaba robota pri izdelavi palet (IFR, 2014b)

O robotizirani mehanski obdelavi govorimo, ko na manipulator industrijskega robota namestimo orodje za odzemanje materiala na obdelovancu (Slika 15). Zahteve odrezovalnih strojev večinoma presegajo možnosti robotskih aplikacij, vendar je njihova uporaba možna tam, kjer so dopustne nekoliko ohlapnejše tolerance in se obdelujejo manj trdi materiali. Uporaba robotov za namene frezanja in obrezovanja je zanimiva predvsem zaradi velike prilagodljivosti pri zahtevnih in velikih obdelovancih. Programiranje zahtevnih obdelav ni možno dovolj kakovostno izvesti po sistemu »teach-in« ali »online« programiranja, za ta namen se je potrebno posluževati novih CAM programov, ki omogočajo »offline« programiranje. Za testni primer na Slika 15 je bil uporabljen 6-osni antropomorfni robot KUKA KR150-2 z nosilnostjo 150 kg. Prednost teh sistemov v primerjavi s klasičnimi CNC obdelovalnimi stroji je, da so razmeroma poceni, zelo prilagodljivi, imajo veliko delovno območje, nižjo porabo energije, kar je pri klasičnih obdelovalnih strojih nedosegljivo. Slaba lastnost teh sistemov pa je, da so mehanske obdelave manj natančne in lahko tolerance znašajo 0,3 mm ali več. To se pojavi zato, ker ima robot več prostostnih stopenj kot klasični CNC stroj. Obdelujejo se lahko le mehki materiali, lesni kompoziti, les in poliuretanske pene (Tratar in sod., 2011).



Slika 15: Robotska celica s komponentami in frezalno glavo (Tratar in sod., 2011)

2.3.1 Ovire pri uvajanju robotizacije v lesarstvo

Na uvajanje robotizacije vplivajo naslednji dejavniki (Klampfer in Curk, 2008):

- **Uvedba robotskih rešitev v proizvodnjo je lahko velik strošek** (začetne investicije so lahko velike). Vemo, da v nekaterih proizvodnjah ne vlagajo dovolj v smer razvoja in investiranja v napredne tehnologije. Take proizvodnje tudi nimajo povsem jasnih dolgoročnih ciljev za obstoj na trgu, saj lastniki podjetij z omejevanjem investicij ovirajo proces robotizacije, ki postaja vse pomembnejša v sodobnih tovarnah. Pametne tovarne že vsebujejo robotiko. Prihaja industrija 4.0, ki pomeni povečano avtomatizacijo in digitalizacijo proizvodnih procesov, ki sta preverjeni z različnimi simulacijami.
- **Izbrati je potrebno pravo in uspešno prvo aplikacijo.** Pri izboru moramo biti previdni, da si ne zadamo prevelikega izziva in izberemo nalogo, za katero vemo, da jo bomo lahko realizirali. Izogibati se moramo prezahtevnim aplikacijam.
- **Izbira pravega robota (manipulatorja),** ki bo najbolj ustrezal našim zahtevam. Glede na nalogo, ki smo si jo zadali, moramo izbrati pravi tip manipulatorja, ki mora imeti pravilno število prostostnih stopenj, poznati moramo obliko delovnega prostora, kakšno orodje bomo pri tem uporabili ter vedeti, kako veliko nosilnost mora imeti izbrani manipulator.
- **Kompleksnost avtomatizacije:** iskati moramo preproste rešitve, ker te bistveno vplivajo na rentabilnost, manjše stroške zagona ter vzdrževanja.

- **Hitrost proizvodnje:** poznati moramo trenutno stanje ter izvesti simulacijo za izvajanje operacij po novem postopku (vedeti moramo, da manipulatorji načeloma delajo počasneje kot človek, vendar z manj napakami in brez izgub). Samo proizvodnjo moramo zasnovati tako, da ne prihaja do ozkih grl, ki bi nam omejevala proizvodne kapacitete.
- **Ekonomska upravičenost** je eden izmed pomembnejših ciljev. Cilji, kot so: vse večja produktivnost, manjši izmet in kvalitetnejši izdelki ter drugi, prispevajo k večji ekonomski uspešnosti.
- **Časovno trajanje uvedbe** (menjava proizvodnega programa): čas delovanja je potrebno predvideti že v fazi študije projekta, saj to obdobje v veliki meri vpliva na amortizacijo investicije.
- **Prva namestitvev** (zagon je potrebno izvesti s strokovnjaki): za izvedbo projekta je potrebno pridobiti prave ljudi, ki so ustrezno izobraženi; v kolikor še niso, jih je najprej potrebno poslati na primerno izobraževanje, saj bodo znanje še kako rabili pri zagonu, odpravi napak, kasnejšem obratovanju in vzdrževanju, zato je domači tehnični kader zelo pomemben. Robot je povsem nekoristen, če ne izvaja nalog, za katere je bil predviden.
- **(Ne)naklonjenost okolja** (nezadovoljstvo ljudi in sabotaže robotov): ljudje, ki prvič srečajo robote, začutijo strah pred njimi, ker se bojijo, da bodo roboti v celoti nadomestili njihova delovna mesta ter bodo ostali brez služb. Uvajanje robotizacije mora biti v podjetju vsem predstavljeno na pravilen način (Klampfer in Curk, 2008).
- **Osnovni robot**, ki ga je moč kupiti na trgu brez namenskega prijemala in primerne aplikacije, je še povsem neuporaben, lahko pa to dejstvo v prihodnosti spremenimo z boljšim poznavanjem robotike.

Da nas ne bi presenetile težave in ovire pri uvajanju robotov v podjetje, je smiselna izvedba SWOT analize (Preglednica 1), ki zajema prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti, kot jo navajata tudi Tjemsland. in Johansen (2014).

Preglednica 1: SWOT analiza za industrijske robote (Tjemsland in Johansen, 2014)

Prednosti:		
Prihranki stroškov	Kakovost	Zmogljivost in prilagodljivost
o nižji stroški dela	o natančnost, doslednost in zanesljivost	o lahko dela 24 h/dan
o prihranki časa	o visoka kakovost	o možnost povečanja proizvodnje
o prihranki prostora	o opravljanje zelo zahtevnih nalog	o možno jih je reprogramirati
		o fleksibilna proizvodnja
		o lahko izvajajo opravila, ki jih človek ne bi bil sposoben izvajati
Slabosti:		
Stroški	Donosnost	Težave z delovanjem
o velike začetne investicije	o potrebne so velike serije, da se izplača	o potencialno nevarni
o potrebno je vzdrževane		o potrebne so varnostne naprave
o zahteve po servisiranju		o možnost tehničnih napak
o stroški čiščenja		o potreba po trdnih tleh
o izobraževanje zaposlenih		
Priložnosti:		
Zunanji dejavniki	Notranji dejavniki	
o Zamenjava ljudi v nevarnosti, dolgočasno in umazano delo	o sodelovanje in medsebojno delovanje z človekom	
o staranje prebivalstva	o bolj »enostaven za uporabo« in prilagodljiva avtomatizacija	
o omejen dostop do proizvodnje zaposlenih	o izboljššan vid in sistem senzorjev	

se nadaljuje

nadaljevanje

☐ rast potrošniških trgov	☐ povečuje se integracija robotov pri strojni obdelavi	
☐ izboljšani delovni pogoji	☐ globoka avtomatizacija	
☐ ustvarjanje novih delovnih mest	☐ usposobljena in izobražena prodajna ekipa	
☐ rast plač		
Nevarnosti:		
Nadomestni izdelki	Duševne grožnje	Ogroženost naložb
☐ druge avtomatizirane proizvodne rešitve	☐ hitre izgube delovnih mest	☐ nezmožnost plačevanja posojil
☐ nizke subvencije	☐ občutljivost na gospodarska nihanja	
	☐ prekomerna uporaba robotike	
	☐ omejevanje proti robotski rešitvi	

3 MATERIAL IN METODE

3.1 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA V PODJETJU PODGORJE NA CNC LINIJI

Proizvodnja v Podgorju je zelo specifična, saj se izdeluje izredno veliko število elementov – preko 40.000 – ki jih je potrebno hitro menjavati in se vse bolj približujemo individualni proizvodnji. Proizvodnja je že danes zelo organizirana in dela po določenih notranjih pravilih. Material prihaja na CNC linijo direktno iz razreza ali po robni obdelavi. Vsi elementi se med proizvodnjo spremljajo fizično, z dokumentacijo, ki zajema načrt in spremni list s črtno kodo. Proizvodnja je že skoraj v celoti računalniško podprta in dnevno se preko programa INEA spremlja učinkovitost na vseh delovnih mestih.

CNC linija vsebuje 20 strojev, ki se razlikujejo po vrsti obdelave, velikosti stroja in proizvajalcu ter modelu. Za vsak stroj se tako izdelava program, ki ga pripravijo tehnologi v službi tehnološke priprave in pošljejo v bazo programov na stroju. Operaterji na strojih sami ne pišejo programov za CNC stroj, ampak jih glede na element, ki ga obdelujejo, le poiščejo v bazi na stroju ter nastavijo CNC stroj z zahtevanim orodjem. Obdelovanec iz palete položijo na zahtevano obdelovalno polje na stroju ter poženejo program za obdelavo, nadzorujejo obdelavo in premerijo prvi obdelan kos glede na zahtevane

dimenzije po načrtu. V kolikor dimenzije obdelave niso pravilne, korigirajo program in ponovijo obdelavo na naslednjem kosu. Ko je kakovost obdelave ustrezna in so dimenzije obdelave znotraj zahtevanih toleranc, podpišejo spremni list ter izdelan kos odložijo na izhodno paleto.

CNC linija je zasnovana tako, da se tok materiala ročno premika po transportni poti s pomočjo ročnih vozičkov ali na »euro« paletah. Ob strojih so zarisani prostori za odlagalna mesta palet ali vozičkov ter kovinski zaboji za lesne ostanke. Odrezki od obdelave se odvajajo iz linije preko centralnega odsesovalnega sistema. Delo na CNC liniji opravljajo operaterji, ki jih vodijo skupinovodje, te pa vodi vodja linije. Delo poteka v treh izmenah in zahteva izkušene operaterje, ki svoje delo opravljajo hitro in natančno, s čim manj izmeta. Kakovost obdelave na strojih preverjajo operaterji sami takoj ob nastavitvi in kontrolorji na odpremi pred pakiranjem.



Slika 16: Trenutno stanje na CNC liniji



Slika 17: Trenutno stanje na posameznem CNC delovnem mestu

3.2 ANALIZA KONKURENČNIH PODJETIJ

Iz analize v Preglednicah 2 in 3 lahko razberemo kazalnike poslovanja omenjenih družb in vidimo, da naše podjetje na domačem trgu posluje zelo dobro. Če ga primerjamo s podjetji iz tujine, vidimo, da so nekatera podjetja boljša, saj imajo večjo dodano vrednost in višje prihodke na zaposlenega. Po številu zaposlenih lahko vidimo, da je naše podjetje po številu ur/zaposlenega največje v zajeti analizi.

Podatki med družbami doma po produktih niso primerljivi, ker v Podgorju delamo glavnino pohištva za prikolice, avtodome in barke, ostale domače družbe iz panoge delajo večji del klasično pohištvo ali specialno pohištvo, razen Bobič Yacht in Metalika Leskovec, ki dela pohištvo za barke. Po številu zaposlenih je Podgorje med večjimi družbami, ki so uspešne. Od tujih družb so to dobavitelji proizvajalcem iz »caravaning« in »yachting« branže iz Nemčije in Italije. Vse ne poslujejo uspešno. Tako v Nemčiji kot Italiji so manjši dobavitelji, ki delajo za »caravaning« panogo z nekaj zaposlenimi. Izdelujejo samo določen segment opreme, kot so: stopnice, zunanje mize, mize z intarzijami, kuhinjske bloke. Te male družbe v javnih bazah nimajo objavljenih podatkov (Interni vir, 2015).

V Preglednici 4 so prikazani rezultati poslovanja družbe Podgorja v letu 2014, ki se primerjajo z letom 2013 in glede na plan leta 2014. Podatki se delijo na področje finančnih standardov ter ključnih kazalcev, med katerimi lahko vidimo, da podjetje posluje uspešno, nad zastavljenimi cilji. Dodana vrednost na zaposlenega se vsako leto večja.

Preglednica 2: Pregled domače konkurence (Interni vir, 2015)

	Podgorje Šentjernej, leto 2013	Bobič Yacht Interior Novo mesto, leto 2013	Metalika Leskovec pri Krškem, leto 2013	Alples Železniki, leto 2013	Stilles Sevnica, leto 2013
Prihodki na zaposlenega v €	59.989	67.659	118.835	63.347	21.436
Donos na kapital v %	13,2	7,46	18,87	6,15	0,75
Donos na sredstva v %	8,9	3,88	3,96	2,95	0,30
Profitna marža v %	5,8	5,2	2,28	3,57	0,34
Zaposleni iz ur/povprečje	306	37	20,52	198	177
Stroški dela na zaposlenega v €	24.539	23.495	20.889	20.852	19.090
Dodana vrednost na zaposlenega v €	31.013	34.979	30.010	30.748	16.404

Preglednica 3: Pregled tuje konkurence (Interni vir, 2015)

	Metrica Interior Nemčija leto 2012	Tecnoform Italija leto 2012	Borri S.r.l. Italija leto 2012	Somaform Nemčija leto 2012	Ehnle Leistungssysteme Nemčija leto 2012
Prihodki na zaposlenega v €	171.750	85.580	85.440	395.250	89.009
Donos na kapital v %	14,58	-65,33	1,87	14,52	-56,14
Donos na sredstva v %	3,09	-12,3	1,99	10,7	-9,6
Profitna marža v %	3,09	-5,6	2,99	5,6	-6,24
Zaposleni iz ur/povprečje	192	147	20	209	53
Stroški dela na zaposlenega v €	47.168	54.169	25.848	60.892	23.963
Dodana vrednost na zaposlenega v €	76.530	52.702	50.471	72.893	46.273

Preglednica 4: Spremljanje rezultatov poslovanja v Podgorju leta 2014 (Interni vir, 2015)

Finančni standardi:	Realizacija 2013	Plan 2014	O. realizacija 2014
1. Donos na kapital (ROE) % (ČD/kapital)	13,2	12,9	13,20
2. Delež kapitala v sredstvih (kapital/sredstva)	67	66,0	67,00
3. Donos na sredstva (ROA) % (ČD/sredstva)	8,9	8,50	8,90
4. Produktivnost sredstev (kosm. don./sred.)	1,58	1,66	1,58
5. Profitna marža – % (ČD/kosmati donos)	5,6	5,10	5,60
6. EBITDA v % od kosm. donosa iz poslovanja	10,70	10,30	10,70
Ključni kazalci:			
1. Bilančna vsota v tisoč EUR	11.713	12.000	12.589
2. Dolgoročna sredstva v tisoč EUR	6.374	6.760	6.884
3. Kratkoročna sredstva v tisoč EUR	5.279	5.237	5.703
4. Kapital v tisoč EUR	7.853	7.920	8.064
5. Čisti prihodki iz prodaje v tisoč EUR	18.356	19.743	19.554
6. Čisti poslovni izid v tisoč EUR	1.039	1.023	1.160
7. Dodana vrednost na zaposlenega v EUR	31.013	32.419	33.917

3.3 ZAHTEVEVANE KARAKTERISTIKE ROBOTOV

Proizvajalci industrijskih robotov ponujajo zelo različne modele, z različnimi karakteristikami, saj je vsak robot namenjen za svoje področje dela.

Če se odločamo, kakšen model robota bi izbrali, moramo biti pozorni na naslednje tri najpomembnejše karakteristike:

- delovni doseg (ang.: working range area),
- natančnost oz. ponovljivost (ang.: position repeatability) ter
- nosilnost (ang.: payload, handling capacity)

»Poleg naštetih bistvenih značilnosti moramo pri izbiri modela upoštevati tudi: število robotskih osi, zanesljivost, hitrost, težo, občutljivost za vplive delovnega okolja, različne možnosti fleksibilne integracije (podaljški osi zgornjega dela manipulatorja in različni zapestni moduli z izboljšanim vztrajnostnim in vrtilnim momentom). Nikakor pa ne smemo spregledati niti cene. Ta navsezadnje tudi vpliva na nakup robota. Velja, da se cena povečuje z velikostjo, močjo in natančnostjo robotovega modela. Zato je pomembno, da znamo natančno opredeliti robotove delovne naloge in se v skladu z njimi odločimo za nakup modela, ki ima najboljši količnik med ceno in učinkovitim opravljanjem delovnih nalog.« (Košir, 2015).

Robotizacija zajema strego CNC stroja OPTIMAT BHC 350 za obdelavo lesenih plošč in ploskovnega pohištva. CNC stoj je opremljen z dvema delovnima mestoma, ki sta opremljena z ročno nastavljivimi nasloni. Vsaka vpenjalna priprava ima štiri referenčne točke (to so skrajni koti na vpenjalni pripravi). Operater sam izbere, v katero izmed štirih točk bo robot odlagal izdelke na stroj, glede na zahteve same obdelave. Referenčne točke vpenjalne priprave se ne spreminjajo glede na izdelek, ki se obdeluje.

Plošče se na gnezdih CNC stroja vpenjajo preko prijemalnih seskov na podtlak. Na strojih poteka samo 2D obdelava plošč z rezkanjem in vrtanjem:

- Maksimalna dimenzija plošč, ki se bodo obdelovale na robotski celici, je $1200 \times 800 \times 12$ mm.
- Minimalna dimenzija plošč, ki se bodo obdelovale na robotski celici, je $200 \times 200 \times 12$ mm.

Hkrati se lahko na CNC stroju obdelujejo izdelki na dveh vpenjalnih pripravah v treh različnih režimih delovanja:

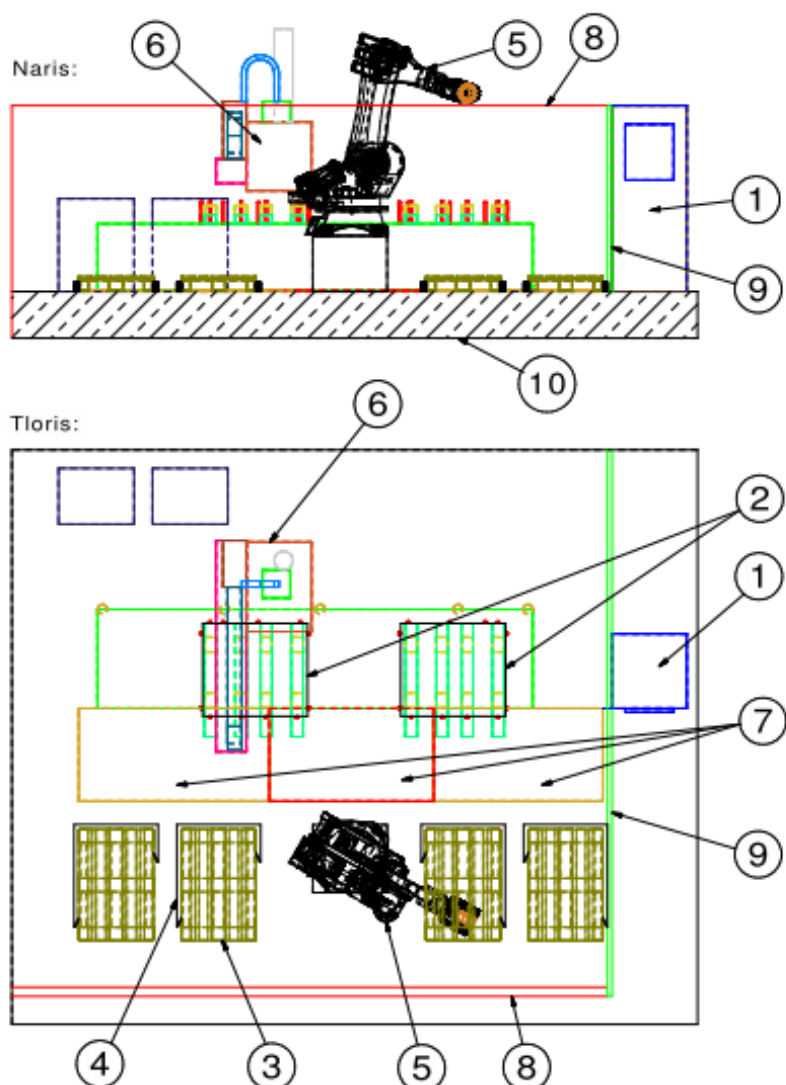
- Obdelava izdelka A na prvi vpenjalni pripravi in izdelka B na drugi vpenjalni pripravi.
- Obdelava izdelka A na prvi in na drugi vpenjalni pripravi. Na vsaki obdelovalni postaji poteka celotna obdelava elementa v enem vpetju.
- Obdelava izdelka A v dveh fazah obdelave: prva faza poteka na prvi vpenjalni pripravi, izdelek se obrne (spodnje lice izdelka navzgor) in odloži na drugo vpenjalno pripravo za obdelavo druge faze.

Zaradi ročnih nastavljanj vpenjalnih gnezd na CNC stroju je od organizacije načina dela in s tem števila upravljanj ter ročnih posegov odvisna tudi produktivnost robotske celice.

Robotizacija zajema štiri odlagalna mesta (t. i. parkirne prostore) za palete (Slika 18), za katere operater sam določa, ali se iz njih odvzemajo neobdelani kosi ali se nanje odlagajo obdelani izdelki.

Parkirna mesta palet morajo biti opremljena s končnimi nasloni, senzorji in uvodnicami na začetku odlagalnega mesta, ki ločujejo sosednji odlagalni mesti.

Zahtevano je prepoznavanje tipa izdelka in s tem tudi dimenzije izdelka na vhodni paleti (širina $\times$ dolžina $\times$ višina) ter števila izdelkov na paleti preko branja črtne kode. Za vse izdelke, ne glede na potek teksture plošč, morajo biti vedno ustrezno zapisane dimenzije elementa v črtni kodi naloga: širina $\times$ dolžina $\times$ višina.



1 - Komandni pult CNC stroja OPTIMAT BHC 350
2 - Obdelovalno mesto na cnc stroju
3 - Prostor za paleto
4 - Uvodnice za položaj palete
5 - Robot
6 - Konzola z obdelovalnim agregatom cnc stroja
7 - Pohodni tepih CNC stroja
8 - Dvižna rolo vrata dolžine 5m
9 - Zaščitna ograja z vrati višine 2m
10 - Temeljna plošča

Slika 18: Skica zahtev robotske celice

Robotska celica mora biti pripravljena za posluževanje in pripravo robotske strege preko panela na posluževalnem pultu. Robotska celica mora vsebovati zaščitno ograjo višine 2 m ter servisna vrata z varnostnim stikalom. Robotska celica mora imeti tudi možnost preklopa v ročni način, da je možno delo na CNC stroju tudi brez robota, v primeru ko so elementi izven dimenzij, ki jih omogoča robot.

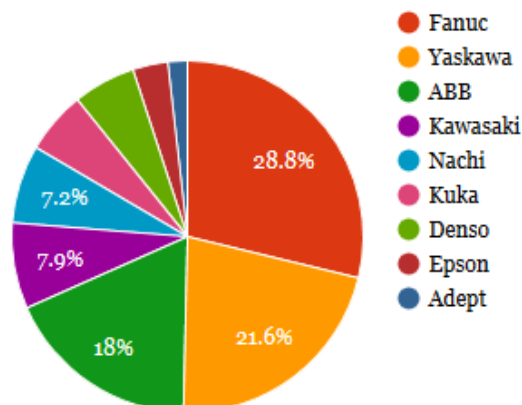
Ponudba mora vsebovati izdelavo vse potrebne dokumentacije, vključno s CE izjavo o skladnosti, garancijo, vso strojno opremo, montažo, zagonom in šolanjem operaterjev.

3.4 PREGLED PONUDNIKOV USTREZNIH ROBOTOV IN NJIHOVA ANALIZA GLEDE NA ZAHTEVE PODJETJA

Na trgu je veliko ponudnikov robotske opreme, devet največjih v svetovnem merilu je prikazanih na Sliki 19. Iz slike lahko razberemo, da največji delež v svetovnem merilu pokriva podjetje Fanuc z inštaliranimi 400.000 roboti, sledita mu Yaskava s 300.000 roboti in ABB z 250.000.

1. Fanuc – 400,000
2. Yaskawa – 300,000
3. ABB – 250,000
4. Kawasaki – 110,000
5. Nachi – 100,000
6. Kuka – 80,000
7. Denso – 80,000
8. Epson – 55,000
9. Adept – 25,000

Install base of robots by company



Slika 19: Delež inštaliranih robotov po proizvajalcih (Montaqim, 2015)

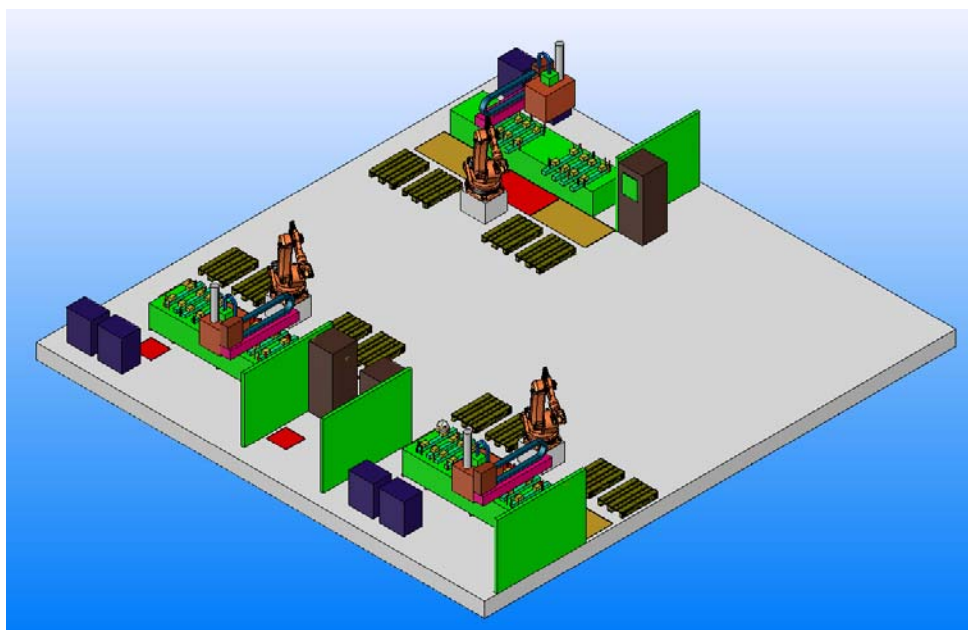
3.5 VERIFIKACIJA PODANIH PARAMETROV ROBOTA GLEDE NA DINAMIČNE ZAHTEVE DANEGA PROBLEMA

Pregledali smo zahteve, ki smo jih podali dobaviteljem strojne opreme pri povpraševanju, in vsebino končnih ponudb. Ugotovili smo, da so dobavitelji upoštevali postavljene zahteve in se maksimalno prilagodili po svojih zmožnostih. Zahtevane tehnične karakteristike robotov so izpolnjevali vsi, razlika je nastala le pri ceni, kar posledično vpliva tudi na povrnitev investicije ter rentabilnost. Odločitev vodstva je bila, da se izbere ponudnika, pri katerem bo povrnitev investicije najhitrejša.

4 REZULTATI

4.1 PREDLOG UMESTITVE ROBOTA V PROIZVODNI PROCES

Da bi zagotovili najboljšo storilnost operaterja, ki se bo posluževal robotske celice, je bila izdelana nova postavitvev in izveden premik CNC strojev na eno lokacijo (Slika 20). S tem smo zagotovili osnovni pogoj, da CNC stroji niso preveč oddaljeni med seboj, saj bi operater pri tem izgubljal čas s premiki iz stroja na stroj. Naloga operaterja robotske celice bo še vedno ta, da bo moral nastavljati dotični stroj in robotu definirati vhodno ter izhodno paleto ter določiti pozicijo oz. polje stroja, kamor robot položi elemente za obdelavo in na katero paleto jih po obdelavi odloži. Z analizo je bilo ugotovljeno tudi, da bi na ta način lahko en operater stroja nastavljal in nadzoroval tri robotske celice v eni izmeni in tu je prihranek največji. Delo na teh strojih poteka v vseh treh izmenah, kar pomeni, da se bo investicija povrnila še hitreje.



Slika 20: Predlagana postavitvev robotov na CNC liniji

Analiza mesečne proizvodnje v SP je pokazala (Preglednica 5), da je več kot 50 % elementov primernih za strego CNC strojev z roboti in se danes obdelujejo na CNC strojih. Pri tem je pogoj, da imajo serijo večjo od 20 kosov na pozicijo.

Preglednica 5: Analiza vseh elementov v SP in elementov debeline 12 mm na mesečnem nivoju za obdelavo na CNC strojih

Vsi elementi v SP					Elementi debeline 12 mm				
	število pozicij	% pozicij	število kosov	% kosov		število pozicij	% pozicij	število kosov	% kosov
Skupno število vseh elementov	18.211		376.254		Skupno število vseh elementov	7371		147.765	
Skupine z številom elementov					Skupine z številom elementov				
1	2446	13,4 %	2446	0,7 %	1	1087	14,7 %	1087	0,7 %
2 do 5	3707	20,4 %	13.396	3,6 %	2 do 5	1521	20,6 %	5570	3,8 %
6 do 10	3747	20,6 %	29.994	8,0 %	6 do 10	1405	19,1 %	11.272	7,6 %
11 do 15	1876	10,3 %	24.508	6,5 %	11 do 15	736	10,0 %	9564	6,5 %
16 do 20	1330	7,3 %	23.802	6,3 %	16 do 20	517	7,0 %	9151	6,2 %
21 do 25	940	5,2 %	21.367	5,7 %	21 do 25	401	5,4 %	9069	6,1 %
26 do 50	2452	13,5 %	88.595	23,5 %	26 do 50	1025	13,9 %	36.947	25,0 %
51 do 100	1260	6,9 %	89.062	23,7 %	51 do 100	521	7,1 %	36.835	24,9 %
101 do 200	351	1,9 %	47.923	12,7 %	101 do 200	122	1,7 %	16.180	10,9 %
201 do 500	91	0,5 %	26.566	7,1 %	201 do 500	33	0,4 %	9545	6,5 %
501 do 1000	11	0,1 %	8595	2,3 %	501 do 1000	3	0,0 %	2545	1,7 %
Vsota	18.211	100 %	376.254	100 %	Vsota	7371	100 %	147.765	100 %

Iz analize vseh elementov v SP je razvidno, da največji delež zajemajo pozicije s številom elementov od 6 do 10, sledijo pozicije s številom elementov od 2 do 5. Skupno ti dve skupini pokrivata 41 % delež. Pomembnejši podatek je število kosov na pozicijo, saj iz njega lahko razberemo, kje je skrita glavnina elementov. Iz Preglednice 5 razberemo, da je po številu kosov najvišja skupina elementov od 51 do 100 kom, sledi skupina s 26 do 50 elementi. Ti dve skupini skupaj predstavljata največja deleža in glavnino vseh elementov.

Ker vemo, da niso vsi elementi primerni za robotizacijo, smo naredili še drugi del analize, kjer smo analizirali le elemente z debelino 12 mm, ki izpolnjujejo zahteve po minimalni dimenziji 200 × 200 mm in maksimalni dimenziji 1200 × 800 mm. Analizo smo izvedli po enaki metodi. Pri tem smo ugotovili, da je največji delež po številu pozicij v skupini od 2 do 5 elementov, sledita skupini s skupnim številom elementov od 6 do 10 ter skupina z enim elementom. Ker nam je pomembnejši podatek številu kosov, vidimo da je to največje

v skupini s 26 do 50 elementi, sledi skupina z 51 do 100 elementi. Seveda so za nas pomembne vse skupine z večjo količino elementov, četudi je odstotek lahko nižji. Tako lahko za rešitev vzamemo najnižjo mejo, skupino elementov od 26 do 50 in vse višje skupine. Če seštejemo vrednosti teh, vidimo, da znaša skupni delež 69,1 % vseh elementov, ki jih lahko izberemo za delo s pomočjo robota. To pomeni, da je količina primerne materiala za posluževanje z roboti dovolj velika, da lahko zagotavljamo stalno zasedenost kapacitet na teh strojih.

4.2 ANALIZA PONUDBE

Pregledali smo vse ponudbe potencialno možnih dobaviteljev robotov (Preglednica 6) in jih primerjali med seboj. Ponudniki robota so morali upoštevati oz. izpolnjevati naslednje zahteve:

- tip CNC stroja WEEKE OPTIMAT BHC 350, ki ga želimo nadgraditi za strego z robotom,
- robot naj bo industrijski šestosni,
- robot mora doseči vseh osem polj na delovni mizi stroja in vse štiri palete z materialom,
- zaradi dolžine in velikosti CNC stroja je potreben robot z dolgim delovnim dosegom,
- elementi, ki jih bomo premikali z robotom, so maksimalne teže 5 kg,
- željena natančnost je $\pm 0,2$ mm.

Ponudniki so nam glede na svoje zmožnosti podali najboljše možne rešitve. Pri tem smo ugotovili, da se ponudniki med seboj razlikujejo. Vsi so podali ponudbe za eno, dve in tri robotske celice (v nadaljevanju RC). Najdražja je postavitve prve RC pri vseh ponudnikih, nato pa cene padajo. Razdelali smo tudi variante za dve in tri RC pri vsakem od ponudnikov. Izračunali smo povrnitev investicije v letih za vsako od variant in ugotovili, da je ponudnik 4 najprimernejši.

Roboti se glede na ostale kazalnike nekoliko razlikujejo. Po nosilnosti izstopa ponudnik 2 z nosilnostjo 150 kg, sledi ponudnik 3 z nosilnostjo 90 kg, vendar tako velikih nosilnosti v našem primeru ne potrebujemo. Za naše zahteve je potrebna nosilnost 5 kg. Ponudnik 2 je predlagal robota z nosilnostjo 150 kg, zato tudi nismo pridobivali ponudb za robota nižje nosilnosti. Glede na to, da imajo že več izkušenj z implementacijo, smo sprejeli njihove najboljše predloge. Glede na natančnost smo izbrali robota z mero ponovljivosti $\pm 0,07$ mm, kar je nekje srednja meja glede na ostale ponudnike. Pri dolžini dosega je za nas dovolj, da robot doseže vse 4 palete in vseh 8 mest na delovni mizi. Pri tem je ponudnik 4 izračunal, da je možen dostop z dosegom roke že pri 2538 mm, kar je najnižja vrednost med ponudniki.

Preglednica 6: Pregled ponudnikov za postavitev RC

Ponudnik RC :	Ponudnik 1	Ponudnik 2	Ponudnik 3	Ponudnik 4
Cena prve RC	119.682,00 €	127.150,00 €	117.125,00 €	96.000,00 €
Cena druge RC	114.894,72 €	116.978,00 €	97.940,00 €	84.000,00 €
Cena tretje RC	112.501,08 €	114.435,00 €	97.940,00 €	84.000,00 €
Skupna investicija v dve RC	234.576,72 €	244.128,00 €	215.065,00 €	180.000,00 €
Prihranek operaterja enkrat na izmeno (26.000 €)	78.000,00 €	78.000,00 €	78.000,00 €	78.000,00 €
Povrat investicije – v letih	3,0	3,1	2,8	2,3
Skupna investicija v tri RC	347.077,80 €	358.563,00 €	313.005,00 €	264.000,00 €
Prihranek operaterja dvakrat na izmeno	156.000,00 €	156.000,00 €	156.000,00 €	156.000,00 €
Povrat investicije v letih	2,2	2,3	2,0	1,7
Končna cena za tri RC skupaj	261.927,00 €	306.900,00 €	287.900,00 €	249.500,00 €
Povrat investicije v letih glede na končno ceno	1,7	2,0	1,8	1,60
Obiski pri referencah – izvedeni	da	da	da	da
Reference	lista – da	naročeno	lista – da	lista – da
Servis	da	da	da	da
Programiranje – čas	1–2 min	5 minut	5 minut	2–3 minut
Umestitev v naš prostor	možna	možna	možna	možna
Nosilnost v kilogramih/prijemalo	40 kg	150 kg	90 kg	35 kg
(Dejanska potreba 5 kg/m ²)	Vakum – seski – 2 dela	Vakum – spužva	Vakum – seski	Vakum – spužva
Natančnost ponovitve (mm)	± 0,06 mm	± 0,08 mm	± 0,06 mm	± 0,07 mm
Doseg (mm)	2550 mm	3200 mm	3100 mm	2538 mm

Analiza vseh elementov (v Preglednici 5) je potrdila prvotno hipotezo, da je elementov, ki bi bili primerni za delo z roboti na CNC strojih, več kot 50 % in imajo serijo večjo od 20 kosov na pozicijo. Realno je teh elementov 69,1 % , serija pa je nad 26 kosov na pozicijo.

4.3 RAZISKAVA MOŽNIH OVIR IN REŠITEV PRI APLIKACIJI ROBOTOV V PODJETJU

Ker vemo, da določene trditve iz SWOT analize za industrijske robote v Preglednici 1, ki jih navajata Tjemsland H. K. in Johansen, ne držijo za naš primer uvedbe robotov v proizvodnjo, smo izdelali še lastno SWOT analizo za uvedbo robotov v proizvodnjo Podgorje, ki je prikazana v Preglednici 7.

Preglednica 7: SWOT analiza uvedbe robotov v proizvodnjo Podgorja

Prednosti:	Priložnosti:
Nižji stroški dela, delo lahko opravlja le en delavec namesto treh, na ta način lahko pričakujemo dvig dodane vrednosti.	Z uvedbo robotov zmanjšujemo monotonost dela operaterjev in s tem odpravljamo ponavljajoče gibe, ki so zdravju škodljivi.
Z novo ureditvijo in postavitvijo treh robotskih celic na eni lokaciji smo pridobili boljšo ureditev tovarne in nove delovne prostore na mestih, kjer so predhodno stali CNC stroji.	Zaradi potreb po uvajanju novih znanj bodo imeli delavci, tehnologi in vzdrževalci možnost dodatnih izobraževanj, ki bodo pomenila tudi dvig izobrazbene strukture v podjetju in s tem tudi večje plače.
Delo lahko poteka tudi v času, ko so predvideni odmori in v času malice, s tem se povečuje produktivnost.	S spoznavanjem robotike bomo hitreje prepoznali možnosti uvedbe robotov še na ostala delovna mesta.
Roboti delajo enakomerno 24 ur na dan brez izgub, delo lahko optimiramo, da so stroji optimalno izkoriščeni.	Z uvedbo robotov se bo izboljšala stopnja tehnološke opremljenosti.
Slabosti:	Nevarnosti:
Zahtevnejša je organizacija dela in planiranje, ker je potrebno pri razrezu upoštevati sortiranje elementov za robote, glede na parametre velikosti obdelovancev.	Starejši ljudje se bojijo uvedbe novih tehnologij, saj vedno pogojujejo nova, dodatna znanja.
Visoki stroški investicij, nabave in postavitve robotskih celic.	Roboti so lahko za delavca nevarni; v kolikor se ne upoštevajo varnostni predpisi, lahko pride do stiskov, delovnih nesreč.
Delo lahko opravljajo le operaterji, ki so izobraženi za delo z robotom.	Premajhne serije primernih elementov.
Pojavila se bodo dodatna dela na področju tehnološke priprave proizvodnje in vzdrževanja. Tehnologi bodo zagotovili pravi nabor pozicij elementov, vzdrževanje pa bo moralo razširiti svoje naloge tudi na področje robotov.	Možnost tehničnih ovir povezovanja CNC stroja z robotom pri sami postavitvi.

Stroji, ki so bili predvideni za nadgradnjo z roboti, so klasični CNC stroji (»point to point«), namenjeni izključno za ročno posluževanje, brez možnosti integracije z robotom,

zato je potrebno robotsko celico zasnovati tako, da bo možen nadzor stroja in robota. Potrebno bo vzpostaviti varnostne in komunikacijske signale med CNC strojem in robotom, ki jih bo izbrani ponudnik moral integrirati v robotsko celico. Ta mora omogočati delo CNC stroja skupaj z robotom in imeti možnost, da lahko delamo s CNC strojem v ročnem načinu, kadar je delovanje robotske celice izklopljeno.

4.4 OVREDNOTENJE INVESTICIJE

Izračun upravičenosti investicije temelji na zahtevi, da dvigamo dodano vrednost zaposlenega na letni ravni. Hitreje povečujemo produktivnost z novo tehnologijo kot število zaposlenih. Predstavljeni so izračuni investiranja v dve ali tri robotske celice.

1. Primer izračuna za investiranje v dve robotski celici:

- investicija prve robotske celice znaša 96.000 €,
- investicija druge robotske celice znaša 84.000 €,
- skupni strošek investicije za tri RC znaša 180.000 €,
- strošek zaposlenega letno znaša 26.000 €,
- delo poteka v treh izmenah dnevno,
- prihranimo enega operaterja na izmeno,
- en operater uporablja dve robotske celice v eni izmeni.

Na dan prihranimo: 1 operaterja v eni izmeni $\times$ 3 izmene/dan = 3 operaterje/dan

Izračun = $180.000 \text{ €} / (3 \times 26.000 \text{ €/leto}) = 2,3 \text{ leta}$

Investicija se v tem primeru povrne v 2,3 letih.

Doba amortizacije strojev znaša 8 let.

Investicija je upravičena.

2. Primer izračuna za investiranje v tri robotske celice:

- investicija prve robotske celice znaša 96.000 €,
- investicija druge robotske celice znaša 84.000 €,
- investicija tretje robotske celice znaša 84.000 €,
- skupni strošek investicije za tri RC znaša 294.500 € z odštetimi popusti pri končni ceni,
- strošek zaposlenega letno znaša 26.000 €,
- delo poteka v treh izmenah dnevno,
- prihranimo dva operaterja na izmeno,
- en operater uporablja tri robotske celice v eni izmeni.

Na dan prihranimo: 2 operaterja v eni izmeni $\times$ 3 izmene/dan = 6 operaterjev/dan

Izračun = $249.500 \text{ €} / (6 \times 26.000 \text{ €/leto}) = 1,6 \text{ leta}$

Investicija se v tem primeru povrne v 1,6 letih.

Doba amortizacije strojev znaša 8 let.

Investicija je upravičena.

5 SKLEP

V podjetju smo se na podlagi obstoječega stanja, izdelanih analiz, raziskav, ogledov v drugih podjetjih in pridobljenih ponudb odločili za ponudnika 4, ki nas je prepričal z inovativnimi rešitvami programiranja robota, z rešitvami, ki omogočajo hitro nastavitev robotske celice s pomočjo podprogramov glede na velikost elementa in različne zahteve obdelav na CNC stroju. Na odločitev so vplivale tudi dobre reference, cenovno najboljša ponudba in povrnitev investicije v 1,6 leta.

Analiza vseh elementov (v Preglednici 5) je potrdila prvotno hipotezo:

- da je elementov, ki bi bili primerni za delo z roboti na CNC strojih, več kot 50 %;
- da imajo serijo večjo od 20 kosov na pozicijo.

Realno je teh elementov 69,1 % , serija pa je nad 26 kosov na pozicijo.

Ugotovili smo tudi prednosti, priložnosti, slabosti in nevarnosti uvedbe robotov v naše podjetje.

Prednosti:

- nižji stroški dela in s tem dvig dodane vrednosti zaposlenih,
- delo lahko poteka optimirano 24 ur na dan,
- boljša ureditev in izkoriščenost delovnih prostorov.

Priložnosti :

- možnost odpravljanja monotonega in ponavljajočega dela, ki je zdravju škodljivo,
- možnost apliciranja robotike še na ostala delovna mesta,
- izboljšanje tehnološke opremljenosti,
- možnost dodatnih izobraževanj in s tem dvig izobrazbene strukture.

Slabosti:

- zahtevana sta večja organizacija dela ter natančno planiranje,
- sortiranje elementov na razrezu,

- visoki stroški investicij, nabave in postavitve robotskih celic,
- pojavijo se dodatna dela na področju tehnološke priprave proizvodnje in vzdrževanja,
- delo lahko opravljajo le operaterji, ki so izobraženi za delo z roboti.

Nevarnosti:

- starejši ljudje se bojijo uvedbe novih tehnologij, saj vedno pogojujejo nova dodatna znanja,
- pride lahko do stiskov in delovnih nesreč,
- premajhne serije primernih elementov,
- možnost tehničnih ovir povezovanja CNC stroja z robotom pri sami postavitvi.

Spoznali smo veliko novih znanj in informacij s področja robotike, ki jih bomo lahko v prihodnosti uporabljali tudi na ostalih področjih dela.

V prihodnje želimo v podjetju robotizirati še dve delovni mesti za robno lepljenje in eno delovno mesto na spajanju lesenih okvirjev.

6 POVZETEK

V nalogi je predstavljena strega CNC stroja z robotom v podjetju Podgorje d. o. o. Šentjernej. Podjetje se ukvarja z izdelavo pohištva za področje »caravaninga«, »yachtinga« ter pohištva specialnih izvedb. V sklopu posodobitve proizvodnje sta bili izvedeni avtomatizacija in robotizacija posameznih delovnih mest, ki so se predhodno izvajala ročno.

Način uporabe CNC strojev z robotom je najbolj poznan v avtomobilski in kovinski branži, v lesarstvu pa je te tehnologije precej manj, zato smo se odločili, da to področje raziščemo pred nakupom in uvedbo industrijskih robotov v naši proizvodnji. S tem bomo lažje razumeli pojem robotike, ki je postala zelo uporabna znanstvena veja in omogoča široko področje uporabe.

V nalogi je bilo pregledano področje robotizacije na splošno in ugotovljena področja, kjer se roboti največ uporabljajo. Ker pa nas je zanimalo še posebej področje lesarstva, smo se odločili, da to področje raziščemo posebej. Področje industrijskih robotov smo razdelali glede na zgradbo robotov. Izdelali smo analizo obstoječega stanja v podjetju, izvedli analizo konkurenčnih podjetij doma in v tujini. Ugotovili smo, da smo na svojem področju dela med najboljšimi na področju Slovenije in da imamo velike možnosti, da v prihodnje lahko konkuriramo tudi podjetjem v tujini.

Postavili smo zahteve za robota za dano proizvodnjo, pregledali vse možne ponudnike in njihove ponudbe. Pri tem smo ugotovili, da je za nas najboljši ponudnik 4, saj je povrnitev investicije v tem primeru najhitrejša. Verificirali smo podane parametre robota glede na dinamične zahteve danega problema. Izdelali smo predlog umestitve robota v proizvodni proces, pri čemer smo ugotovili, da bo z novo postavitvijo en operater nadziral in nastavljal vse tri robotske celice. Če bodo te postavljene primerno blizu, ne bo velikih izgub časa s prestopanjem operaterja iz stroja na stroj.

Izdelali smo SWOT analizo robotizacije za naš primer uvedbe robotov v proizvodnjo, ugotovili lastne prednosti, priložnosti, slabosti in nevarnosti. Največja prednost je nižji stroški dela in s tem dvig dodane vrednosti na zaposlenega. Pri priložnostih vidimo možnost odpravljanja monotonega in ponavljajočega se dela, ki je zdravju škodljivo, ter možnost apliciranja robotike še na ostala delovna mesta. Pri slabostih smo zaznali, da bo potrebno izboljšati organizacijo dela in planiranje. Pojavila se bodo dodatna dela na področju tehnološke priprave proizvodnje ter na področju vzdrževanja. Med nevarnosti smo prepoznali, da lahko občasno pride do premajhnih serij primernih elementov.

Na koncu smo predstavili svoje ugotovitve na podlagi ugotovljenih rezultatov, karakteristik in ovrednotenje investicije.

7 VIRI

- Bajd T., Mihelj M., Lenarčič J., Stanovnik A., Munih M. 2008. Robotika. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: 165 str.
- Doe C. 2011. Robots in Manufacturing.
<http://www.slideshare.net/anirudhreddy123/robots-in-manufacturing> (9. nov. 2014)
- Glamnik A., Veber M. 2012. Robotika.
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/Strukturni_skladi/Gradiva/MUNUS2/MUNUS2_116MHTRobotikaAVR.pdf (15. avg. 2016)
- Gornik Bučar D., Fajdiga G., Merhar M., Gospodarič B. 2015. Robotizacija u drvnj industriji. V: Primjena inovacija u sektoru prerade drva : zbornik radova. 12. Drvno-tehnološka konferencija, 01.–02. 06. 2015, Opatija: 56–61
- Gornik Bučar D., Fajdiga G., Merhar M., Gospodarič B. 2015. Fleksibilna automatizacija u drvnj industriji za proizvodnju komponenta za drvene zgrade. Drvo-tehnika, 12, 47: 50–51
- IFR. 2014a. ABB, Sweden - IFR-Partner.
<http://www.ifr.org/industrial-robots/eco-tech-robotics/abb-sweden-ifr-partner-272/> (9 nov. 2014)
- IFR. 2014b. KUKA Roboter, Germany - IFR-Partner.
<http://www.ifr.org/industrial-robots/case-studies/kuka-roboter-germany-ifr-partner-200> (9. nov. 2014)
- Interni vir: Strateški plan podjetja Podgorje-Šentjernej 2015–2019, Podgorje-Šentjernej.
- Klampfer S., Curk B. 2008. Robotizacija proizvodnje – Robotsko sestavljanje. Informacije MIDEM, 38, 1: 36–41
<http://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-VCX63QOS/706e8841-8c0d-4a55-8150-d96f06cb35d6/PDF> (16. avg. 2016)
- Knepper R.A., Layton T., Romanishin J., Rus D. IkeaBot: An Autonomous Multi-Robot Coordinated Furniture Assembly System.
<http://people.csail.mit.edu/rak/www/sites/default/files/pubs/KneEtal13.pdf> (16. avg. 2016)

- Košir I. 2015. Robotizacija mehanskega obdelovalnega postopka. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 51 str.
http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/lesarstvo/dn_kosir_igor.pdf (16. avg. 2016)
- Montaqim A. 2015. Top 9 industrial robot companies and how many robots they have around the world.
<http://roboticsandautomationnews.com/2015/07/21/top-8-industrial-robot-companies-and-how-many-robots-they-have-around-the-world/812/> (16. avg. 2016)
- Ozmec U. 2012. Vloga in pomen robotike v OŠ. Diplomsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za tehniko: 92 str.
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=48276> (15. avg. 2016)
- Pearce J., Devol G.C. 2011. Inventor of Robot Arm, Dies at 99.
http://www.nytimes.com/2011/08/16/business/george-devol-developer-of-robot-arm-dies-at-99.html?_r=0 (15. avg. 2016)
- Spong M.W. 2004. Seth Hutchinson, and M. Vidyasagar, Robot Dynamics and Control.
http://smpp.northwestern.edu/savedLiterature/Spong_Textbook.pdf (15. avg. 2016)
- Tjemsland H.K. in Johansen J.S. 2014. Industrial Robots in China Market Outlook.
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/218637/Johansen_Joachim_and_Tjemsland_Hans.pdf.pdf?sequence=1 (10. avg. 2016)
- Tratar J., Kržič P., Kopač J. 2011. Uporaba robota v tehnologiji obdelave z odrezavanjem. Ventil, 17, 6: 522–525
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-2JDJ63Q8> (16. avg. 2016)
- Types of industrial robots.
<http://www.ifr.org/industrial-robots/products/> (15. avg. 2016)
- World Robotics News, Survey: 1.3 million industrial robots to enter service by 2018
http://www.worldrobotics.org/index.php?id=home&news_id=287 (18. jun. 2016)

ZAHVALA

Zahvalil bi se mentorici doc. dr. Dominiki Gornik Bučar za mentorstvo in pomoč pri izdelavi naloge ter somentorju doc. dr. Miranu Merharju in recenzentu prof. dr. Gorazdu Fajdiga.

V podjetju Podgorje d. o. o. Šentjernej bi se zahvalil g. Marjanu Kostanjšku, g. Francu Papežu ter g. Robertu Hudoklinu za napotke in usmeritve pri izdelavi naloge.

Najlepša hvala tudi vsem domačim, prijateljem in vsem ostalim, ki ste me podpirali in mi pomagali pri pisanju in izdelavi te naloge.