

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**OPTIMIZACIJA PROIZVODNJE Z
INTEGRACIJO KOLABORATIVNEGA ROBOTA
S CNC STRUŽNICO**

Kandidat: Ermin Šehić

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

Mentor v podjetju: Matej Kuzman, inž. mehatr.

Lektorica: Anja Lipovšek, prof. slov.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani/a Ermin Šehić sem avtor diplomskega dela z naslovom Optimizacija proizvodnje z integracijo kolaborativnega robotova na CNC stružnico, ki sem ga napisal pod mentorstvom Dragana Gogića, mag. inž. metal. in mater.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, februar 2025

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater., za neprecenljivo pomoč in podporo pri pisanju diplomskega dela. Prav tako se iskreno zahvaljujem Mateju Kuzmanu, inž. mehatronike, mentorju v podjetju BTS Company, d. o. o., za dragoceno pomoč in vodenje pri praktičnem delu diplome ter vodstvu podjetja BTS Company, d. o. o., ki mi je omogočilo vpogled v dokumentacijo in dostop do pomembnih informacij.

Posebna zahvala gre tudi moji družini za neomajno podporo na moji študijski poti.

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava uporabo kolaborativnih robotov v proizvodnih procesih s poudarkom na integraciji kolaborativnega robota Hanwha HCR-5A s CNC stružnico DOOSAN Puma TT 2100Y. Namen dela je proučiti vpliv avtomatizacije na optimizacijo mehanske obdelave, predvsem z vidika povečanja produktivnosti, izboljšanja kakovosti, zmanjšanja fizične obremenitve delavcev in ekonomskih učinkov.

V teoretičnem delu so predstavljene ključne značilnosti kolaborativnih robotov, njihov zgodovinski razvoj, prednosti in omejitve ter primerjava s tradicionalnimi industrijskimi roboti. Poudarjene so tehnične zahteve za integracijo, varnostni vidiki in prilagodljivost kolaborativnih robotov v proizvodnih okoljih. Posebna pozornost je namenjena procesu integracije kolaborativnega robota v obstoječi proizvodni proces, pri čemer se obravnavajo ključni izzivi, kot so izbira ustreznega mesta namestitve, zagotavljanje varnega sodelovanja z operaterji ter optimizacija robotske poti za doseganje maksimalne učinkovitosti. Prav tako je predstavljena potreba po prilagoditvi programske opreme in vmesnikov za brezhibno komunikacijo med robotom in CNC strojem.

Dodatno raziskava obravnava kompleksnost programiranja in fleksibilnost kolaborativnih robotov v primerjavi s konvencionalnimi robotskimi sistemi.

Praktični del diplomskega dela vključuje opis obstoječega načina dela na CNC stružnici, načrtovanje in izvedbo integracije robota ter analizo rezultatov. Posebna pozornost je namenjena preučevanju vpliva na produktivnost, kakovost, varnost in ergonomijo delavcev. Izpostavljen je vpliv avtomatizacije na zmanjšanje človeških napak in izboljšanje zanesljivosti procesov.

Ekonomska analiza obravnava stroške uvedbe in dolgoročno donosnost investicije. Izvedena je primerjalna analiza ročne in avtomatizirane proizvodnje. Študija vključuje tudi izračun donosnosti investicije (ROI) ter oceno obdobja povračila stroškov. Delo se zaključi s povzetkom ključnih ugotovitev, priporočili za nadaljnje raziskave in možnostmi za izboljšave in nadgradnje, s ciljem doseči še večjo učinkovitost in trajnost avtomatiziranih rešitev v industriji.

Ključne besede: kolaborativni roboti, CNC stružnica, avtomatizacija, optimizacija proizvodnih procesov, produktivnost

ABSTRACT

»Optimization of production with the integration of a collaborative robot with a cnc lathe machine«

The thesis examines the use of collaborative robots in manufacturing processes, focusing on the integration of the Hanwha HCR-5A collaborative robot with the DOOSAN Puma TT 2100Y CNC lathe. The study analyzes the impact of automation on machining process optimization, particularly in increasing productivity, improving quality, reducing workers' physical strain, and assessing economic effects.

The theoretical part presents key characteristics of collaborative robots, their historical development, advantages, limitations, and a comparison with traditional industrial robots. The technical requirements for integration, safety aspects, and adaptability in manufacturing environments are emphasized. Special attention is given to integrating a collaborative robot into an existing process, addressing key challenges such as selecting an installation location, ensuring safe cooperation with operators, and optimizing the robot's trajectory for efficiency. The necessity of software and interface adaptations for seamless communication between the robot and CNC machine is also discussed.

Additionally, the study explores the complexity of programming and the flexibility of collaborative robots compared to conventional robotic systems.

The practical part includes a description of the existing CNC lathe work process, the planning and execution of robot integration, and an analysis of results. Special focus is placed on examining the impact on productivity, quality, safety, and workers' ergonomics. The influence of automation on reducing human errors and improving process reliability is also highlighted.

The economic analysis evaluates implementation costs and long-term profitability. A comparative analysis of manual and automated production is conducted, including ROI calculation and payback period assessment. The thesis concludes with key findings, recommendations for further research, and opportunities for improving automated solutions in the industry.

Keywords: collaborative robots, CNC lathe, automation, optimization of manufacturing processes, productivity

KAZALO VSEBINE

1	Uvod.....	9
1.1	Opis področja in opredelitev problema	9
1.2	Namen, CILJI diplomskega dela	9
1.3	Osnovne trditve in hipoteze diplomskega dela.....	10
1.4	Predpostavke in omejitve.....	11
1.5	Uporabljene raziskovalne metode	11
2	Predstavitev podjetja	12
2.1	Predstavitev podjetja BTS Company d. o. o.	12
3	TEORETIČNA IZHODIŠČA	15
3.1	Kolaborativni roboti: definicija in zgodovina	15
3.2	Uporaba kolaborativnih robotov.....	16
3.3	Prednosti in slabosti kolaborativnih robotov	18
3.4	Primerjava kolaborativnih in tradicionalnih industrijskih robotov	19
3.5	Učinki avtomatizacije na proizvodne procese.....	21
4	METODOLOGIJA RAZISKAVE	23
4.1	Izbor ustreznega kolaborativnega robota	23
4.2	Analiza obstoječega načina dela	25
4.3	Načrtovanje in izvedba eksperimenta.....	28
4.3.1	Priprava na eksperiment	28
4.3.2	Izvedba eksperimenta.....	31
4.3.3	Zbiranje in obdelava podatkov	33
4.3.4	Analiza in ocena rezultatov	33
4.4	Merjenje in analiza učinkovitosti	34
4.4.1	Metodologija merjenja	34
4.4.2	Orodja za zbiranje podatkov	34
4.4.3	Analiza zbranih podatkov.....	35
4.4.4	Ocena rezultatov in interpretacija.....	35
4.4.5	Zaključna poročila in priporočila	36
5	INTEGRACIJA KOLABORATIVNEGA ROBOTA S CNC STRUŽNICO	37
5.1	Tehnični vidiki integracije.....	37
5.1.1	Povezovanje robota in CNC stroja	37
5.1.2	Mehanska integracija.....	38
5.1.3	Povezava krmilnika in upravljanje.....	42
5.1.4	Testiranje in validacija	44

5.1.5 Varnostni ukrepi in zaščita	44
5.2 Programiranje robota za specifične naloge.....	45
5.2.1 Metode programiranja	45
5.2.2 Konfiguracija nalog.....	46
5.2.3. Optimizacija programiranja.....	46
5.3.4. Varnostni vidiki programiranja	46
5.3 Varnostni vidiki in predpisi	47
5.3.1 Vgrajene varnostne funkcije.....	47
5.3.2. Skladnost z mednarodnimi varnostnimi standardi	47
5.3.3 Implementacija varnostnih protokolov.....	48
5.3.4 Usposabljanje operaterjev	48
5.3.5 Dokumentacija in poročanje.....	49
6 Ekonomska analiza.....	50
6.1 Stroški uvedbe kolaborativnega robota	50
6.2 Prihranki in povečanje produktivnosti	51
6.3 Analiza donosnosti investicije (ROI)	52
6.4 Vpliv na varnost in ergonomijo delavcev.....	53
7 REZULTATI IN RAZPRAVA	54
7.1 Predstavitev rezultatov	54
7.1.1 Produktivnost	54
7.1.2. Časovni prihranki	55
7.1.3. Kakovost izdelkov in stopnja napak.....	55
7.1.4. Ergonomija in zadovoljstvo delavcev	55
7.1.5. Finančni kazalniki	56
7.1.6. Stabilnost procesa.....	56
7.3. Preverjanje hipotez.....	56
8 SKLEP.....	59
9 VIRI IN LITERATURA	61

KAZALO SLIK

Slika 1: Celovite rešitve	12
Slika 2: Kakovostno orodje in sodobni cnc stroji.....	12
Slika 3: Tehnološka vprašanja.....	13
Slika 4: Tehnologija obdelave.....	13
Slika 5: Avtomatizacija	13
Slika 6 Servis strojev.....	14
Slika 7: Sejmi	14
Slika 8: Kolaborativni robot (levo) in klasični industrijski robot (desno).....	21
Slika 9: Kolaborativni robot Hanwa HCR-5A	25
Slika 10: Prvo vpetje po kaljenju (čeljenje)	26
Slika 11: Drugo vpetje – prevpenjanje.....	26
Slika 12: Tretje vpetje – prevpenjanje in izdelava špice	27
Slika 13: Odlagalno mesto pred izvedbo robotizacije.....	27
Slika 14: Izbira kolaborativnega robota	29
Slika 15: Varnostne nastavitve robota.....	30
Slika 16: Namestitev robota	31
Slika 17: Odlagalno mesto po izvedbi robotizacije.....	32
Slika 18: Integracija kolaborativnega robota s CNC stružnico PUMA 2100Y	37
Slika 19: Postavitev robota in CNC stroja.....	39
Slika 20: Vrste namestitev.....	40
Slika 21: Mobilna robotska celica MC100.....	41
Slika 22: Orodje za prejemanje izdelkov	42
Slika 23: Krmiljenje robota	43
Slika 24: Osnovna konfiguracija sistema	45
Slika 25: Stroški uvedbe kolaborativnega robota.....	51

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Robotizacija in avtomatizacija proizvodnih procesov sta postali stalnici v industriji, a s prihodom na trg kolaborativnih robotov se odpirajo nove dimenzije njune uporabe. Kolaborativni roboti so zasnovani tako, da v delovnem okolju varno sodelujejo z ljudmi, kar omogoča njihovo hitro in efikasno integracijo v že obstoječe proizvodne procese, brez potrebe po ureditvah ali varnostnih ograjah. Takšen pristop zagotavlja večjo fleksibilnost, zniža stroške in poveča proizvodno učinkovitost.

V nadaljevanju bosta podrobno predstavljena ozadje kolaborativnih robotov in njihova vloga v proizvodnji. Obenem bodo obravnavana ključna raziskovalna vprašanja, hipoteze in metodologija, ki bo uporabljena za zbiranje in analizo podatkov.

Namen tega diplomskega dela je opisati vpliv kolaborativnih robotov na optimizacijo proizvodnih procesov na področju mehanske obdelave s CNC stružnico, kje lahko uvedba kolaborativnih robotov znatno izboljša učinkovitost, ergonomijo dela, zmanjša napake, izboljša kakovost izdelka in poveča produktivnost proizvodnega procesa.

Raziskava se bo osredotočila na analizo integracije kolaborativnih robotov, vključno s tehničnimi zahtevami, stroški, koristmi in vplivom na delovno okolje. Glavni cilji raziskave so identificirati najboljše prakse za integracijo, oceniti ekonomsko upravičenost ter podati priporočila za nadaljnje izboljšave in raziskave na tem področju. Diplomsko delo bo zaključeno s povzetkom ključnih ugotovitev, predlogi za prakso ter zaključnimi mislimi.

S tem diplomskim delom želim prispevati k boljšemu razumevanju uporabe kolaborativnih robotov v proizvodnji ter spodbuditi nadaljnje raziskave in implementacije, ki bodo pripomogle k napredku in učinkovitosti industrijskih procesov.

1.2 Namen, cilji diplomskega dela

V diplomski nalogi bom predstavil proces robotizacije stružnice s kolaborativnim robotom znamke Hanwha HCR-5A. Stranka si prizadeva optimizirati proizvodnjo kosov na CNC obdelovalni stružnici znamke DOOSAN Puma TT 2100 Y, tako da bi omogočila avtonomno delovanje stroja za najmanj šest ur. Poleg tega želi obstoječe zaposlene, ki trenutno opravljajo funkcijo posluževalcev strojev, delno prekvalificirati na delovno mesto za nadzor kakovosti in

delno na druga delovna mesta. Postopoma bom opisal celoten proces, vključno z metodami izvedbe in doseženimi rezultati.

1.3 Osnovne trditve in hipoteze diplomskega dela

- H1: Integracija kolaborativnega robota na CNC stružnico bistveno poveča učinkovitost in produktivnost proizvodnega procesa.
- H2: Kolaborativni roboti lahko uspešno prevzamejo ponavljajoče se in monotone naloge na CNC stružnici, kar omogoča delavcem osredotočanje na bolj kompleksne naloge.
- H3: Stroški implementacije kolaborativnega robota na CNC stružnico se povrnejo v kratkem času zaradi izboljšane produktivnosti in zmanjšanja napak.
- H4: Uporaba kolaborativnega robota na CNC stružnici povečuje varnost delavcev in izboljšuje ergonomijo delovnega okolja.
- H5: Integracija kolaborativnega robota v obstoječe proizvodne procese CNC struženja je tehnično izvedljiva in prinaša številne prednosti.
- H6: Vloga človeškega operaterja se z uvedbo kolaborativnega robota na CNC stružnico preoblikuje v bolj nadzorno in vodstveno funkcijo.
- H7: Napredne tehnologije in programska oprema so ključne za optimalno delovanje kolaborativnega robota na CNC stružnici.
- H8: Kolaborativni roboti so bolj prilagodljivi in enostavnejši za programiranje v primerjavi s tradicionalnimi industrijskimi roboti na CNC stružnici.
- H9: Kolaborativni roboti se lahko uspešno prilagodijo različnim vrstam operacij na CNC stružnici.
- H10: Najboljše prakse za uvajanje kolaborativnih robotov na CNC stružnice vključujejo postopno integracijo, ustrezno usposabljanje delavcev in natančno načrtovanje

Robotizacija CNC obdelovalne stružnice mora na koncu pokazati izboljšave celotnega proizvodnega sistema, večjo produktivnost, manjše število napak, manjše število slabih kosov ter razbremenitev delavca oziroma možnost opravljanja dodatnih nalog. To nam omogoča nižje stroške izdelave in večjo dodano vrednost izdelka.

1.4 Predpostavke in omejitve

Zaradi zaveze k varovanju zaupnosti podatkov, ki izhaja iz podpisanega NDA (Non-Disclosure Agreement) dokumenta, ne bom razkrival natančnih podatkov, povezanih s podjetjem in naročnikom.

1.5 Uporabljene raziskovalne metode

- Metodo deskripcije (opisovanje določenih pojmov, dejstev in pojavov).
- Metodo kompilacije (uporaba izpiskov, citatov, navedb drugih avtorjev).
- Primerjalno metodo (primerjava enakih ali podobnih dejstev, ugotavljanje podobnosti in razlike med njimi).
- Metodo dedukcije (logično sklepanje na temelju splošnih zaznav).
- Metoda sinteze (oblikovanje zaključkov na osnovi lastnih spoznanj).

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

2.1 Predstavitev podjetja BTS Company d. o. o.

Podjetje BTS Company d. o. o. je trgovsko podjetje s 34-letno tradicijo v slovenskem prostoru. Sedež podjetja je v Ljubljani, imamo poslovalnico v Mariboru in podjetja v Zagrebu, Sarajevu in Beogradu. Na teh lokacijah je poleg trgovine tudi demo center s CNC obdelovalnimi stroji.

Našim kupcem nudimo celovite rešitve na področju strojne obdelave, robotike in svetovanja. Ponudba obsega vse od rezilnega in merilnega orodja do opreme in obdelovalnih strojev. Vršimo instalacije CNC obdelovalnih strojev in robotov ter zagon projektov. Imamo lasten, s strani dobaviteljev pooblaščen servis za celovito servisiranje opreme.



Slika 1: Celovite rešitve

Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)

Celovite rešitve

V BTS Company nudimo celovito rešitev od izbire kakovostnega rezilnega orodja, svetovanje pri izbiri stroja in opreme, izdelave vpenjalnega sistema, tehnologijo obdelave, meritve na obdelovancu, logistiko in namestitvev CNC strojev, izobraževanje uporabnikov CNC strojev in servis CNC strojev.

Kakovostno orodje in sodobni CNC stroji

Zastopamo preko 30 svetovno znanih blagovnih znamk orodja in strojev. Visokokakovostno orodje vam zagotavlja krajše obdelovalne čase, manj zastojev in zato nižje stroške izdelave.



Slika 2: Kakovostno orodje in sodobni CNC stroji

Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)



Slika 3: Tehnološka vprašanja

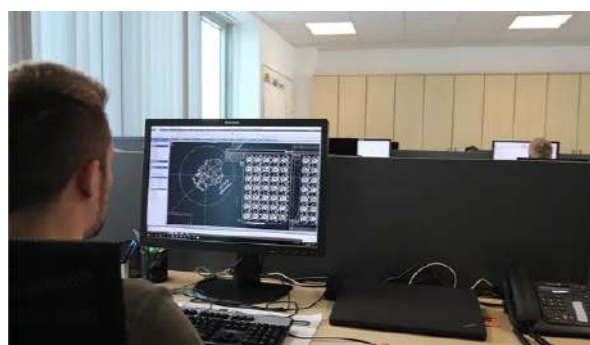
Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)

Svetovanje in pomoč pri tehnoloških vprašanjih

Ekipo tehnologov vam je vsak dan na razpolago. Svetovali vam bomo pri izbiri ustreznega orodja in parametrih obdelave.

Tehnologija obdelave

V BTS Company nudimo izdelavo projektov, ki ustrezajo vašim zahtevam. Projekt lahko vsebuje CAD konstruiranje, tehnološko svetovanje pri izbiri orodja, konstrukcijo vpenjalnih naprav, pomoč pri izbiri CNC stroja in opreme, izračun obdelovalnih časov, izdelavo in meritve na prototipu, instalacijo robotov za strego.



Slika 4: Tehnologija obdelave

Vir: (BTS Company d. o. o.)



Slika 5: Avtomatizacija

Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)

Avtomatizacija

V BTS Company nudimo poleg CNC strojev in opreme tudi projekte avtomatizacije strege z roboti Kawasaki Robotics in sodelujočimi roboti Hanwa.

Servis strojev

BTS servis strojev sestavlja ekipa 22 izkušenih serviserjev in tehnologov. Opremljeni smo z vrhunskimi aparaturami za merjenje vibracij ter balansiranje. S paketi servisnih storitev vam pomagamo povečati učinkovitost

proizvodnje, razpoložljivost strojev in zmanjšati nepotrební izmet. Z daljinskim priklopom na CNC stroj omogočamo znižanje stroškov popravil.



Slika 6 Servis strojev

Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)



Slika 7: Sejmi

Vir: (BTS Company d. o. o., 2024)

Sejmi

BTS Company razstavlja orodje in stroje na sejmi v Sloveniji in v tujini. Na razstavnih prostorih si lahko ogledate nova orodja in prikaz različnih aplikacij na novih modelih CNC strojev.

3 TEORETIČNA IZHODIŠČA

3.1 Kolaborativni roboti: definicija in zgodovina

Kolaborativni roboti so roboti, zasnovani za delo skupaj s človeškimi delavci v skupnem delovnem prostoru. Opremljeni so z ustreznimi senzorji za zaznavanje trka z objekti. Kolaborativni roboti morajo biti ustrezno oblikovani, da na robo ni nevarnih strižnih mest med premikanjem, ki bi lahko poškodovali človeka. Zagotavljati morajo dovolj visoko frekvenco in natančnost merjenja sil in navora, da se lahko ustavi v ustreznem času v primeru trka za objektom. Pri tem ni potrebe po klasični zaščiti, kot so na primer varnostne kletke ali svetlobne zavesi, ki bi delovni prostor robotov ločevale od delovnega prostora ljudi.

Ključne značilnosti kolaborativnih robotov vključujejo:

- Varnostne funkcije: vgrajeni varnostni senzorji in algoritmi za zaznavanje in izogibanje trkom z ljudmi.
- Enostavnost uporabe: uporabniku prijazni vmesniki in metode programiranja, ki pogosto omogočajo hitro nastavitve in uvajanje.
- Prilagodljivost: sposobnost obvladovanja različnih nalog in prilagajanja različnim procesom ali okoljem.
- Stroškovno učinkovit: Običajno cenejši in lažji za implementacijo kot tradicionalni industrijski roboti.

Koncept kolaborativnih robotov se je v zadnjih nekaj desetletjih močno razvil. Tukaj je kratek pregled njihove zgodovine:

Zgodnji koncepti in predhodniki (1950–1990):

Zamisel o robotih, ki delajo skupaj z ljudmi, sega v zgodnje dni robotike. Zgodnji industrijski roboti, kot je Unimate, razvit v petdesetih letih prejšnjega stoletja, so bili zasnovani za ponavljajoče se in nevarne naloge, vendar so zahtevale varnostne kletke, ki so jih ločile od človeških delavcev.

V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja so napredek v senzorski tehnologiji in nadzornih sistemih začeli postavljati temelje za varnejšo interakcijo med človekom in robotom.

Uvedba kolaborativnih robotov (kobotov) (1990):

Izraz "kobot" sta leta 1996 prvič skovala profesorja J. Edward Colgate in Michael Peshkin na univerzi Northwestern. Razvili so prvega pravega sodelovalnega robota, zasnovanega za neposredno interakcijo z ljudmi, ne da bi pri tem predstavljal varnostno tveganje.

Zgodnji koboti so bili pasivni, kar pomeni, da so se pri premikanju in opravljanju nalog zanašali na človeški vnos, pri čemer je robot zagotavljal pomoč pri moči in zagotavljal varno interakcijo.

Komercializacija in razvoj (2000-a):

V zgodnjih 2000-ih je prišlo do pomembnega napredka v tehnologiji kobotov in prvih komercialnih izdelkov, ki so vstopili na trg.

Leta 2008 je dansko podjetje Universal Robots lansiralo UR5, enega prvih komercialno uspešnih kolaborativnih robotov. Odlikoval ga je intuitiven uporabniški vmesnik in možnost varnega dela skupaj z ljudmi, kar je postavilo nov standard v industriji.

Širitev in inovacije (2010 danes):

Leta 2010 smo bili priča hitri rasti in sprejemanju kobotov v različnih panogah, vključno s proizvodnjo, zdravstvenim varstvom in logistiko. Podjetja, kot sta Rethink Robotics (s svojima robotoma Baxter in Sawyer) in KUKA, so prav tako prispevala k trgu z inovativnimi oblikami kobotov.

Napredek na področju umetne inteligence, strojnega učenja in senzorske tehnologije še naprej izboljšuje zmogljivosti kobotov, zaradi česar so bolj prilagodljivi, inteligentni in učinkoviti.

Sodobni koboti so zdaj opremljeni s prefinjenimi sistemi vida, naprednimi algoritmi umetne inteligence in izboljšanimi varnostnimi funkcijami, kar jim omogoča opravljanje kompleksnejših nalog in še bolj brezhibno delo skupaj z delavci (Universal Robots USA, Inc, brez datuma).

3.2 Uporaba kolaborativnih robotov

Zaradi svoje sposobnosti za varno in učinkovito sodelovanje z ljudmi je uporaba kobotov našla široko uporabo v različnih industrijah. Z uporabo kobotov lahko avtomatiziramo različne delovne procese in pospešimo njihovo izvajanje. Najbolj pogosto jih uporabljamo pri avtomatizaciji ponavljajočih se operacij, kar prispeva k hitrosti izvajanja procesa in povečanju produktivnosti.

V takšnih sistemih zaposleni še vedno ostajajo odgovorni za ocenjevanje razmer in natančne naloge, ki jih koboti težko opravljajo (A. Kanazawa, pridobljeno 5. 8. 2024) (C. S. Franklin, pridobljeno 5. 8. 2024).

Postopki ali naloge, katerih izvajanje želimo olajšati s koboti, imajo po navadi eno ali več naslednjih značilnosti:

- preproste dejavnosti,
- zelo motorični procesi (zlasti ponavljajoča se gibanja in tveganja, povezana z ergonomijo),
- podobni procesi ali naloge, ki se ne izvajajo v celoti ves dan, vsak dan, kjer bi lahko kobota hitro prerazporedili z ene naloge na drugo (C. S. Franklin, pridobljeno 5. 8. 2024).

Zahvaljujoč različnim orodjem uporabniku prijazni programske opreme in prilagodljivosti lahko koboti opravljajo najrazličnejša opravila. Kombinacija različnih zmogljivosti pomeni, da je mogoče neskončno število dejanj združiti v eno popolno dejavnost za avtomatizacijo. Teoretično lahko kobota naučimo česar koli. V nadaljevanju so našteje nekatere dejavnosti, za katere se v praksi koboti najpogosteje uporabljajo (WiredWorkers, pridobljeno 5. 8. 2024).

- Montaža; koboti se uporabljajo med natančnimi in ponavljajočimi se postopki sestavljanja, kot so vijachenje, pritrdjevanje delov in vstavljanje (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Doziranje; z uporabo zaznavanja navora se koboti lahko uporabljajo za projekte doziranja, kot so lepljenje, tesnjenje in barvanje. To pomaga zmanjšati količino odpadkov in poveča natančnost doziranja (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Končna obdelava; z nadzorom sile, ki se samodejno prilagaja zahtevani sili, koboti zagotavljajo dosledno poliranje, brušenje in brušenje materialov (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Posluževanje strojev; kobot lahko vstavlja komponente v stroje, kot so CNC stružnica ali krivilni stroji. To omogoča upravljavcem, da ostanejo na varnem in se lahko osredotočajo na druge, zahtevnejše naloge. Poleg tega to prispeva k učinkovitosti podjetja, saj lahko proizvodnja poteka tudi po končanem delovnem času (A. Kanazawa, pridobljeno 5. 8. 2024).

3.3 Prednosti in slabosti kolaborativnih robotov

Koboti izboljšajo delovno okolje za ljudi in ponujajo vrsto prednosti za industrijske in proizvodne aplikacije. Sledi nekaj najpogostejših prednosti kobotov:

- Optimizacija procesov. Glavni cilj robotizacije je seveda optimizacija procesov. Z drugimi besedami: doseganje največjega cilja z minimalnimi stroški. Napake so minimalizirane, zaposleni imajo več časa za druge stvari, poveča se produktivnost in na koncu to vpliva na boljši poslovni rezultat. Postavitev in opremljanje kobota seveda zahtevata investicijo, a na dolgi rok prihranita denar in celo dobiček (Mennings, prevzeto 5. 8. 2024).
- Zaposleni postanejo srečnejši pri svojem delu. Ker so zaposleni podprti pri delu, ki ga opravljajo, bodo v delu, ki ga opravljajo, bolj uživali. Dolgočasno, monotono delo bodo prepustili robotu, da bodo zaposleni svoje delo opravljali bolj 'človeško'. Naloge, pri katerih je več možnosti za kreativnosti, k rešitvam usmerjenemu razmišljanju in pobudi. V tem smislu roboti prispevajo k privlačnemu delovnemu okolju, kar pomeni večjo vključenost zaposlenih, obogatitev dela, visoko stopnjo zadovoljstva pri delu in prispevek k osebnemu razvoju zaposlenih (Mennings, prevzeto 5. 8. 2024).
- Hitra namestitvev. Običajno namestitev robota traja nekaj dni (ali morda celo tednov), preden začne delovati. Namestitev kobota je na drugi strani možna v pol ure, z uporabniku prijazno programsko opremo pa bi lahko kobot svojo prvo nalogo opravil v eni uri. Tako je kobot na voljo kot začasni ali prilagodljivi zaposleni, ki lahko opravlja različne naloge na različnih oddelkih (Mennings, prevzeto 5. 8. 2024).
- Prilagodljivost; roboti so zelo prilagodljivi in jih je mogoče hitro programirati za opravljanje novih nalog. Običajno človeški delavec uporablja vmesnik človek-stroj, priključen na mobilno tablico, da po potrebi reprogramira kobota. To zmanjša čas nedelovanja in izboljša fleksibilnost (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Natančnost. Koboti dosledno delujejo z enako količino sile in na enak način. To zagotavlja, da so deli enake kakovosti, točni in pravilno nameščeni (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Povečana produktivnost. Ker so dolgočasna, nevarna in ponavljajoča dela običajno dodeljena kobotom, jih je mogoče hitro opraviti, kar poveča produktivnost (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Zmanjšani proizvodni stroški. Koboti so zasnovani za racionalizacijo in optimizacijo procesov v proizvodnih okoljih, kar na koncu izboljša rezultat (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Kolaborativni roboti imajo tudi naslednje pomanjkljivosti:
- Nižje nosilnosti. Kolaborativni roboti običajno nosijo tovor od 3 do 14 kg, medtem ko lahko nekatere različice zdržijo do 35 kg (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Človeška odvisnost. Kolaborativni robot lahko teoretično deluje 24 ur na dan, vendar občasno vseeno potrebuje človeški nadzor ali pomoč. Po drugi strani pa lahko industrijski

roboti delujejo do svoje zmogljivosti brez človeškega posredovanja (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).

- Omejena hitrost. Ker je glavni cilj kobota varnost, je hitrost drugotnega pomena, zlasti če so sprejeti dodatni varnostni ukrepi. Povprečni kolaborativni robot se premika s hitrostjo 250 milimetrov na sekundo, kar je štirikrat počasneje od običajnega industrijskega robota. Kolaborativni robot se upočasni, ko uporabniki sodelujejo z njim, da ohrani varnost, vendar to podaljša čas cikla. Kot rezultat kolaborativni roboti pogosto niso predlagani za aplikacije, ki zahtevajo hitrost (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).
- Varnostne razdalje. Pridobivanje varnostnega dovoljenja za kobota je lahko zahtevno. Poleg izpolnjevanja varnostnih predpisov premestitev kobota in spreminjanje njegovih nalog ali nabora orodij pogosto zahteva dodatne varnostne akreditacije. Kobote, ki se tržijo v Evropski uniji (EU), mora odobriti priglasitveni organ kot del postopka označevanja z oznako CE, ki potrjuje, da je izdelek v skladu z okoljskimi, zdravstvenimi in varnostnimi standardi EU, s čimer je zagotovljena varnost potrošnikov. Na primer, dodajanje novega prijemala s koničastimi robovi zahteva spremembo prvotnega cilja kobota. Zaradi potrebe po dodatnem varnostnem pooblastilu ima lahko organizacija čas in stroške (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).

3.4 Primerjava kolaborativnih in tradicionalnih industrijskih robotov

Kakšna je razlika med kolaborativnim robotom in industrijskim robotom?

Industrijski roboti in koboti imajo veliko podobnosti, pa tudi nekaj edinstvenih lastnosti. Glavne značilnosti in razlike med kobotom in industrijskim robotom so naslednje:

Industrijski roboti so namenjeni samostojnemu delu, koboti pa sodelovanju s človekom.

Za razliko od industrijskih robotov, ki so narejeni za hitrost in natančnost pri ponavljajočih se opravilih, so koboti opremljeni z različnimi senzorji in varnostnimi funkcijami, ki zagotavljajo varno interakcijo z ljudmi.

Zasnova kobota je lahka in prilagodljiva od tradicionalnih industrijskih robotov, ki so na splošno večji in imajo večjo nosilnost od kobotov.

Koboti se pogosto uporabljajo za naloge, kot so tekoča linija, pakiranje in nadzor kakovosti. Industrijski roboti so običajno zasnovani za opravljanje posebnih nalog v visoko strukturiranem, avtomatiziranem okolju.

Za razliko od kobotov so industrijski roboti običajno zaprti v kletke, da ljudem preprečijo vstop v delovni prostor.

Večina industrijskih robotov je avtonomnih, velikih in dragih. Običajno manjša podjetja pridobijo več s prilagodljivostjo in stroškovno učinkovitostjo kobota.

Čeprav imajo industrijski roboti pomembno vlogo v avtomobilski industriji in pri njenih dobaviteljih, so njihovi visoki stroški, velika velikost, teža in zahteve glede kompleksnega programiranja omejili njihovo uporabo v drugih vertikalnih industrijah.

Druga ovira za posvojitev je kulturni strah pred roboti, ki prevladujejo na delovnem mestu in nadomeščajo človeške zaposlene. Koboti so namenoma zasnovani za reševanje tega strahu. Sodelujoči robot je namenjen povečanju zmogljivosti človeškega delavca, ne pa njegovemu nadomestilu. V mnogih primerih ima kobot obliko robotske roke, ki delavcu zagotavlja dodaten komplet rok (Yasar, prevzeto 5. 8. 2024).

Spodaj na Sliki 8 se lahko vidi zgradba kolaborativnega robota (levo) in klasičnega industrijskega robota (desno).



Slika 8: Kolaborativni robot (levo) in klasični industrijski robot (desno)

Vir: (Top3dshop, 2024)

Vir: (CLEANPNG, 2024)

3.5 Učinki avtomatizacije na proizvodne procese

Avtomatizacija je postala nepogrešljiv del sodobne proizvodnje in prinaša številne prednosti v primerjavi s tradicionalnim ročnim delom. Njena vloga je še posebej pomembna v industrijah, kjer sta učinkovitost in konkurenčnost ključna dejavnika uspeha. Nekateri glavni učinki avtomatizacije na proizvodne procese so:

- **Povečanje produktivnosti:** Avtomatizacija omogoča neprekinjeno delovanje brez človeške utrujenosti, kar vodi v višjo stopnjo proizvodnje in skrajša čas, potreben za izdelavo enega kosa. Strojna oprema lahko deluje 24/7, kar omogoča povečanje kapacitete.
- **Zmanjšanje napak in izboljšanje kakovosti:** Zmanjšana odvisnost od človeških napak je ena ključnih prednosti avtomatizacije. Roboti in CNC stroji delujejo z visoko natančnostjo, kar vodi k doslednejši kakovosti izdelkov.
- **Znižanje stroškov:** Čeprav začetne naložbe v avtomatizacijo lahko predstavljajo visok strošek, dolgoročno avtomatizacija zniža stroške dela, saj je manjša potreba po operaterjih. Poleg tega stroji delajo bolj učinkovito z manj napakami, kar zmanjšuje stroške popravil in zamenjav izdelkov.
- **Povečanje fleksibilnosti:** Sodobni avtomatizirani sistemi so pogosto zasnovani tako, da so prilagodljivi in omogočajo enostavno preklapljanje med različnimi vrstami izdelkov. To omogoča podjetjem, da se hitreje odzivajo na spremembe na trgu in potrebe strank.
- **Boljša uporaba virov:** Avtomatizirani sistemi so bolj učinkoviti pri rabi materialov, saj omogočajo optimizacijo postopkov in zmanjšujejo odpadke. To prispeva k boljši trajnosti in zmanjšanju stroškov surovin.
- **Varnost na delovnem mestu:** Avtomatizacija lahko zmanjša potrebo po človeški interakciji s potencialno nevarnimi stroji ali nevarnimi materiali, kar povečuje varnost na delovnem mestu. Roboti lahko izvajajo nevarne naloge, kar zmanjšuje tveganje za poškodbe delavcev.
- **Spreminjanje vloge delavcev:** Delavci so pogosto preusmerjeni na bolj zapletene in ustvarjalne naloge, kot so nadzor nad sistemi, vzdrževanje ali programiranje strojev. To povečuje zahteve po visoko usposobljeni delovni sili.
- **Zmanjšanje delovnih ciklov in izboljšanje dobavnih rokov:** Z avtomatizacijo proizvodnih procesov se skrajša čas izdelave izdelkov, kar omogoča hitrejše dobavne roke. To podjetjem omogoča boljše obvladovanje povpraševanja na trgu in hitrejši odziv na

spremembe v potrebah kupcev. Skrajšanje ciklov je ključno tudi za optimizacijo inventarjev in zmanjšanje stroškov skladiščenja.

- **Povečani zanesljivost in sledljivost:** Avtomatizacija omogoča natančnejše spremljanje in nadzor nad posameznimi koraki proizvodnega procesa. To povečuje sledljivost izdelkov, kar je pomembno za zagotavljanje kakovosti, skladnosti z regulacijami in hitro reševanje morebitnih težav ali reklamacij.
- **Trajnost in zmanjšanje okoljskega odtisa:** Avtomatizirani sistemi lahko pripomorejo k bolj trajnostni proizvodnji z zmanjšanjem porabe energije, optimizacijo uporabe materialov in zmanjšanjem odpadkov. S tem podjetja prispevajo k varovanju okolja in hkrati zmanjšujejo proizvodne stroške.
- **Uporaba podatkov za optimizacijo procesov:** Sodobni avtomatizirani sistemi zbirajo obsežne količine podatkov, ki se lahko uporabljajo za optimizacijo delovanja. Analiza teh podatkov omogoča odkrivanje ozkih grl v proizvodnji, predvidevanje napak in izvedbo vnaprejšnjega vzdrževanja, kar zmanjšuje izpade in izboljšuje celotno učinkovitost proizvodnje.
- **Globalna konkurenčnost:** Podjetja, ki uvedejo avtomatizirane proizvodne linije, lahko tekmujejo na globalnem trgu s sposobnostjo ponujanja visokokakovostnih izdelkov po nižjih stroških. Avtomatizacija omogoča tudi lažje prilagajanje proizvodnje različnim geografskim trgom s prilagajanjem specifikacij izdelkov brez potrebe po večjih spremembah v proizvodnih procesih.
- **Kultura nenehnega izboljševanja:** Avtomatizacija spodbuja kulturo nenehnega izboljševanja (angl. *continuous improvement*), kjer se procesi neprestano prilagajajo in optimizirajo na podlagi povratnih informacij iz sistema. To izboljšuje dolgoročno uspešnost podjetja.

Kombinacija teh dejavnikov omogoča industriji, da postane bolj konkurenčna, saj lahko podjetja izpolnjujejo zahteve po višji kakovosti, večji prilagodljivosti in nižjih stroških proizvodnje.

4 METODOLOGIJA RAZISKAVE

V tem poglavju je opisana metodologija, uporabljena pri raziskavi, ki vključuje izbiro ustreznega kolaborativnega robota, analizo obstoječega načina dela, načrtovanje in izvedbo eksperimenta ter merjenje in analizo učinkovitosti.

4.1 Izbor ustreznega kolaborativnega robota

Pri izboru kolaborativnega robota je ključnega pomena upoštevati več dejavnikov, ki bodo zagotovili optimalno delovanje in integracijo v proizvodne procese. Eden izmed prvih korakov je definiranje specifičnih zahtev proizvodnje, kot sta velikost in teža obdelovancev, natančnost ter ponovljivost opravil, ki jih mora robot izvajati. Nato se preučijo delovno okolje, v katerem bo robot deloval, vključno z varnostnimi zahtevami in omejitvami prostora. Poleg tega je pomembno oceniti, kako bo robot sodeloval z operaterji ter kako enostavno ga je programirati in prilagajati različnim nalogam. Pri izboru se mora upoštevati tudi stroškovna učinkovitost in povračilo investicije, pri čemer je pomembno, da robot omogoča povečanje produktivnosti in zmanjšanje napak v proizvodnem procesu.

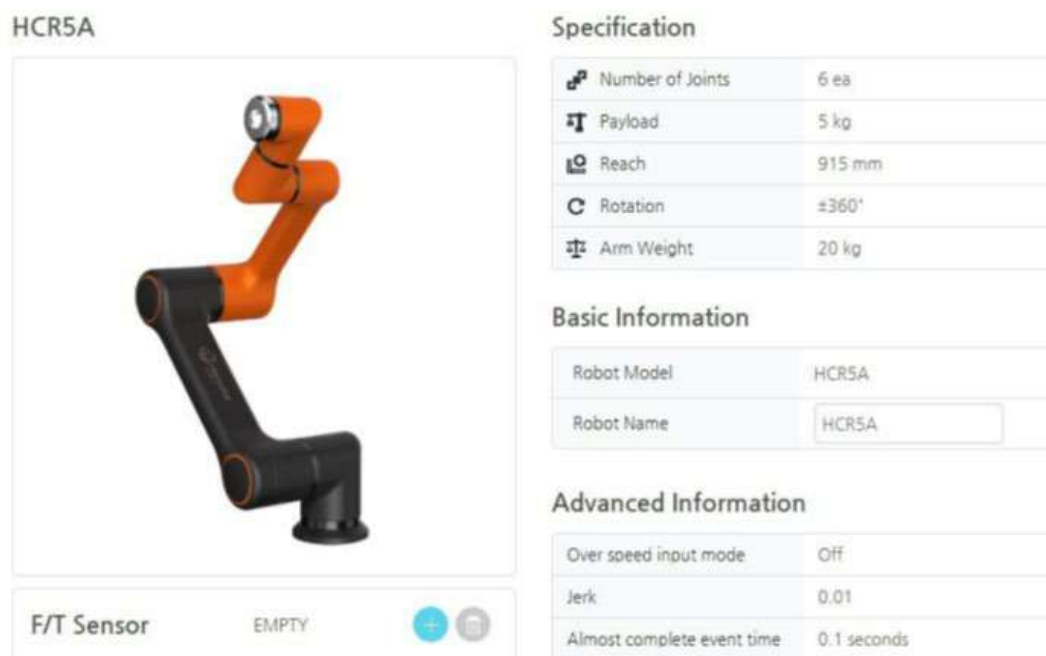
Glede na vhodne podatke, ki smo jih prejeli od stranke, smo se odločili za integracijo kolaborativnega robota znamke Hanwha, model HCR 5A.

Ta model spada v kategorijo lahkih kobotov, saj ima nosilnost 5 kg, kar omogoča uporabo pri različnih nalogah, kot so sestavljanje, pakiranje, posluževanje strojev in manipulacija z manjšimi obdelovanci. Z delovnim dosegom 915 mm je primeren za manjše delovne prostore, kjer je potrebna visoka stopnja prilagodljivosti.

Ena od glavnih prednosti robota HCR-5A je njegova enostavna uporaba in programiranje. Uporabniški vmesnik je intuitiven, kar omogoča hitro postavitve in prilagoditve nalog brez potrebe po obsežnem tehničnem znanju. Poleg tega je robot opremljen s številnimi varnostnimi funkcijami, kot so senzorji za zaznavanje trka, kar omogoča delo brez varnostnih ograj v neposredni bližini ljudi. To povečuje fleksibilnost pri integraciji v obstoječe proizvodne linije in zmanjšuje stroške namestitve ter vzdrževanja.

Zaradi varovanja podatkov končnega uporabnika in izdelka bomo navedli približne podatke. Teža surovca znaša približno 700 gramov, njegova dolžina pa 75 mm.

Na spodnji Sliki 9 je prikazana specifikacija kolaborativnega robota Hanwa HCR-5A, iz katere je razvidna nosilnost od 5 kg vključno za prijemalom, maksimalnim dosegom od 915 mm, rotirajoče območje od 360 stopinj in teža samega robota, ki znaša 20 kg.



Slika 9: Kolaborativni robot Hanwa HCR-5A

Vir: (BTS Company d. o. o., 2020)

4.2 Analiza obstoječega načina dela

Delo na CNC strožnici trenutno opravljajo operaterji ročno v več zaporednih fazah, ki vključujejo natančno manipulacijo, prilagodljivost in znatno fizično delo. Operaterji zagotavljajo, da je vsak korak obdelave izveden z visoko stopnjo natančnosti in kakovosti, saj gre za postopke, ki zahtevajo ročno upravljanje in prilagajanje. Spodaj je podroben opis poteka dela:

1. **Fina obdelava po kaljenju:** Operater prenaša obdelovanec iz palete, kjer so shranjeni po predhodnem kaljenju, v čeljusti stroja. Ta faza zahteva natančnost in previdnost, da se obdelovanec pravilno namesti, kar omogoča nemoteno nadaljevanje postopka.
2. **Prvo vpetje po kaljenju (čeljenje):** Operater opravi prvo vpenjanje obdelovanca za čeljenje. To je pomemben postopek, ki služi za izravnavo površine in pripravo obdelovanca na naslednje faze. Spodaj na sliki 10 je prikazan vpet kos, ki je pripravljen za mehansko obdelavo oz. čeljenje po kaljenju.



Slika 10: Prvo vpetje po kaljenju (čeljenje)

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

3. **Drugo vpetje (prevpenjanje in izdelava telesa):** Po končanem čeljenju operater izvleče obdelovanec iz čeljusti in ga ponovno vpne za naslednji korak obdelave, ki vključuje izdelavo telesa. Ta korak zahteva skrbno rokovanje, da se obdelovanec varno premesti in pravilno postavi za optimalno nadaljnjo obdelavo. Na spodnji sliki 11 je prikazan že obdelan kos oz. mehanska obdelava telesa.



Slika 11: Drugo vpetje – prevpenjanje

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

4. **Tretje vpetje (prevpenjanje in izdelava špice):** Operater izvaja ponovno prevpenjanje za tretjo fazo, kjer izdelava špico obdelovanca. Ta postopek zahteva posebno pozornost in natančnost, saj oblikovanje špice vpliva na funkcionalnost končnega izdelka. Operater

spremlja in prilagaja nastavitve stroja po potrebi, da zagotovi kakovostno izvedbo. Na spodnji sliki 12 je prikazana zadnja faza obdelave oz. tretje vpetje.



Slika 12: Tretje vpetje – prevpenjanje in izdelava špice
Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

5. **Odlaganje v paleto:** Po končani obdelavi operater previdno odstrani obdelovanec iz stroja in ga ročno odloži v paleto za shranjevanje. Trenutna paleta ima 81 mest. Za prihodnjo avtomatizacijo je predvidena paleta s kapaciteto za vsaj 132 odlagalnih mest, kar bo omogočilo, da stroj dela dlje časa brez prisotnosti operaterja, kar zagotavlja večjo avtonomijo kolaborativnega robota in CNC stružnice. Na spodnji sliki 13 je prikazano odlagalno mesto pred izvedbo robotizacije z 81. odlagalnega mesta.



Slika 13: Odlagalno mesto pred izvedbo robotizacije.
Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

Izzivi in priložnosti za izboljšave: Ročno opravljanje teh faz zahteva visoko stopnjo pozornosti in fizičnega napora operaterja, kar lahko privede do napak in utrujenosti, zlasti med dolgimi delovnimi izmenami. To omejuje produktivnost in povečuje tveganje za mišično-skeletne poškodbe. Poleg tega je proizvodni proces občutljiv na variacije, ki so posledica različnih spretnosti in izkušenj posameznih operaterjev.

Robotizacija prinaša večjo avtonomijo proizvodnega procesa, kar pomeni, da vlogo operaterja spremeni v nadzornika proizvodnega procesa. Drugo, kar bomo dosegli je to, da operater oz. nadzornik pred koncem delovnega dneva pripravi robota in pregleda stroj. To vključuje nalaganje vseh 132 kosov za obdelavo na odlagalna mesta, pregled CNC stroja ter rezilnega orodja. Na ta način lahko robot opravlja delo oz. izvaja strego CNC stroja tudi po odhodu delavcev in izdela vseh 132 kosov.

4.3 Načrtovanje in izvedba eksperimenta

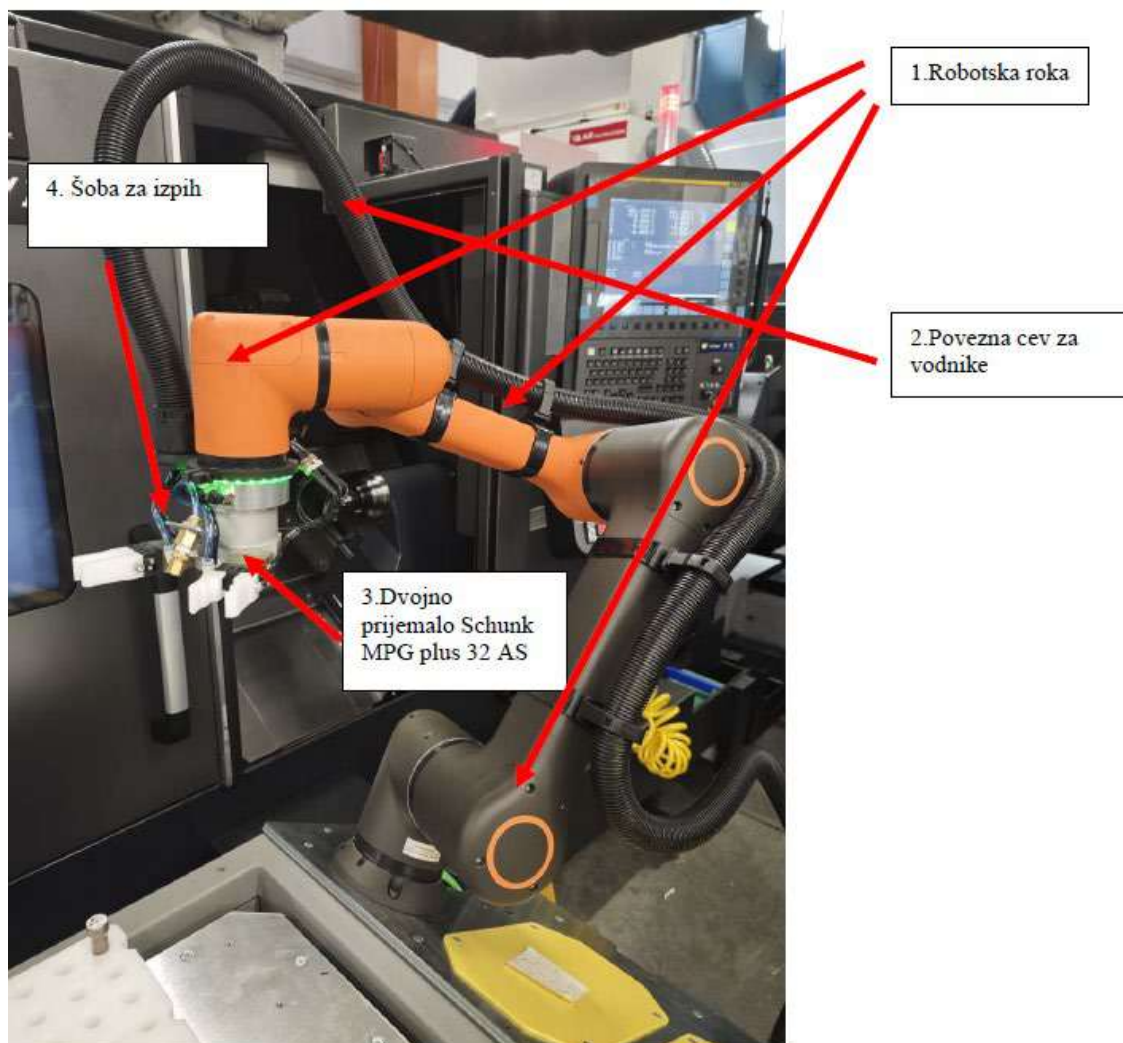
Glavni cilji eksperimenta so preučiti vpliv avtomatizacije na produktivnost, kakovost dela, varnost ter ergonomijo delovnega okolja. Eksperiment je zasnovan v več fazah, da se zagotovi sistematična izvedba in pridobitev zanesljivih podatkov.

4.3.1 Priprava na eksperiment

Pred izvedbo eksperimenta so ključne naslednje priprave:

- **Izbira in namestitev robota:** Izbran je bil kolaborativni robot Hanwha HCR-5A, ki se bo integriral v obstoječi proizvodni proces. Robot je bil izbran zaradi svoje zmogljivosti, prilagodljivosti in varnostnih funkcij.

Na spodnji sliki 14 je prikazan kolaborativni robot Hanwha HCR-5A vključno z opremo, ki je potrebna za nemoteno funkcioniranje procesa.



Slika 14: Izbira kolaborativnega robota

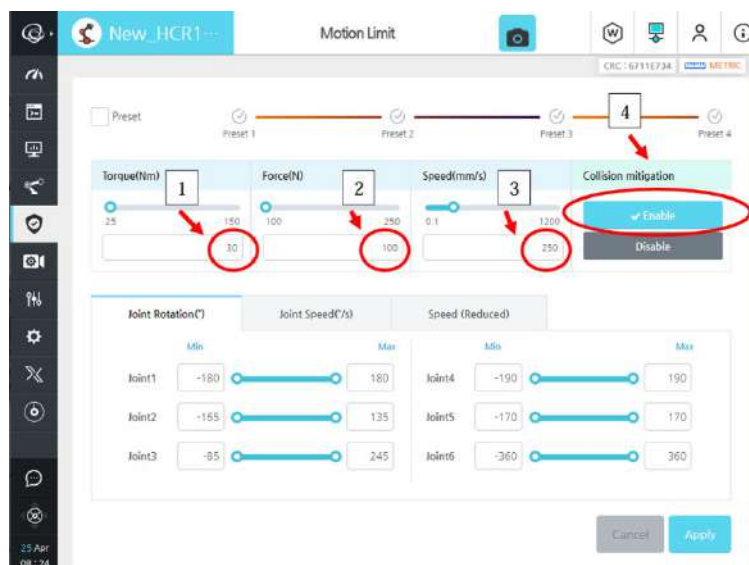
Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

- Doseg 905 mm
- Nosilnost 5 kg
- Max. hitrost 1.5 m/s
- Masa 20.8 kg
- IP 54

- **Programiranje robota:** Pred izvedbo eksperimenta je potrebno razviti in testirati program, ki bo robotu omogočil izvajanje nalog, kot so prenašanje obdelovanca, vpenjanje in odlaganje v paletu. Programiranje vključuje določitev natančnih točk prijemanja, prilagoditev prijemalne sile in nastavitev hitrosti premikanja. Posebna pozornost bo

namenjena varnostnim funkcijam, kot so senzorji za zaznavanje trka in sistem za samodejno zaustavitev.

Te nastavitve definirajo opcijo ustavitve robotske roke ob aplikaciji določenega navora in sile na robotsko roko ter maksimalno dovoljeno hitrost pomikanja. V avtomatskem ciklu mora biti v programu ob vstopu robota v notranjost celice obvezno aktiven signal RIM, ki prepreči pomike osi stroja med manipulacijo robota v notranjosti CNC stroja. Signal je aktiven, ko je na statusu 1. Na spodnji sliki 15 so prikazane in označene varnostne nastavitve robota, kot so navor, sila in hitrost.

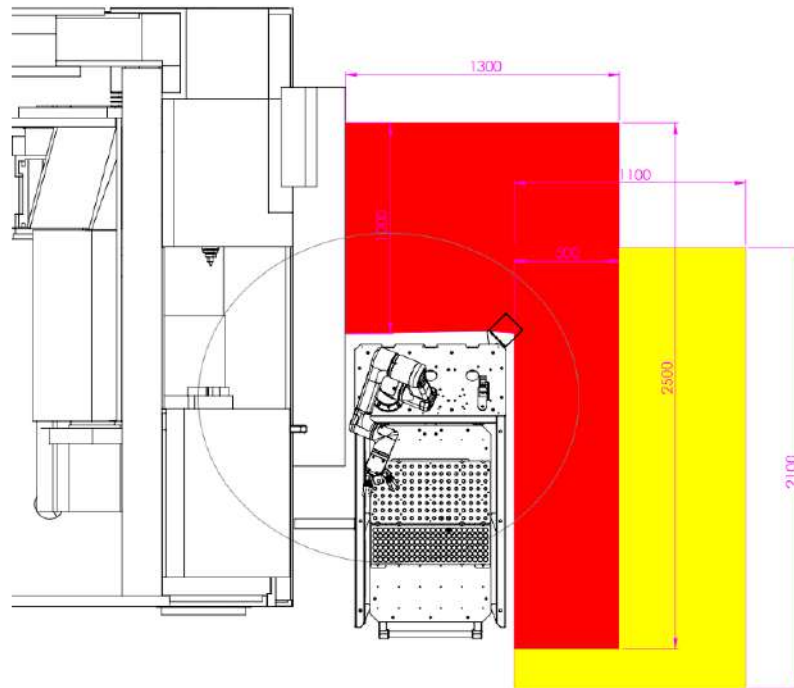


Slika 15: Varnostne nastavitve robota

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

1. Nastavitev navora na posamezno os je lahko maksimalno 30 N/m
 2. Nastavitev sile ustavitve, izražene v N, je lahko maksimalno 100 N
 3. Nastavitev maksimalne dovoljene hitrosti pomika po TCP je 500 mm/s
 4. Ustavitev v primeru trka mora biti obvezno VKLJUČENA
 5. Tlak na filter regulatorju priprave zraka ne sme presegati 6 barov
- **Priprava delovnega prostora:** Robot mora imeti zaradi kolaborativnega načina delovanja obdelovanec in prijemalo brez ostrih robov in potencialna stična površina mora biti dovolj velika, da ob morebitnem kontaktu ne pride do prekomernih pritiskov na dele telesa. Robot ima silo ustavitve pri trku nastavljeno na minimalnih 100 N in 30 Nm. Robot v kolaborativnem načinu obratovanja, brez dodatnih varnostnih naprav, ne sme presegati hitrosti 250mm/s! Območje gibanja robota pred strojem in na strani

mobilne celice varuje varnostni skener, ki preprečuje stik med človekom in robotom in ima dve coni. Opozorilna cona (rumeno) ob vstopu omeji hitrost robota na 150 mm/s, varovalna cona (rdeča) pa gibanje robota ustavi. Varnostni skener onemogoča stik robotske roke z operaterjem. Stik je še vedno mogoč na zalogovniku, zato mora tam biti hitrost robota omejena na največ 250 mm/s in omejena sila prijema, da ob stisku ne pride do prekoračitve predpisanih omejitev. Na spodnji sliki 16 je prikazan postavitve robota v prostoru in omejitve delovanja v barvah, ki so razložene v zgornjem tekstu.



Slika 16: Namestitev robota

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

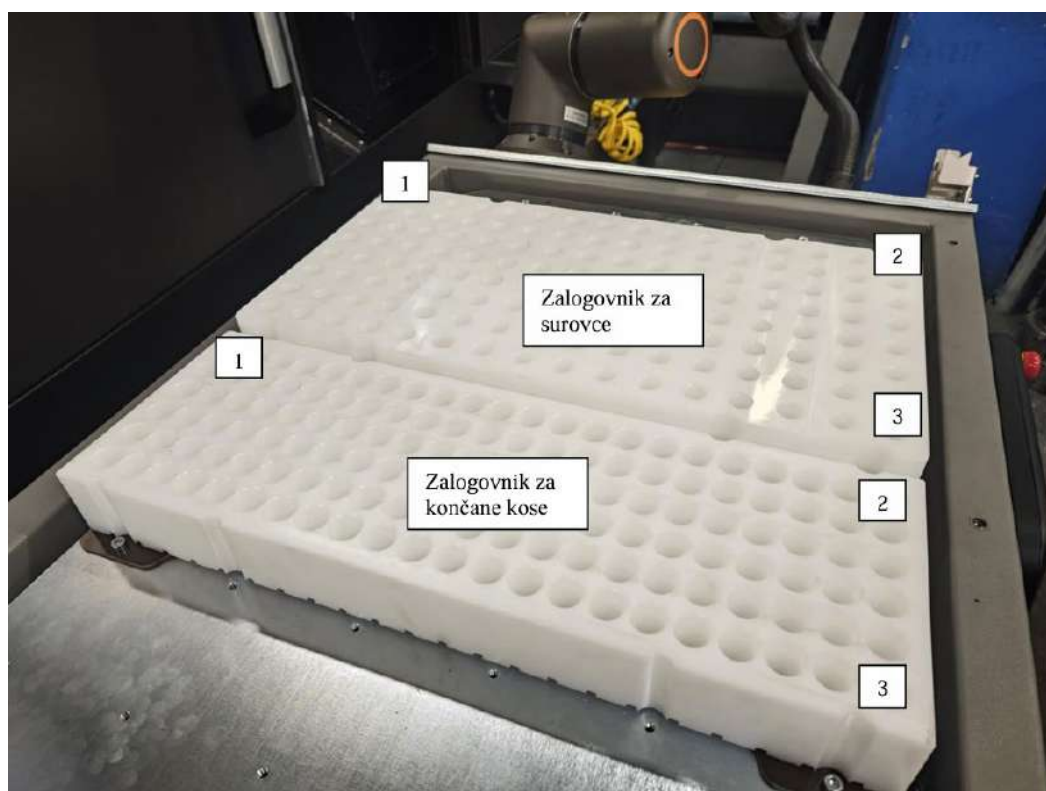
4.3.2 Izvedba eksperimenta

Eksperiment bo potekal v več zaporednih korakih:

Prvi testni cikel:

- **Simulacija ročnega prenosa obdelovanca:** Robot bo programiran za prenos obdelovanca iz palete v čeljusti stroja, kar bo simuliralo trenutni ročni proces operaterjev. Pomembno bo spremljati, kako robot zazna in prime obdelovanec, ter njegovo natančnost pri postavitvi v čeljusti.

- **Prvo vpetje in čeljenje:** Robot bo samostojno izvajal prvo vpetje obdelovanca za čeljenje. Ta korak bo testiral, ali lahko robot natančno in hitro namesti obdelovanec ter zagotovi pravilno centriranje za obdelavo.
- **Drugo vpetje in izdelava telesa:** Po uspešnem čeljenju bo robot odstranil obdelovanec in ga ponovno vpel za izdelavo telesa. Med tem postopkom bo spremljano, kako hitro in varno robot izvede prevpenjanje in ali se pojavljajo napake ali premiki obdelovanca.
- **Tretje vpetje in izdelava špice:** Robot bo izvedel še eno prevpenjanje za oblikovanje špice. Spremljalo se bo, kako dobro robot izvede to kompleksnejšo nalogo, pri kateri je potrebna višja stopnja natančnosti.
- **Odlaganje izdelka:** Zaključna faza vključuje odlaganje končnega izdelka v že pripravljeno odlagalno mesto. Proces funkcionira na način, da posluževalec ali operater stroja naloži kose za obdelavo v zalogovnik za surovce in potem robot iz zalogovnika jemlje kose in jih vklada v CNC stružnico. Obdelan kos odloži v zalogovnik za končane kose. Pomembno je, da robot odloži obdelovanec natančno in varno, brez tveganja poškodb izdelka. Na spodnji sliki 17 je prikazan zalogovnik za končane kose in zalogovnik za surovce.



Slika 17: Odlagalno mesto po izvedbi robotizacije

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

- Zalogovnik na vozičku je sestavljen iz dveh delov; iz dela za surovce, ki ima 128 mest, in iz dela za končane kose, ki ima 132 mest.
- **Prilagoditve in optimizacije:** Po prvem testnem ciklu bodo izvedene prilagoditve glede na opažene težave ali pomanjkljivosti. To vključuje spremembe v programiranju robota, izboljšave prijemalne moči, hitrost premikanja in prilagoditve poti gibanja za optimizacijo časa.
- **Ponovitve eksperimenta:** Eksperiment bo izveden večkrat, da se zagotovi zanesljivost podatkov. Vsaka ponovitev bo omogočila zbiranje podatkov za nadaljnjo analizo učinkovitosti in primerjavo s trenutnimi ročnimi postopki.

4.3.3 Zbiranje in obdelava podatkov

Med izvajanjem eksperimenta bodo zbrani podatki, ki vključujejo:

- **Čas izvajanja posameznih faz:** Natančno merjenje časa, ki ga robot potrebuje za vsak korak, kar bo omogočilo primerjavo z ročnim delom.
- **Stopnja napak:** Beleženje napak pri prijemanju, vpenjanju ali odlaganju obdelovanca, da se ocenita natančnost in zanesljivost robota.
- **Spremljanje obremenitve operaterjev:** Ocenjevanje zmanjšanja fizične obremenitve operaterjev in s tem izboljšanje ergonomije delovnega okolja.
- **Učinkovitost obdelave:** Primerjava števila obdelanih kosov v enakem časovnem obdobju pri ročnem in avtomatiziranem postopku.

4.3.4 Analiza in ocena rezultatov

Po izvedbi eksperimenta bodo podatki analizirani z namenom:

- **Ocene učinkovitosti:** Primerjava časa izvedbe in števila obdelanih kosov bo omogočila oceno, ali avtomatizacija povečuje produktivnost.
- **Preverjanje kakovosti izdelkov:** Analiza kakovosti izdelkov bo pokazala, ali avtomatizacija zmanjšuje stopnjo napak in zagotavlja enakomerno kakovost.
- **Varnost in ergonomija:** Ocenjevanje, kako je avtomatizacija vplivala na varnost in zmanjšanje fizične obremenitve operaterjev.
- **Povračilo investicije (ROI):** Izračun ekonomskih učinkov integracije robota, vključno z znižanjem stroškov dela, izboljšano produktivnostjo in zmanjšanjem napak.

Analiza bo podala celovito oceno smiselnosti in prednosti uporabe kolaborativnega robota v primerjavi z ročnim delom ter priporočila morebitne nadaljnje izboljšave.

4.4 Merjenje in analiza učinkovitosti

Merjenje in analiza učinkovitosti eksperimenta sta ključna za pridobitev objektivnih podatkov, ki bodo omogočili primerjavo trenutnega ročnega procesa in avtomatiziranega postopka z uporabo kolaborativnega robota. V tem poglavju so podrobno opisani postopki zbiranja podatkov, merila za ocenjevanje in metode za analizo učinkovitosti.

4.4.1 Metodologija merjenja

Za natančno analizo bodo uporabljene naslednje metode merjenja:

- **Časovni zapis izvajanja posameznih faz:** Za vsako fazo proizvodnega procesa bo natančno zabeležen čas, potreben za izvedbo, tako pri ročnem delu kot pri avtomatiziranem postopku. To bo omogočilo neposredno primerjavo produktivnosti in hitrosti med obema načinoma dela.
- **Štetje obdelanih kosov:** Beleženje števila obdelanih kosov v določenem časovnem obdobju za oceno produktivnosti. Primerjava bo pokazala, ali avtomatizacija povečuje količino obdelanih kosov v primerjavi z ročno izvedbo.
- **Beleženje napak in izmetov:** Med merjenjem bo posebej poudarjena stopnja napak, vključno s slabo izvedenimi vpenti, poškodbami obdelovancev ali odstopanji pri obdelavi. Ti podatki bodo ključni za oceno natančnosti in zanesljivosti robota.
- **Merjenje fizične obremenitve operaterjev:** Za oceno vpliva avtomatizacije na ergonomijo bo uporabljen vprašalnik za operaterje, ki bo zajemal subjektivno oceno napora pred in po uvedbi robota ter zabeležene podatke o času, ki ga operaterji dejansko preživijo ob delu.

4.4.2 Orodja za zbiranje podatkov

Za zbiranje in beleženje podatkov bodo uporabljena naslednja orodja:

- **Merilniki časa:** Za natančno merjenje časa posameznih faz bodo uporabljene digitalne štoparice in programska orodja za časovno analizo.

- **Kamere za spremljanje postopka:** Vgrajene kamere bodo omogočile video analizo delovnih faz, kar bo prispevalo k natančnejši analizi premikanja obdelovancev, prijemanja in odlaganja.
- **Senzorji za sledenje napakam:** Roboti bodo opremljeni s senzorji za zaznavanje sile in natančnosti, kar bo omogočilo samodejno zaznavanje in beleženje napak pri prijemalnih postopkih.
- **Vprašalniki in intervjuji z operaterji:** Po eksperimentu bodo operaterji izpolnili vprašalnike in sodelovali v intervjujih, kjer bodo izrazili svoje izkušnje in zaznane spremembe v fizični obremenitvi ter počutju.

4.4.3 Analiza zbranih podatkov

Zbrani podatki bodo obdelani z uporabo naslednjih metod analize:

- **Statistična analiza:** Podatki o času izvedbe, številu obdelanih kosov in stopnji napak bodo analizirani s statističnimi metodami, kot so povprečje, mediana in standardni odklon. Primerjava povprečnih časov bo pokazala razliko v učinkovitosti med ročnim in avtomatiziranim postopkom.
- **Primerjalna analiza:** Rezultati eksperimenta bodo primerjani s prejšnjimi podatki ročnega dela, kar bo omogočilo oceno vpliva avtomatizacije na produktivnost in kakovost dela.
- **Analiza ROI (Return on Investment):** Uporabili bomo podatke o zmanjšanih stroških dela, povečani produktivnosti in zmanjšanju izmeta za izračun povračila investicije. To bo vključevalo oceno začetnih stroškov integracije robota in potencialne dolgoročne prihranke.

4.4.4 Ocena rezultatov in interpretacija

Po obdelavi podatkov bo izvedena interpretacija rezultatov z osredotočanjem na naslednje vidike:

- **Produktivnost:** Ocena, ali je avtomatizacija omogočila hitrejšo in učinkovitejšo izvedbo delovnih faz ter povečala število obdelanih kosov na enoto časa.
- **Kakovost izdelkov:** Pregled stopnje napak in primerjava, ali je avtomatizacija prispevala k enakomerni in višji kakovosti končnih izdelkov.
- **Ergonomija in varnost:** Analiza, kako se je zmanjšala fizična obremenitev operaterjev ter ali so se izboljšale varnostne razmere na delovnem mestu. Primerjava bo vključevala rezultate vprašalnikov in intervjujev z operaterji.

- **Ekonomičnost:** Ocena dolgoročnega učinka na stroške proizvodnje in izračun ROI, kar bo pokazalo, ali je uvedba kolaborativnega robota finančno smiselna.

4.4.5 Zaključna poročila in priporočila

Na podlagi analiziranih podatkov bo pripravljen zaključni dokument, ki bo vseboval:

- **Povzetek rezultatov:** Kratko predstavitev ključnih ugotovitev in meritev.
- **Priporočila za optimizacijo:** Predloge za izboljšave integracije robota, kot so dodatne prilagoditve programiranja ali spremembe v delovnih postopkih.
- **Priporočila za nadaljnje raziskave:** Ideje za morebitne nadaljnje raziskave in eksperimentiranje, ki bi lahko še dodatno izboljšali avtomatizacijo in učinkovitost proizvodnih procesov.

Z analizami in ugotovitvami bo eksperiment prispeval k celovitemu razumevanju vpliva avtomatizacije na obstoječe procese ter podal konkretne predloge za optimizacijo in nadaljnji razvoj proizvodnih metod.

5 INTEGRACIJA KOLABORATIVNEGA ROBOTA S CNC STRUŽNICO

5.1 Tehnični vidiki integracije

Integracija kolaborativnega robota v obstoječi proizvodni proces vključuje več tehničnih korakov in premislekov, ki zagotavljajo, da robot deluje usklajeno s CNC stružnico ter izpolnjuje zahteve glede varnosti in učinkovitosti. Ključni vidiki, ki jih je treba upoštevati pri tej integraciji, so podrobno opisani spodaj. Na spodnji sliki 18 je prikazano, kako v končni fazi izgleda integracija kolaborativnega robota in CNC stružnice.



Slika 18: Integracija kolaborativnega robota s CNC stružnico PUMA 2100Y

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

5.1.1 Povezovanje robota in CNC stroja

Za uspešno integracijo je ključnega pomena vzpostaviti zanesljivo povezavo med kolaborativnim robotom in CNC stružnico. To vključuje:

- **Komunikacijski vmesnik:** Izbran način komunikacijskega vmesnika je odvisen od krmilnika, ki ga ima CNC stroj. Hanwha za komunikacijo s CNC strojem omogoča izvedbo preko FANUC focus, Modbus TCP ali pa fizično I/O povezavo preko relejev na vhodno/izhodne kartice stroja. Ethercat je pri Hanwhi uporabljen samo za komunikacijo

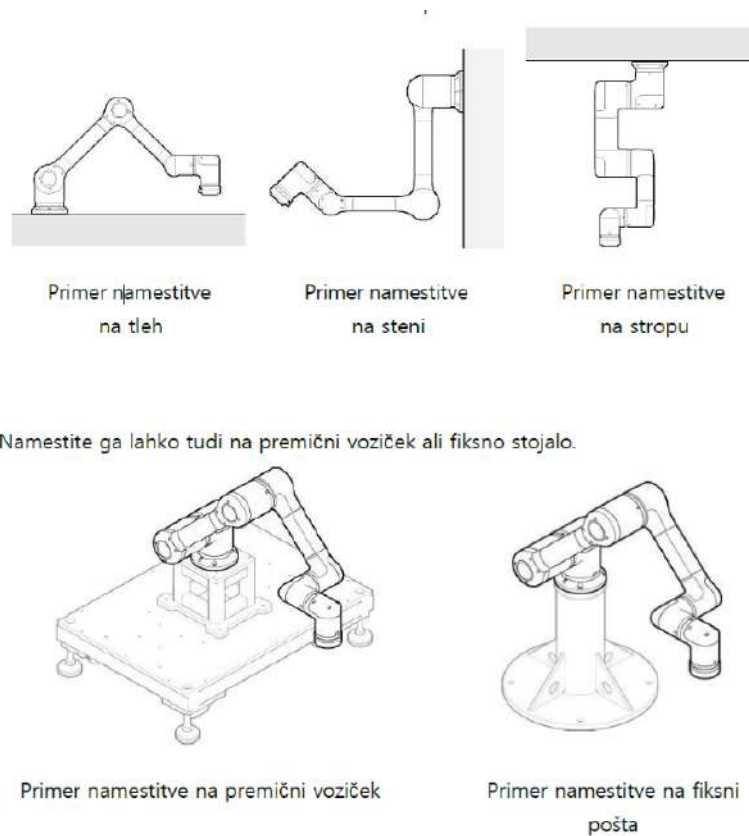
robotske roke do kontrolerja robota in za prenos signalov od Tool I/O konektorjev na prirobnici robota do kontrolerja.

- **Integracija programske opreme:** Robota je treba programirati tako, da se usklajuje s cikli CNC stružnice. To pomeni, da robot spremlja povratne informacije s stroja in prilagaja svoje gibanje glede na status stružnice, kar omogoča natančno sinhronizacijo.
- **Varnostne funkcije:** Namestitev varnostnih senzorjev in implementacija funkcij, kot so samodejna zaustavitev v primeru bližine operaterja, zagotavljajo varno delovanje sistema. Robot mora biti programiran tako, da upošteva varnostne standarde za kolaborativne aplikacije.

5.1.2 Mehanska integracija

Spodnji načrt prikazuje postavitve stroja in integracijo kolaborativnega robota v delovni prostor. Layout vključuje tudi mere, ki prikazujejo natančne dimenzije stroja in robota ter količino prostora, ki je potrebna za njihovo implementacijo. To omogoča boljši vpogled v razporeditev delovnega prostora in zagotavlja, da je predviden dovoljšen prostor za varno in učinkovito delovanje robota ter izvajanje delovnih procesov. Načrt tako poudarja, kako so stroji in robot nameščeni za optimalno delovanje ter omogočanje nemotenega pretoka dela.

Na spodnji sliki 19 je prikazana postavitve kolaborativnega robota in CNC stružnice, vključno z dimenzijama opreme.

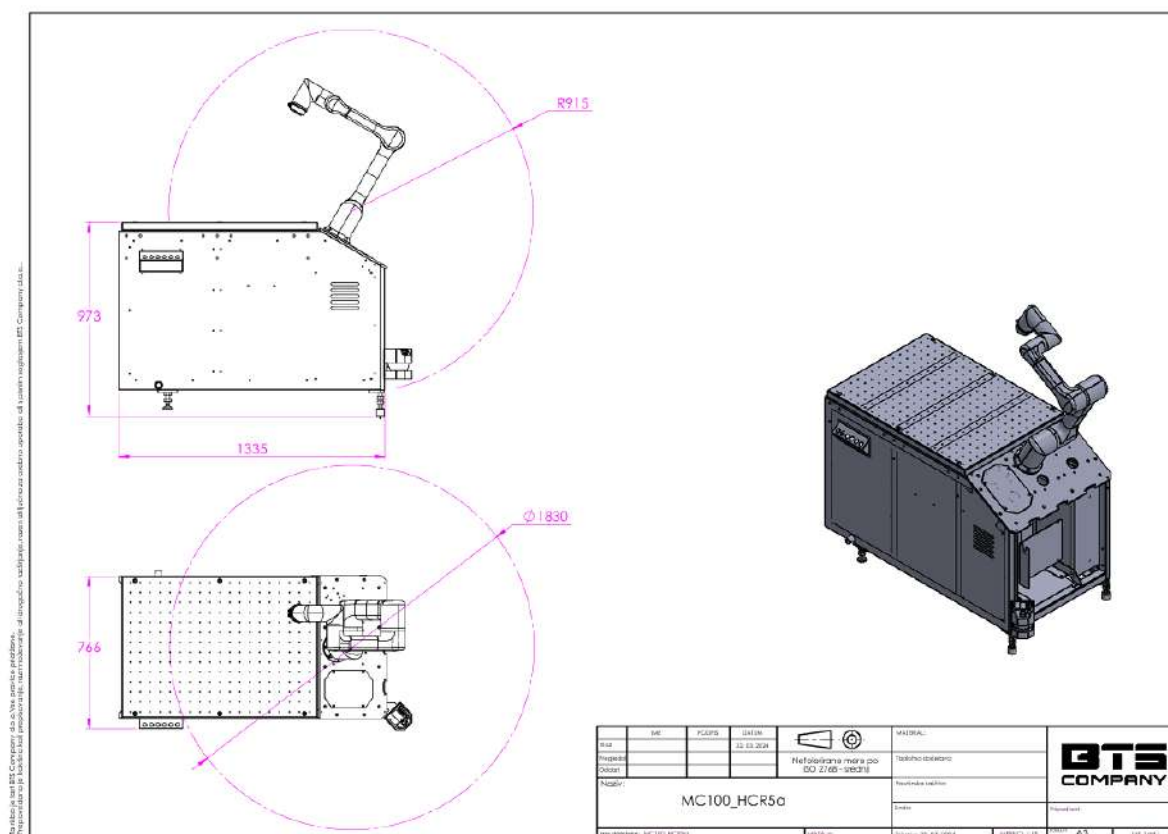


Slika 20: Vrste namestitev

Vir : (BTS Company d. o. o., 2020)

V našem primeru smo robot namestili na mobilno celico MC 100, kar omogoča fleksibilnost in enostavno prilagoditev delovnega prostora glede na potrebe proizvodnega procesa. Mobilna celica MC 100 omogoča, da lahko robot premikamo med različnimi delovnimi postajami, s čimer optimiziramo uporabo robota in povečujemo produktivnost.

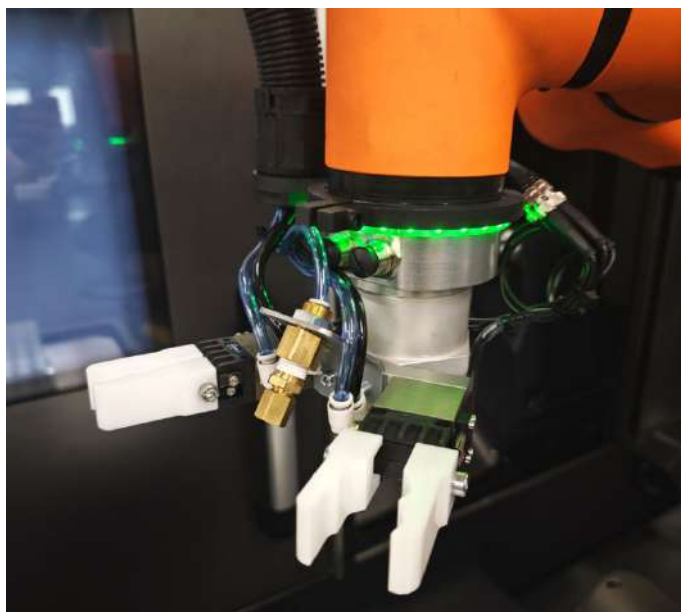
Na spodnji sliki 21 je prikazana namestitev omenjenega robota na mobilni robotski celici.



Slika 21: Mobilna robotska celica MC100
Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

- **Orodje za prijemanje:** Prilagoditev prijemala je ključna za zagotavljanje, da robot lahko varno in natančno premika obdelovance. Prijemalo mora ustrezati vrsti obdelovancev, ki se uporabljajo v proizvodnem procesu, ter omogočati prilagoditev za različne velikosti in oblike.

Na spodnji sliki 22 je prikazano prijemalo izdelkov, s katerimi se izvaja manipulacija komadov.



Slika 22: Orodje za prejemanje izdelkov

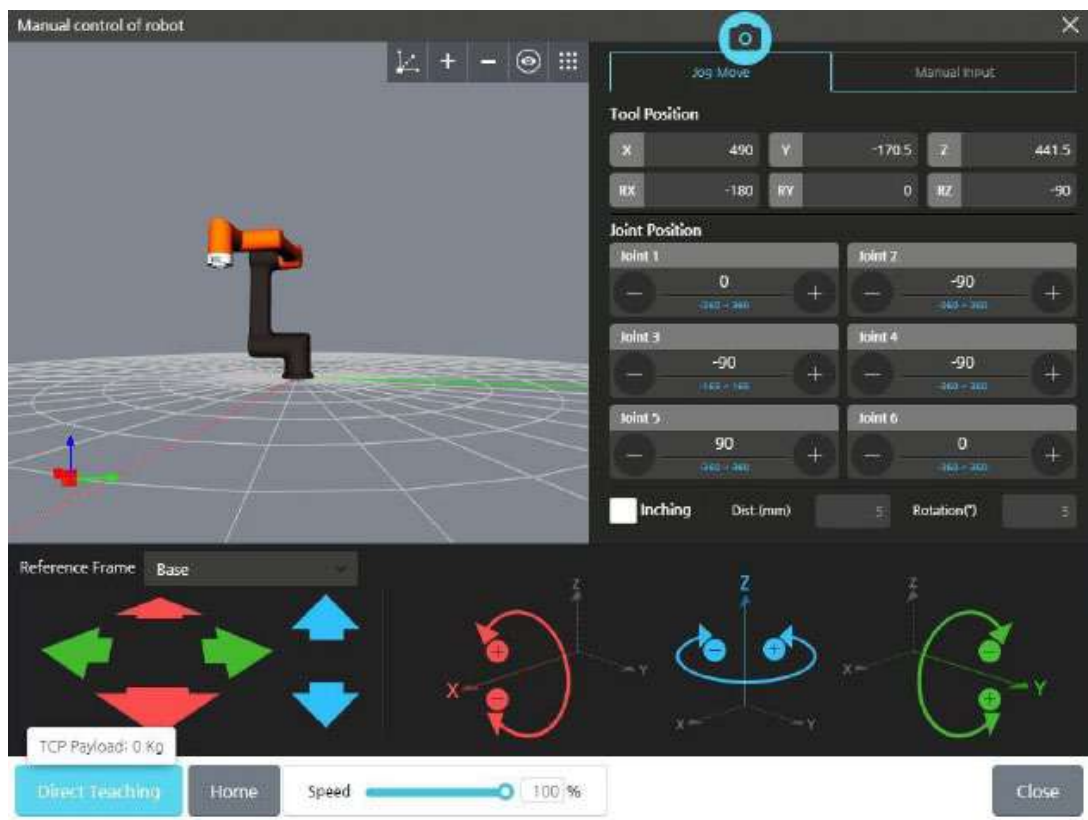
Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

- **Učenje robota:** vključuje določitev začetnih točk, referenčnih položajev in poti gibanja. Natančna kalibracija je nujna, da robot pravilno izvaja naloge v sinhronizaciji s CNC stružnico, kar zagotavlja optimalno delovanje in visoko natančnost.

5.1.3 Povezava krmilnika in upravljanje

Pravilna integracija zahteva povezavo robota s krmilnikom, ki omogoča nadzor nad vsemi njegovimi funkcijami:

- **Krmiljenje robota:** Krmilnik robota serije HCR-A omogoča nadzor nad vsemi premiki robota in povezavo s CNC stružnico preko industrijskih kablov.
- **Posluževalni panel:** S pomočjo posluževalnega panela operaterji nastavijo in upravljajo robot, kar omogoča enostavno programiranje in prilagoditev.



Slika 23: Krmiljenje robota

Vir: (BTS Company d. o. o., 2020)

Na tem zaslonu lahko nadzorujete položaje robota. Z upravljanjem jog ali neposrednim učenjem lahko nadzorujete položaj robota. Pri ročnem premikanju robotske roke s pritiskom na ustrezni gumb sistem zazna vse spremembe položaja sklepov. V ročnem režimu lahko roko robota premikamo po različnih referenčnih okvirjih, ki predstavljajo lasten koordinatni sistem. Izberemo lahko, ali robota premikamo po posameznih oseh ali Base koordinatnem sistemu, ki je koordinatni sistem v centru pritrdilne noge robota, lahko premikamo po katerem drugem nastavljenem koordinatnem sistemu ali po TCP-ju. TCP ali tool center point je definirana točka orodja, običajno na konici orodja ali centru prijemala, ki predstavlja točko prijema. Definirana je relativno na prirobnico robota s koordinatami x , y , in z ter orientacijo R_x , R_y , in R_z .

Pravilna nastavitvev TCP je pomembna, ker če je napačno nastavljen in klican na napačnih mestih, lahko povzroči netočnost gibanja robota, napačno delovanje prijemala ali kolizijo.

V konkretnem primeru ima robot 2 definirana TCP-ja, za vsako prijemalo svojega, ki sta nameščena v centru med obema prstoma na vsakem prijemalu na mestu, kjer prsti primejo obdelovanec.

Hkrati se definirata teža in center mase prijemala. To pomeni, če je prijemalo prazno, ima določeno težo in če nato prime kos, ki je težek 1 kg, je potrebno to dodatno težo in center mase prijemala skupaj s prijetim kosom definirati kot nov TCP z novo definirano težo in centrom mase (prijemalo + obdelovanec). Ker kolaborativni robot omogoča ročno vodenje roke v breztežnostnem načinu in tudi v avtomatskem delovanju preverja kolizije, je potrebna kompenzacija teže prijemala in če ni ustrezno in natančno nastavljena ali imamo v določeni fazi aktiven napačen TCP, lahko robot na podlagi teh napačnih parametrov v neposrednem vodenju pade ali se prične dvigovati ali zaznava neobstoječe kolizije v avtomatskem režimu.

5.1.4 Testiranje in validacija

Za zagotovitev uspešne integracije je nujno izvesti obsežno testiranje:

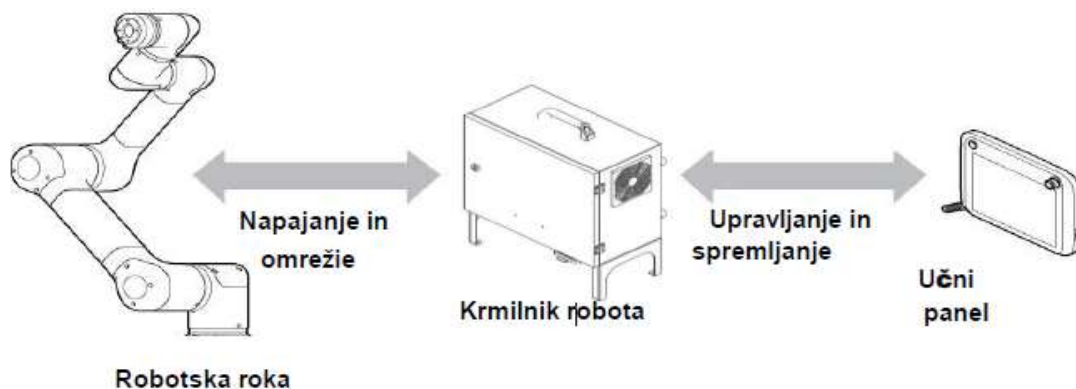
- **Simulacija delovanja:** Pred začetkom dejanske proizvodnje je priporočljivo izvesti simulacijo delovanja robota, da se preveri, kako se giblje in komunicira s CNC stružnico.
- **Prilagoditve programiranja:** Po prvih testih je treba prilagoditi programiranje robota, da se dosežejo optimalna hitrost, natančnost in varnost.
- **Testiranje varnostnih funkcij:** Posebno pozornost je treba nameniti testiranju vseh varnostnih funkcij, da se zagotovi skladnost z varnostnimi standardi.

5.1.5 Varnostni ukrepi in zaščita

Varnostne funkcije so ključne pri delu s kolaborativnimi roboti:

- **Vgrajeni senzorji:** Roboti serije HCR-A so opremljeni s senzorji za zaznavanje trkov, ki omogočajo samodejno zaustavitev v primeru bližine operaterja, kar povečuje varnost delovnega okolja.
- **Omejitve hitrosti in sile:** Robot je mogoče programirati z omejitvami hitrosti in sile, da se zmanjša tveganje za poškodbe.

Na spodnji sliki 24 je prikazana osnovna konfiguracija sistema, ki je sestavljena iz: robotske roke, krmilnika robota in učnega panela.



Slika 24: Osnovna konfiguracija sistema

Vir: (BTS Company d. o. o., 2020)

5.2 Programiranje robota za specifične naloge

Programiranje kolaborativnega robota je ključni del integracije, ki določa, kako robot deluje v usklajenem in varnem delovnem okolju. Serija HCR-A omogoča enostavno programiranje s pomočjo intuitivnih orodij, kar je posebej pomembno za naloge, kot so prenašanje obdelovancev, vpenjanje, obdelava in odlaganje.

5.2.1 Metode programiranja

Programiranje kolaborativnih robotov vključuje različne metode, ki omogočajo prilagodljivost in enostavno uporabo:

- Poučevanje z ročnim vodenjem: Ena od ključnih prednosti robotov serije HCR-A je možnost ročnega vodenja, pri čemer operater premika robotsko roko po želenih poteh. Robot si zapomni gibanje, ki ga nato ponovi pri avtomatiziranem delovanju. To omogoča hitro in natančno nastavitve gibov za specifične naloge.
- Grafični vmesnik za programiranje: Programiranje se lahko izvede tudi z uporabo učnega panela in grafičnega vmesnika, ki omogoča operaterjem nastavitve kompleksnih nalog s pomočjo vizualnih elementov in preprostih ukazov. Ta metoda je uporabna za definiranje zaporedja operacij, prilagoditev hitrosti in določanje točk prijemanja.
- Uporaba knjižnic gibov: Programiranje je podprto z vnaprej določenimi knjižnicami gibov, kar omogoča hitro implementacijo pogostih nalog, kot so prijemanje in premikanje obdelovancev ali prilagajanje položaja za več vpetij.

5.2.2 Konfiguracija nalog

Specifične naloge, kot so vpenjanje obdelovancev, prenašanje in odlaganje, zahtevajo natančne nastavitve:

- Določitev referenčnih točk: Robot mora biti programiran tako, da prepozna in uporablja točno določene referenčne točke za prijemanje in vpenjanje. Te točke omogočajo, da robot natančno zajame obdelovanec in ga pravilno postavi v čeljusti CNC stružnice.
- Prilagoditev hitrosti in sile: Za različne naloge je potrebno prilagoditi hitrost gibanja in silo prijemanja. Na primer, za naloge, kjer je obdelovanec občutljiv na pritisk, je treba nastaviti nižjo silo prijemanja, da se prepreči poškodba.
- Sinhronizacija s CNC stružnico: Robot je programiran tako, da sinhronizira svoje gibe s cikli CNC stružnice. To vključuje čakanje na povratne signale s stružnice, kot so dokončanje obdelave in priprava za naslednji obdelovanec.

5.2.3. Optimizacija programiranja

Za izboljšanje učinkovitosti in zmanjšanje časovnega cikla proizvodnje se uporabljajo tehnike optimizacije:

- Zmanjšanje nepotrebnih gibov: Skozi testiranje in prilagoditev programiranja se odstrani nepotrebne gibe, kar omogoča hitrejšo izvedbo nalog.
- Uporaba simulacij: Pred dejanskim izvajanjem nalog se uporabi simulacijska programska oprema za preverjanje poti gibanja in optimizacijo nalog. To omogoča preverjanje učinkovitosti in odkrivanje morebitnih težav brez prekinitev proizvodnje.
- Prilagoditve po povratnih informacijah: Na podlagi povratnih informacij iz testiranj in operaterjev se programiranje robota izboljšuje, da doseže optimalno hitrost, natančnost in varnost.

5.3.4. Varnostni vidiki programiranja

Pri programiranju robota je ključnega pomena upoštevanje varnostnih funkcij:

- Omejitev gibanja in območij delovanja: Ustvarijo se varnostne meje za omejitev gibanja robota, da se prepreči, da bi robot zapustil varno delovno območje ali trčil v operaterja ali druge naprave.
- Zaznavanje sile in trka: Programiranje vključuje uporabo senzorjev za zaznavanje sile, ki omogočajo, da se robot v primeru stika z osebo ali objektom takoj zaustavi.

- Programske varnostne zapore: Znotraj programskega vmesnika so določene varnostne zapore, ki preprečujejo izvajanje določenih ukazov ali gibov, če varnostni pogoji niso izpolnjeni.

5.3 Varnostni vidiki in predpisi

Integracija kolaborativnih robotov v proizvodne procese, kot je delo s CNC strožnicami, zahteva natančno upoštevanje varnostnih standardov in predpisov, da se zagotovi varnost operaterjev in celotnega delovnega okolja. Kolaborativni roboti so zasnovani z vrsto vgrajenih varnostnih funkcij, vendar pa je pomembno tudi, da se upoštevajo mednarodni predpisi in da se izvedejo ustrezni varnostni protokoli. Spodaj so opisani glavni varnostni vidiki, ki jih je treba upoštevati pri uporabi kolaborativnih robotov, ter ustrezni predpisi, ki jih morajo podjetja upoštevati.

5.3.1 Vgrajene varnostne funkcije

Kolaborativni roboti, kot je serija HCR-A, vključujejo vrsto varnostnih funkcij, ki omogočajo varno delo v neposredni bližini ljudi:

- Senzorji za zaznavanje trka: Roboti so opremljeni z naprednimi senzorji, ki zaznajo trk ali nenaden stik z ovirami. V primeru zaznanega trka se robot samodejno zaustavi, da prepreči poškodbe operaterjev ali škodo na opremi. Ta funkcija je ključna za delo v odprtih delovnih prostorih, kjer si ljudje in robot delijo isti delovni prostor.
- Omejitev hitrosti in sile: Programiranje robota vključuje omejitve hitrosti in sile, kar zagotavlja, da robot deluje z zmanjšano močjo, ko je blizu ljudi. To zmanjšuje tveganje za poškodbe, če pride do stika.
- Varna zaustavitev: Robot je zasnovan tako, da lahko hitro in varno zaustavi svoje gibanje v primeru, da operater vstopi v njegovo delovno območje ali če se zazna nepravilnost v delovanju.

5.3.2. Skladnost z mednarodnimi varnostnimi standardi

Uporaba kolaborativnih robotov mora biti skladna z mednarodnimi varnostnimi standardi, ki določajo smernice za varno integracijo v proizvodne procese:

- ISO/TS 15066:2016: Ta standard določa varnostne zahteve za kolaborativne robote in vključuje omejitve za sile in hitrosti ter druge varnostne ukrepe, ki zagotavljajo varno

sodelovanje med roboti in ljudmi. Standard določa tudi sprejemljive meje sile za različne dele telesa, kar omogoča varno delo operaterjev v bližini robotov.

- ISO 10218-1:2011 in ISO 10218-2:2011: Ti standardi določajo splošne varnostne zahteve za industrijske robote in sisteme, vključno z varnostnimi funkcijami, kot so varnostne zapore, senzorji in varnostne meje gibanja.
- CE certifikacija: Roboti, ki se uporabljajo v Evropski uniji, morajo biti certificirani s CE oznako, ki potrjuje, da izpolnjujejo varnostne standarde EU. CE certifikat vključuje skladnost z varnostnimi, okoljskimi in zdravstvenimi predpisi ter zagotavlja, da je robot varen za uporabo v industrijskem okolju.

5.3.3 Implementacija varnostnih protokolov

Za zagotavljanje varnega delovanja robotov je potrebno upoštevati in izvajati varnostne protokole, ki vključujejo:

- Postavitev varnostnih območij: Vzpostavitev jasnih varnostnih območij z vizualnimi oznakami na tleh, ki opozarjajo operaterje na gibanje robota. To omogoča operaterjem, da se zavedajo delovnega območja robota in se izognejo nenamernemu vstopu v nevarno območje.
- Uporaba dodatnih varnostnih senzorjev: Poleg vgrajenih senzorjev je priporočljiva uporaba dodatnih varnostnih senzorjev za zaznavanje prisotnosti oseb in preprečevanje nenadzorovanega gibanja robota. To vključuje varnostne pregrade in optične senzorje za nadzor gibanja.
- Redno vzdrževanje: Za zagotavljanje stalne varnosti je potrebno redno pregledovati varnostne funkcije robota, kot so senzorji za zaznavanje trka in varnostne omejitve hitrosti. Redni pregledi zagotavljajo, da robot ostane varen za uporabo.

5.3.4 Usposabljanje operaterjev

Varnost pri uporabi kolaborativnih robotov ni odvisna le od tehnologije, temveč tudi od usposobljenosti operaterjev:

- Izobraževanje o varnostnih postopkih: Operaterji morajo biti seznanjeni z varnostnimi funkcijami robota in kako ravnati v primeru zaustavitve ali napake. Usposabljanje mora vključevati praktične vaje in teoretične lekcije o delovanju in varnostnih ukrepih.
- Sprotno usposabljanje: Poleg začetnega usposabljanja je pomembno tudi sprotno izobraževanje, ko se uvedejo nove funkcije ali ko se posodobi programska oprema.

5.3.5 Dokumentacija in poročanje

Za ohranjanje visoke ravni varnosti je pomembno vzdrževati natančno dokumentacijo:

- Poročila o varnostnih pregledih: Rezultati varnostnih pregledov in vzdrževanja morajo biti natančno dokumentirani in shranjeni za morebitne inšpekcijske preglede ali notranje varnostne preglede.
- Navodila za operaterje: Jasno napisana navodila, ki opisujejo postopke za varno delo z robotom, morajo biti na voljo vsem operaterjem. Navodila vključujejo opise varnostnih funkcij, postopek za ročno zaustavitev in način ravnanja v nujnih primerih.

6 EKONOMSKA ANALIZA

V tem poglavju je predstavljena ekonomska analiza integracije kolaborativnega robota in CNC obdelovalne stružnice. Analiza vključuje pregled stroškov, koristi, donosnosti investicije in vpliva na delovno okolje. Namen je utemeljiti upravičenost investicije in poudariti njene kratkoročne ter dolgoročne učinke.

6.1 Stroški uvedbe kolaborativnega robota

Prvi korak v ekonomski analizi je ocena vseh stroškov, povezanih z uvedbo robota, ki jih bomo razdelili na neposredne in posredne stroške.

Neposredni stroški so vsi stroški, ki so povezani z nakupom robota in robotske celice ter namestitvijo opreme ter transportom na končno lokacijo.

Posredni stroški zajemajo stroške usposabljanja operaterjev, integracije kolaborativnega robota s CNC stružnico, izdelave programov ter kasnejšega vzdrževanja in morebitnih prilagoditev, ki jih bo morda zahteval kupec.

V spodnji tabeli so prikazani vsi zgoraj opisani stroški. Zaradi zagotavljanja zaupnosti podatkov končnega kupca so zneski prilagojeni, vendar v taki meri, da prilagoditve bistveno ne vplivajo na končne rezultate in izračun.

Opis (5)	Opis 2	Količina (7)	vrstice Brez DDV
CO-ROBOT nosilnost 5kg	KOLABORATIVNI ROBOT	1,00	***
MOBILNA CELICA OKVIR-OSNOVNI		1,00	***
PRIZMA ZA MONTAŽO DVEH PRIJEMAL		1,00	***
Dvoprstno paralelno prijemalo s sistemom UZB	z osnovnimi prsti in prirobnico	2,00	***
ENERGIJSKA VERIGA ZA PRIJEMALO Z VODNIKI		1,00	***
PRIPIRAVA ZRAKA ZA PRIJEMALO		1,00	***
IZPIH NA ROBOTU		1,00	***
VOZIČEK Z FIKSNO NADGRADNJO		2,00	***
		0,00	***
KONSTRUIRANJE IN IZDELAVA ZALOGOVNIKA		1,00	***
- Konstruiranje zalogovnika in gnezd		0,00	***
- Sestava konstrukcije		0,00	***
LASER SKENER VARNOSTNI Z OPREMO	SZ-01S IN PRIKLJUČNIM KABLOM	1,00	***
		0,00	***
ZAGON MOBILNE CELICE	3 DNI	1,00	***
- Postavitev celice		0,00	***
- Programiranje robota		0,00	***
		0,00	***
PREVOZ DO KUPCA		1,00	***
		0,00	***
ŠOLANJE 1 DAN		1,00	***
SKUPAJ:			47.658,00

Slika 25: Stroški uvedbe kolaborativnega robota

Vir: (BTS Company d. o. o., 2023)

Kot je razvidno iz tabele, skupni strošek implementacije kolaborativnega robota s CNC stružnico znaša 47.658,00 EUR.

6.2 Prihranki in povečanje produktivnosti

S prehodom iz ročnega na avtomatski način dela smo dosegli največje prihranke pri zmanjšanju stroškov dela, saj je robotizacija prevzela naloge strege CNC stružnice. Z uvedbo kobota smo zmanjšali potrebo po operaterjih in prevzeli zahtevnejše in dodane naloge, kar je povečalo njihovo učinkovitost. Robot omogoča hitrejša nalaganje obdelovancev in zagotavlja večjo natančnost, saj odpravlja variacije, ki so bile prej posledica različnih spretnosti in izkušenj posameznih operaterjev.

Povečanje produktivnosti se odraža v neprekinjenem delovanju procesa, saj kobot omogoča delo brez prekinitev in odmorov. Eden glavnih ciljev je bil zagotoviti avtonomno delovanje stroja za najmanj šest ur, kar nam je uspelo doseči. Vloga operaterja se v avtomatiziranem procesu osredotoča na zagotavljanje izdelkov za obdelavo, odstranjevanje izdelanih kosov ter njihov transport v naslednje faze proizvodnje. Poleg tega je operater odgovoren za spremljanje stanja rezalnega orodja v stroju in zagotavljanje nemotenega poteka proizvodnje.

Avtomatizacija je prinesla tudi izboljšano stabilnost procesa, zmanjšala tveganje za napake in povečala skupno kakovost izdelkov. S tem smo dosegli boljšo izkoriščenost CNC stružnice, povečali učinkovitost celotnega proizvodnega procesa ter dolgoročno izboljšali konkurenčnost podjetja.

6.3 Analiza donosnosti investicije (ROI)

Analiza donosnosti investicije (ROI – Return on Investment) je finančni kazalnik, ki meri razmerje med dobičkom, ki ga ustvari investicija, in njenimi stroški. Uporablja se za oceno, kako učinkovito je podjetje porabilo sredstva za določeno investicijo, in za primerjavo donosnosti različnih projektov ali naložb (LiveAgent, 2024).

Osnovna formula za izračun ROI je:

$$ROI = \frac{\text{Dobiček iz investicije} - \text{Stroški investicije}}{\text{Stroški investicije}} \times 100$$

Komponente:

1. Dobiček iz investicije: Skupni prihodki ali prihranki, ki jih investicija ustvari v določenem obdobju.
2. Stroški investicije: Vključujejo vse stroške, povezane z nakupom, implementacijo in vzdrževanjem investicije.

Na podlagi pridobljenih informacij od podjetja je ocenjeno, da bo integracija kolaborativnega robota s CNC stružnico prinesla dodatni dobiček v višini 33.400,00 EUR.

Sledi izračun.

$$ROI = \frac{33.400,00 - 47.658,00}{47.658,00} \times 100 = -29,92 \%$$

V prvem letu bi investicija ustvarila izgubo 29,92 %, če bi jo ocenjevali le na podlagi prvega leta.

Za tri leta:

$$ROI = \frac{33.400,00 \times 3 - 47.658,00}{47.658,00} \times 100 = 110,25 \%$$

V treh letih bi investicija ustvarila donosnost 110,25 %, kar pomeni, da se je začetni vložek več kot podvojil.

Prednosti ROI analize:

- Ocena učinkovitosti: ROI omogoča hitro oceno, ali je investicija donosna.
 - Primerjava naložb: Omogoča primerjavo donosnosti različnih investicij in pomoč pri odločanju.
 - Strateško načrtovanje: Pomaga pri določanju, kam usmeriti sredstva za največji donos.
- (Fernando, 2024)

Omejitve ROI analize:

- Časovni vidik: ROI ne upošteva trajanja investicije; dve investiciji z enakim ROI lahko imata različno časovno obdobje vračanja.
 - Tveganje: Ne upošteva tveganja, povezanega z investicijo.
 - Dodatni stroški: Lahko spregleda skrite ali posredne stroške, ki vplivajo na donosnost.
- (Fernando, 2024)

6.4 Vpliv na varnost in ergonomijo delavcev

Kolaborativni robot (kobot), ki prevzame vlogo delavca pri stregi CNC stroja, bistveno prispeva k zmanjšanju fizične obremenitve delavcev. Naloge, kot sta nalaganje in razkladanje obdelovancev, zdaj izvaja kobot, kar odpravlja potrebo po dvigovanju težkih predmetov in ponavljajočih se gibih. To zmanjšuje tveganje za nastanek mišično-skeletnih težav, ki pogosto izhajajo iz prisilnih drž in ponavljajočih se gibov, povezanih z ročnim delom.

Z uporabo kobota se delovne naloge delavcev preusmerijo na nadzor in upravljanje procesa, kar ne le zmanjša njihovo fizično obremenitev, ampak tudi poveča njihovo zadovoljstvo pri delu. Koboti avtomatizirajo rutinske in ponavljajoče se naloge, kar posledično zmanjšuje duševno utrujenost in monotonost.

Operaterji se lahko osredotočijo na kompleksnejše naloge, kot so optimizacija proizvodnje in tehnično vzdrževanje, kar povečuje njihovo produktivnost in občutek vrednosti. Uvedba kobota kot avtomatiziranega pomočnika tako ne izboljša le delovnih pogojev, temveč tudi povečuje učinkovitost in varnost delovnega okolja.

7 REZULTATI IN RAZPRAVA

7.1 Predstavitev rezultatov

Rezultati eksperimenta in analiz so prinesli pomembne vpoglede v učinkovitost in vpliv integracije kolaborativnega robota Hanwha HCR-5A s CNC stružnico DOOSAN Puma TT 2100 Y. Spodaj so predstavljeni ključni rezultati:

7.1.1 Produktivnost

- **Povečanje obdelanih kosov:** Po uvedbi robota se je število obdelanih kosov v eni izmeni 8-urnega delovnika povečalo za 15 kosov oz. 8 % v primerjavi z ročnim delom.
- **Neprekinjeno delovanje:** Avtonomno delovanje stroja za najmanj 4 ure 40 minut in izdelava vseh 132 kosov omogočata neprekinjen potek proizvodnje tudi po zaključku delovnika in odhodu delavcev iz proizvodnje.

Za primerjavo produktivnosti dela z ročnim načinom dela in robotiziranim načinom bomo uporabili formulo:

$$\text{Produktivnost dela} = \frac{\text{Število izdelanih kosov}}{\text{Število delovnih ur}}$$

Ročni način dela:

$$\text{Produktivnost dela} = \frac{195}{8} = 24,375 \text{ kosa na uro}$$

Robotiziran način dela:

$$\text{Produktivnost dela} = \frac{342}{8} = 42,75 \text{ kosa na uro}$$

Izboljšanje produktivnosti:

$$\text{Produktivnost dela} = \frac{\text{Robotiziran način dela} - \text{Ročni način dela}}{\text{Ročni način dela}} \times 100$$

$$\text{Produktivnost dela} = \frac{42,75 - 24,375}{24,375} \times 100 = 75,42 \%$$

Rezultat je, da se je produktivnost dela povečala za 75,42 %

7.1.2. Časovni prihranki

Za lažji izračun časovnih prihrankov bomo primerjali, koliko časa bi trajalo izdelovanje 342 kosov z ročnim načinom dela in robotiziranim načinom dela.

Za primerjavo časovnih prihrankov ročnega načina dela in robotiziranega načina bomo uporabili formulo:

Ročni način dela:

Produktivnost z ročnim načinom dela je bila 24,375 kosa na uro. Čas za izdelavo 342 kosov:

$$\text{Čas pred robotizacijo} = \frac{342}{24,375} \approx 14,03 \text{ ure}$$

Robotiziran način dela:

Produktivnost po robotiziranem načinu dela je 42,75 kosa na uro. Čas za izdelavo 342 kosov:

$$\text{Čas pred robotizacijo} = \frac{342}{42,75} \approx 8,0 \text{ ure}$$

Prihranek časa = Robotiziran način dela – Ročni način dela

$$\text{Prihranek časa} = 14,03 - 8,0 = 6,03$$

Rezultat je, da smo z robotizacijo CNC stružnice dosegli dodatne časovne prihranke. Pred robotizacijo je bilo za izdelavo 342 kosov potrebne 16,03 ure dela enega delavca, medtem ko po robotizaciji za enako količino kosov potrebujemo 8-urno prisotnost delavca, kar pomeni, da smo z robotizacijo pokrili še dodatnih 75 % dodatne izmene. S tem smo povečali učinkovitost, razpoložljivost proizvodnih kapacitet in obenem znižali stroške dela in povečali konkurenčnost.

7.1.3. Kakovost izdelkov in stopnja napak

- **Zmanjšanje napak:** Stopnja napak pri vpenjanju in obdelavi se je zmanjšala, kar je posledica natančnosti robota in odprave človeškega dejavnika.
- **Izboljšana kakovost izdelkov:** Enakomernost končnih izdelkov je bila izboljšana, saj robot odpravlja variacije, povezane z različnimi spretnostmi operaterjev.

7.1.4. Ergonomija in zadovoljstvo delavcev

- **Zmanjšana fizična obremenitev:** Delavci so razbremenjeni nalog, ki vključujejo dvigovanje težkih obdelovancev in ponavljajoče se gibe, kar je zmanjšalo tveganje za mišično-skeletne poškodbe.

- **Višje zadovoljstvo pri delu:** Operaterji so preusmerjeni na naloge, kot so nadzor kakovosti in tehnično vzdrževanje, kar povečuje njihovo zadovoljstvo in strokovni razvoj.
- **Izboljšanje varnosti:** Varnostne funkcije robota, kot so zaznavanje trka in omejitev hitrosti, so odpravile tveganje poškodb pri manipulaciji obdelovancev.

7.1.5. Finančni kazalniki

Donosnost investicije (ROI):

- **Prvo leto:** Negativen ROI (**– 29,92 %**) zaradi začetnih stroškov.
- **Tri leta:** Pozitiven ROI (**110,25 %**), kar pomeni, da se investicija v treh letih povrne in preseže začetni vložek.
- **Prihranki pri stroških dela:** Prehod na robotizacijo je zmanjšal potrebo po operaterjih na tem delovnem mestu, ki so zdaj usposobljeni za zahtevnejše naloge.

7.1.6. Stabilnost procesa

- **Manjši izmet:** Odpravili smo večino napak, ki so bile posledica nepravilnega vpenjanja ali človeških napak.
- **Boljša sledljivost:** Sistem omogoča natančno spremljanje vsakega obdelovanca, kar zagotavlja popolno sledljivost in skladnost s proizvodnimi standardi.

Pridobljeni rezultati jasno kažejo na pozitivne učinke uvedbe kolaborativnega robota, zlasti v smislu produktivnosti, kakovosti, varnosti in dolgoročne ekonomske upravičenosti.

7.3. Preverjanje hipotez

1. **H1: Integracija kolaborativnega robota na CNC stružnico bistveno poveča učinkovitost in produktivnost proizvodnega procesa.**
 - **Rezultati:** Produktivnost dela se je povečala za 75 %, časovni prihranki so pomembni (iz 14,03 ure na 8 ur za 342 kosov), kar potrjuje hipotezo.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
2. **H2: Kolaborativni roboti lahko uspešno prevzamejo ponavljajoče se in monotone naloge na CNC stružnici, kar omogoča delavcem osredotočanje na bolj kompleksne naloge.**

- **Rezultati:** Robot je prevzel ponavljajoče se naloge (vpenjanje, prenašanje), operaterji pa so preusmerjeni na nadzor kakovosti in tehnično vzdrževanje.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
3. **H3: Stroški implementacije kolaborativnega robota na CNC stružnico se povrnejo v kratkem času zaradi izboljšane produktivnosti in zmanjšanja napak.**
- **Rezultati:** ROI je bil negativen prvo leto (–29,92 %), pozitiven (110,25 %) po treh letih, kar kaže, da povračilo ni v kratkem času, vendar je dolgoročno upravičeno.
 - **Zaključek:** Hipoteza delno potrjena – povračilo investicije je srednjeročno.
4. **H4: Uporaba kolaborativnega robota na CNC stružnici povečuje varnost delavcev in izboljšuje ergonomijo delovnega okolja.**
- **Rezultati:** Fizična obremenitev se je zmanjšala, tveganje mišično-skeletnih poškodb zmanjšano, zadovoljstvo delavcev povečano.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
5. **H5: Integracija kolaborativnega robota v obstoječe proizvodne procese CNC struženja je tehnično izvedljiva in prinaša številne prednosti.**
- **Rezultati:** Tehnična izvedba uspešna, koristi vključujejo povečano produktivnost, kakovost in varnost.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
6. **H6: Vloga človeškega operaterja se z uvedbo kolaborativnega robota na CNC stružnico preoblikuje v bolj nadzorno in vodstveno funkcijo.**
- **Rezultati:** Operaterji so preusmerjeni na nadzor kakovosti in tehnično vzdrževanje.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
7. **H7: Napredne tehnologije in programska oprema so ključne za optimalno delovanje kolaborativnega robota na CNC stružnici.**
- **Rezultati:** Poudarjeno je bilo programiranje, sinhronizacija s CNC stružnico in varnostne funkcije.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.

8. **H8: Kolaborativni roboti so bolj prilagodljivi in enostavnejši za programiranje v primerjavi s tradicionalnimi industrijskimi roboti na CNC stružnici.**
- **Rezultati:** Programiranje robota je bilo opisano kot intuitivno in hitro, z možnostjo ročnega vodenja.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
9. **H9: Kolaborativni roboti se lahko uspešno prilagodijo različnim vrstam operacij na CNC stružnici.**
- **Rezultati:** Robot je uspešno izvedel več operacij (prenašanje, vpenjanje, odlaganje).
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.
10. **H10: Najboljše prakse za uvajanje kolaborativnih robotov na CNC stružnice vključujejo postopno integracijo, ustrezno usposabljanje delavcev in natančno načrtovanje.**
- **Rezultati:** Postopna integracija, usposabljanje in prilagoditve so bile ključne za uspeh.
 - **Zaključek:** Hipoteza potrjena.

Od desetih hipotez je bilo devet potrjenih, ena delno potrjena. Podatki in rezultati v raziskavi jasno kažejo na učinkovitost in prednosti integracije kolaborativnega robota v proizvodne procese. Investicija je dolgoročno ekonomsko smiselna, pozitivno vpliva na varnost, ergonomijo, produktivnost in kakovost izdelkov.

8 SKLEP

V zaključku diplomskega dela so predstavljeni ključni dosežki in ugotovitve raziskave, osredotočeni na integracijo kolaborativnega robota s CNC stružnico. Povzetek vključuje analizo učinkov robotizacije na produktivnost, kakovost izdelkov, varnost, ergonomijo delavcev in ekonomsko upravičenost investicije. Prav tako so podana priporočila za nadaljnje raziskave, ki bi lahko razširila uporabnost kolaborativnih robotov v industriji.

Teme razprave so možnosti za nadgradnje in izboljšave sistema, vključno z optimizacijo programiranja robota, razvojem naprednejših senzorjev, razširitvijo funkcionalnosti in izboljšanjem fleksibilnosti delovnega okolja. Sklepna ugotovitev je, da uvedba kolaborativnih robotov pomembno prispeva k modernizaciji proizvodnih procesov ter izboljšanju konkurenčnosti in trajnosti podjetij.

Raziskava je potrdila, da integracija kolaborativnega robota Hanwha HCR-5A s CNC stružnico DOOSAN Puma TT 2100 Y prinaša številne prednosti za optimizacijo proizvodnega procesa. Produktivnost se je izboljšala za 75 %, kar pomeni, da robotiziran proces omogoča izdelavo večjega števila kosov na uro v primerjavi z ročnim delom. Robot lahko opravlja naloge tudi po koncu delovnega časa operaterjev, kar povečuje izkoristek proizvodnih zmogljivosti. Robotizacija je skrajšala čas izdelave 342 kosov iz 14,03 ure na 8 ur, kar pomeni prihranek več kot 6 ur na enoto proizvodnje. Ta časovna učinkovitost omogoča večjo proizvodnjo ob enakem številu delovnih ur. Zaradi odprave človeških napak, ki so bile posledica utrujenosti ali nekonsistentnosti, je robot zagotovil višjo raven kakovosti in enakomernost izdelkov. Stopnja napak pri vpenjanju in obdelavi se je občutno zmanjšala.

Robot je prevzel monotone in fizično zahtevne naloge, kot so dvigovanje, vpenjanje in premikanje obdelovancev, kar je bistveno izboljšalo delovne pogoje in zmanjšalo tveganje za mišično-skeletne poškodbe. Čeprav je donosnost investicije (ROI) v prvem letu negativna (−29,92 %) zaradi visokih začetnih stroškov, analiza za tri leta kaže pozitiven ROI (110,25 %), kar pomeni, da se investicija povrne in prinese dobiček. Robotizacija je povečala stabilnost proizvodnega procesa, zmanjšala število izmetov in izboljšala sledljivost, kar omogoča večjo zanesljivost proizvodnih rezultatov. Operaterji so preusmerjeni na bolj kompleksne naloge, kot so nadzor kakovosti, tehnično vzdrževanje in optimizacija proizvodnje, kar povečuje njihovo zadovoljstvo pri delu in spodbuja profesionalni razvoj. Te ključne ugotovitve potrjujejo, da je uvedba kolaborativnega robota prinesla pomembne izboljšave v učinkovitosti, kakovosti, varnosti in dolgoročni ekonomski vzdržnosti proizvodnje.

Na podlagi izsledkov raziskave so bila oblikovana naslednja priporočila za nadaljnje raziskave. Raziskati je treba možnost uporabe kolaborativnih robotov v različnih panogah in procesih ter ugotoviti, kako njihove funkcionalnosti vplivajo na proizvodne procese v drugih industrijskih sektorjih. Potrebno je preučiti, kako lahko integracija umetne inteligence in naprednih algoritmov strojnega učenja še izboljša zmogljivosti kolaborativnih robotov, zlasti pri prilagoditvi na kompleksnejše naloge. Razviti je treba poglobljeno analizo o vplivu avtomatizacije na delovno silo, vključno z zadovoljstvom, varnostjo in kariernim razvojem delavcev. Prav tako je smiselno raziskati možnosti uvedbe več robotiziranih celic v eno proizvodno linijo ter sinhronizacijo med njimi za doseganje še večje produktivnosti. Proučiti je treba, kako uvedba kolaborativnih robotov vpliva na zmanjšanje porabe energije, materialov in okoljskega odtisa podjetja ter oblikovati smernice za trajnostno avtomatizacijo.

V raziskavi so bile ugotovljene tudi možnosti za nadaljnje izboljšave in nadgradnje avtomatiziranega sistema. Med ključnimi ukrepi so optimizacija programiranja z zmanjšanjem nepotrebnih gibov in optimizacijo poti gibanja robota za skrajšanje proizvodnih ciklov ter izboljšanje algoritmov za zaznavanje obdelovancev in prilagoditev gibanja prijemala. Uvedba naprednejših senzorjev za zaznavanje nepravilnosti v obdelovancih in spremljanje mikropomikov bi omogočila še večjo natančnost. Prav tako je smiselno razširiti funkcionalnost robota na dodatne naloge, kot so kakovostni pregledi ali kompleksnejše manipulacije z obdelovanci. Uvedba sistemov za spremljanje delovanja robota v realnem času bi omogočila operaterjem boljši vpogled v učinkovitost in stanje opreme. Razvoj modularnih robotskih celic bi omogočil hitro prilagoditev za nove vrste izdelkov ali nalog brez večjih sprememb v proizvodni liniji. Pomembno je tudi razviti programe za napredno usposabljanje operaterjev na področju uporabe in vzdrževanja kolaborativnih robotov, kar bo izboljšalo njihovo sodelovanje z avtomatizacijo.

Ti predlogi predstavljajo izhodišče za nadaljnji razvoj robotiziranih rešitev in optimizacijo proizvodnih procesov, ki bodo še naprej podpirali konkurenčnost in trajnostno rast industrije.

9 VIRI IN LITERATURA

Seznam uporabljenih virov in literature:

- A. Kanazawa, J. K. (pridobljeno 5. 8. 2024). *IEEE Transactions on Robotics*. Pridobljeno iz Adaptive Motion Planning for a Collaborative Robot Based on Prediction Uncertainty to Enhance Human Safety and Work Efficiency: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8727974>
- BTS Compani d.o.o. (29. 12 2024). *BTS Compani d.o.o.* Pridobljeno iz <https://www.bts-company.com/o-podjetju/#:~:text=BTS%20Company%20d.o.o.&text=Sede%C5%99%20podjetja%20je%20v%20Ljubljani,strojne%20obdelave%20C%20robotike%20in%20svetovanja>.
- BTS Company d. o. o. (2020). *Uporabniški priročnik Ver. 2.1.* november.
- BTS Company d. o. o. (2023). *Interna dokumentacija*.
- BTS Company d. o. o. (2023). *Mobilna robotska celica MC 100 s kolaborativnim robotom Hanwha HCR 5 za strogo CNC stroja DN Dolutions Puma 2100Y*.
- BTS Company d. o. o. (23. december 2024). *BTS Company d. o. o. O podjetju*. Pridobljeno iz BTS Company d. o. o.: <https://www.bts-company.com/o-podjetju/>
- C. S. Franklin, E. G. (pridobljeno 5. 8. 2024). *National Library of Medicine*. Pridobljeno iz Collaborative robotics: New era of human–robot cooperation in the workplace: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32951778/>
- CLEANPNG. (23. december 2024). *Industrial Robotic Arm for Automated Processes*. Pridobljeno iz CLEANPNG: <https://www.cleanpng.com/png-industrial-robot-industry-abb-group-abb-robotics-2424125/4.html>
- Fernando, J. (18. 11 2024). *Investopedia*. Pridobljeno iz https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp?utm_source=chatgpt.com
- ISO 10218-1:2011 & ISO 10218-2:2011. . (brez datuma). *Safety requirements for industrial robots and robotic systems. International Organization for Standardization*.
- ISO/TS 15066:2016. (brez datuma). *Robots and robotic devices – Collaborative robots. International Organization for Standardization*.
- LiveAgent. (20. 12 2024). Pridobljeno iz https://www.liveagent.si/glosar-za-podporo-strankam/donosnost-investicije/?utm_source=chatgpt.com
- Mennings, R. (prevzeto 5. 8. 2024). *WiredWorkers*. Pridobljeno iz 7 advantages of using cobots!: <https://www.wiredworkers.io/blog/advantages-of-cobots/>
- Top3dshop. (23. december 2024). *Top3dshop Hanwha HCR cobots*. Pridobljeno iz Top3dshop: <https://top3dshop.com/product/hanwha-hcr-cobots>
- Universal Robots USA, Inc. (brez datuma). *The History of Collaborative Robots*. Pridobljeno iz <https://www.universal-robots.com>

WiredWorkers. (pridobljeno 5. 8. 2024). Pridobljeno iz Cobot applications:
<https://www.wiredworkers.io/cobot/applications/>

Yasar, K. (prevzeto 5. 8. 2024). *TechTarget Network*. Pridobljeno iz Collaborative robot:
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/collaborative-robot-cobot>

Viri in literatura predstavljajo kombinacijo internih dokumentov, strokovne literature, mednarodnih standardov ter spletnih virov, ki so bili uporabljeni za oblikovanje raziskave in zaključkov diplomskega dela.