VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

AVTOMATIZACIJA MEHANSKEGA PROCESA PRENAŠANJA KOSOV Z UPORABO INDUSTRIJSKEGA ROBOTA

Kandidat: Rene Jelenko

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor – predavatelj: mag. Jože Ravničan, univ. dipl. inž. str.

Mentor v podjetju: Tomislav Hren, inž. str.

Lektorica: Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.

Maribor, 2026

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Rene Jelenko sem avtor diplomskega dela z naslovom Avtomatizacija mehanskega procesa prenašanja kosov z uporabo industrijskega robota, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Ravničana.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, 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.

Malahorna, februar 2026 Podpis študenta:

ZAHVALA

Ob zaključku študija se iskreno zahvaljujem vsem, ki so mi na tej poti pomagali in me podpirali.

Zahvaljujem se Višji strokovni šoli Academia za kakovostno izvedbo študijskega programa, strokovna predavanja in profesionalen, spoštljiv odnos do študentov ter mentorju mag. Jožetu Ravničanu za strokovno usmerjanje, konstruktivne nasvete in pomoč med nastajanjem diplomskega dela.

Zahvaljujem se podjetju Unior, d. d., in sodelavcem za priložnost dodatnega izobraževanja in vse pridobljeno znanje, ki mi je bilo v veliko pomoč pri zaključku študija. Cenim njihovo razumevanje in podporo, ki sta mi omogočili uspešno usklajevanje študijskih obveznosti z delovnimi nalogami ter medsebojni prenos med teorijo in prakso.

Posebej se zahvaljujem partnerki Gordani in sinu Eneju za podporo in spodbudo pri odločitvi za začetek študija ter za razumevanje in potrpežljivost v obdobju študija. Njuna prisotnost in podpora med predavanji od doma ter pri pripravah na izpite sta mi bili v veliko oporo in motivacijo pri doseganju zastavljenega cilja. Zahvaljujem se jima tudi za njuno nesebično podporo in razumevanje, saj sta velikokrat potrpežljivo odstopila skupni čas, ki bi ga sicer lahko izkoristili na drugačen način.

Posebno zahvalo namenjam tudi staršem in sestrama z družinama, ki so me skozi vse življenje spodbujali k znanju, odgovornosti in vztrajnosti. Z vzgojo, zaupanjem in zgledom so mi privzgojili delovne navade ter spoštovanje do izobraževanja in osebnega razvoja. Njihova podpora in spodbuda sta mi bili pomemben temelj pri premagovanju izzivov ter sta močno prispevali k doseganju tega pomembnega življenjskega cilja.

Znanje prihaja iz izkušenj, vse drugo je le informacija, pooseblja pomen pridobljenega znanja, truda in podpore vseh, ki so mi pomagali na tej poti. Hvala.

POVZETEK

V diplomskem delu je obravnavana avtomatizacija mehanskega proizvodnega procesa z uvedbo industrijskega robota kot nadomestila za obstoječi sistem z linearnimi pogoni. Namen dela je bil prikazati, kako lahko s sodobnimi rešitvami na področju avtomatizacije izboljšamo učinkovitost, zanesljivost in varnost proizvodnega procesa, hkrati pa zmanjšamo operativne napake in omogočimo prilagodljivost za različne tipe izdelkov.

V uvodnem delu diplomskega dela so predstavljeni opredelitev problema, namen, cilji in metodološki pristop. Obravnavani proces je bil mehansko izveden sistem za obračanje kovinskih obdelovancev v stroju, ki je zaradi obrabe linearnih pogonov pogosto povzročal zastoje in netočne premike ter zahteval intenzivno vzdrževanje. Te pomanjkljivosti so negativno vplivale na pretočnost, zanesljivost in varnost delovnega okolja.

Jedro dela obsega tehnični opis obstoječega sistema, faze izbire in integracije robota KUKA KR 6 R700-2, mehanske in varnostne prilagoditve ter nadgradnjo programskih funkcij. V varnostnem segmentu je bil poudarek na odpravi nevarnega ročnega poseganja v stroj, saj je nova rešitev vključila varnostno celico in medsebojno komunikacijo med strojem in robotom.

Poseben poudarek je namenjen uporabi metode FMEA, s katero so bili analizirani možne napake v fazah prijema in odlaganja obdelovanca, gibanje robota in komunikacije robota s strojem ter predlagani konkretni preventivni ukrepi. Na podlagi analize so bili izboljšana zanesljivost sistema, zmanjšana možnost kritičnih napak in optimiziran nadzor nad delovanjem.

Rezultati diplomskega dela potrjujejo, da avtomatizacija omogoča krajši večji izkoristek stroja zaradi manj zastojev, višjo ponovljivost gibov in lažjo prilagoditev proizvodnim spremembam. Hipoteze, med drugim o več kot 15-odstotni izboljšavi učinkovitosti, zmanjšanju napak in povračilu investicije v manj kot dveh letih, so bile z analitičnimi podatki potrjene.

V zaključku je poudarjen pomen povezovanja teoretičnega znanja z realnimi tehničnimi izzivi, pri čemer se je obravnavani primer izkazal kot dobra praksa, ki lahko služi kot vzorec za nadaljnjo avtomatizacijo v industriji. Delo ponuja vpogled v sodobne trende digitalizacije in pomembno prispeva k razumevanju praktičnih koristi avtomatizacije v kontekstu trajnostne in konkurenčne proizvodnje.

Ključne besede: *avtomatizacija, industrijski robot, analiza FMEA, zanesljivost sistema, proizvodna učinkovitost*

ABSTRACT

Automation of the Mechanical Process of Transferring Workpieces Using an Industrial Robot

The diploma thesis deals with the automation of a mechanical process using an industrial robot as a replacement for the existing system with linear drives. The purpose of the thesis was to show how modern solutions in the field of automation can improve the efficiency, reliability, and safety of the production process, while reducing operational errors and enabling adaptability to different types of products.

The introductory part of the thesis presents the definition of the problem, purpose, objectives, and methodological approach. The process under consideration was a mechanically implemented system for loading metal workpieces into the machine, which, due to the wear of linear drives, often caused downtime, inaccurate movements, and required intensive maintenance. These shortcomings had a negative impact on the workflow, reliability, and safety of the working environment.

The core of the thesis includes a technical description of the existing system, the selection and integration phases of the KUKA KR 6 R700-2 robot, mechanical and safety adjustments, and the upgrade of software functions. In the safety segment, the emphasis was on eliminating dangerous manual interventions in the machine, as the new solution included a safety cell with electronic door locking and bidirectional communication between the machine and the robot. Special emphasis is placed on the use of the FMEA method, which was used to analyze possible errors in the phases of workpiece gripping and depositing, robot movement, and robot-machine communication, and to propose specific preventive measures. Based on the analysis, system reliability was improved, the possibility of critical errors was reduced, and operational control was optimized.

The results of the study confirm that automation enables shorter cycle times, higher machine utilization due to fewer downtimes, higher repeatability of movements, and easier adaptation to production changes. The hypotheses, including an efficiency improvement of more than 15 percent, reduction of errors, and return on investment in less than two years, were confirmed by analytical data.

The conclusion emphasizes the importance of connecting theoretical knowledge with real technical challenges, whereby the case study has proven to be an example of good practice that can serve as a model for further automation in industry. The work offers insight into contemporary digitalization trends and significantly contributes to understanding the practical benefits of automation in the context of sustainable and competitive production.

Keywords: *automation, industrial robot, FMEA analysis, system reliability, production efficiency*

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 8

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA 9

1.2 NAMEN IN CILJI DELA 10

1.3 METODOLOGIJA 11

1.4 PODROČJE RAZISKOVANJA 12

2 PREDSTAVITEV PROCESA IN OKOLJA 13

2.1 TEHNIČNI OPIS DOSEDANJEGA MEHANSKEGA PROCESA 13

2.2 ZAHTEVE IN OMEJITVE 19

3 AVTOMATIZACIJA PROCESA 22

3.1 IZBIRA IN INTEGRACIJA ROBOTA 22

3.2 MEHANSKE PRILAGODITVE 25

3.2.1 Postavitev 25

3.2.2 Energijska veriga 27

3.2.3 Prijemalo robota 28

3.2.4 Zaščitna celica 30

3.3 VARNOSTNI VIDIKI 30

4 ANALIZA FMEA 32

4.1 OPIS METODE FMEA 32

4.2 PRIMER UPORABE V PROCESU 33

5 ANALIZA UČINKOVITOSTI IN ZANESLJIVOSTI 39

5.1 PREDNOSTI AVTOMATIZACIJE 39

5.2 OCENA REZULTATOV 40

5.3 EKONOMIČNOST AVTOMATIZACIJE 41

6 RAZPRAVA 44

6.1 INTERPRETACIJA REZULTATOV 44

6.2 POMANJKLJIVOSTI IN PREDLOGI ZA IZBOLJŠAVE 46

6.3 ZANESLJIVOST KOT TEMELJ AVTOMATIZIRANIH INDUSTRIJSKIH SISTEMOV 47

6.4 TRAJNOSTNI VIDIK AVTOMATIZACIJE IN PRIHODNJA USMERITEV INDUSTRIJE 48

7 SKLEP 50

8 VIRI IN LITERATURA 52

KAZALO SLIK

SLIKA 1: ILUSTRACIJA AVTOMATIZIRANE LINIJE 9
SLIKA 2: TRENUTNI SISTEM 13
SLIKA 3: GIBANJE LINEARNE ENOTE NAPREJ 14
SLIKA 4: POBIRANJE OBDELOVANCA 14
SLIKA 5: ODMIKANJE IZ VPENJALNE PRIPRAVE IN HOD LEVO 15
SLIKA 6: PREMIKANJE NAZAJ 15
SLIKA 7: POSTAVITEV OBRAČALNE ENOTE 16
SLIKA 8: POMIK NAPREJ IN VLAGANJE OBDELOVANCEV 16
SLIKA 9: ODMIK ENOTE NAZAJ V ZAČETNI POLOŽAJ 17
SLIKA 10: OBRAČANJE OBDELOVANCEV 17
SLIKA 11: PREMIKANJE NAPREJ IN ODLAGANJE KOSOV 18
SLIKA 12: OBSTOJEČI PROCES 18
SLIKA 13: ZAŠČITA CELICE 20
SLIKA 14: MAKSIMALNI PROSTOR 765 MM X 415 MM 23
SLIKA 15: ROBOT KUKA KR6 R700-2 24
SLIKA 16: PROSTOR ZA ROBOTA 26
SLIKA 17: KONFIGURACIJA GIBOV IN POSTAVITVE ROBOTA 27
SLIKA 18: ENERGIJSKA VERIGA 28
SLIKA 19: ZASNOVANO PRIJEMALO ROBOTA 29

KAZALO TABEL

TABELA 1: ANALIZA FMEA 35
TABELA 2: ANALIZA FMEA PO IZVEDENIH UKREPIH 37
TABELA 3: PRODUKTIVNOST STROJA PRED AVTOMATIZACIJO**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

KAZALO TABEL

GRAF 1: PRODUKTIVNOST STROJA PRED AVTOMATIZACIJO 42

1 UVOD

Zaposlen sem v podjetju UNIOR, d. d., kot strokovni sodelavec na področju servisa in montaže. Med moje delovne naloge spadajo tudi načrtovanje, vodenje in izvedba tehničnih projektov, povezanih z vzdrževanjem, nadgradnjami in avtomatizacijo proizvodnih sistemov. Pri delu se srečujem z zahtevnimi izzivi na področjih strojništva, avtomatizacije, mehatronike in industrijske varnosti, kar zahteva natančnost, tehnično znanje ter usklajevanje med različnimi oddelki in partnerji.

V okviru svoje službene dejavnosti sem vodil projekt, ki je predmet tega diplomskega dela – avtomatizacijo mehanskega procesa z uvedbo industrijskega robota. Sodeloval sem pri vseh ključnih fazah projekta: od analize obstoječega stanja, načrtovanja rešitve in izbire ustreznih komponent do tehnične integracije robota, izvedbe testiranj in preverjanja rezultatov. Takšna neposredna vključenost v proces mi je omogočila, da sem teoretična znanja, pridobljena med študijem, uspešno povezal s praktičnimi izkušnjami iz industrijskega okolja.

Podjetje UNIOR, d. d., ima sedež v Zrečah in je eno vodilnih slovenskih industrijskih podjetij z več kot stoletno tradicijo. Ustanovljeno je bilo leta 1919 in danes deluje kot mednarodno prepoznana korporacija, organizirana v več poslovnih enot: ročno orodje, avtomobilska industrija in energetika. Unior Strojegradnja je bila v času tega projekta pomemben razvojni partner številnih svetovnih avtomobilskih in drugih proizvajalcev, saj je razvijala in izdelovala kompleksne obdelovalne stroje, proizvodne sisteme, avtomatizirane linije ter robotske celice.

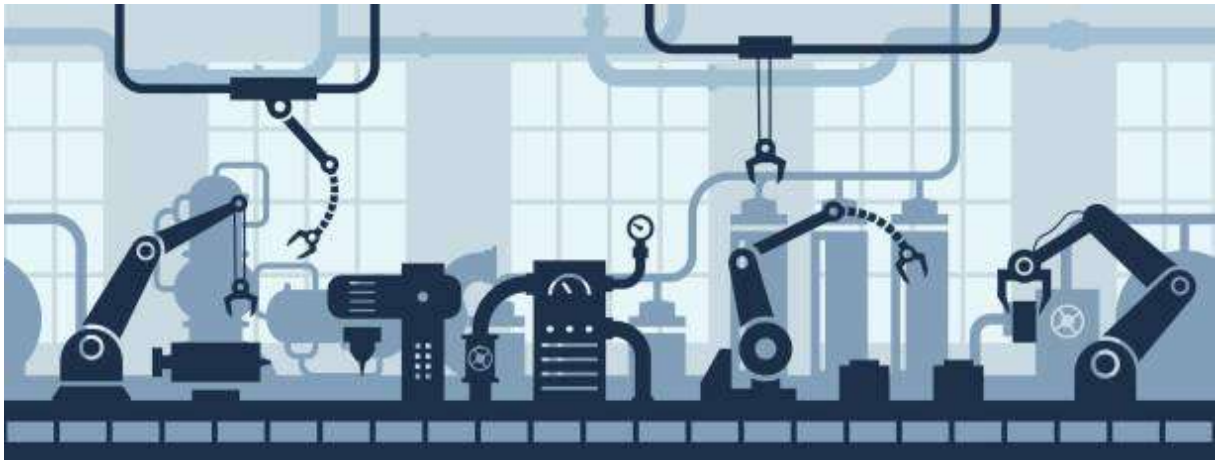
Podjetje je usmerjeno v tehnološki napredek, kakovost in trajnostni razvoj, pri čemer sledi načelom industrije 4.0. To vključuje uvajanje naprednih tehnologij, kot so robotika, digitalizacija in pametni nadzorni sistemi. Poseben poudarek je na energetski učinkovitosti, varnosti zaposlenih in trajnostnem upravljanju virov. Z vlaganjem v razvoj kadrov in inovacije podjetje ohranja konkurenčno prednost ter prispeva k razvoju sodobne industrijske okolice.

Izvedba diplomskega dela je tesno povezana z mojim delom v podjetju UNIOR, d. d. Predstavlja konkreten primer, kako lahko tehnične izboljšave in avtomatizacija bistveno

prispevajo k večji učinkovitosti, zanesljivosti in trajnostni naravnanosti proizvodnje. Projekt mi je omogočil, da sem v praksi povezal teoretično znanje s strokovnimi izkušnjami ter prispeval k razvoju sodobne, avtomatizirane in varne industrijske rešitve.

1.1 Opredelitev problema

V sodobnem industrijskem okolju podjetja iščejo vedno bolj učinkovite načine za povečanje produktivnosti, zanesljivosti in varnosti svojih proizvodnih procesov ter delavcev. Mehanski procesi, ki temeljijo na ročnem delu ali zastarelih rešitvah, pogosto predstavljajo ozko grlo v celotni proizvodnji. To vodi do večjih stroškov, nižje ponovljivosti, večje odvisnosti od operaterjev ter povečane možnosti za napake in poškodbe opreme ter zaposlenih. V dejanskem primeru, na katerem temelji diplomsko delo, so to ozko grlo predstavljali zelo pogosti zastoji linearnega pogona pri mehanskem procesu obračanja kosa – zaradi zagozditev niso dosegali končnih položajev ali pa zaradi obrabljenosti in zračnosti niso pokrili končnih senzorjev. Operaterji so stranske zaščite morali velikokrat odmakniti in ročno posegati v sistem, včasih tudi pri delujočem stroju, kar je prepovedano in predstavlja veliko tveganje za varnost zaposlenih. Vsi ti zastoji so ključno vplivali na produktivnost stroja zaradi podaljšanih taktnih časov in na varnost zaposlenih. V takšnih primerih postaja avtomatizacija nujen korak za izboljšanje varnosti, stabilnosti in uspešnosti proizvodnje.



Slika 1: Ilustracija avtomatizirane linije

(IntoTheMinds, brez datuma)

V tem kontekstu avtomatizacija pomeni zamenjavo ročnih ali polavtomatskih postopkov s tehnološkimi rešitvami, ki omogočajo večjo konsistentnost, hitrost in nadzor nad procesi. Ena najpogostejših oblik avtomatizacije v mehanskih operacijah je uvedba industrijskih robotov. Ti

omogočajo izvajanje ponavljajočih se nalog z visoko natančnostjo in zanesljivostjo, hkrati pa zmanjšujejo izpostavljenost ljudi nevarnim delom.

Kljub številnim prednostim avtomatizacije je uvajanje takšnih rešitev pogosto povezano s kompleksnimi tehničnimi in organizacijskimi izzivi. Ključno je, da so vsi dejavniki – od mehanske integracije, krmiljenja, varnosti do ekonomskih učinkov – premišljeno načrtovani. Poleg tega je treba upoštevati tudi tveganja, ki jih prinašajo nove tehnologije, in zagotoviti, da je sistem ustrezno analiziran z vidika morebitnih napak in okvar.

V diplomskem delu bo predstavljen konkreten primer avtomatizacije mehanskega procesa z uporabo industrijskega robota. Cilj naloge je raziskati, kako takšna rešitev vpliva na učinkovitost in zanesljivost procesa ter kakšne tehnične, varnostne in ekonomske posledice ima uvedba avtomatizacije. Uporabljena bo tudi metoda FMEA kot orodje za sistematično oceno tveganj v avtomatiziranem sistemu.

1.2 Namen in cilji dela

Namen diplomskega dela je prikazati uvedbo avtomatizacije v mehanski proces obdelave s pomočjo industrijskega robota. V ospredju je tehnična in funkcionalna predstavitev avtomatiziranega sistema, pri čemer se analiza osredotoča na vplive na učinkovitost, varnost, ponovljivost in zanesljivost proizvodnje. Delo obravnava resnične tehnične izzive in zasnovo rešitve, ki omogoča nadomestitev mehanskega dela z linearnimi pogoni z natančno in ponovljivo robotsko operacijo.

Skozi delo bo prikazan celoten proces uvedbe avtomatizacije – od začetne ideje in analize potreb do izbire komponent, tehničnega umeščanja robota in ocene učinkov avtomatizacije. Dodatno bo vključena metoda FMEA, ki bo uporabljena kot orodje za prepoznavanje morebitnih napak in sistemskih tveganj ter kot podpora pri izboljšanju zanesljivosti avtomatiziranega procesa.

Cilji diplomskega dela so:

- prikazati konkretni primer avtomatizacije mehanskega procesa z uvedbo industrijskega robota,
- analizirati vpliv avtomatizacije na učinkovitost, kakovost in varnost proizvodnje,
- ovrednotiti stroškovne učinke avtomatizacije in možnosti povračila investicije,
- uporabiti metodo FMEA za prepoznavanje možnih načinov odpovedi in tveganj,

- podati zaključke glede prednosti in omejitev avtomatizacije v takšnem proizvodnem okolju.

Namen in cilji diplomskega dela tako izhajajo iz potrebe po izboljšanju obstoječih proizvodnih procesov in uvajanju tehnoloških rešitev, ki podjetjem omogočajo večjo konkurenčnost, zanesljivost in fleksibilnost delovanja.

V diplomskem delu bomo preverili tudi naslednje predpostavljene hipoteze:

H1: Uvedba industrijskega robota namesto linearnih pogonov poveča proizvodno učinkovitost za najmanj 15 % glede na predhodni mehanski sistem.

H2: Avtomatizacija zmanjša število operativnih napak zaradi človeškega dejavnika ter poveča ponovljivost in varnost postopkov.

H3: Investicija v avtomatizacijo se povrne v manj kot dveh letih zaradi zmanjšanja stroškov dela in izboljšane pretočnosti.

H4: Uporaba metode FMEA omogoča sistematično prepoznavanje tveganj in uvajanje preventivnih ukrepov, kar bistveno prispeva k povečanju zanesljivosti proizvodnega procesa.

1.3 Metodologija

V diplomskem delu bo uporabljen kvalitativni raziskovalni pristop, ki temelji na analizi konkretnega primera avtomatizacije mehanskega procesa z uvedbo industrijskega robota. Osnovni vir informacij bodo tehnična dokumentacija, projektne specifikacije, spremljanje izvedbe projekta in podatki, pridobljeni z neposrednim opazovanjem delovanja sistema po uvedbi avtomatizacije.

Metodologija vključuje več zaporednih faz. Najprej bo opisana analiza obstoječega (predhodnega) mehanskega procesa, kjer bodo izpostavljene omejitve glede učinkovitosti, ponovljivosti in vzdržnosti. Nato bo podrobno predstavljen avtomatiziran sistem – tehnična sestava, integracija robota, delovno okolje in varnostni elementi. Temu bo sledila primerjalna analiza rezultatov pred in po avtomatizaciji, z upoštevanjem ključnih kazalnikov, kot so čas cikla, število operacij, stopnja izmeta in potreba po operaterju.

Pomemben del metodologije je tudi uporaba metode FMEA, s katero bo sistematično ocenjena zanesljivost novega procesa. Metoda bo uporabljena za identifikacijo potencialnih napak v avtomatiziranem sistemu, oceno njihovega vpliva in določitev prioritetnih ukrepov za njihovo zmanjšanje.

Poleg tehničnega in analitičnega dela bo v diplomskem delu zajeta tudi ocena ekonomske upravičenosti uvedbe avtomatizacije, kjer bodo uporabljeni osnovni kazalniki stroškovne učinkovitosti in obdobja povračila investicije.

Celoten pristop temelji na realnem in praktičnem primeru iz industrijskega okolja, zato bo delo povezovalo teoretične osnove z uporabno vrednostjo v praksi

1.4 Področje raziskovanja

Področje raziskovanja diplomskega dela zajema področje industrijske avtomatizacije mehanskih procesov, kjer se osredotočamo na nadgradnjo obstoječega sistema z uporabo industrijskega robota. Obravnavani primer vključuje prehod iz nezanesljivega mehanskega sistema z linearnimi pogoni na avtomatizirano rešitev, ki temelji na robotskem gibanju, izboljšani ponovljivosti in boljši zanesljivosti delovanja.

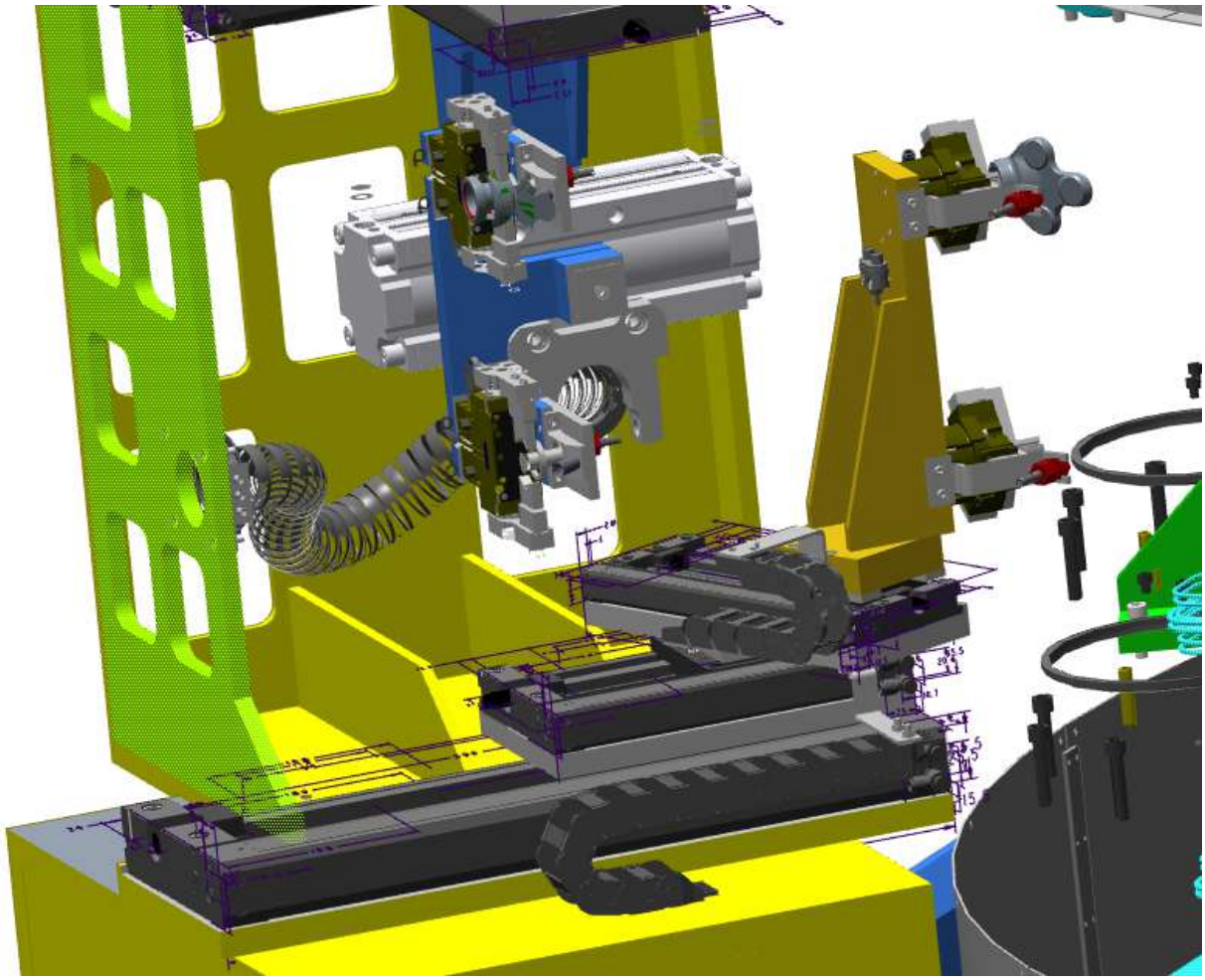
Diplomsko delo združuje elemente strojništva, mehatronike in proizvodnega inženiringa, s poudarkom na praktični uporabi avtomatizacije v realnem proizvodnem okolju. Raziskava vključuje tudi oceno zanesljivosti sistema z uporabo metode FMEA in upoštevanje osnovnih smernic varnostne zasnove v skladu s standardom ISO 12100:2010.

Cilj raziskave je povezati teoretične pristope z dejanskim tehničnim primerom ter podati argumentirano oceno smiselnosti uvedbe avtomatizacije glede na učinkovitost, stroške, zanesljivost in varnost procesa.

2 PREDSTAVITEV PROCESA IN OKOLJA

2.1 Tehnični opis dosedanjega mehanskega procesa

Obravnavani mehanski proces je del stroja, namenjen obdelavi kovinskih izdelkov v več fazah. Ključna funkcija obstoječega sistema je mehanska izvedba gibanja oziroma zrcalnega obračanja obdelovanca, ki se izvaja s pomočjo linearnih pogonov. Sistem temelji na pnevmatskih in mehanskih vodilih, krmiljenih prek enot PLC, ki sprožajo gibanje vnaprej določenih sekvenc.



Slika 2: Trenutni sistem

Vir: Lastni vir

Kljub svoji funkcionalnosti se je skozi zgodnje obdobje uporabe pokazalo več pomanjkljivosti. Linearni pogoni so zaradi obrabe in potrebnih hitrih gibov zaradi doseganja taktnih časov pogosto nagnjeni k zastoju ali netočnemu delovanju. Mehanika sistema zahteva pogosto

vzdrževanje, saj pride do zagozdenja, zmanjšane drsnosti, poškodb vodil in zmanjšane natančnosti pri ponavljajočih se gibih. Poleg tega ni vgrajenih naprednih senzorjev za nadzor položaja ali diagnostiko napak. Sam proces je trenutno izveden zaporedno, kar pomeni, da mora biti vsak korak zaključen, preden se lahko sproži naslednji.

Zaporedje procesa in gibov enot:

1. 

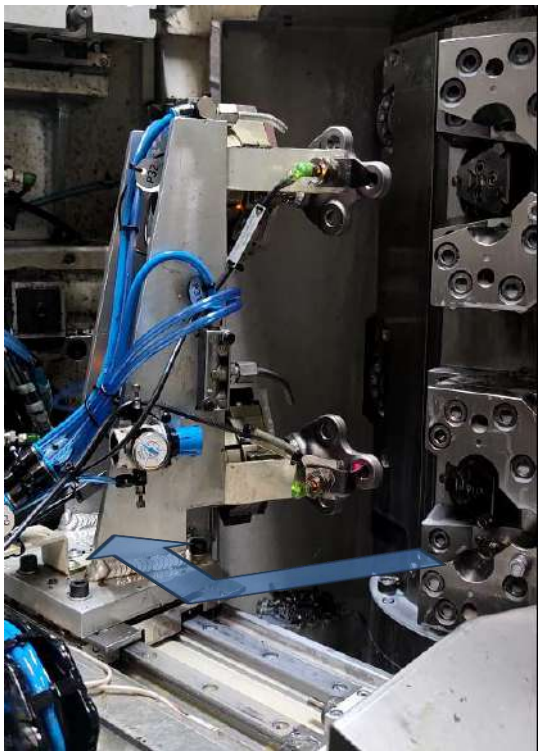
Slika 3: Gibanje linearne enote naprej

Vir: Lastni vir

2. 

Slika 4: Pobiranje obdelovanca

Vir: Lastni vir

3. 

Slika 5: Odmikanje iz vpenjalne priprave in hod levo

Vir: Lastni vir

4. 

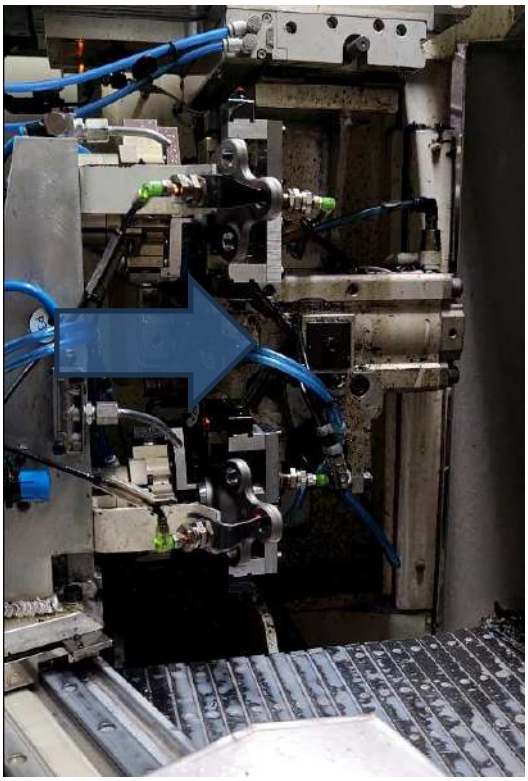
Slika 6: Premikanje nazaj

Vir: Lastni vir

5. 

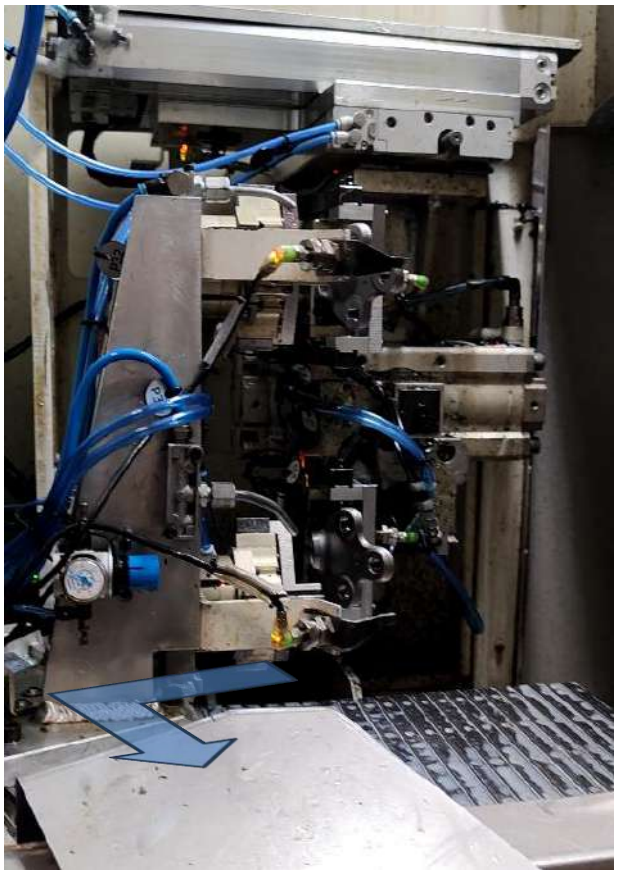
Slika 7: Postavitev obračalne enote

Vir: Lastni vir

6. 

Slika 8: Pomik naprej in vlaganje obdelovancev

Vir: Lastni vir

7. 

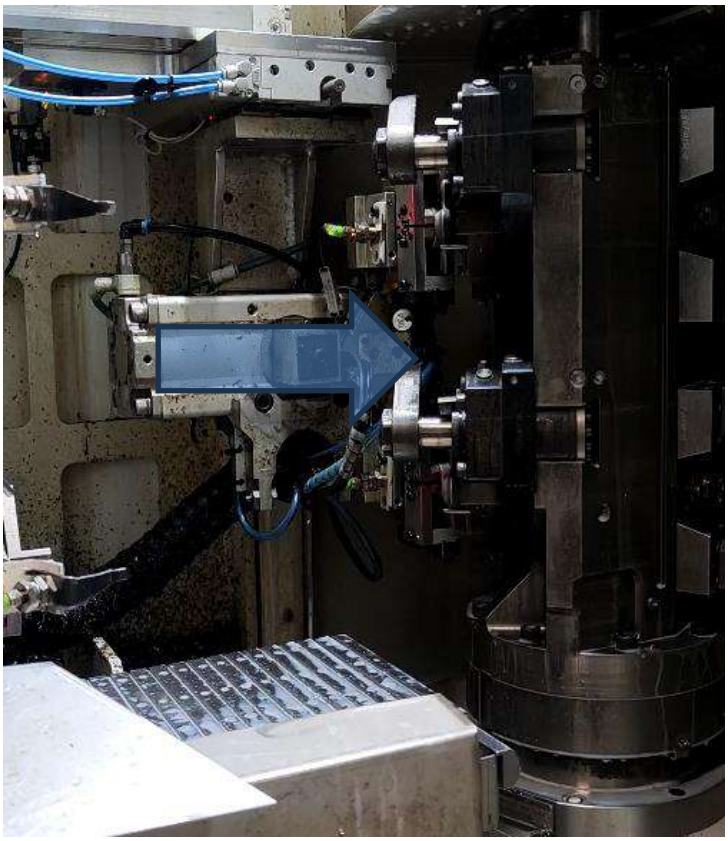
Slika 9: Odmik enote nazaj v začetni položaj

Vir: Lastni vir

8. 

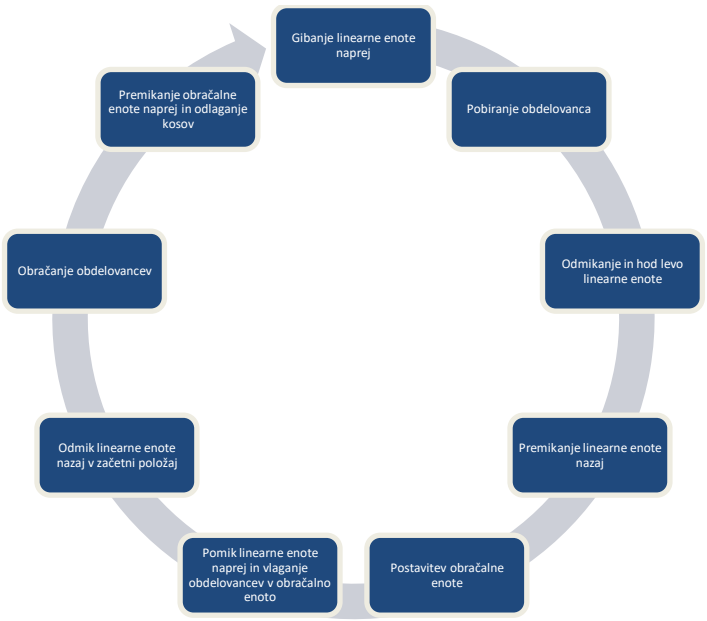
Slika 10: Obračanje obdelovancev

Vir: Lastni vir

9. 

Slika 11: Premikanje naprej in odlaganje kosov

Vir: Lastni vir



Slika 12: Obstoječi proces

Vir: Lastni vir

Zaradi toliko gibov, ki morajo biti pogojeni, pride do pogostih zamud in zmanjšane pretočnosti, še posebej, kadar pride do mehanskih napak. Sistem nima vgrajene fleksibilnosti, ki bi omogočala enostavne spremembe programa ali prilagoditev za nove izdelke. Vsaka sprememba zahteva mehanski poseg in ročno nastavitev, kar predstavlja dodatno obremenitev za operaterje in vzdrževalce.

Obstoječa rešitev je zasnovana za specifičen tip izdelkov, kar omejuje njeno uporabnost pri širšem spektru proizvodov v prihodnosti.

Celotna konstrukcija je sicer varnostno zaprta, vendar imajo posluževalci stroja zaradi pogostih zastojev vrata z varnostnim stikalom premoščena, saj enostavneje odpravijo zagozdene pogone, kar pa je strogo prepovedano in ogroža vse zaposlene v okolici.

Na podlagi teh tehničnih dejstev se je pojavila potreba po prenovi obstoječega procesa in nadgradnji sistema z industrijskim robotom, ki bo omogočil zanesljivo, ponovljivo, prilagodljivo in varno avtomatizirano delovanje.

2.2 Zahteve in omejitve

Pri načrtovanju avtomatizacije obstoječega mehanskega procesa je bilo treba upoštevati vrsto tehničnih, varnostnih in funkcionalnih zahtev ter omejitev, ki vplivajo na izbiro in izvedbo rešitve.

Ena ključnih zahtev je bila izboljšanje zanesljivosti z manj zastoji. Obstoječi sistem z linearnimi pogoni se pogosto kvari, kar vodi do pogostih zastojev v proizvodnji. Zato mora nova rešitev omogočiti visoko stopnjo ponovljivosti, zmanjšati obrabo mehanskih komponent ter vključevati zanesljivo krmiljenje in pozicioniranje. Poleg tega je zahtevana visoka procesna stabilnost, ki naj omogoča izvajanje ciklov z minimalnim vzdrževanjem.

Naslednja pomembna zahteva je varnost zaposlenih. V obstoječem sistemu so vrata zaradi pogostih zastojev pogosto mehansko odprta ali celo električno premoščena, kar predstavlja resno varnostno tveganje. Nova rešitev mora zato vključevati celovite varnostne mehanizme, kot so medsebojno zaklepanje vrat, svetlobne zavese, nadzor dostopa ali avtomatska zaustavitev v primeru motenj. Vključitev varnostnih funkcij bo zasnovana v skladu z zahtevami standarda ISO 12100:2010.



Slika 13: Zaščita celice

(Control Engineering, 2024)

Pomembna funkcionalna zahteva je tudi fleksibilnost sistema, saj je pričakovano, da se bo v prihodnosti obdelovalo različne oblike ali dimenzije obdelovancev. Zato mora biti novi sistem zasnovan tako, da omogoča hitro reprogramiranje gibanja robota in enostavno prilagoditev vpenjalnih elementov brez večjih mehanskih sprememb.

Z vidika integracije mora avtomatizirana rešitev ustrezati obstoječi postavitvi in omejitvam prostora v stroju. Robota ni mogoče umestiti na katerokoli mesto, temveč je treba upoštevati določene mehanske zahteve, velikost delovnega območja, dostopnost za vzdrževanje in zaščito pred zunanjimi vplivi (maziva – hladilna emulzija, kovinski ostružki itd.).

Poleg tehničnih zahtev je bila pomembna tudi ekonomska omejitev. Investicija mora biti sorazmerna z dodano vrednostjo in upravičena skozi zmanjšanje stroškov napak, izmetov in zastojev. Zato je bilo treba izbrati ustrezno konfiguracijo robota, ki bo cenovno sprejemljiva in hkrati tehnično ustrezna.

K dodatnim omejitvam spada tudi obstoječe krmiljenje procesa prek PLC, kjer je že v uporabi programska oprema, ki jo je bilo treba upoštevati pri integraciji novega sistema. Nova rešitev mora biti združljiva z obstoječo avtomatiko ali pa mora vključevati vmesnik za komunikacijo med sistemoma.

Kljub vsem omejitvam projekt avtomatizacije omogoča jasno izboljšanje obstoječega procesa, pri čemer bodo vse ključne zahteve ustrezno obravnavane in tehnično rešene v nadaljevanju diplomskega dela.

3 AVTOMATIZACIJA PROCESA

3.1 Izbira in integracija robota

Nadgradnja obstoječega mehanskega sistema temelji na integraciji industrijskega robota, ki nadomešča del funkcije zrcalnega obračanja obdelovanca, ki je bila prej izvedena z nezanesljivimi linearnimi pogoni. Robot omogoča visoko stopnjo ponovljivosti gibanja, boljšo prilagodljivost obdelovancem in bistveno zmanjšanje potrebe po mehanskem vzdrževanju. Izbira robota je zelo pomembna zaradi omejitev stroja – najpomembneje je upoštevati prostorsko stisko, torej mora biti dovolj majhen, vendar vseeno dovolj velik, da lahko implementiramo prijemalo ob upoštevanju teže prijemala skupaj s obdelovanci. Upoštevati je treba tudi, da bo deloval v okolju s hladilno emulzijo in da mora biti dovolj zaščiten proti vdoru tekočin.

Zahteve bomo povzeli in na podlagi boljših karakteristik izbrali najbolj optimalne:

1. Proizvajalec: izbiramo lahko med različnimi proizvajalci, ki so primerni in imajo dovolj referenc, da jih lahko uporabimo v avtoindustriji. Ker gre v tem primeru za veliko podjetje, ki se zavezuje standardu ISO, bomo izbirali med roboti KUKA, ABB in YASKAWA. V podjetju uporabljajo večinoma robote KUKA in nekaj robotov ABB, zato roboti YASKAWA ne pridejo v poštev, saj bi s to izbiro nastali dodatni stroški usposabljanja operaterjev in bi v primeru odpravljanja napak operaterji potrebovali več časa, ker niso tako vešči uporabe teh robotov. Med roboti KUKA in ABB se bomo odločili glede na naše reference. Na stroju so že programirani roboti KUKA (za manipulacijo kosov pred in po obdelavi), zato je smiselno izbrati prav te robote, ker je imeti dva različna robota na enem stroju zahtevno za operaterje.
2. Velikost: prostor nam je zelo pomemben, saj smo z njim zelo omejeni. Mersko imamo prostora 765 mm v širino in 415 mm v širino, če želimo, da bo robot znotraj stroja. V iskalniku robotov na uradni spletni strani KUKA izberemo filter glede dosega robota. Glede na prostor izberemo širino od 500 mm do 800 mm. Ponudi nam več možnosti, vendar upoštevamo, da ni potreben kolaborativni robot in da mora biti 6-osen. Pridemo do zaključka, da sta primerna KR4 in KR6.



Slika 14: Maksimalni prostor 765 mm x 415 mm

Vir: Lastni vir

3. Detajli: robot bo deloval v okolju, kjer lahko pride do škropljenja emulzije, torej mora imeti IP-zaščito vsaj IP54. Po pregledu nam KR4 omogoča le IP40, KR6 pa IP54. Pri konstruiranju prijemala smo ugotovili, da bo teža prijemala z dvema obdelovancema približno 4 kg, kar je na zgornji meji izvedbe KR4. V primeru integracije novega, malo težjega obdelovanca bi presegali omejitve robota in s tem ta aplikacija za podjetje ne bi bila več uporabna, KR6 pa ima nosilnost prijemala 6 kg, kar omogoča več možnosti sprememb v primeru sprememb tipa obdelovanca in robot ne bo obremenjen na zgornji meji. Na osnovi očitno boljših detajlnih karakteristik se odločimo za KR6.



Slika 15: Robot KUKA KR6 R700-2

(KUKA SE & Co. KGaA, brez datuma)

Tip KR6 je večji kot nam v eni smeri (415 mm) omogoča prostor, zato bo robot delno zunaj območja stroja, za kar bomo dodatno naredili celico oziroma zaščitno ograjo.

Robotski sistem je nameščen na fiksno osnovo, kjer so prej bili linearni pogoni, in delno zunaj delovnega območja stroja. Njegovo delovno območje je bilo natančno prilagojeno glede na prostorske omejitve, s čimer se zagotovita neoviran dostop do obdelovanca in hkrati varno gibanje znotraj stroja. Vpenjanje izdelkov je ostalo delno nespremenjeno, kar omogoča enostavno integracijo robota v obstoječi tok dela.

Robot zagrabi obdelovanca z namenskim mehanskim prijemalom, ki je prilagojeno geometriji izdelka. Nato izvede natančen gib in obdelovanca ponovno pozicionira na obračalno enoto, ki je del obstoječega starega sistema, ki pa ni bil problematičen in je deloval zanesljivo, zato se ga je obdržalo kot del novega sistema. Obračalna enota nato vstavi obdelovanca v vpenjalno pripravo na ustrezno mesto za nadaljnjo obdelavo. S tem se odpravi potreba po hitrem linearnem gibanju in s tem povezani obrabi komponent.

Zaradi prilagodljivosti robotskega gibanja sistem omogoča enostavno prilagoditev različnim tipom izdelkov, brez mehanskih sprememb – zadošča sprememba programa ali nastavitev prijemala. Poleg tega robot vključuje možnosti komunikacije z obstoječim sistemom PLC, kar omogoča sinhronizacijo s preostankom stroja.

Varnostna zasnova vključuje medsebojno zaklepanje vrat in nadzor dostopa. Tako se odpravlja nevarna praksa ročnega poseganja v stroj med delovanjem. Dodana so vrata in zaščitna ograja oziroma celica.

Implementacija robota vključuje tudi osnovni vmesnik HMI od proizvajalca robota, ki prikazuje status sistema in opozorila ter omogoča nadzorovanje osnovnih funkcij. S tem se bistveno poenostavi diagnostika napak v primerjavi s prejšnjim sistemom, kjer je bil dostop do podatkov mogoč le prek programerske enote PLC.

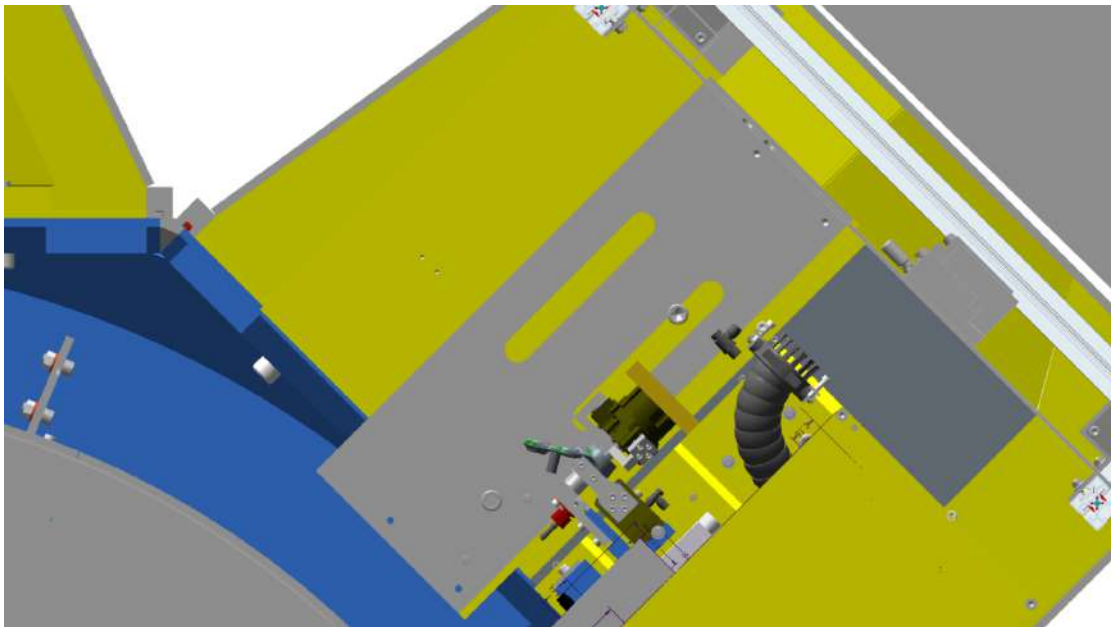
Tudi električna konstrukcija in projektiva sta sodelovali pri izboru primernega proizvajalca robota glede na tehnične zahteve in možnosti obstoječe krmilne opreme. Po potrditvi izbire robota so pripravili posodobljen elektro projekt, ki je vključeval razširitev krmilnih tokokrogov, varnostne povezave med robotom in strojem ter ustrezno zaščito napajalnih in signalnih vodnikov. V projekt so bili vključeni tudi varnostni elementi, skladni s standardom EN ISO 13849-1, kar zagotavlja varno zaustavitev in nadzor delovanja sistema.

Novi sistem tako združuje varnost, učinkovitost in fleksibilnost ter bistveno nadgrajuje obstoječo rešitev z vidika delovanja, vzdrževanja in prilagodljivosti.

3.2 Mehanske prilagoditve

3.2.1 Postavitev

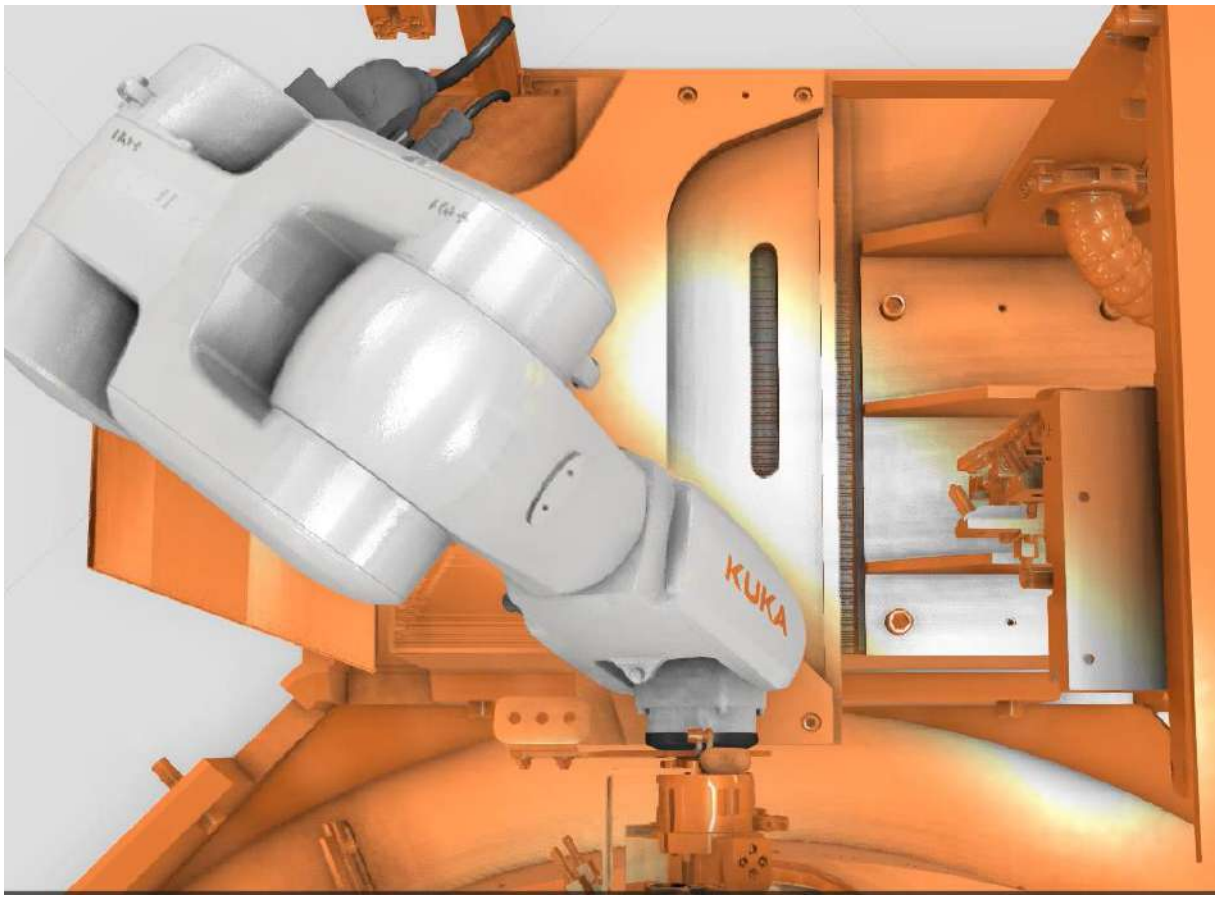
Integracija robota v obstoječi sistem je zahtevala natančno mehansko prilagoditev, saj prostor v notranjosti stroja ne dopušča večjih konstrukcijskih sprememb. Robot je bil nameščen na novo zasnovano nosilno konstrukcijo, ki je pritrjena na mesta, kjer so se prej nahajali linearni pogoni. Ta konstrukcija je bila projektirana tako, da omogoča stabilno pritrditev robota in hkrati prenese dodatne obremenitve, ki jih povzročata prijemalo in obdelovanec.



Slika 16: Prostor za robota

Vir: Lastni vir

Pri mehanskih prilagoditvah je bil poudarek na optimalni postavitvi robota glede na doseg in orientacijo, da se zagotovi neovirano gibanje v vseh fazah procesa. Dodatno je bilo treba odstraniti nekatere elemente starega sistema, ki so ovirali gibanje robota, pri čemer je bila ohranjena obračalna enota, saj se je izkazala kot zanesljiva in funkcionalna tudi v novi konfiguraciji. V napoto so nam bila tudi zaščita stroja in vrata.



Slika 17: Konfiguracija gibov in postavitve robota

Vir: Lastni vir

3.2.2 Energijska veriga

Za zaščito napeljave in zagotovitev optimalnega gibanja robota je bila uporabljena energetska veriga Igus Triflex-R, ki je posebej zasnovana za robotske aplikacije. Triflex-R omogoča tridimenzionalno gibanje v vseh smereh, kar je bistvenega pomena pri robotskih sistemih, kjer se kabli in cevi neprestano upogibajo in vrtijo. Zaradi svoje konstrukcije iz visoko odpornega polimera veriga zagotavlja dolgo življenjsko dobo ter visoko odpornost proti obrabi, vibracijam in vplivom hladilnih emulzij.

Energetska veriga služi za varno vodenje pnevmatskih cevi in električnih kablov od robotske osnove do zapestja, pri čemer preprečuje njihovo prepletanje, mehanske poškodbe ali prekomerno napenjanje. S tem se bistveno poveča zanesljivost celotnega sistema in zmanjša možnost okvar, ki bi lahko povzročile nenačrtovane izpade proizvodnje.

Poleg zaščite napeljave omogoča Triflex-R tudi optimalno porazdelitev sil med gibanjem robota, kar zmanjšuje mehanske obremenitve na priključne elemente in pripomore k

enakomernejši obrabi kablov. Modularna zgradba verige omogoča enostavno servisiranje, dodajanje ali zamenjavo posameznih segmentov brez potrebe po demontaži robota.



Slika 18: Energijska veriga

(igus SE & Co. KG, brez datuma)

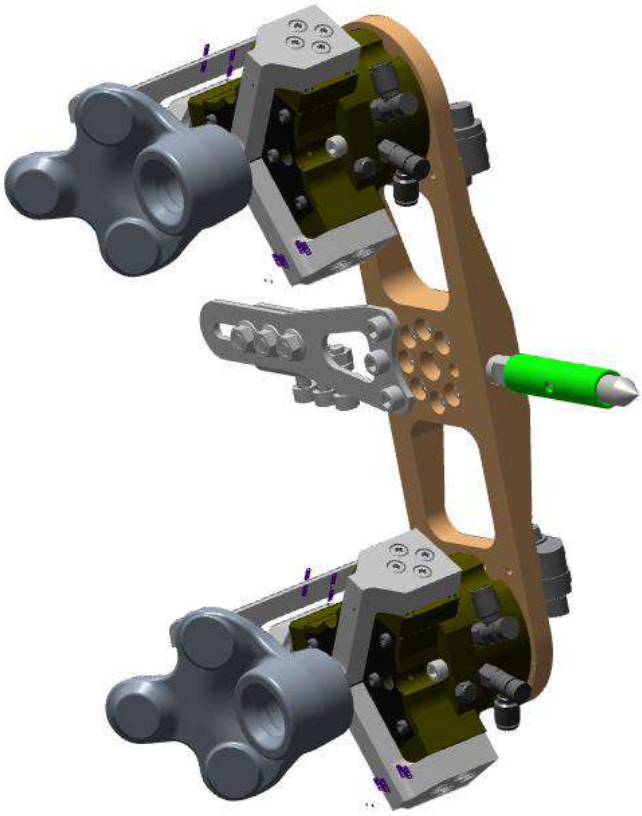
Z uporabo energetske verige Triflex-R se tako doseže kombinacija varnosti, zanesljivosti in trajnostne zasnove, ki je skladna z zahtevami sodobne industrijske avtomatizacije. Rešitev zagotavlja stabilno delovanje robota v vseh delovnih pogojih, zmanjšuje potrebe po vzdrževanju in podaljšuje življenjsko dobo celotnega sistema napeljave.

3.2.3 Prijemalo robota

Eden ključnih elementov integracije je prijemalo robota, ki omogoča natančno in varno manipulacijo z obdelovanci. Zaradi trajnostnega pristopa k projektu smo se odločili, da čim več komponent obstoječega prijemala ponovno uporabimo, saj so bile mehansko še ustrezne. Tako so bili ohranjeni pnevmatski vpenjalni elementi, čeljusti in del nosilne konstrukcije, ki so se v dosedanji izvedbi izkazali kot zanesljivi in funkcionalni. Ti deli so standardne nabavne komponente – teh, če je le mogoče, ne dodelujemo ali spreminjamo, saj bi s tem dodatno delali stroške in povečevali dobavni rok podjetjem pri nakupu rezervnih delov. To se je tudi tukaj izkazalo kot pravilno in na njih ni bilo nobenega dodatnega prilagajanja standardnih delov. Ponovna uporaba teh delov zmanjšuje stroške, porabo materiala in čas izdelave novega prijemala, kar je v skladu z načeli racionalne rabe virov.

Za povezavo z robotom je bilo treba zasnovati novo pritrdilno ploščo, ki zagotavlja stabilno montažo ob minimalni dodatni teži. Posebna pozornost je bila namenjena masi prijemala, saj ta neposredno vpliva na dinamične lastnosti robota in njegovo natančnost. Zato smo uporabili lahke, a mehansko odporne materiale, kot so aluminijeve zlitine z ojačitvami iz konstrukcijskega jekla na kritičnih mestih.

Prijemalo je bilo načrtovano kompaktno in modularno, da omogoča preprosto prilagoditev različnim tipom obdelovancev in hitro zamenjavo prijemalnih elementov. Takšna zasnova izboljšuje stabilnost gibanja in omogoča daljšo življenjsko dobo mehanskih delov. Poleg tega modularnost poenostavlja vzdrževanje in prihodnje nadgradnje.



Slika 19: Zasnovano prijemalo robota

Vir: Lastni vir

Zasnova prijemala tako združuje funkcionalnost, trajnost in tehnično učinkovitost. S tem pristopom je bilo mogoče optimizirati maso, povečati togost in zmanjšati vpliv mehanskih obremenitev na robota, hkrati pa zmanjšati okoljski in ekonomski vpliv z uporabo že obstoječih

komponent. Tak pristop potrjuje, da se tudi pri razvoju posameznih elementov avtomatiziranih sistemov lahko učinkovito uresničujejo načela trajnostnega in odgovornega inženirstva.

3.2.4 Zaščitna celica

V delovno okolje je bila vključena tudi nova zaščitna ograja z varnostnimi vrati in stikali. Mehanski del ograje je pritrjen na obstoječo konstrukcijo oziroma zaščito stroja, kar omogoča kompaktno postavitev brez dodatnega posega v infrastrukturo. Varnostno stikalo se je tudi uporabilo od prejšnjih vrat, saj to ni imelo več smisla, ker je znotraj celice. Kjer je bilo potrebno, so bile dodane zaščitne plošče za preprečevanje stika z gibajočimi se deli in za zaščito pred hladilno emulzijo.

Za zaščito robota pred industrijskim okoljem (vlaga, olje, ostružki) se je uporabila dodatna zaščitna obloga na izpostavljenih delih robota, s čimer sta zagotovljena daljša življenjska doba in zanesljivo delovanje, predvsem na pnevmatski in električni napeljavi.

Zaradi obstoječega položaja stroja je bila pozicija robota prilagojena tako, da omogoča neoviran dostop za vzdrževanje stroja in posluževanje ostalih delov stroja v primeru okvar.

3.3 Varnostni vidiki

Pri avtomatizaciji procesa z integracijo industrijskega robota je bilo treba posebno pozornost nameniti varnosti tako operaterjev kot avtomatizacije. Ena izmed ključnih težav v prejšnjem sistemu je bila nezanesljivost linearnih pogonov, zaradi katere so operaterji pogosto premoščali varnostna stikala na vratih, da bi lahko ročno odpravljali napake. Takšno ravnanje je predstavljalo resno tveganje za poškodbe in ni bilo v skladu z varnostnimi standardi.

Nova rešitev vključuje več varnostnih ukrepov, ki preprečujejo podobne situacije. Delovni prostor robota je fizično ločen z zaščitno ograjo, ki onemogoča nenadzorovan dostop do gibajočih se delov. Vrata ograje so opremljena z električnim varnostnim stikalom, ki preprečuje odpiranje med delovanjem robota. Sistem ob zaznavi odprtih vrat samodejno zaustavi vse gibanje, preklopi v varni način in izključi medije stroja.

Dodan je tudi zasilni izklop v sili (E-stop) na dostopni točki, ki omogoča takojšnjo prekinitev napajanja in ustavitev robota v primeru nevarnosti. Poleg tega je robot povezan s signalno lučjo stroja, ki vizualno prikazuje stanje sistema (delovanje, opozorilo, napaka), kar omogoča boljši nadzor nad procesom.

Pri zasnovi varnosti je bil upoštevan standard ISO 12100:2010, ki določa splošna načela za ocenjevanje tveganj in načrtovanje varnih strojev. V skladu s tem je bila izvedena osnovna ocena tveganj, na podlagi katere so bile določene potrebne tehnične rešitve za zmanjšanje nevarnosti.

Sistem vključuje tudi programske varnostne meje gibanja, s katerimi se omeji delovno območje robota, tako da robot ne more seči izven določenega varnega območja. To zmanjšuje možnost nenamernih trkov s strojnimi komponentami ali operaterjem pri vzdrževalnih delih tudi v ročnem režimu vožnje robota. Robot je bil kupljen z varnostnim sistemom in tako dodatno zmanjšuje razna tveganja.

Varnostna zasnova novega sistema tako preprečuje nevarna ravnanja operaterjev, omogoča hitro odzivanje v primeru nepravilnosti in zagotavlja, da je celoten proces avtomatizacije v skladu z zahtevami sodobne industrijske varnosti.

4 ANALIZA FMEA

4.1 Opis metode FMEA

FMEA (angl. Failure Mode and Effects Analysis) je sistematična metoda za identifikacijo, analizo in oceno možnih napak v procesu, izdelku ali sistemu ter vpliva njihovih posledic na delovanje. Temelji na preventivnem pristopu, kjer se že v fazi načrtovanja ali izboljšav prepoznajo potencialne okvare in zanje določijo ukrepi za zmanjšanje tveganja.

Metoda FMEA vključuje ocenjevanje treh ključnih dejavnikov:

- verjetnost napake (angl. Occurrence – O),
- resnost posledice (angl. Severity – S),
- možnosti zaznave napake preden se pojavi (angl. Detection – D).

Za vsak identificiran način odpovedi se izračuna ocena tveganja (angl. Risk Priority Number – RPN) po formuli:

$$RPN = S \times O \times D$$

RPN omogoča prioritetno razvrstitev napak, kjer višje vrednosti označujejo višja tveganja in s tem večjo potrebo po ukrepanju. Tipično se vrednosti RPN nad določenim pragom obravnavajo z izboljševalnimi ukrepi.

Poznamo več vrst FMEA: procesno (PFMEA), oblikovno (DFMEA), sistemsko (SFMEA) itd. V tem primeru uporabljamo PFMEA, ker obravnavamo tehnološki proces, ki vključuje nadgradnjo z avtomatizacijo.

Metoda se pogosto uporablja v avtomobilski in strojni industriji, saj omogoča zmanjševanje napak, povečanje zanesljivosti procesa in izboljšanje varnosti. Pomembni prednosti sta tudi sledenje celotnemu procesu razmišljanja in dokumentirano odločanje o ukrepih.

FMEA je skladna z načeli sistemske zanesljivosti in je priporočena v mednarodnih standardih, kot so VDA FMEA, ISO 9001 in ISO 12100, ter tudi v strokovni literaturi, kot jo navaja A. Polajner (Proizvodni management, 2013), kjer je poudarjena kot orodje za preprečevanje napak v industrijskih procesih.

4.2 Primer uporabe v procesu

V nadaljevanju je predstavljena uporaba metode FMEA na konkretnem primeru uvedbe industrijskega robota v obstoječi mehanski proces, kjer ta nadomešča funkcijo linearnih gibaj s pogoni. Namen analize je identificirati kritične točke novega avtomatiziranega procesa, oceniti stopnjo tveganja ter predlagati možne ukrepe za zmanjšanje pojavnosti napak oziroma povečanje zanesljivosti in varnosti sistema.

Analiza temelji na identifikaciji posameznih faz procesa, kjer lahko pride do napak, pri čemer se za vsako napako določijo način odpovedi, možni vzroki in posledice napake. Na osnovi teh podatkov so bile določene tri ključne vrednosti: resnost (S), verjetnost pojava (O) in verjetnost zaznave napake pred njenim pojavom (D). Na osnovi teh ocen se izračuna RPN kot produkt vrednosti S, O in D, kar omogoča prioritetno razvrščanje napak glede na tveganje.

V prvem primeru se analizira faza prijemanja obdelovanca z robotskim prijemalom:

- Kot možna napaka je prepoznan napačen prijem obdelovanca oziroma slaba pozicija pobiranja obdelovanca, do katerega lahko pride zaradi napačnega tlaka ali neustreznega položaja prijemala. Posledice napake so padec izdelka, morebitna poškodba strojnih komponent in daljši zastoj procesa, zato je ocena resnosti 8, verjetnost pojava 5, zaznavnost pa 3, kar daje vrednost RPN 120. Predlagani ukrep je uvedba tlačnih stikal za nadzor tlaka prijemal, senzorjev za položaj prijemala (izpeto, vpeto in vpeto z obdelovancem).
- Možna napaka je tudi napačna pozicija vpenjalne priprave oziroma to, da je vpenjalna priprava še v gibanju. Posledica napake je nalet robota, kar pa lahko povzroči dolg zastoj procesa in velik strošek, zato je ocena resnosti 8, verjetnosti napake 6 in zaznavnosti 3. RPN je v tem primeru 144. Ukrep, ki se ga predlaga v tem primeru, je zaščita v programu PLC z določenimi stanji stroja, ki se nenehno kontrolirajo med robotom in strojem. Določena so stanja:

  Robot → stroj:

- V delovnem območju stroja, ni pogoja za gibanje osi stroja in vpenjalne priprave.
- Izven delovnega območja stroja, stroj je brez omejitev.

  Stroj → robot:

- Dovoljenje za izvedbo procesa, osi ustavljene in vpenjalna priprava odprta.

- Ni dovoljenja za izvedbo procesa, osi v premikanju ali vpenjalna priprava nima stanja odprto.

V drugem primeru gre za možne napake pri prenašanju obdelovanca oziroma gibu robota:

- Napaka je lahko napačna programska nastavitev ali neugoden gib robota, kar ima za posledico poškodbe gibljivih komponent robota. Resnost te napake je ocenjena s 7, verjetnost pojava s 3 in zaznavnost s 4, kar daje skupni RPN 84. Ukrep vključuje uvedbo dodatnih preverjanj gibanja med testnim zagonom pri različnih hitrostih gibanja.

Tretji primer obravnava vstavljanje obdelovanca v obračalno enoto:

- Do napake lahko pride zaradi poškodb čeljusti, zamika pozicije ali mehanske obrabe, kar povzroči zastoj sistema ali poškodbo strojnih komponent. Ocenjena resnost je 9, pojavnost 4 in zaznavnost 3, RPN pa znaša 108. Predlagani ukrepi vključujejo dodatno kontrolo PLC z dodatnimi senzorji o prisotnosti obdelovancev v obračalni enoti.

Četrti primer obravnava komunikacijo med robotom in obstoječim sistemom PLC:

- Napaka, kot je izguba signala, lahko nastane zaradi kabelske napake ali elektromagnetnih motenj, kar vodi v prekinitev procesa. Ocena resnosti je 6, pojavnosti 2 in zaznavnosti 6, kar pomeni RPN 72. Predlaga se uvedba sistema za redundanco ali neprekinjeno preverjanje signalne povezave.

Zadnji analizirani primer se nanaša na varnostna vrata oziroma celico robota:

- Če bi varnostni zaklep celice odpovedal, bi lahko prišlo do nevarnega odpiranja vrat med delovanjem robota, kar predstavlja visoko tveganje za poškodbe oseb. Resnost takšne napake je največja možna – 10 (življenjska ogroženost), vendar je pojavnost nizka 2, zaznavnost pa dobra 2, zato je RPN 40. Predlagana ukrepa sta reden tehnični pregled in testiranje varnostnih stikal. Varnostno stikalo je v električni vezavi vezano tako, da ob vsaki motnji, poškodbi ali prevezavi nemudoma javi napako in je del SI (angl. Safety Integrated) sistema stroja.

Na podlagi izvedene analize FMEA so bile prepoznane ključne ranljivosti novega sistema, predvsem v fazah zajema, gibanja in odlaganja obdelovanca. S pravočasnim odkrivanjem potencialnih napak in ustreznimi preventivnimi ukrepi se lahko bistveno zmanjša tveganje za zastoje, poškodbe in nedelovanje novega procesa. Analiza služi kot pomembno orodje pri zagotavljanju zanesljivosti in varnosti v avtomatiziranem industrijskem okolju, obenem pa kot osnova za nadaljnje izboljšave sistema.

Za lažji pregled je bila narejena tabela, kjer so napake zbrane skupaj s ključnimi podatki.

Tabela 1: Analiza FMEA

Št.	Procesna faza	Možna napaka	Vzrok napake	Posledica	S	O	D	RPN	Predlog/ ukrep
1	Prijem obdelovanca	Slab prijem ali napačna pozicija	Okvara pnevmatskega sistema ali napačno stanje prijemal, ročna manipulacija	Padec izdelka, mehanske poškodbe, zastoji	8	5	3	120	Tlačna stikala, senzorji položaja prijemal
2	Prijem obdelovanca	Napačna pozicija vpenjalne priprave/ gibanje vpenjalne priprave	Vpenjalna priprava in stroj v gibanju	Nalet stroja, visok ekonomski strošek, zastoji	8	6	3	144	Varnostna logika PLC, kontrola stanj
3	Gibanje robota med	Neugodni gibi ali hitri gibi	Neustrezne programske nastavitve	Poškodbe gibljivih	7	3	4	84	Testni zagon, preverjanje gibanja pri

	prenašanje m			komponent robota					različnih hitrostih
4	Odlaganje obdelovanca v obračalno enoto	Napačna pozicija obračalne enote/ Obdelovanec v enoti	Ročna manipulacija, poškodbe ali mehanska obraba	Zastoji, poškodba komponent	9	4	3	108	Varnostna logika PLC, dodatni senzorji
5	Komunikacija robot–PLC	Izguba signalov	Napaka ali poškodba pri prenašanju signalov	Zastoji, poškodba komponent	6	2	6	72	Pravilne električne vezave komponent, neprekinjen nadzor signalov z »življenjskimi biti«
6	Varnost	Odpoved ključnih varnostnih elementov	Poškodba, manipulacija ali okvara varnostnega zaklepa	Poseg v delovno območje ob delovanju, ogroženost oseb	10	2	2	40	Redni pregledi, SI-povezava varnostnih komponent

Vir: Lastni vir

Sklepamo, da bo proces boljši in varnejši, kljub temu pa zaradi stalnega izboljševanja procesa in preventive izpeljemo ukrepe, ki smo navedli v analizi. Po izvedbi ukrepov dobimo novo analizo, ki jo bomo prikazali v primerjalni tabeli spodaj, v kateri bomo pripisali izveden ukrep, novih dodatnih ukrepov oziroma predlogov pa ne bomo več pripisovali, saj nam tabela služi kot primerjava, koliko so bili ukrepi učinkoviti.

Tabela 2: Analiza FMEA po izvedenih ukrepih

Procesna faza	Možna napaka	Vzrok napake	Posledica	Predlog/ ukrep	S	O	D	Novi RPN	Ugotovitev
Prijem obdelovanca	Slab prijem ali napačna pozicija	Okvara pnevmatskega sistema ali napačno stanje prijemal, ročna manipulacija	Padec izdelka, mehanske poškodbe, zastoji	Tlačna stikala in senzorji položaja prijemal	8	2	1	16	RPN smo zaradi zagotovene zaznave znižali iz 120 na 16
Prijem obdelovanca	Napačna pozicija vpenjalne priprave/ gibanje vpenjalne priprave	Vpenjalna priprava in stroj v gibanju	Nalet stroja, visok ekonomski strošek, zastoji	PLC neprekinjeno kontrolira položaj in si izmenjuje podatke z robotom	8	3	3	72	RPN smo zaradi manjše verjetnosti znižali iz 144 na 72
Gibanje robota med prenašanjem	Neugodni gibi ali hitri gibi	Neustrezne programske nastavitve	Poškodbe gibljivih komponent robota	Preverjanje gibanja pri različnih hitrostih	7	2	4	56	RPN smo zaradi manjše verjetnosti znižali iz 84 na 56
Odlaganje obdelovanca v obračalno enoto	Napačna pozicija obračalne enote/ obdelovanec v enoti	Ročna manipulacija, poškodbe ali mehanska obraba	Zastoji, poškodba komponent	Logika PLC in dodatni senzorji za kontrolo ob prisotnosti kosov	9	1	2	18	RPN smo zaradi manjše verjetnosti in boljše zaznave znižali iz 108 na 18

Komunikacija robot–PLC	Izguba signalov	Napaka ali poškodba pri prenašanju signalov	Zastoji, poškodba komponent	Neprekinjen nadzor signalov z »življenjskimi biti«	6	2	4	48	RPN smo zaradi boljše zaznave znižali iz 72 na 48
Varnost	Odpoved ključnih varnostnih elementov	Poškodba, manipulacija ali okvara varnostnega zaklepa	poseg v delovno območje ob delovanju, ogroženost oseb	Redni pregledi varnostnih elementov in SI povezava varnostnih komponent	10	1	1	10	RPN smo zaradi boljše zaznave in manjše verjetnosti znižali iz 40 na 10

Vir: Lastni vir

Na podlagi nove analize FMEA lahko ugotovimo, kako ključna sta prepoznavanje možnih napak in konkretno ukrepanje. V novi analizi smo skupni RPN dobili 220 (prej 568), kar pomeni, da smo z učinkovitimi predlogi tveganja za napake zmanjšali za kar 61 %.

5 ANALIZA UČINKOVITOSTI IN ZANESLJIVOSTI

5.1 Prednosti avtomatizacije

Prenova mehanskega procesa z uvedbo industrijskega robota ni zgolj tehnološki korak, temveč predstavlja celovito izboljšanje v smislu učinkovitosti delovanja in zanesljivosti celotnega sistema. Obstoječi proces, ki je temeljil na linearnih pogonih, je bil pogosto podvržen zastoju, obrabi komponent ter zahtevnemu in dragemu vzdrževanju. Z avtomatizacijo teh ključnih faz, predvsem funkcije prenašanja obdelovanca, se odpravljajo številne tehnične in organizacijske pomanjkljivosti.

Robotizirana rešitev omogoča bistveno krajše čase obdelave zaradi hitrejšega in natančnejšega gibanja ter večje ponovljivosti. Izločitev mehanskih linearnih pogonov iz funkcije zrcalnega obračanja neposredno zmanjšuje pogostost zastojev in potrebe po ročnih intervencijah. Tako se izboljša pretočnost procesa in poveča splošna produktivnost. Gibanje robota je programirano in sinhronizirano z drugimi komponentami stroja, kar zagotavlja boljši nadzor nad celotnim ciklom delovanja. Zaradi fleksibilnosti robotskega prijemala je mogoča manipulacija različnih tipov obdelovancev brez večjih mehanskih sprememb v prihodnosti, kar pomeni večjo prilagodljivost proizvodnje in hitrejše prilagajanje trgu ali naročnikovim zahtevam.

Z vidika zanesljivosti robot nudi večjo operativno stabilnost. Integrirani senzorji, pozicijski nadzor in zanesljiva programska logika v sistemu PLC omogočajo zaznavanje nepravilnosti že v zgodnjih fazah. Napake se beležijo prek vmesnika HMI, ki ponuja jasno diagnostiko in opozorila, kar olajša ukrepanje vzdrževalcem in zmanjšuje čas zastoja. Pred tem je bila diagnostika mogoča zgolj prek programerske enote PLC in fizičnega pregleda sistema, kar je zahtevalo dodatno znanje in čas.

Dodatno se je izboljšala tudi varnost na delovnem mestu. Ker sistem onemogoča delovanje stroja ob odprtih varnostnih vratih in zaznava kritične situacije s pomočjo varnostno integriranih (SI) elementov, se zmanjša tveganje za poškodbe zaposlenih. Posegi v stroj med obratovanjem so zdaj skoraj nepotrebni, saj sistem samodejno javi lokacijo večine napak in se s tem čas diagnosticiranja napake znatno zmanjša.

Poleg izboljšane učinkovitosti in zanesljivosti uvedba avtomatizacije omogoča tudi dolgoročno znižanje stroškov. Zmanjšujejo se stroški vzdrževanja, čas izpada stroja in potreba po ročnih intervencijah. Robot ima znatno daljšo življenjsko dobo in predvidljivo delovanje, kar omogoča

boljše načrtovanje proizvodnje in vzdrževanja. Kljub začetni investiciji se sistem izkaže kot ekonomsko upravičen. Ob preračunu stroškov dosedanjih izpadov proizvodnje in dosedanjih celovitih obnovah linearnih pogonov se izkaže, da bi se morala celotna investicija povrniti nekje v roku enega leta, projekt je s strani končnega kupca načrtovan oziroma naročen še za vsaj nadaljnjih pet let. S tem lahko upravičimo in argumentiramo investicijo, po potrebi pa lahko naredimo detajlni pregled stroškov in upravičenost investicije, če obstajajo dvomi o povrnitvi stroškov investicije.

Na podlagi izkušenj iz navedenega primera je mogoče sklepati, da avtomatizacija ni zgolj nadgradnja posamezne funkcije stroja, temveč pomeni celostno preoblikovanje procesa, ki omogoča trajnostno in konkurenčno proizvodnjo.

5.2 Ocena rezultatov

Primerjava rezultatov pred in po uvedbi avtomatizacije potrjuje smiselnost nadgradnje. Pred avtomatizacijo je bil takten čas enega procesa povprečno 9 sekund, ob pogostih manjših zastojih pa se je cikel lahko preračunano podaljšal tudi za 30–50 %. Po uvedbi robota in sinhronizaciji s strojem se je povprečen taktni čas stabiliziral na 6 sekund, brez večjih nihanj. Tako se poveča število izdelanih kosov na enoto časa, kar neposredno vpliva na produktivnost.

Predhodni sistem je bil podvržen približno 5–10 večjim mehanskim zastojem tedensko, kar je zahtevalo zaustavitev stroja, odprtje varnostnih vrat in ročni poseg. Z uvedbo robotske celice je bilo teh zastojev praktično konec, saj pri avtomatizaciji z robotom do podobnih zastojev ne more priti, pri čemer ni več potrebnega ročnega odpravljanja mehanskih zastojev.

Prav tako se je zmanjšal delež izmeta obdelanih izdelkov. Prej je bil zaradi netočnega in neponovljivega pozicioniranja linearne enote pogost padec izdelka iz prijemala, kar je pomenilo poškodbo obdelovanca ter s tem zamude in dodatne stroške. Sedaj pa robot natančno pozicionira obdelovanca in zagotavlja ponovljivost, kar pomeni večjo kakovost procesa brez izpadanja obdelovancev in manj izmeta.

Z vidika uporabnika in vzdrževanja je vmesnik robota intuitiven, napake so jasno prikazane oziroma opisane, diagnostične informacije pa dostopne tudi brez povezovanja programerske enote. S tem se zmanjša potreben čas za diagnozo težav in olajša redno spremljanje delovanja.

Vse navedeno kaže, da uvedba avtomatizacije v obravnavani primer ni le tehnološka izboljšava, temveč sistemska rešitev, ki prispeva k učinkovitosti, kakovosti, varnosti in dolgoročni izboljšani stabilnosti proizvodnega procesa.

5.3 Ekonomičnost avtomatizacije

Za oceno ekonomske upravičenosti avtomatizacije je bila izvedena analiza časovnih izgub in njihovih posledic za proizvodnjo. Izračun temelji na povprečnih podatkih obstoječega sistema in ocenjeni vrednosti obdelovanca.

1. Osnovni podatki:

- vrednost obdelovanca: 2 enoti,
- cikel za 2 kosa: 17 sekund,
- osnovna teoretična zmogljivost:

  (3600 $s/17\ s$) × 2= **424 kos/h**,
- delovni čas izmene: 8 ur = 28.800 s → približno **3392 kosov na izmeno (brez izgub).**

2. Manjši zastoji (podaljšanje cikla za 30–50 %)

Manjši zastoji so se pojavljali 3-krat na izmeno, pri čemer se je cikel začasno podaljšal za povprečno 40 %. Če predpostavimo, da vsak zastoj traja 60 sekund (vključno s ponovnim zagonom in stabilizacijo), to pomeni časovno izgubo:

(60 s – 17 s) × 3= **129 s**

V tem času bi stroj izdelal:

(129 s / 17 s) × 2= **15 kosov na izmeno**

Vrednost izgubljene proizvodnje:

15 kos × 2 enoti = **30 enot na izmeno**

3. Večji zastoji (5–10 tedensko, po 30 minut)

Ob povprečju 7 zastojev na teden, vsakega po 30 minut, znaša izguba:

7 × 30 min = **210 min/teden**

210 min / 5 dni = **42 min/izmeno**

42 min × 60 s = **2520 s/izmeno**

Izguba proizvodnje:

(2520 s / 17 *s*) × 2 = **296 kosov na izmeno**

Vrednost izgubljene proizvodnje:

296 kos × 2 enoti = **592 enot na izmeno**

4. Skupna izguba

Če predpostavimo 5 delovnih dni na teden oziroma 21 delovnih dni, znaša mesečna izguba:

592 enot + 30 enot = **622 enot/izmeno**

622 enot × 21 izmen = **13.062 enot/mesečno**

Od skupnih teoretičnih kapacitet prihodkov 142.464 enot imamo za 13.062 enot zastojev. Številčno bi se enote podvojile ali pa potrojile, če bi izračunavali še dodatno drugo in tretjo izmeno.

Graf 1: Produktivnost stroja pred avtomatizacijo



Vir: Lastni vir

V zgornjem grafu je prikazana polna proizvodna zmogljivost stroja v denarnih enotah (prihodki), trenutno izrabljena kapaciteta je 91 %. Večji zastoji nam produktivnost oziroma prihodke manjšajo za 9 %, pod 1 % pa nam prihodke znižujejo manjši krajši zastoji.

5. Učinek avtomatizacije

Z uvedbo robotske avtomatizacije so se zastoji praktično odpravili, zato se mesečna izguba proizvodnje zmanjša za približno 12.000 enot vrednosti, kar pomeni povečanje izkoristka stroja za okoli 8–9 % že v prvem tednu.

Če ocenimo vrednost avtomatizacije, za katero je končni kupec moral odšteti približno 60.000 enot in je zastojni čas integracije en teden, to je 33.920 enot, skupaj približno 93.920 enot, mu avtomatizacija omogoča povračilo investicije v približno 8 mesecih, kar potrjuje ekonomsko smiselnost investicije, saj projekti obdelave in proizvodnja izdelka trajajo po navadi okoli 7 let. Po povračilu investicije avtomatizacija neposredno vpliva na povečanje produktivnosti in zmanjšanje stroškov.

6 RAZPRAVA

6.1 Interpretacija rezultatov

Rezultati uvedbe avtomatizacije v mehanski proces obdelave potrjujejo, da je bila odločitev za integracijo industrijskega robota tehnično upravičena in strateško premišljena. Ključne izboljšave, kot so zmanjšanje taktnega časa, odprava mehanskih zastojev in izboljšana natančnost pozicioniranja obdelovancev, kažejo na neposreden vpliv avtomatizacije na učinkovitost celotnega procesa. Posebej pomembno je, da je nov sistem dosegel višjo stopnjo ponovljivosti in stabilnosti delovanja, kar je bila ena izmed temeljnih pomanjkljivosti prejšnje rešitve z linearnimi pogoni.

Z vključitvijo industrijskega robota v obstoječo linijo se je proces iz zaporednega, togega sistema preoblikoval v prilagodljivo in modularno rešitev. Tako se izboljšuje tudi pretočnost, saj se izločijo nepotrebna čakanja in zastoji brez mehanskih ovir. Fleksibilnost robota omogoča hitro prilagajanje na različne obdelovance, brez potrebe po mehanskih spremembah, kar pomeni velik korak naprej v smeri agilne proizvodnje.

Diagnostika in nadzor napak sta prav tako pridobila kakovost. Prejšnji sistem, ki je omogočal dostop do stanja le prek programerske enote, je zdaj nadomeščen z intuitivnim vmesnikom HMI. Tako operater kot vzdrževalec lahko hitro pridobita podatke o stanju sistema, napakah ali potrebnih ukrepih. Ta preglednost zmanjšuje tveganje napačnih odločitev, skrajšuje čas zastoja in zmanjšuje potrebo po intervenciji specializiranega kadra.

Pomemben vidik, ki ga potrjujejo rezultati, je tudi izboljšanje varnosti. Sistem, ki v preteklosti ni bil vedno zanesljiv, je pogosto terjal ročne posege operaterjev. S tem je bilo tveganje za nezgode izrazito povečano. Po avtomatizaciji je varnost izboljšana z uvedbo celice z varnostnimi vrati, ki onemogočajo dostop v nevarno območje med delovanjem.

Z vidika sistemskega pristopa uvedba robota ni predstavljala samo zamenjave enega mehanskega elementa z drugim, temveč temeljito spremembo koncepta delovanja stroja. To vključuje spremembo programskih logik, nadzorne arhitekture, integracijo komunikacijskih kanalov med komponentami in optimizacijo poteka dela. Ta širši pogled omogoča, da se

avtomatizacija razume ne kot samostojen dogodek, ampak kot del evolucije v smeri digitalizacije in pametne proizvodnje.,

Na podlagi izvedene tehnične, varnostne in ekonomske analize je smiselno v tem delu diplomskega dela preveriti tudi postavljene raziskovalne hipoteze:

1. Prva hipoteza je predvidevala, da uvedba industrijskega robota namesto linearnih pogonov poveča proizvodno učinkovitost za najmanj 15 % v primerjavi s predhodnim sistemom. Kot kažejo rezultati, se taktni čas posameznega cikla ni bistveno spremenil, se je pa znatno zmanjšal zastojni čas ob napakah, kar predstavlja več kot 25-odstotno izboljšanje. Poleg tega je sistem stabilnejši in brez nepotrebnih prekinitev, kar pomeni, da se hipoteza potrjuje.

2. Druga hipoteza se nanaša na zmanjšanje operativnih napak zaradi človeškega dejavnika ter povečanje ponovljivosti in varnosti. Po uvedbi avtomatizacije je bilo odpravljeno ročno poseganje v nevarna območja, sistem pa je opremljen s funkcionalnimi varnostnimi elementi, kot so varnostna vrata z električnimi zaklepi in nadzorovanimi stanji. Prej je lahko človeški dejavnik ob popravilu napake vplival na ponovljivost pozicioniranja enote, sedaj sta pa ponovljivost gibov in natančnost pozicioniranja obdelovancev odvisni izključno od robota, kar dodatno zmanjšuje možnosti za napake. Tudi ta hipoteza je potrjena.

3. Tretja hipoteza predvideva, da se investicija v avtomatizacijo povrne v manj kot dveh letih, predvsem zaradi nižjih stroškov zastojev in večje pretočnosti. Čeprav točna finančna analiza presega obseg tega dela, so osnovni kazalniki – krajši čas diagnoze, manj napak in izmeta ter skoraj popolna odprava zastojev – jasen kazalnik večje učinkovitosti. Ob predpostavki realnih stroškov dela in upoštevanju vzdrževalnih stroškov stare rešitve se ocenjuje, da je obdobje povračila investicije realistično znotraj zastavljenega časovnega okvira, zato je hipoteza utemeljena.

4. Četrta hipoteza obravnava uporabo metode FMEA kot orodja za prepoznavanje tveganj in uvajanje preventivnih ukrepov, kar naj bi pripomoglo k povečani zanesljivosti sistema.

Izvedena analiza je pokazala, da FMEA omogoča strukturirano identifikacijo napak, njihovo kvantifikacijo in oceno vplivov, kar vodi do konkretnih izboljšav v zasnovi procesa. Tako je bila na primer z uporabo FMEA prepoznana potreba po uvedbi tlačnih stikal za nadzor tlaka, preverjanja stanja prijemal in dodatne logike v PLC, s čimer se izboljšuje odpornost sistema na napake. Hipoteza se torej potrjuje kot utemeljena z vidika zanesljivosti in sistemske varnosti.

6.2 Pomanjkljivosti in predlogi za izboljšave

Čeprav avtomatizacija s pomočjo industrijskega robota prinaša številne prednosti, projekt ni brez izzivov in omejitev, ki jih je treba kritično ovrednotiti. Ena izmed zaznanih pomanjkljivosti v fazi integracije je bila prostorska omejenost delovnega okolja. Ker robot ni bil nameščen v popolnoma novo zasnovo stroja, temveč je moral nadomestiti obstoječi mehanski podsistem, so bile potrebne številne prilagoditve za optimalno vključitev. Del teh prilagoditev je vplival tudi na dostopnost določenih komponent z vidika vzdrževanja, kar bi bilo v prihodnosti pri novih podobnih projektih oziroma strojih smiselno rešiti z optimizacijo postavitve.

Druga omejitev izhaja iz zahtevnosti začetnega programiranja in sinhronizacije gibanja z obstoječim sistemom PLC. Čeprav končni rezultat deluje stabilno in zanesljivo, je bila faza zagona dolgotrajna in zahteva visoko stopnjo sodelovanja med različnimi oddelki – avtomatizacija, električna in mehanska montaža. Za podobne prihodnje projekte bi bilo priporočljivo razviti standardizirane komunikacijske protokole in predloge logike, ki bi skrajšali čas integracije.

Zaznana je bila tudi potreba po boljšem usposabljanju končnih posluževalcev. Operaterji, ki so prej delali z mehanskim sistemom, pogosto nimajo potrebnega znanja za razumevanje naprednih funkcij robotskega vmesnika, kar lahko vodi do nepravilne uporabe ali napačne interpretacije alarmov. Predlagana rešitev vključuje oblikovanje strukturiranega izobraževalnega modula in vključitev osnovnih navodil neposredno v uporabniški vmesnik, kar bi olajšalo uporabo in zmanjšalo odvisnost od tehnične podpore.

Poleg navedenega se je pokazalo, da robot v trenutni konfiguraciji ni v zaprtem prostoru stroja, ki bi preprečeval uhajanje hlapov hladilne tekočine zunaj delovnega območja. Čeprav trenutni proces preprečuje fizično razlitje in škropljenje hladilnega maziva zunaj stroja, bi takšna

nadgradnja v prihodnosti omogočala še večjo učinkovitost in s pomočjo že obstoječega odsesovalnega sistema popolnoma preprečila uhajanje hlapov v okolje.

Nazadnje velja izpostaviti tudi vprašanje dolgoročnega vzdrževanja. Trenutna rešitev temelji na sodobni tehnologiji, ki pa zahteva specifično servisno znanje in dostop do originalnih nadomestnih delov. Za zagotavljanje stabilnega delovanja skozi celoten življenjski cikel sistema bi bilo smiselno vzpostaviti partnerski servisni dogovor z dobaviteljem robota in opredeliti postopke rednega preventivnega vzdrževanja. Brez rednega vzdrževanja in preventivnih servisnih pregledov je lahko naknadni strošek vzdrževanja visok.

Če povzamemo, avtomatizacija je pomemben korak naprej, vendar mora biti spremljana s strateškim upravljanjem znanja, načrtovanjem nadgradenj in ustrezno tehnično podporo, da se njen potencial popolnoma izkoristi in ohrani tudi v dolgoročnem delovanju.

6.3 Zanesljivost kot temelj avtomatiziranih industrijskih sistemov

Zanesljivost predstavlja eno izmed ključnih meril kakovosti in učinkovitosti vsakega industrijskega sistema. V sodobni proizvodnji, kjer avtomatizacija prevzema vedno večji delež procesov, postaja zanesljivost enakovredna produktivnosti, saj neposredno vpliva na stabilnost, varnost in ekonomsko uspešnost delovanja. Sistem, ki deluje z visoko stopnjo zanesljivosti, omogoča predvidljivo proizvodnjo, manj zastojev in nižje stroške vzdrževanja, kar dolgoročno povečuje konkurenčnost podjetja.

V okviru obravnavanega primera je bila zanesljivost dosežena predvsem z zamenjavo mehanskega sistema z linearnimi pogoni, ki je bil podvržen obrabi in pogostim napakam, z robotsko avtomatizirano rešitvijo. Industrijski robot omogoča natančno in ponovljivo gibanje, kar zmanjšuje možnost napak in zagotavlja stabilno delovanje. Dodatno se zanesljivost izboljšuje z integracijo naprednih varnostnih funkcij in komunikacijskih povezav med strojem in robotom, ki omogočajo nadzor stanja in pravočasno odzivanje na nepravilnosti.

Ključno vlogo pri zagotavljanju zanesljivosti ima tudi uporaba metode FMEA, ki omogoča sistematično prepoznavanje možnih napak, oceno njihovega vpliva in opredelitev preventivnih ukrepov. S tem se zmanjšuje možnost kritičnih odpovedi in povečuje odpornost sistema. Rezultati analize, izvedene v diplomskem delu, potrjujejo, da uporaba FMEA vodi k bistveno

nižjim vrednostim RPN, kar pomeni manjše tveganje za pojav napak in s tem večjo stabilnost delovanja.

Zanesljivost je tesno povezana tudi z varnostjo. Integracija varnostno nadzorovanih funkcij, kot so elektronsko zaklepanje vrat, varnostna stikala in omejitve gibanja, zagotavlja, da sistem deluje v skladu s standardi ISO 12100 in načeli varnega projektiranja. Tak pristop preprečuje nevarne posege v stroj med obratovanjem in hkrati ohranja visoko razpoložljivost opreme.

Z vidika prihodnjega razvoja industrije bo zanesljivost še naprej ostala osrednja vrednota. Napredne tehnologije, kot so prediktivno vzdrževanje, digitalni dvojčki in analitika podatkov, bodo omogočale nenehno spremljanje stanja sistemov in napovedovanje morebitnih napak, še preden pride do izpada. Zanesljivost tako ni le tehnična lastnost, temveč strateški dejavnik, ki povezuje kakovost, varnost in učinkovitost sodobne proizvodnje.

6.4 Trajnostni vidik avtomatizacije in prihodnja usmeritev industrije

Trajnost postaja osrednje vodilo sodobnega industrijskega razvoja in ključni pogoj za dolgoročno konkurenčnost podjetij. V kontekstu avtomatizacije proizvodnje pomeni trajnost predvsem učinkovito rabo virov, zmanjšanje materialnih izgub, podaljšanje življenjske dobe opreme in zmanjšanje vpliva na okolje.

V obravnavanem primeru je trajnostni pristop dosežen s premišljeno zasnovo sistema, ki je temeljila na ponovni uporabi obstoječih komponent, zmanjšanju mehanskih posegov in optimizaciji delovanja. S tem so se znižali stroški, zmanjšala poraba materiala in energije ter zmanjšala količina industrijskih odpadkov.

Če predpostavimo, da je pri vsakem zastoju, ki jih je bilo 44 tedensko, prišlo do 2 kosov izmeta, ki imata skupaj 1,2 kg, je bilo mesečno malo čez 100 kg izmeta. Letno smo 1,2 t jekla prihranili, ta material pa je bilo treba reciklirati in hkrati nadomestiti z na novo kupljenim materialom, kar je pomenilo dodatno porabo virov, energije in logistike. Z zmanjšanjem izmeta se tako neposredno zmanjša potreba po recikliranju odpadnega jekla in nabavi novega materiala, kar ima pomemben trajnostni učinek.

Proizvodnja 1 t jekla iz primarnih surovin v povprečju povzroči približno 1,8 t CO^2, medtem ko recikliranje 1 t jekla povzroči približno 0,4 t CO^2, odvisno od postopka in transporta. Prihranek 1,2 t izmeta tako pomeni, da se letno izognemo tako recikliranju kot ponovni proizvodnji materiala, kar skupno predstavlja zmanjšanje emisij v višini približno 2,2 t CO^2 na leto, s čimer smo recimo razbremenili 100 dreves oziroma 1 hektar gozda.

Avtomatizacija z robotom omogoča natančno gibanje brez sunkovitih pospeškov, kar zmanjša obrabo mehanskih delov in podaljša življenjsko dobo sistema. Menjava takšne avtomatizacije zahteva veliko novih komponent iz zahtevnih materialov.

Eden ključnih elementov trajnosti v industrijskem okolju je tudi energetska učinkovitost. Robotski sistemi omogočajo optimizacijo delovanja, saj delujejo le takrat, ko je to potrebno, s čimer se zmanjšajo nepotrebne porabe energije in emisije. Dodatno se zmanjšuje delež izmeta zaradi visoke ponovljivosti procesov, kar neposredno vpliva na zmanjšanje materialnih izgub.

Trajnost v industriji ni več omejena le na okoljski vidik, temveč vključuje tudi ekonomsko in družbeno dimenzijo. Tehnološko napredne in avtomatizirane rešitve omogočajo boljše delovne pogoje, manjšo izpostavljenost ljudi nevarnim delom in večjo produktivnost brez povečanja obremenitev. Tak pristop podpira načela odgovornega in uravnoteženega razvoja.

Z vidika dolgoročne industrijske strategije trajnost predstavlja tudi most med industrijo 4.0 in prihodnjo industrijo 5.0, kjer bo poudarek na povezovanju človeka in tehnologije v harmoničnem, varnem in okolju prijaznem proizvodnem okolju. Cilj prihodnje industrije ni le povečevanje izkoristka, temveč ustvarjanje inteligentnih sistemov, ki delujejo učinkovito, samostojno in z minimalnim vplivom na naravne vire.

Obravnavani primer tako prikazuje, da je avtomatizacija več kot zgolj tehnološka izboljšava – je korak k bolj odgovorni, zanesljivi in trajnostno usmerjeni industriji, ki gradi temelje konkurenčnosti prihodnosti.

7 SKLEP

V diplomskem delu je predstavljena izvedba avtomatizacije mehanskega procesa z uvedbo industrijskega robota, kjer je bil poudarek na izboljšanju učinkovitosti, zanesljivosti in varnosti proizvodnega postopka. Analiza obstoječega sistema je pokazala, da so bili linearni pogoni pogosto vzrok za zastoje, mehanske poškodbe in zahtevno vzdrževanje. S prenovo sistema, pri kateri je ključni del prevzel industrijski robot, so bili odpravljene ključne pomanjkljivosti ter vzpostavljeni pogoji za stabilno, ponovljivo in prilagodljivo obratovanje.

Ugotovljeno je bilo, da se je povprečni taktni čas procesa bistveno zmanjšal in pretočnost povečala, oboje kot posledica tega, da so se mehanske okvare skoraj popolnoma izničile. Robot omogoča hitro prilagajanje različnim izdelkom zgolj z zamenjavo prijemala ali spremembo programa, kar pomeni višjo proizvodno fleksibilnost v primeru integracije novega tipa obdelovanca. Integracija varnostnih elementov in nadzorne logike je pomembno prispevala k varnejšemu in preprostejšemu delovnemu okolju, kar dodatno potrjuje uspešnost prenove.

Uporaba metode FMEA je omogočila sistematično prepoznavanje možnih napak v sistemu in razvoj ustreznih preventivnih ukrepov. Analiza je služila kot orodje za kvantitativno oceno tveganj in odločitev o ključnih izboljšavah, kar se odraža v večji zanesljivosti procesa.

V okviru raziskovalnega pristopa so bile postavljene štiri hipoteze, ki so bile skozi analizo potrjene. Prva hipoteza o povečanju učinkovitosti za najmanj 15 % je bila presežena, saj so meritve pokazale več kot 25-odstotno izboljšanje. Druga hipoteza, ki je obravnavala zmanjšanje človeškega vpliva in večjo varnost, se je uresničila z odpravo ročnih posegov in uvedbo dodatnih varnostnih mehanizmov. Tretja hipoteza o povračilu investicije v manj kot dveh letih je bila ocenjena kot realna glede na zmanjšane stroške vzdrževanja in povečano pretočnost. Četrta hipoteza je potrdila koristnost uporabe metode FMEA kot pomembnega pristopa k zagotavljanju zanesljivosti.

Na tej podlagi lahko zaključimo, da avtomatizacija ni le nadgradnja posamezne funkcije, temveč celostna sprememba, ki pomembno vpliva na kakovost, varnost, stabilnost in ekonomsko učinkovitost proizvodnega procesa.

Avtomatizacija predstavlja enega ključnih gradnikov sodobne industrijske proizvodnje, saj omogoča neprekinjeno, ponovljivo in zanesljivo izvajanje delovnih postopkov z zmanjšano odvisnostjo od človeškega dejavnika. Z njenim uvajanjem se bistveno izboljšata učinkovitost in kakovost, hkrati pa se ustvarijo pogoji za večjo varnost, trajnost in konkurenčnost v

globalnem okolju. V kontekstu industrije 4.0 avtomatizacija ni več zgolj orodje za nadomeščanje ročnega dela, temveč strateški pristop k celovitemu obvladovanju proizvodnih sistemov.

Obravnavani primer v tem delu jasno kaže, da je premišljena integracija avtomatizacije v obstoječi proces lahko izvedena uspešno tudi v prostorsko in tehnično omejenih pogojih. Z uvedbo industrijskega robota se ni le nadomestila zastarela in neoptimalna mehanska rešitev, temveč se je dvignil tudi celoten nivo obratovanja, nadzora in zanesljivosti. Rešitev ni univerzalna, vendar njena modularnost in prilagodljivost kažeta, da gre za dober primer dobre prakse, ki je lahko vodilo tudi za nadaljnje optimizacije v sorodnih procesih.

Pri tem projektu se je izkazalo, kako pomembno je, da se teoretično znanje, kot so koncepti avtomatizacije, metode analize tveganj (npr. FMEA) in načela sistemskega inženiringa, poveže s praktičnimi izkušnjami in konkretnimi omejitvami na terenu. Prav sodelovanje med različnimi strokovnimi področji in povezovanje teorije s prakso omogočata razvoj rešitev, ki niso le tehnično izvedljive, ampak tudi dolgoročno učinkovite in vzdržne.

Zato lahko zaključimo, da avtomatizacija ni le tehnična nadgradnja, temveč tudi proces strateškega učenja, sodelovanja in nenehnega izboljševanja, ki odpira vrata prihodnjim rešitvam ter krepi vez med znanstvenim razumevanjem in industrijsko realnostjo.

8 VIRI IN LITERATURA

AIAG; VDA. (2019). *FMEA Handbook: Failure Mode and Effects Analysis.*

Control Engineering. (12. 2024). *Control Engineering*. Pridobljeno s https://www.controleng.com/wp-content/uploads/2024/12/GSIR_2411_F_ConceptSystems-Fig1_evriiRobot-Rendering-scaled.jpg

Igus SE & Co. KG. (brez datuma). *IGUS*. Pridobljeno s https://igus.widen.net/content/tg82qnaykt/png/igus_Triflex-TRE100_B_VA_Loop1_CMYK.png

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 12100:2010 – Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.*

IntoTheMinds. (brez datuma). *IntoTheMinds*. Pridobljeno s https://www.intotheminds.com/en/market-research-belgium/market-research-industry

KUKA SE & Co. KGaA. (brez datuma). *KUKA*. Pridobljeno s https://assets.kuka.com/m/353c84e33c973a2f/Marketplace_Image-Rob_KR-AGILUS-KR-C5-micro_Composition.png

Polajner, A. (2013). *Proizvodni management.*