

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**IMPLEMENTACIJA AVTOMATSKE
MONTAŽNE CELICE ZGLOBA MICROS**

Kandidat: Žiga Orlačnik

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

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

Mentor v podjetju: mag. Uroš Kovač

Lektor: Tatjana Koropec, prof. slov jez. in knjiž, prof. ang. jez. in knjiž.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Žiga Orlačnik sem avtor diplomskega dela z naslovom Implementacija avtomatske montažne celice zgloba Micros, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Uroš Kovač in mag. Jože Ravničan, univ. dipl. inž. str.

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.

Slovenska Bistrica, junij 2025

Podpis študenta:

ZAHVALA

Na tem mestu bi se rad iskreno zahvalil vsem, ki so me na kakršen koli način podpirali pri študiju in nastajanju te diplomske naloge.

Najprej se iz srca zahvaljujem svoji partnerki Zali in sinu Svitlu. Njuna potrpežljivost, razumevanje in ljubezen so mi pomenili ogromno. Včasih ni bilo lahko usklajevati študija, dela in družinskega življenja, a z njuno podporo je bilo vse veliko lažje. Hvala, da sta verjela vame in me spodbujala tudi takrat, ko sem sam dvomil.

Hvala tudi mojim staršem, ki so me ves čas nesebično podpirali. Njuna pomoč, pa naj bo to s spodbudno besedo ali praktično pomočjo, je bila ključna pri moji vztrajnosti in uspešnem zaključku študija. Njuna vera vame mi je dajala dodatno motivacijo, da vztrajam do konca.

Zahvaljujem se tudi podjetju GKN, kjer sem imel priložnost združiti teorijo s prakso ter razvijati znanja, ki sem jih pridobil med študijem. Hvala sodelavcem za vse pogovore, izmenjavo izkušenj in pripravljenost pomagati – tako strokovno kot človeško.

Na koncu pa gre posebna zahvala tudi vsem predavateljem na Akademiji za korekten odnos, kvalitetna predavanja in pripravljenost pomagati študentom. Vaš trud in predanost pedagoškemu delu so pustili pomemben pečat na moji študijski poti.

Hvala vsem, ki ste bili del te zgodbe.

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava celovito primerjavo med avtomatsko in ročno montažo zglobov, pri čemer se osredotoča na ključne vidike sodobne proizvodnje: produktivnost, stroškovno učinkovitost, varnost pri delu ter trajnost. S teoretičnim pregledom in praktično analizo v realnem proizvodnem okolju smo ocenili prednosti in slabosti obeh pristopov ter ovrednotili njihovo uporabnost v industriji.

V eksperimentalnem delu smo izvedli merjenja časa izdelave posameznih zglobov, analizirali neposredne in posredne stroške (vključno z energijo, vzdrževanjem in delovno silo) ter proučili tveganja za zdravje in varnost zaposlenih. Posebna pozornost je bila namenjena vplivu avtomatizacije na zmanjšanje fizičnih obremenitev in ponavljajočih se gibov, ki so pogost vzrok poškodb v klasičnih delovnih procesih.

Rezultati jasno potrjujejo, da avtomatska montažna celica zagotavlja višjo ponovljivost, manjši delež izmeta, krajše čase menjav ter večjo stabilnost proizvodnje. Zaradi nižje odvisnosti od človeškega dejavnika so postopki bolj predvidljivi in konsistentni, kar se odraža v boljši kakovosti izdelkov. Poleg tega avtomatizacija omogoča delovanje brez prekinitev, kar dolgoročno prinaša pomembne prihranke. (Groover, 2020)

Z vidika ergonomije in trajnosti se avtomatski sistemi izkažejo kot ugodnejša rešitev, saj zmanjšujejo obremenitve zaposlenih in vplivajo na manjšo porabo energije ter generacijo odpadkov. Naloga se zaključi s smernicami za podjetja, ki razmišljajo o prehodu na avtomatizacijo montaže, ter poudarja širši pomen celostne optimizacije procesov. Avtomatska montaža tako ne predstavlja le tehnološkega napredka, temveč prispeva tudi k izboljšanju pogojev dela in dolgoročni konkurenčnosti podjetja.

Z implementacijo avtomatske montažne celice podjetja ne optimizirajo zgolj neposrednih proizvodnih kazalnikov, temveč vzpostavijo temelje za digitalizacijo in nadgradnjo v skladu s koncepti industrije 4.0. Sledljivost procesov, uporaba senzorike in možnost analize podatkov v realnem času omogočajo natančnejše upravljanje kakovosti in hitrejšo prilagajanje trgu. Avtomatizacija tako postaja strateška naložba, ki presega zgolj zamenjavo človeškega dela in odpira nove možnosti za inovacije, večjo fleksibilnost in dolgoročno rast podjetja.

Ključne besede: avtomatska montažna linija, ročna montažna linija, produktivnost, stroški, varnost, trajnost, primerjava

ABSTRACT

Implementation of an automated assembly cell for a constant velocity joint Micros

The thesis presents a comprehensive comparison between automatic and manual joint assembly, focusing on key aspects of modern manufacturing: productivity, cost-effectiveness, workplace safety, and sustainability. Through a theoretical overview and practical analysis in a real production environment, we evaluated the advantages and disadvantages of both approaches and assessed their applicability in industry.

In the experimental part, we conducted time measurements for the production of individual joints, analysed direct and indirect costs (including energy, maintenance, and labour), and examined health and safety risks for employees. Special attention was given to the impact of automation on reducing physical strain and repetitive movements, which are common causes of injuries in traditional work processes.

The results clearly confirm that the automatic assembly cell ensures higher repeatability, a lower defect rate, shorter changeover times, and greater production stability. Due to reduced dependence on the human factor, processes become more predictable and consistent, which is reflected in better product quality. Additionally, automation enables uninterrupted operation, which leads to significant long-term savings. From the perspective of ergonomics and sustainability, automatic systems prove to be a more favourable solution, as they reduce employee strain and contribute to lower energy consumption and waste generation. The thesis concludes with guidelines for companies considering a transition to automated assembly and emphasizes the broader importance of comprehensive process optimization. Thus, automatic assembly represents not only technological advancement but also contributes to improved working conditions and the long-term competitiveness of the company.

By implementing an automatic assembly cell, companies do not only optimize direct production indicators, but also establish a foundation for digitalization and upgrading in line with Industry 4.0 concepts. Process traceability, sensor integration, and the ability to analyse data in real time enable more precise quality management and faster market adaptation. Automation therefore becomes a strategic investment that goes beyond mere replacement of human labour and opens new possibilities for innovation, greater flexibility, and long-term business growth.

Keywords: *automatic assembly line, manual assembly line, productivity, costs, safety, sustainability, comparison*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	9
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	11
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	12
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	13
2	ANALIZA STANJA	14
2.1	SESTAVA IN POMEN HKZ.....	14
2.2	ANALIZA ROČNE MONTAŽNE CELICE	17
2.2.1	<i>Izdelava kosa na ročni montažni celici:</i>	<i>17</i>
2.2.2	<i>Orodje ročne montažne celice</i>	<i>18</i>
2.2.3	<i>Potek menjave kosa na ročni montažni celici:</i>	<i>21</i>
2.2.4	<i>Napake človeškega faktorja na ročni montažni celici</i>	<i>22</i>
2.2.5	<i>Mehanske in elektro okvare na ročni montažni celici.....</i>	<i>22</i>
2.3	ANALIZA AVTOMATSKE MONTAŽNE CELICE.....	23
2.3.1	<i>Izdelava kosa na avtomatski montažni celici:.....</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>Orodje avtomatske montažne celice</i>	<i>25</i>
2.3.3	<i>Potek menjave kosa na avtomatski montažni celici</i>	<i>28</i>
2.3.4	<i>Napake človeškega faktorja na avtomatski montažni celici.....</i>	<i>29</i>
2.3.5	<i>Mehanske in elektro okvare na avtomatski montažni celici.....</i>	<i>30</i>
2.4	PRIMERJAVA ANALIZE ROČNE IN AVTOMATSKE MONTAŽNE CELICE	31
2.4.1	<i>Postopek izdelave kosa</i>	<i>31</i>
2.4.2	<i>Menjava izdelka.....</i>	<i>31</i>
2.4.3	<i>Orodje ročne in avtomatske celice.....</i>	<i>32</i>
2.5	NAPAKE IN IZMET CELIC.....	32
2.5.1	<i>Mehanske in elektro okvare celic.....</i>	<i>33</i>
3	UČINKOVITOSTI CELIC	34
3.1	ANALIZA UČINKOVITOSTI ROČNE MONTAŽNE CELICE	34
3.2	ANALIZA UČINKOVITOSTI AVTOMATSKE MONTAŽNE CELICE	35
3.3	PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI CELIC	36
4	PREDVIDENI STROŠKI AVTOMATSKE IN ROČNE CELICE	40
4.1	SKUPNI STROŠKI ROČNE CELICE (VARIABILNI, VZDRŽEVANJE...).....	40
4.2	SKUPNI STROŠKI AVTOMATSKE CELICE (VARIABILNI, VZDRŽEVANJE...).....	42

4.3	PRIMERJAVA STROŠKOV ROČNE IN AVTOMATSKE CELICE (VARIABILNI, VZDRŽEVANJE...)	43
5	TRAJNOST CELIC	47
6	SKLEP	51
7	VIRI, LITERATURA	54

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	PRIMER SX ZGLOBA	15
SLIKA 2:	PRIMER POLGREDI Z MONTIRANIM HKZ	15
SLIKA 3:	PRIMER NAMEŠČENE POLGREDI	16
SLIKA 4:	POSTAVITEV ROČNE MONTAŽNE LINIJE HKZ	18
SLIKA 5:	ROČKA ZA MONTIRANJE HKZ	19
SLIKA 6:	UJEM ČEPA	19
SLIKA 7:	SILHUETA ZA PREVERJANJE ZUNANJE OBLIKE HKZ	20
SLIKA 8:	POKAYOKE ZA PREVERJANJE USTREZNE VELIKOSTI KROGLIC	20
SLIKA 9:	POSTAVITEV AVTOMATSKE MONTAŽNE CELICE	24
SLIKA 10:	UJEM ČEPA	26
SLIKA 11:	UJEM KLETKE. VIR: LASTNI VIR	26
SLIKA 12:	NASTAVEK ZA PREVERJANJE VRTILNEGA MOMENTA	27
SLIKA 13:	POKAYOKE ZA PREVERJANJE USTREZNE VELIKOSTI KROGLIC. VIR: LASTNI VIR	27
SLIKA 14:	PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI ROČNE IN AVTOMATSKE MONTAŽNE CELICE	38
SLIKA 15:	PRIMERJAVA AVTOMATSKE IN ROČNE MONTAŽNE CELICE – GRAFIČNO. VIR: LASTNI VIR	38
SLIKA 16:	AVTOMATSKI MONTAŽNI STROJ MICROS. VIR: LASTNI VIR	45
SLIKA 17:	VHODNI MATERIAL STROJA MICROS VIR: LASTNI VIR	45
SLIKA 18:	PRIMER MONTAŽE V STROJU MICROS. VIR: LASTNI VIR	46
SLIKA 19:	DELOVNO MESTO ROČNE MONTAŽNE CELICE. VIR: LASTNI VIR	49
SLIKA 20:	OLJNA KOMORA IN MIZA ZA IZHODNI MATERIAL. VIR: LASTNI VIR	50

KAZALO TABEL

TABELA 1:	SWOT ANALIZA	39
-----------	--------------	----

KAZALO KRATIC

Kratika	Razlaga kratice
GKN	Guest Keen Nettlefold
SX	Countertrack
STA	Slovenska tiskovna agencija
GZS	Gospodarska zbornica Slovenije
ABS	Sistem proti blokiranju koles pri zaviranju (Anti-lock Braking System)
OEE	Skupna učinkovitost naprav
PLC	Programmable logic controller

1 UVOD

Sem Žiga Orlačnik, zaposlen v podjetju GKN Driveline Slovenija, ki ima dolgo in bogato zgodovino na področju slovenske avtomobilske industrije. Podjetje, v katerem opravljam svoje delo, je eden ključnih proizvajalcev homokinetičnih zglobov, tripod in polgredi za avtomobilsko industrijo, s pomembno vlogo na slovenskem in mednarodnem trgu.

Začetki podjetja GKN Driveline Slovenija segajo v leto 1986, ko se je podjetje Unior povežalo s še tremi drugimi podjetji ter ustanovilo obrat za proizvodnjo homokinetičnih zglobov. Obrat je sprva deloval pod imenom Unior-Atras, kar je omogočilo vzpostavitev stabilne proizvodne linije in prve korake v sodelovanju z mednarodnimi partnerji (STA, 2016). Sčasoma se je podjetje zaradi svoje kakovosti izdelkov in zanesljivosti uveljavilo kot pomemben dobavitelj za priznane avtomobilske proizvajalce.

Leta 1996 je podjetje doživelo pomembno prelomnico, saj je angleški avtomobilski velikan GKN Automotive pridobil večinski, 74-odstotni lastniški delež v podjetju. To je prineslo dodatna vlaganja, širitev proizvodnih zmogljivosti ter tehnološko prenovo. Leta 1998 je GKN Automotive postal 100-odstotni lastnik, kar je pomenilo popolno vključitev v globalno skupino GKN. Z željo po enotnosti in prepoznavnosti blagovne znamke znotraj mednarodnega okolja, je bilo podjetje leta 2003 preimenovano v GKN Driveline Slovenija.

Danes je GKN Driveline Slovenija stabilno podjetje, ki posluje v okviru velike mednarodne korporacije GKN, prisotne na 56 lokacijah v 22 državah po vsem svetu. Z jasno strategijo razvoja, inovacij in trajnosti sledi smernicam sodobne proizvodnje ter ves čas vlaga v nove tehnologije, avtomatizacijo in kakovost proizvodnega procesa. (GZS, 2024)

V letu 2023 je podjetje, ki ima sedež v Zrečah in zaposluje približno 380 ljudi, znova doseglo zavidljive rezultate. Čisti prihodki od prodaje so se povečali za sedem odstotkov v primerjavi s predhodnim letom in so znašali 115 milijonov evrov, poslovno leto pa je podjetje zaključilo s čistim dobičkom v višini 210 tisoč evrov. To kaže na stabilno rast, ki temelji na strokovnosti, kakovosti ter uspešnem prilagajanju trgu.

Kot zaposlen v podjetju GKN Driveline Slovenija sem imel priložnost aktivno sodelovati pri procesu prehoda iz ročne montaže zglobov na avtomatsko. Prav ta osebna izkušnja in neposredna vključenost v delovne procese me je spodbudila k raziskavi, ki je predstavljena v tej diplomski nalogi. V njej se bom posvetil temeljiti primerjavi produktivnosti, stroškov, varnosti ter trajnosti avtomatskega montažnega stroja v primerjavi z ročno izvedbo montaže.

Glavni cilj diplomskega dela je podati konkretne smernice in praktične rešitve za proizvodna podjetja, ki uporabljajo podobne tehnologije za montažo zglobov. S pomočjo primerjalne analize želim dokazati, da je avtomatizacija proizvodnje smiselna investicija, ki prispeva k večji produktivnosti, zmanjševanju stroškov in predvsem izboljšanju varnosti pri delu. (ISO, 2018)

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V tem diplomskem delu se osredotočam na področje avtomatizacije proizvodnih procesov, natančneje na primerjavo avtomatske montažne celice z ročno montažo pri izdelavi homokinetičnih zglobov. Zaradi vedno večjih zahtev po optimizaciji proizvodnih procesov, zmanjševanju stroškov ter povečanju produktivnosti je avtomatizacija proizvodnje postala ključen dejavnik konkurenčnosti sodobnih proizvodnih podjetij.

V podjetju GKN Driveline Slovenija, kjer sem zaposlen, trenutno poteka implementacija avtomatske montažne celice, kar vključuje predvsem montažo nove generacije homokinetičnih zglobov velikosti SX (Countertrack). Ta prehod prinaša številne izzive, hkrati pa tudi velike priložnosti za optimizacijo proizvodnih procesov.

Problem, ki ga želim raziskati, je temeljita primerjava med avtomatsko in ročno montažo zglobov s poudarkom na analizi stroškov proizvodnje, produktivnosti ter varnosti zaposlenih. Iz predhodnih opažanj in praktičnih izkušenj v proizvodnji je namreč razvidno, da ročna montažna celica prinaša določene slabosti, kot so visoki stroški delovne sile, povečano tveganje za poškodbe zaposlenih zaradi ponavljajočih se gibov, omejena hitrost proizvodnje in posledično tudi manjša konkurenčnost podjetja na globalnem trgu.

Po drugi strani avtomatska montaža omogoča občutno zmanjšanje omenjenih tveganj in stroškov. Pričakovati je, da avtomatizacija proizvodnih procesov prispeva k zmanjšanju stroškov na enoto izdelka, bistveno višji produktivnosti ter izboljšani kakovosti končnega izdelka. Poleg tega avtomatizacija pozitivno vpliva tudi na delovne pogoje zaposlenih, saj zmanjšuje fizične obremenitve in tveganja za poškodbe pri delu.

Reševanje tega problema je pomembno predvsem zaradi neposredne povezave s konkurenčnostjo podjetja. Učinkovita uvedba avtomatizacije bi omogočila optimizacijo proizvodnih procesov, nižje stroške delovne sile, povečano produktivnost, izboljšano kakovost izdelkov ter boljše in varnejše delovno okolje za zaposlene. Vse to pa posledično omogoča podjetju boljše možnosti konkurenčnega nastopanja in dolgoročnega razvoja na zahtevnem trgu avtomobilske industrije. Iz vseh navedenih razlogov je raziskovanje in primerjava avtomatske

montaže z ročno izredno aktualno in pomembno področje, ki bo podjetju v prihodnosti pomagalo sprejemati optimalne poslovne in tehnološke odločitve.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je raziskati, preučiti in primerjati učinkovitost avtomatskega montažnega stroja z ročno montažo homokinetičnih zglobov. Posebno pozornost bom namenil primerjavi produktivnosti, stroškov izdelave, varnosti pri delu in trajnosti proizvodnega procesa obeh načinov montaže

Cilj diplomskega dela je celovita primerjava avtomatskega montažnega procesa z ročnim načinom montaže, pri čemer želim identificirati in analizirati prednosti avtomatizacije. Osrednji namen je predstaviti praktične rešitve in oblikovati jasne smernice za proizvodna podjetja, ki že uporabljajo ali nameravajo uvesti avtomatske montažne celice. Poseben poudarek bo tudi na dokazovanju, da avtomatizacija proizvodnega procesa prinaša bistveno izboljšanje varnosti delovnega okolja.

Hipoteze oziroma trditve diplomskega dela, ki jih bom preverjal v okviru raziskave, so naslednje:

- H1: Avtomatska montažna celica bo izboljšala produktivnost proizvodnje.
- H2: Avtomatska montažna celica bo bolj varna za delo kot ročna montažna celica.
- H3: Avtomatska montažna celica bo zmanjšala stroške izdelave kosa.
- H4: Avtomatska montažna celica bo prispevala k ponovljivosti izdelave kosov, kar bo prineslo manj izmetnih kosov in zmanjšano porabo materiala.

Preverjanje teh hipotez bo omogočilo natančne zaključke vpliva avtomatizacije ter podjetjem ponudilo uporabne informacije za sprejemanje odločitev v smeri trajnostne, varne in konkurenčne proizvodnje.

1.3 Predpostavke in omejitve

Tri glavne predpostavke:

- Predpostavlja se, da bodo uporabljeni podatki, pridobljeni iz proizvodnega procesa v podjetju GKN Driveline Slovenija, natančni in relevantni za primerjavo obeh načinov montaže.
- Domneva se, da bodo merilni instrumenti za ocenjevanje produktivnosti, varnosti, stroškov in kakovosti ustrezno kalibrirani in zanesljivi.
- Predpostavlja se, da se bosta ročni in avtomatski način montaže izvajala v primerljivih proizvodnih pogojih, kar bo omogočalo smiselno primerjavo rezultatov.

Omejitve vidim predvsem pri:

- Dostop do nekaterih specifičnih podatkov je lahko omejen zaradi poslovnih skrivnosti podjetja, kar lahko vpliva na globino analize.
- Razpoložljivost literature s področja avtomatizacije specifično za homokinetične zglebe velikosti SX je lahko omejena, kar lahko oteži celovito teoretično obravnavo.
- Pri zbiranju analiznih podatkov lahko pride do nepripravljenosti posameznih zaposlenih za sodelovanje ali delitev informacij, kar bi lahko omejilo celovitost rezultatov.
- Podatki za raziskavo bodo na voljo le za omejeno časovno obdobje, kar lahko omeji posplošitev ugotovitev.
- Zaradi kompleksnosti in obsežnosti raziskave se bo analiza osredotočila le na določeno število proizvodnih procesov in izdelkov, kar lahko vpliva na splošnost rezultatov.

Te omejitve in predpostavke bodo jasno navedene v diplomskem delu ter upoštevane pri interpretaciji rezultatov raziskave.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Za raziskovanje in primerjavo avtomatske in ročne montaže homokinetičnih zglobov sem izbral kvantitativni pristop. Kvantitativni pristop je še posebej primeren za raziskave v tehničnih in inženirskih disciplinah, kjer sta natančnost in objektivnost bistvenega pomena, prav tako pa omogoča učinkovito obdelavo in analizo večjih količin podatkov.

V raziskavi bom uporabil naslednje raziskovalne metode:

- Merjenje in analiza časov izdelave – s pomočjo meritev časov montažnih procesov bom primerjal produktivnost avtomatske in ročne montaže ter ovrednotil časovne prihranke, ki jih prinaša avtomatizacija.
- Analiza stroškov proizvodnje – zbiral bom podatke o neposrednih in posrednih stroških pri obeh načinih montaže, pri čemer bom pozornost namenil stroškom dela, vzdrževanja in energije, s čimer bom ocenil stroškovno učinkovitost avtomatske montažne celice.
- Analiza varnosti pri delu – z uporabo statističnih podatkov o poškodbah, ergonomskih ocen in poročil o tveganjih bom primerjal raven varnosti zaposlenih pri avtomatski in ročni montaži ter tako dokazal prednosti avtomatizacije glede varnosti.
- Analiza kakovosti in ponovljivosti izdelave – s pomočjo statističnih analiz bom ugotavljal vpliv avtomatizacije na zmanjšanje izmeta in porabe materiala ter na povečanje ponovljivosti in stabilnosti proizvodnega procesa.

2 ANALIZA STANJA

2.1 Sestava in pomen HKZ

Homokinetični zglob (HKZ) je ključni sestavni element pogonskega sklopa sodobnih vozil, ki omogoča učinkovit prenos vrtilnega momenta in vrtenja z ene osi na drugo, ob tem pa zagotavlja enake kotne hitrosti pogonskih gredi. Zaradi svoje konstrukcije in načina delovanja je nepogrešljiv predvsem v pogonih prednjih koles, kjer omogoča prenos moči tudi v primerih, ko prihaja do spremembe kota med pogonsko gredjo in kolesom. Zaradi tega lahko vozilo nemoteno zavija, obenem pa se zagotavlja enakomeren prenos energije brez vibracij ali sunkov.

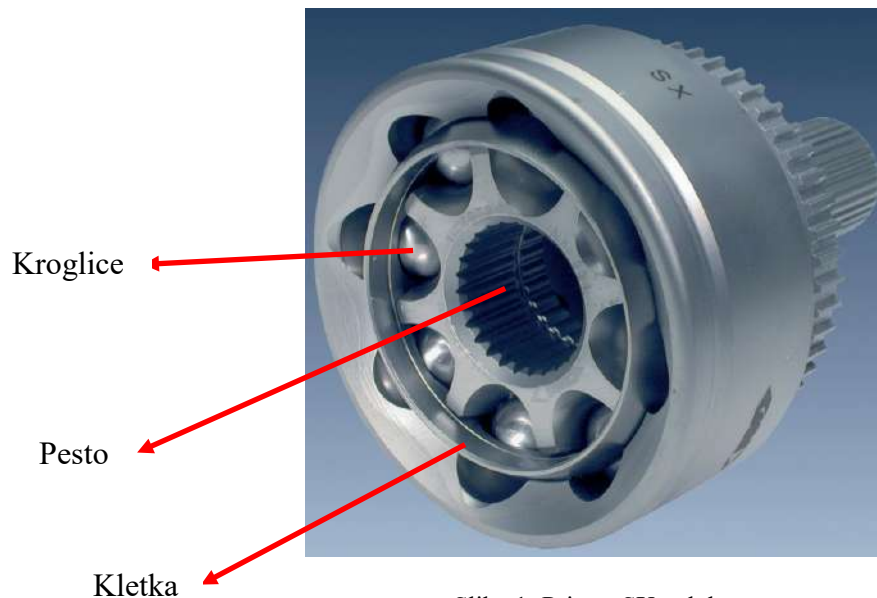
Homokinetični zglob je sestavljen iz treh osnovnih komponent: notranjega pesta, kroglic ter kletke. V notranjem pestu se nahajajo posebej oblikovani kanali ali utori, v katerih tečejo kroglice. Kroglice, ki so običajno izdelane iz visokokakovostnega legiranega jekla, zagotavljajo gibljivo povezavo med notranjim pestom in zunanjim delom zgloba. Vloga kroglic je, da omogočajo nemoten, enakomeren prenos sile in navora med posameznimi elementi zgloba, s čimer zagotavljajo stalno hitrost vrtenja, ne glede na kot med pogonskima gredema.

Tretji ključen element HKZ je kletka, ki ima pomembno vlogo pri ohranjanju pravilne razporeditve kroglic v utorih notranjega pesta. Kletka omogoča, da kroglice ostanejo vedno enakomerno razporejene okoli pesta, preprečuje njihovo medsebojno dotikanje in zagotavlja njihovo stabilno gibanje v utorih. Natančna konstrukcija kletke tako bistveno prispeva k zanesljivosti in trajnosti celotnega zgloba.

Posebnost zgloba imenovanega SX je, da omogoča prenos večjega navora in zagotavlja delovanje pri večjih kotih med osmi gredi v primerjavi s klasičnimi homokinetičnimi zglobi. To prinaša številne prednosti, kot so boljša zmogljivost vozila, večja odpornost proti mehanskim obremenitvam ter boljša prilagodljivost zahtevam sodobne avtomobilske industrije. Hkrati takšna konstrukcija omogoča kompaktnejšo in lažjo izvedbo, kar dodatno prispeva k izboljšanju učinkovitosti, zmanjšanju stroškov proizvodnje in povečanju trajnosti izdelka. (GKN Automotive, 2022)

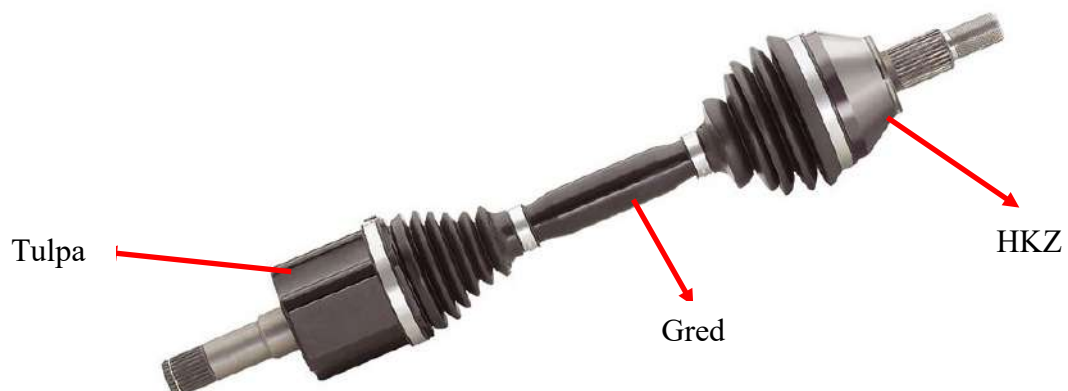
Poleg osnovnih sestavnih delov je homokinetični zglob v praksi pogosto opremljen tudi z različnimi funkcionalnimi dodatki, ki zagotavljajo zanesljivo in dolgotrajno delovanje. Eden od teh je protiprašni obroč, kovinski element, ki služi kot mehanska zaščita pred vdorom prahu, umazanije in delcev iz okolja ter dopolnjuje funkcijo tesnjenja. V notranjosti zgloba se nahaja posebna mast, ki zmanjšuje trenje med gibljivimi deli in omogoča nemoteno premikanje

kroglic, s čimer se bistveno podaljša življenjska doba zgloba. Včasih je na zglob nameščen tudi ABS obroč – zobati kovinski obroč, ki omogoča zaznavanje hitrosti vrtenja koles in sodeluje s senzorji protiblokirnega sistema (ABS). Ti dodatki so ključni za celovito funkcionalnost in varnost vozila, saj poleg mehanske zmogljivosti zagotavljajo tudi povezljivost z drugimi sistemi v vozilu ter boljšo zaščito komponent.



Slika 1: Primer SX zgloba.

Vir: (GKN Automotive, 2017)



Slika 2: Primer polgredi z montiranim HKZ.

Vir: (GKN Automotive, 2024)

Polgred pride nato nameščena med menjalnikom in kolesom kjer prenaša vrtilni moment iz menjalnika oziroma diferenciala na kolesa vozila. Na eni strani je povezana z izhodom iz menjalnika ali diferenciala, na drugi strani pa z ležajem kolesa oziroma pestom.



Slika 3: Primer nameščene polgredi.

Vir: Lastni vir

2.2 *Analiza ročne montažne celice*

2.2.1 Izdelava kosa na ročni montažni celici:

Ročna montažna celica je primer tradicionalnega pristopa k montaži homokinetičnih zglobov, pri katerem ima delavec ključno vlogo pri skoraj vseh korakih procesa. Delovno mesto je ergonomsko organizirano tako, da omogoča dostop do vseh potrebnih komponent in pripomočkov brez večjih nepotrebnih gibov, s čimer se zmanjšuje utrujenost in povečuje učinkovitost operaterja.

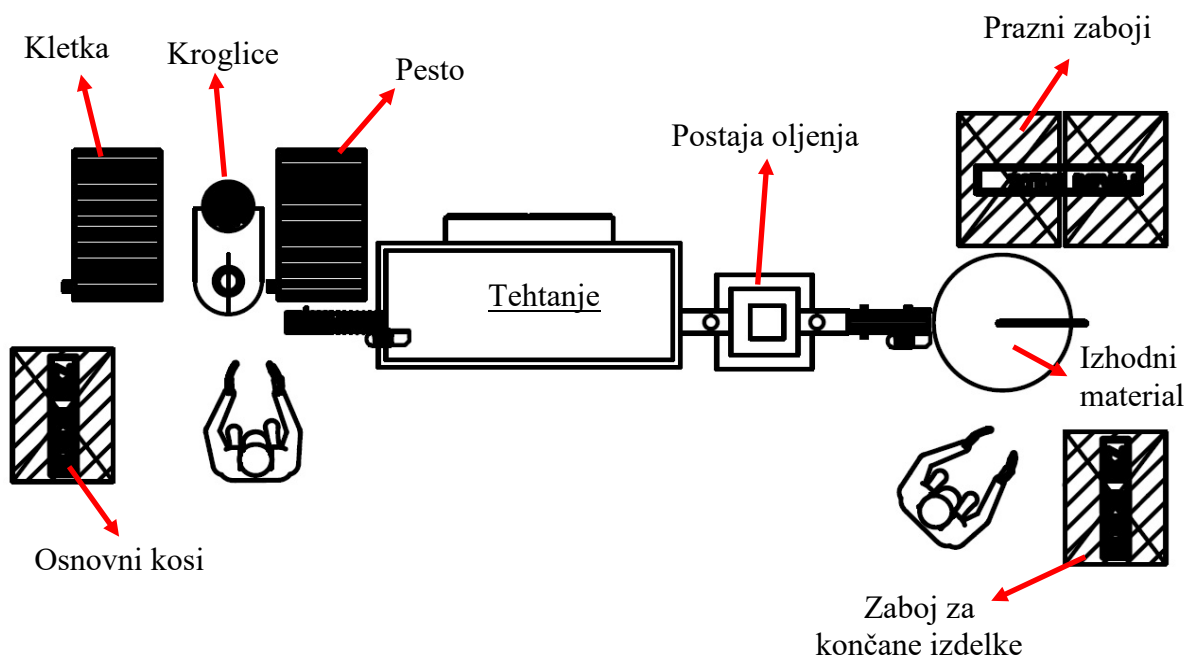
Delovni prostor je razdeljen na več funkcionalnih con. Na levi strani delavca, pod kotom približno 90°, so nameščeni osnovni deli za montažo, ki jih delavec uporablja v začetni fazi montaže. Neposredno levo naprej od njegovega položaja se nahaja drsna miza s kletkami, ki jih delavec ročno vzame in pripravi za sestavo. Na desni strani so na drsni mizi pesta, prav tako pripravljena za vstavljanje. Naravnost pred delavcem pa se nahaja zalogovnik kroglic, ki jih stroj avtomatsko dozira v točno določeni količini. Kljub temu, da je doziranje avtomatizirano, mora delavec še vedno ročno vstavljati pesto, kletko in kroglice v sestavljeni kos, in to v pravilnem zaporedju.

Proces montaže se začne z vstavitvijo osnovnega kosa v ustrezen ležiščni del. Delavec nato vstavi kletko in pesto, pri čemer mora biti pozoren na natančnost ujemanja posameznih komponent. Sledi vstavljanje osmih kroglic, ki jih delavec previdno in natančno vstavi v ležišča. Ta korak zahteva visoko mero koncentracije, saj manko kroglic lahko povzroči mehanske težave ali izmet izdelka v kasnejših fazah kontrole.

Ko je sestava dokončana, delavec še ročno v smeri urinega kazalca in pod maksimalnim kotom 45° izmeri vrtilni moment s posebno ročko, s katero tudi sestavlja skupaj kroglice, pesto in kletko. Kos nato preda stroju, ki izvede avtomatsko tehtanje, s katerim se preveri pravilnost montaže in celovita sestava. Pred tehtanjem pa se izvede tudi kontrola oblike HKZ na način fizične silhuete. Po tehtanju stroj nanese proti korozijsko sredstvo na površino kosa, kar je ključno za zaščito izdelka med transportom in uporabo. Ta avtomatizirani del postopka zagotavlja določeno stopnjo ponovljivosti in standardizirane kakovosti zaščitnega premaza.

V zadnjem koraku procesa delavec ročno odloži sestavljene in obdelane kose v plastične zabojе. Tudi ta korak zahteva skrbnost, saj mora delavec poskrbeti, da so kosi pravilno zloženi in v zadostni količini ter zaščiteni pred morebitnimi poškodbami.

Čeprav je delovno mesto zasnovano racionalno, ročna montaža vključuje več ergonomskih in organizacijskih izzivov. Delo zahteva ponavljajoče se gibe, kar lahko vodi do utrujenosti in obremenitev telesa. Poleg tega je proces občutljiv na človeške napake, saj je natančnost v veliki meri odvisna od koncentracije in spretnosti posameznega delavca. Produktivnost je omejena s fizičnimi zmognostmi operaterja, kar pomeni, da je prostor za izboljšave predvsem na področju avtomatizacije. (European Agency for Safety and Health at Work, 2020), (Institute for Occupational Safety and Health, 2020)



Slika 4: Postavitev ročne montažne linije HKZ.

Vir: Lastni vir

2.2.2 Orodje ročne montažne celice

Pri ročni montažni celici je za zagotavljanje pravilne in varne izvedbe postopka potrebna uporaba namenskega orodja, ki delavcu omogoča natančno sestavo posameznih komponent homokinetičnega zgloba. Eden ključnih pripomočkov je PokaYoke sistem za preverjanje pravilnosti velikosti kroglic. Sistem deluje kot mehanska ali senzorska blokada, ki preprečuje uporabo napačne velikosti kroglic in tako zagotavlja, da se v montažni proces vključijo samo ustrezne komponente. Na ta način se že vnaprej izloči možnost neujemanja ali poškodb končnega izdelka. Za pravilno pozicioniranje osnovnega kosa v montažni pripravi se uporablja ujem čepa. Ta zagotavlja, da se osnovni del zgloba vpenja točno v pravilnem položaju, kar je ključno za nadaljnjo sestavo. Ročka za montažo kosov je prilagojeno orodje, s

katerim delavec fizično vstavi posamezne komponente; pesto, kletko in kroglice – v sestavljeno enoto. Zaradi ergonomске oblike omogoča stabilen prijem in natančen potisk komponent na svoje mesto, kar zmanjša možnost poškodb ter izboljša ponovljivost postopka. Pomemben element orodnega sklopa je tudi silhueta. Gre za vodilno ploščo, ki preveri zunanjo obliko homokinetičnega zgloba.

Vsa navedena orodja so ključna za zagotavljanje kakovostne, ponovljive in varne ročne montaže. Pravilna uporaba teh pripomočkov bistveno prispeva k zmanjševanju napak in izboljšanju ergonomije delovnega mesta.



Slika 5: Ročka za montiranje HKZ.

Vir: Lastni vir



Slika 6: Ujem čepa.

Vir: Lastni vir



Slika 7: Silhueta za preverjanje zunanje oblike HKZ.

Vir: Lastni vir



Slika 8: PokaYoke za preverjanje ustrezne velikosti kroglic.

Vir: Lastni vir

2.2.3 Potek menjave kosa na ročni montažni celici:

Postopek menjave izdelka v ročni montažni celici zahteva visoko stopnjo pozornosti, natančnosti in fizične angažiranosti delavca. Preden se menjava lahko začne, se mora delavec najprej prepričati, da je celotna celica popolnoma izpraznjena in da v stroju ni več nobenih prejšnjih kosov. V ta namen je na nadzornem zaslonu celice na voljo namenski gumb "zadnji kos", ki omogoča pravilno zaključno zaporedje zadnje montaže. Če delavec pozabi pritisniti ta gumb, obstaja možnost, da se izdelek pomeša z novim, kar lahko povzroči napake v proizvodnji in kasnejši izmet. Sama menjava na ročni celici traja v povprečju 30 minut.

Po potrditvi, da je celica prazna, sledi fizična menjava vseh komponent. Delavec mora najprej odstraniti osnovne kose, kletke, pesta in kroglice, ki so bili pripravljeni za predhodni izdelek. Te komponente mora ročno odpeljati na označena skladiščna mesta oziroma "supermarkete" v proizvodni hali, kjer se posamezni materiali ustrezno shranjujejo.

Nato delavec iz istih skladiščnih mest pripelje vse potrebne nove komponente za naslednji izdelek. To vključuje nove osnovne kose, pripadajoče kletke, pesta in ustrezno velikost kroglic. Vse mora biti skrbno preverjeno, saj napačna komponenta lahko povzroči mehanske napake ali motnje v sestavi ter visok riziko reklamacije s strani kupca.

Poleg fizične menjave komponent je treba ročno zamenjati tudi druge podporne in kontrolne elemente. Delavec mora zamenjati PokaYoke sistem za kroglice, ki zagotavlja pravilno velikost vstavljenih kroglic. Prav tako mora vmesnik posodobiti z ustreznim programom za nov izdelek, vključiti pravilne slikovne plane in načrte za vizualni nadzor kakovosti.

Pri orodjih je potrebna menjava mehanskih nastavitev in pripomočkov. To vključuje zamenjavo ujema čepa, ročke za montažo pesta, kletke in kroglic, ter silhueto, ki ugotavlja pravilno obliko HKZ po montaži.

Celoten postopek menjave je ročen in odvisen od usposobljenosti in doslednosti delavca. Zaradi ročnega pristopa lahko pride do napak, če kateri izmed korakov ni pravilno izveden, zato je postopek zamuden in predstavlja izziv z vidika učinkovitosti in ponovljivosti.

Po končani menjavi sledi pregled celotne linije in prvega izdelanega kosa s strani vodje ekipe. Namen tega pregleda je preveriti pravilnost nastavitve, menjave komponent ter skladnost izdelka z vsemi tehničnimi zahtevami. Prvi kos iz stroja se dodatno stehta tudi na neodvisni tehtnici, kar omogoča primerjavo z vrednostmi vgrajenega sistema in dodatno potrjuje točnost montažnega procesa.

2.2.4 Napake človeškega faktorja na ročni montažni celici

Pri ročni montažni celici se napake najpogosteje pojavljajo kot posledica človeškega faktorja. Ker velik del montažnega postopka temelji na ročnem delu, so natančnost, pozornost in izkušnost delavca ključni dejavniki za zagotavljanje kakovosti končnega izdelka. Napake se lahko pojavijo pri napačni vstavitvi komponent, pomanjkljivi sestavi ali neustreznemu uporabi orodij. Tovrstne napake lahko vodijo do mehanskih poškodb izdelka, funkcionalnih pomanjkljivosti ali celo do izmeta celotnega kosa.

Da bi se zmanjšalo tveganje za napake in s tem povezana možnost reklamacij s strani strank, so vse izmetne cone znotraj montažne celice dodatno zaščitene s ključavnico. S tem se zagotovi sledljivost izmeta in prepreči morebitna napačna manipulacija z neustreznimi izdelki. Ključavnice omogočajo nadzor nad dostopom do izmetnih mest in omogočajo, da je vsak kos, ki ne ustreza merilom kakovosti, ustrezno zabeležen in obravnavan.

Poleg tehničnih varoval ima pomembno vlogo tudi organizacijski nadzor. Vsak izdelek, ki je označen kot izmet, dodatno preveri vodja ekipe v določeni izmeni. S tem dodatnim kontrolnim korakom se zagotovi, da noben neustrezen izdelek ne zapusti delovnega območja in ne pride v nadaljnje faze proizvodnje ali v pakiranje. Ta postopek dodatnega pregleda bistveno zmanjšuje možnost reklamacij, saj omogoča takojšnje ukrepanje v primeru ugotovljenih napak.

Kljub implementiranim kontrolam in postopkom pa je ročna montažna celica še vedno izpostavljena tveganjem, ki so značilna za delovno okolje, kjer je človek ključni operater.

2.2.5 Mehanske in elektro okvare na ročni montažni celici

V procesu delovanja ročne montažne celice se pogosto pojavljajo tehnične napake, ki vplivajo na razpoložljivost in zanesljivost proizvodnje. Te napake so tako mehanske kot elektro-tehnične narave in zahtevajo posege, ki povzročajo zastoje v delovnem procesu.

Ena najpogostejših težav je potreba po redni kalibraciji tehtnice. Tehtnica se uporablja za preverjanje mase sestavljenih kosov, pri čemer lahko nepravilnosti v kalibraciji povzročijo napačne odčitke in posledično zavrnitev sicer ustreznih kosov, lahko pa tudi zazna slab kos kot dober. Kalibracija mora biti izvedena ročno, kar pomeni ustavitev dela.

Podobno pomembna je kalibracija merilca momenta, ki nadzoruje ustrezno silo pri določenem kotu sestave. Če je merilec nepravilno umerjen, obstaja nevarnost, da bo sestava tehnično neustrezna, kar poveča verjetnost reklamacij.

Pogosto prihaja tudi do težav zaradi zamašitve šob za nanos protikorozijskega sredstva. Zaradi oljnih ostankov, prahu ali drugih delcev se šobe zamašijo, kar onemogoča enakomeren nanos zaščitnega sredstva. Čiščenje šob je nujno, vendar zahteva zaustavitev stroja in dodatni čas.

Pojavlja se tudi napaka »lom zatiča«. Zatič ima ključno funkcijo pri pozicioniranju kosa med montažo, zato njegov lom popolnoma onemogoči nadaljnje delo, dokler ni zamenjan. Ta vrsta napake se običajno pojavi enkrat tedensko.

Povprečno trajanje vseh teh napak znaša približno 1,14 ure na teden. Kljub temu, da se morda zdi ta številka majhna, ima zelo pomemben vpliv na razpoložljivost opreme in splošno učinkovitost proizvodnega procesa.

2.3 Analiza avtomatske montažne celice

2.3.1 Izdelava kosa na avtomatski montažni celici:

Avtomatska montažna celica je zasnovana z namenom doseganja visoke stopnje učinkovitosti, natančnosti in ponovljivosti v procesu sestave homokinetičnih zglobov SX. Celica je zasnovana tako, da za svoje delovanje potrebuje zgolj enega operaterja, ki skrbi za ročno nalaganje vhodnih komponent ter končno zlaganje gotovih kosov. Sam postopek montaže poteka popolnoma avtomatizirano.

Delavec na začetku procesa na vhodni del tekočega traku naloži osnovne kose, kletke in pesto. Te komponente se nato pomikajo proti robotom v delu montažne celice. Najprej robot pobere kletko in pesto ter ju odloži v namensko orodje, kjer se sproti preverja pravilna pozicija obeh komponent. Le če sta kletka in pesto pravilno pozicionirana, se nadaljuje z montažo. Ta kontrolni korak je ključen za zagotavljanje natančnosti in odpravljanje napak v zgodnji fazi procesa.

Ko so kletka in pesto potrjeno pravilno pozicionirani, jih prvi robot sestavi skupaj v enoto. Istočasno drugi robot prevzame pregled osnovnega kosa. Z uporabo napredne kamere in algoritmov strojnega vida preveri obliko kosa. Sistem s pomočjo slikovne analize zaznava

morebitne deformacije ali nepravilnosti v geometriji kosa. Samo pravilnost ozobja pa preveri s kalibrom. Če kos ni ustrezen, se avtomatsko izloči in ne nadaljuje v naslednjo fazo montaže.

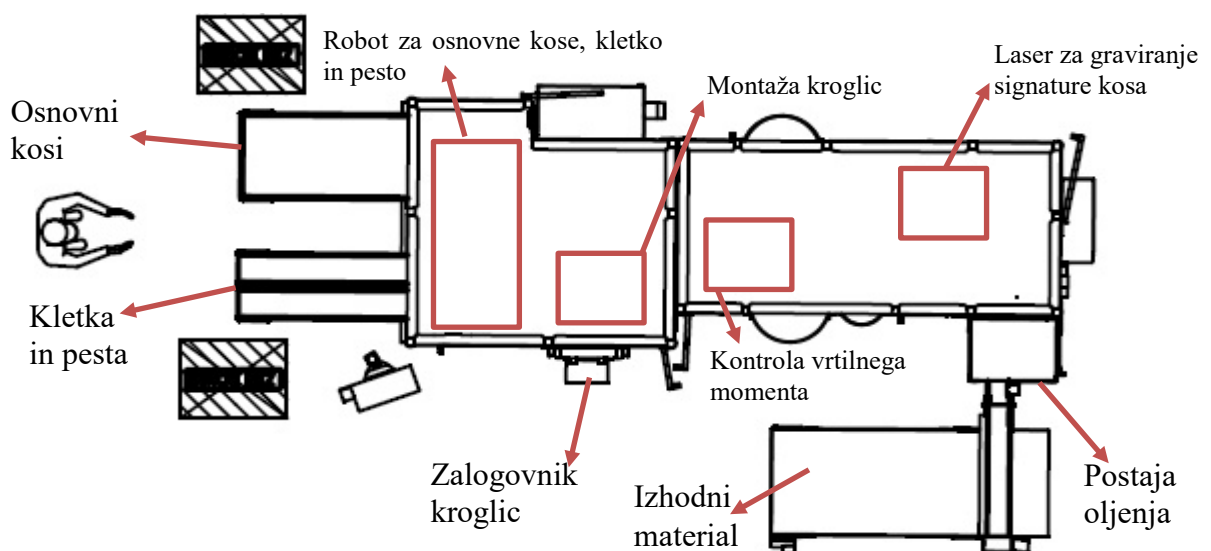
V naslednjem koraku robot vstavi sestavljeno enoto kletke in pesta v osnovni kos.

Sledi faza doziranja kroglic. Kroglice se v osnovni kos vstavljajo avtomatsko in z visoko natančnostjo. S tem se odpravi tveganje za napake, ki so bile sicer pogoste pri ročnem vstavljanju. Pravilna velikost kroglic se preveri po istem mehanskem postopku kot pri ročni montaži – PokaYoke.

Po tem koraku stroj preveri, ali je bilo vstavljenih točno osem kroglic. To se preverja z uporabo industrijske kamere, ki zazna manjkajoče kroglice in v tem primeru kos izloči kot izmet. Poleg tega se preveri tudi vrtilni moment zgloba. Če je moment znotraj dovoljenih mej, gre kos naprej, v nasprotnem primeru sistem kos avtomatsko odstrani iz procesa.

Na koncu procesa avtomatiziran sistem z laserjem označi vsak uspešno sestavljen kos s signaturo. Ta označba zagotavlja sledljivost in potrjuje uspešno izvedeno montažo. Sestavljeni kos nato preko traku potuje do izhodnega dela celice.

Na izhodu ponovno nastopi vloga operaterja, ki ročno zлага sestavljene in potrjene kose v plastične zaboje. Kljub temu, da je na izhodu prisotno ročno delo, avtomatska celica v celoti prevzame ključne in najbolj občutljive faze procesa, kar bistveno izboljšuje kakovost, zmanjša možnost napak in poveča skupno produktivnost.



Slika 9: Postavitev avtomatske montažne celice.

Vir: Lastni vir

2.3.2 Orodje avtomatske montažne celice

V avtomatski montažni celici se namesto človeškega operaterja za sestavo komponent uporablja robotski sistem, ki zahteva natančno konfiguracijo orodij in nastavitev, da zagotavlja pravilno in ponovljivo montažo homokinetičnih zglobov SX. Za uspešno delovanje avtomatske celice je ključnega pomena, da so vsi elementi ustrezno prilagojeni glede na tip izdelka, ki se proizvaja.

Eden od osnovnih pogojev za pravilno sestavo je pravilni ujem čepa, ki zagotavlja natančno pozicioniranje osnovnega kosa v orodju. Če čep ni ustrezne oblike ali dimenzije, robot ne more pravilno vstaviti sestavnih delov, kar vodi do napak v sestavi ali zaustavitve procesa.

Poleg tega je pomemben tudi pravilni ujem kletke, saj mora biti vpenjalno orodje prilagojeno specifični geometriji kletke. Le s pravilno podporo in usmerjanjem kletke lahko robot izvede natančno sestavo s pestom ter nadaljnjo montažo v osnovni kos.

Orodja za pesto tukaj ni, saj robot sproti vstavlja pesto v isto orodje kot kletko.

Naslednji element je pravilni nastavek za merjenje momenta. Robotski sistem po montaži preveri vrtilni moment sestavljenega zgloba in mora imeti za to nameščen ustrezen merilni nastavek. Napačen nastavek pomeni nepravilne meritve in posledično napačne odločitve glede kakovosti izdelka.

Pomembna nastavek je tudi pravilno izbrani program kamere, ki skrbi za vizualno kontrolo oblik, ozobj in števila kroglic. Vsak izdelek ima lahko drugačne zahteve glede kontrole, zato mora biti ob menjavi izdelka pravilno naložen ustrezen programski profil, ki določa merilne parametre in mejne vrednosti.

Za končno sestavo je pomembna tudi pravilna velikost kroglic, ki jo celica preverja z uporabo PokaYoke sistema. Ta sistem s pomočjo mehanske kontrole preprečuje uporabo napačne velikosti kroglic in s tem zagotavlja mehansko ustreznost zglobov. Napačne kroglice bi povzročile funkcionalno neskladje in povečale tveganje za izmet ali v najslabšem primeru reklamacijo.

Vse zgoraj navedene komponente in nastavitve so ključnega pomena za stabilno, varno in kakovostno delovanje avtomatske montažne celice. Pravilno izbrano in nastavljeno orodje omogoča visoko stopnjo avtomatizacije brez posredovanja človeka v kritičnih fazah sestave, kar bistveno povečuje ponovljivost in zmanjšuje možnost napak.



Slika 10: Ujem čepa.

Vir: Lastni vir



Slika 11: Ujem kletke.

Vir: Lastni vir



Slika 12: Nastavek za preverjanje vrtilnega momenta.

Vir: Lastni vir



Slika 13: PokaYoke za preverjanje ustrezne velikosti kroglic.

Vir: Lastni vir

2.3.3 Potek menjave kosa na avtomatski montažni celici

Menjava izdelka na avtomatski montažni celici je ključen proces, ki zagotavlja pravilno prilagoditev sistema za sestavo različnih tipov homokinetičnih zglobov. Celoten postopek menjave je standardiziran in strukturiran tako, da omogoča čim manjši izpad proizvodnje, ob hkratni zagotovitvi kakovosti in varnosti izdelkov. Povprečen čas menjave izdelka na avtomatski montažni celici znaša približno 20 minut.

Prvi korak menjave vključuje praznjenje stroja. Operater na upravljalni enoti aktivira namenski gumb "izpraznitev stroja", s čimer sproži avtomatski postopek, v katerem sistem dokonča trenutno fazo obdelave, in poskrbi, da v notranjosti stroja ne ostane noben kos prejšnjega izdelka. Ta korak je ključen za preprečevanje pomešanja komponent med posameznimi serijami.

Ko je stroj izprazen, mora delavec ročno zamenjati vse vhodne komponente. To vključuje menjavo pesta, kletke, osnovnih kosov ter kroglic. Postopek menjave kroglic je nekoliko poenostavljen, saj ima vsaka velikost kroglic svoj zalogovnik na kolesih. Operater ob menjavi enostavno zamenja zalogovnik in ga priključi na ustrezno pozicijo na stroju. Trenutne komponente, ki so še ostale v zalogovnikih, delavec odpelje v ustrezen "supermarket" znotraj proizvodnje in iz njega pripelje ustrezne nove komponente za naslednji izdelek.

Poleg fizičnih komponent je treba zamenjati tudi orodje. To vključuje mehanske nastavke, prijemala in druge dele, ki so specifični za posamezen izdelek. Nujna je tudi programska menjava. V sistem je treba naložiti nov izdelek, kar vključuje programsko prilagoditev, na katero so vezani vsi sistemi kamer, ki izvajajo vizualne kontrole. S tem se zagotovi, da kamera zaznava prave značilnosti novega kosa.

Zamenjati je treba tudi slikovni plan ter plan nadzora. Ti dokumenti vsebujejo vse kontrolne točke, vizualne referenčne slike in druge ključne parametre, ki so potrebni za spremljanje kakovosti novega izdelka.

Po zaključeni menjavi sledi še potrjevanje prvega kosa. Tako kot pri ročni montažni celici tudi tukaj vodja ekipe pregleda prvi sestavljeni kos. Po uspešno opravljenem pregledu vodja sprostijo linijo in omogoči nadaljevanje proizvodnje. Ta dodatni kontrolni korak bistveno pripomore k zanesljivosti procesa in preprečuje začetne napake ob zagonu nove serije.

2.3.4 Napake človeškega faktorja na avtomatski montažni celici

Čeprav je avtomatska montažna celica v veliki meri neodvisna od neposrednega človeškega posega, še vedno obstajajo določeni vidiki procesa, kjer je človeški faktor prisoten in pomemben. V teh primerih lahko pride do napak, ki vplivajo na učinkovitost in kakovost proizvodnje. (Potočnik, P., 2018)

Ena izmed najpogostejših napak človeškega faktorja je nepravilno ravnanje z izmetnimi kosi. V nasprotju z ročno montažno celico, kjer so izmetne cone fizično zaklenjene in je dostop do njih omejen, avtomatska celica pogosto nima takšne mehanske zaščite. Če operater pomotoma vrne izmetni kos nazaj v proces ali ga ne loči ustrezno, lahko pride do nadaljnje obdelave neustreznega izdelka, kar povečuje tveganje za reklamacije in slabšanje kakovosti končnega produkta.

Druga pogosta napaka je napačna menjava zalogovnikov ali komponent. Če operater pri menjavi pomotoma namesti zalogovnik z napačno velikostjo kroglic ali ne preveri ustreznosti komponent (npr. kletke ali pesta), lahko pride do mehanskih poškodb orodja ali montaže napačnega izdelka. Takšna napaka pogosto povzroči zastoje v proizvodnji, izmet večje količine kosov in potrebo po dodatni kalibraciji ali čiščenju opreme.

Tretja napaka, ki se lahko pojavi, je napačna izbira programa v strojnem vmesniku. Če delavec ne izbere pravilnega programa za določen izdelek, se sproži napačen slikovni plan in plan nadzora. Posledično kamere zaznavajo napačne kontrolne točke ali jih sploh ne zaznajo, kar pomeni, da stroj lahko odobri mehansko neustrezen kos. Ta napaka je še posebej nevarna, ker lahko dolgo ostane neopažena, dokler se ne odkrije večje število neustreznih izdelkov.

Čeprav so avtomatske montažne celice zasnovane za visoko raven zanesljivosti, ostaja človeški faktor pomemben del delovanja. Ustrezno usposabljanje operaterjev, jasni delovni postopki in dodatne varnostne kontrole so ključni za preprečevanje napak, ki nastanejo zaradi človeškega vpliva v avtomatiziranem sistemu.

Avtomatska montažna celica je opremljena z napredno avtomatiko, ki temelji na uporabi PLC-jev (programmable logic controller), industrijskih senzorjev in servo-pogonskih sistemov. Sile pri montaži ne nadzira človek, temveč jih v realnem času zaznavajo natančni senzorji sile in navora, ki omogočajo takojšnje odkrivanje odstopanj. Gibanje vseh mehanskih delov celice je upravljano z servomotorji, ki zagotavljajo visoko ponovljivost, natančnost pozicioniranja ter možnost programskega nadzora nad hitrostjo, pospeški in silami. Celoten proces je integriran v

avtomatiziran nadzorni sistem, ki omogoča beleženje podatkov, sledenje kakovosti in samodejno izločanje neskladnih kosov, brez potrebe po subjektivni presoji operaterja.

Zato je zelo pomembno, da se pri menjavi artikla vključi vodja ekipe ter preveri doslednost izvedene menjave. Po menjavi se ustreznost le-te preveri tudi z ustrezno označenimi kosi, ki so slabe kvalitete, in jih stroj mora izločiti. V kolikor se ti kosi ne izločijo, ponovimo postopek menjave oziroma nastavitve stroja.

2.3.5 Mehanske in elektro okvare na avtomatski montažni celici

Kljub visoki stopnji avtomatizacije in tehnološki dovršenosti avtomatske montažne celice so mehanske in elektro okvare še vedno del realnosti v proizvodnji. Te okvare, čeprav redkejša kot pri ročni montaži, lahko povzročijo pomembne izpade v delovanju in vplivajo na splošno učinkovitost sistema.

Ena izmed pogostejših tehničnih težav je okvara senzorja pri dozirniku kroglic. Dozirnik je ključni del sistema, saj zagotavlja natančno in pravilno doziranje osmih kroglic v vsak homokinetični zglob. Če pride do zastoja, zamašitve ali mehanske napake v dozirniku, se proces samodejno ustavi, saj nadaljevanje montaže brez kroglic ni možno. Okvara lahko zahteva ročni poseg, čiščenje ali celo zamenjavo posameznih delov, kar vpliva na čas mirovanja linije. V največ primerih je kriva le okvara senzorja.

Druga resnejša in bolj kompleksna težava je nalet robota. Do naleta pride, kadar robot zaradi napačnih koordinat, programskega odstopanja ali nepravilno naloženih komponent trči; najpogosteje v orodje ali drug robotski člen. Takšen nalet lahko povzroči mehanske poškodbe robotske roke, poškodbe komponent ali celo popoln izpad sistema, kar pomeni dolgotrajnejše popravilo in preverjanje vseh robotskih nastavitvev in varnostnih točk.

Povprečno trajanje teh vrst okvar znaša približno 40 minut. Čeprav se ne pojavljajo pogosto, njihove posledice vključujejo izpade proizvodnje, zmanjšanje razpoložljivosti opreme in dodatne stroške vzdrževanja. Zaradi stopnje avtomatizacije so takšne napake lahko tudi zahtevnejše za diagnostiko in odpravo.

Za obvladovanje teh okvar je ključno redno preventivno vzdrževanje, natančno sledenje alarmom in opozorilom sistema ter stalno usposabljanje vzdrževalnega osebja. Le tako je mogoče zagotoviti zanesljivo delovanje avtomatske montažne celice in zmanjšati vpliv tehničnih motenj na celoten proizvodni proces.

2.4 Primerjava analize ročne in avtomatske montažne celice

Primerjava temelji na dejanskem poteku dela, opaženih prednostih in slabostih posameznih rešitev ter možnostih za optimizacijo.

2.4.1 Postopek izdelave kosa

Pri ročni montažni celici celoten postopek temelji na delu enega operaterja, ki izvaja vse faze sestave. Delavec na levi strani pripravi komponente – osnovni kos, kletko in pesto – ter jih nato ročno sestavi. Kletko in pesto najprej sestavi skupaj, nato vstavi v osnovni kos, kamor ročno dodaja kroglice. Ko je kos sestavljen, ga delavec prenese v stroj za tehtanje in nanos protikorozijskega sredstva. Končno sestavljene izdelke delavec zлага v plastične zabojе, katere potem služba logistike odpelje v skladišče in jih pripravi za prodajo. Seveda je za vsak zaboj potrebna izdelava etikete, ki nam omogoča sledljivost in prepoznavo kosov.

Avtomatska montažna celica deluje popolnoma drugače. Delavec zgolj nalaga vhodne komponente na zalogovnike oziroma tekoči trak. V nadaljevanju vse sestavne faze prevzamejo roboti. Sistem sam preverja pozicije kletke in pesta, jih sestavi, preveri geometrijo osnovnega kosa s kamero, nato vstavi kroglice in preveri število le-teh ter vrtilni moment. Če je kos ustrezen, mu doda lasersko signaturo in ga premakne na izhod, kjer ga delavec zgolj pobere in zloži v zaboj. Človeški faktor je tu omejen na nadzor in zalaganje materiala. Tudi tukaj je potrebna izdelava etikete za sledljivost.

2.4.2 Menjavi izdelka

Menjava izdelka na ročni liniji vključuje popolno praznjenje vseh zalog komponent. Delavec mora izprazniti osnovne kose, kletke, pesta in kroglice ter jih odpeljati v "supermarket". Nato pripelje ustrezne nove komponente. Potrebno je ročno zamenjati PokaYoke sistem, vstaviti ustrezen program v tehtnico, menjati orodje (ujem čepa, PokaYoke za kroglice, silhueto). Po menjavi pride vodja ekipe, ki opravi kontrolo prvega kosa. Menjava traja povprečno 30 minut in se na liniji opravi večkrat dnevno. Največja razlika v času med ročno in avtomatsko celico je zaradi praznjenja zalgovnika za kroglice in več menjav orodij.

Avtomatska montažna celica ima strukturirano in hitrejšo menjavo. S pritiskom na gumb operater sproži praznjenje celice. Ko je prazna, zamenja zalgovnik za kroglice, ki je mobilni

(na kolesih), kar skrajša čas menjave komponent. Osnovne kose, pesto in kletko odpelje ročno – isto kot pri ročni celici. Sledi izbira programa v sistemu (naložitev produkta), ki vključuje menjavo slikovnega plana in nadzora. Menja se tudi orodje, nastavitve za kamere in prijemala. Celoten postopek traja povprečno 20 minut, nadzor prvega kosa pa izvede vodja ekipe.

2.4.3 Orodje ročne in avtomatske celice

Ročna montažna celica uporablja mehanska orodja in mehanske PokaYoke sisteme za preverjanje velikosti kroglic. Ključen je pravilen ujem čepa in pravilna velikost ročke za montiranje. Potrebna je natančnost delavca, saj sistem ne opozarja na napačne vstavitve, kar lahko vodi k poškodbi kosa in kasneje reklamaciji kupca.

V avtomatski celici so vsi procesi vodeni z naprednimi sistemi. Kamere preverjajo obliko in prisotnost delov, merilniki momenta beležijo vrtilno silo, vse komponente pa morajo biti v popolnem ujemanju z orodjem. PokaYoke za kroglice je mehanski kot na ročni celici, roboti uporabljajo menjajoča se prijemala in orodja, ki jih nadzoruje centralni krmilni sistem. Vsak izdelek ima prilagojen program z vsemi potrebnimi nastavitvami.

2.5 *Napake in izmet celic*

Napake v ročni montaži so predvsem posledica človeškega faktorja. Pogosto pride do napačnega vstavljanja kroglic, padcev delov, nepravilnega zaporedja ali nepravilno nameščene kletke. Vse to povzroča izmet. Na tedenski ravni se izloči do 3 kose in približno 50 kroglic.

Avtomatska celica ima manj napak zaradi konstantne kontrole kakovosti. Napake so predvsem tehnične narave (npr. dozirnik kroglic, nalet robota). Izmet je minimalen – 1 do 2 kosa tedensko in približno 10 kroglic.

Strošek izmeta je na montažnih celicah HKZ zanemarljiv.

2.5.1 Mehanske in elektro okvare celic

Pri ročni montažni celici so pogoste mehanske in elektro napake posledica obrabe komponent ali nepravilne uporabe. Najpogostejše prihaja do loma zatiča, težav s kalibracijo tehtnice, čiščenja šob za oljenje in napak pri merjenju momenta. Povprečno trajanje napak tedensko znaša 1,14 ure, kar vpliva na dostopnost opreme in učinkovitost.

Avtomatska montažna celica se sooča z manjšim številom napak, vendar so te bolj kompleksne in zahtevajo specializirano odpravo. Najpogostejši sta okvara dozirnika kroglic in nalet robota, kar lahko povzroči zaustavitev celotnega sistema. Povprečno trajanje takšnih okvar je približno 40 minut tedensko. Kljub manjši pogostosti je odprava počasnejša in zahteva višjo usposobljenost kadra.

Ob primerjavi obeh celic lahko ugotovimo, da avtomatska montažna celica ponuja bolj stabilen, ponovljiv in zmogljiv proces. Vendar pa ima ročna montaža prednost v fleksibilnosti in nižji začetni investiciji. Optimalna rešitev je pogosto kombinacija obeh pristopov, odvisno od obsega proizvodnje in vrste izdelka.

3 UČINKOVITOSTI CELIC

3.1 *Analiza učinkovitosti ročne montažne celice*

Ročna montažna celica za sestavo SX homokinetičnih zglobov ima omejeno kapaciteto, ki je močno odvisna od človeškega faktorja in organizacije delovnega časa. Na eni izmeni se v povprečju izdela približno 850 kosov.

Delovni čas na izmeno znaša 8 ur oziroma 480 minut. Od tega je efektivnega proizvodnega časa na voljo 7 ur in 10 minut (430 minut), saj so v preostalem času vključeni odmori – 30 minut malice in dvakrat po 10 minut pavze. V tem času poteka proizvodnja, katera vključuje tudi vse menjave in morebitne mikro zastoje.

Menjave izdelkov na tej celici se dogajajo običajno dva - do trikrat dnevno, povprečno pa se oceni trajanje ene menjave na približno 30 minut. Menjave vključujejo ročno zamenjavo komponent, nastavitve orodja in nastavitve pripadajočih kontrolnih sistemov. Kljub menjavam se proizvodnja vzdržuje na povprečni količini 850 kosov na izmeno.

Na učinkovitost ročne montažne celice vpliva več dejavnikov, kot so fizična utrujenost delavcev, stopnja usposobljenosti, delovna ergonomija ter prisotnost napak, ki izhajajo iz človeškega dejavnika. Zaradi ročnega načina dela je proizvodni proces bolj dovzeten za variabilnost in posledično za neenakomerno kakovost in količino.

Poleg tega se v proizvodnem procesu pojavljajo dodatne izgube, predvsem pri ročnem transportu vhodnih komponent in izpraznitvi zalogovnika za kroglice. Zaradi teh dejavnosti prihaja do dodatnih mikro zastojev in zmanjšanja učinkovitosti. Prav tako se na tej liniji beležijo okvare, ki v povprečju trajajo 1 uro in 10 minut na teden. Okvare vključujejo težave s kalibracijo, lom zatičev in čiščenje šob za oljenje, kar dodatno vpliva na skupno razpoložljivost opreme.

Učinkovitost bi bilo mogoče izboljšati z optimizacijo postopka menjave, boljšo organizacijo dela ter uvedbo dodatnih pripomočkov ali delne avtomatizacije, ki bi zmanjšala obremenitve delavca. Ročna montaža ostaja pomemben člen v procesu, vendar z določenimi omejitvami, ki jih je treba upoštevati pri oceni dolgoročne stabilnosti in produktivnosti.

Izmeta pri montažnih linijah ni veliko, večina napak pa izvira iz človeškega faktorja. Do izmeta običajno pride zaradi napačne vstavitve komponent, padca kosa na tla ali izgube kroglic med vstavljanjem. Takšne napake so posledica nepozornosti, utrujenosti ali neustreznih delovnih

pogojev. Ker se večina postopkov izvaja ročno, je takšne napake težko povsem izključiti, kar še dodatno vpliva na skupno kakovost končnih izdelkov.

Glede na skupni razpoložljivi čas, upoštevan efektivni čas in povprečne izgube ter izmet, se ocena OEE (Overall Equipment Effectiveness) za ročno montažno celico giblje okrog 75-80 %. Ta ocena upošteva razpoložljivost, zmogljivost in kakovost, pri čemer je največji izziv prav razpoložljivost zaradi pogostih ročnih operacij in tehničnih zastojev.

3.2 Analiza učinkovitosti avtomatske montažne celice

Avtomatska montažna celica za sestavo SX homokinetičnih zglobov predstavlja tehnološko napredno rešitev, ki omogoča visoko stopnjo ponovljivosti, zmanjšano odvisnost od človeškega faktorja in optimizirano delovanje proizvodnega procesa. Na eni izmeni celica izdelava povprečno 1300 kosov, kar bistveno presega kapaciteto ročne montažne celice.

Delovni čas ostaja enak kot pri ročni celici, torej 8 ur oziroma 480 minut na izmeno, od tega je efektivnega časa 7 ur in 10 minut (430 minut), saj se upoštevajo odmori (malica in dve pavzi). V tem času avtomatska celica doseže konstantno in učinkovito delovanje.

Menjava izdelka na avtomatski liniji traja približno 20 minut, kar je hitreje v primerjavi z ročno celico. Velik razlog za to je učinkovit sistem za menjavo kroglic, kjer so zalogovniki nameščeni na kolesih. To omogoča hitro in enostavno zamenjavo brez dodatnega razsipanja kroglic ali dolgotrajnega čiščenja. Menjava vključuje tudi menjavo programov, nastavitve kamer in orodij, kar pa zaradi strukturiranega postopka poteka hitro in standardizirano.

Avtomatska montažna celica ima precej manj zastojev in tehničnih okvar. Povprečno se na tedenski ravni zabeleži le približno 40 minut tehničnih težav. Glavni razlogi so morebitne manjše napake na dozirniku kroglic ali preventivne zaustavitve zaradi sistemskih varnostnih funkcij. Zaradi hitre diagnostike in avtomatskih opozoril so odprave okvar hitre in natančne.

Izmet izdelkov pri avtomatski montažni celici je izjemno nizek. Na teden se povprečno izloči le 1 do 2 kosa ter manjše število kroglic (cca. 10). Večina napak izvira iz vhodnega materiala ali zaznanih nepravilnosti preko vizualne kontrole kamer. Sistem že v zgodnji fazi izloči vse komponente, ki odstopajo od standarda, kar zmanjša tveganje za nadaljnje napake in reklamacije.

Na podlagi teh podatkov se ocena OEE (Overall Equipment Effectiveness) za avtomatsko montažno celico giblje okrog 85-90 %. Ta rezultat odraža visoko razpoložljivost, zmogljivost

in kakovost procesa. OEE vrednost se doseže predvsem zaradi avtomatizacije postopkov, stabilnega cikla, natančnega nadzora kakovosti in zmanjšanega vpliva človeškega faktorja.

Skupaj s hitro menjavo, natančno vizualno kontrolo in rednim vzdrževanjem predstavlja avtomatska celica stabilno in zanesljivo rešitev za sodobne proizvodne potrebe, pri čemer omogoča nižje stroške na kos, manjše tveganje za napake ter večjo fleksibilnost pri obvladovanju različnih artiklov.

3.3 Primerjava učinkovitosti celic

Pri primerjavi učinkovitosti montažnih celic moramo upoštevati več ključnih kazalnikov: število izdelanih kosov na izmeno, dejanski čas razpoložljiv za proizvodnjo, frekvenco in trajanje menjav izdelkov, povprečno trajanje okvar ter količino izmeta. Na podlagi teh dejavnikov lahko ovrednotimo skupno učinkovitost z uporabo OEE (Overall Equipment Effectiveness), ki vključuje razpoložljivost, zmogljivost in kakovost.

Ročna montažna celica na eno izmeno izdela približno 850 kosov SX zglobov. Delovni čas znaša 8 ur, od tega je efektivno za delo na voljo 7 ur in 10 minut (430 minut), saj preostanek odpade na malico in odmore. V povprečju se na ročni celici dnevno izvajata dve do tri menjave izdelkov, pri čemer vsaka menjava traja približno 30 minut. Menjava vključuje praznjenje vseh komponent, menjavo orodja in nastavitve nadzora, kar zahteva aktivno prisotnost delavca.

Poleg izgub zaradi menjav je pomembno upoštevati tudi izgube zaradi okvar. Pri ročni montaži so najpogostejše okvare povezane s tehtnico, kalibracijo momentnih orodij, zamašitvijo šob za oljenje ter mehanskimi poškodbami, kot je lom zatiča. Skupno trajanje teh okvar je ocenjena na 1 uro in 10 minut tedensko. K temu moramo prišteti še izmet, ki znaša do 3 kose na teden in okoli 50 izgubljenih kroglic.

Na podlagi vseh teh podatkov je bila ocenjena skupna učinkovitost (OEE) ročne montažne celice približno 75-80 %. Ta vrednost odraža tako izgubljeni čas zaradi menjav in okvar kot tudi zmanjšano kakovost zaradi človeškega faktorja in posledičnega izmeta.

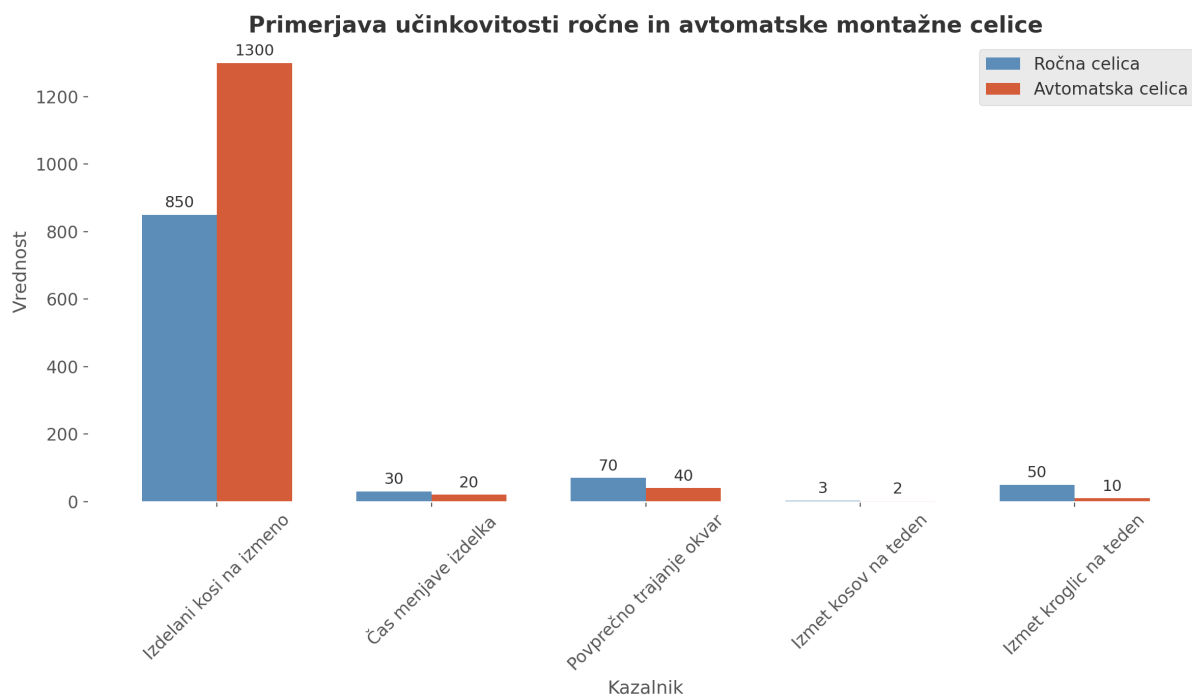
Avtomatska montažna celica omogoča znatno višjo proizvodnjo – približno 1300 kosov na izmeno. Tudi tu je efektivni čas na izmeno 430 minut. Menjave izdelkov so strukturirane in krajše, saj znašajo le okoli 20 minut. Prednost avtomatske celice je predvsem v mobilnosti zalagovnikov s kroglicami, hitri menjavi programov in orodij ter standardiziranemu postopku, ki omogoča hitro ponovno vzpostavitev proizvodnje.

Kar zadeva okvare, so pri avtomatski celici te bolj redke, vendar bolj kompleksne. Najpogosteje gre za okvaro dozirnika kroglic ali nalet robota. Povprečna izguba zaradi tovrstnih okvar znaša približno 40 minut tedensko. Kljub temu avtomatski sistemi zaznajo in izločijo napake že v zgodnji fazi, s čimer se zmanjša izmet. Na tedenski ravni se izloči približno 1–2 kosa in do 10 kroglic.

Glede na vse navedene dejavnike je ocenjena OEE vrednost za avtomatsko montažno celico približno 85-90 %. Ta rezultat je dosežen zaradi visoke zmogljivosti, minimalnega izmeta in krajših izpadov. Avtomatska celica s tem dokazuje svojo učinkovitost, predvsem v stabilnem, visoko zmogljivem proizvodnem okolju, kjer so dolge serije in standardizirani izdelki.

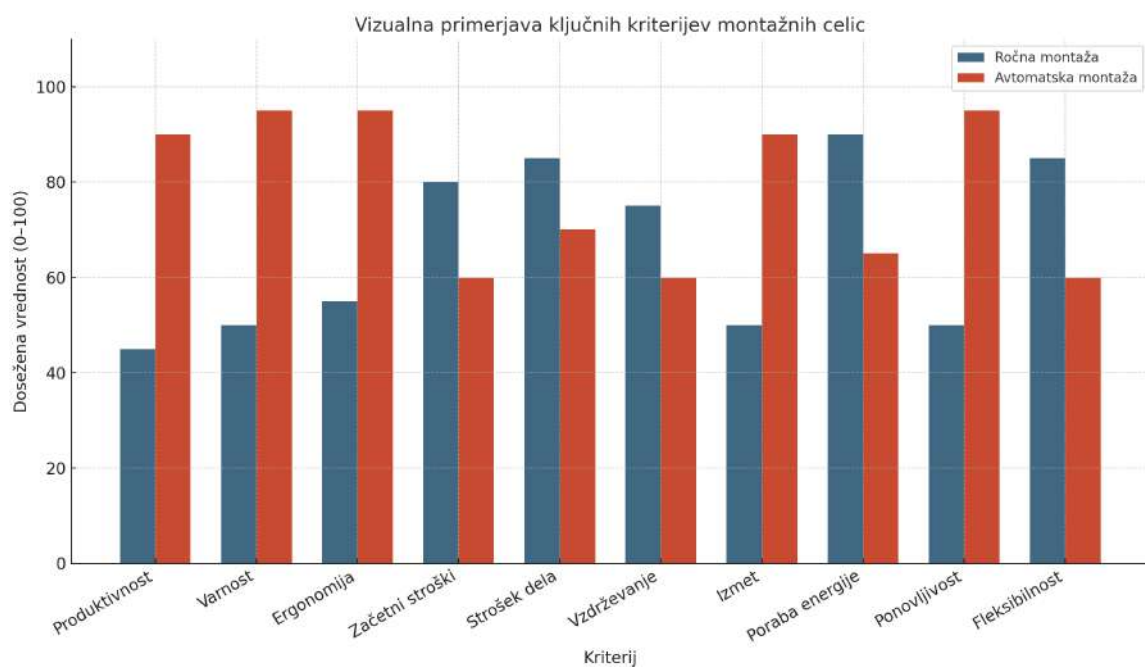
Pomemben vidik učinkovitosti avtomatske montažne celice je njena visoka stopnja ponovljivosti. Sistem omogoča, da se vsak sestavni postopek izvaja pod enakimi pogoji z minimalnimi tolerančnimi odstopanji. To dosežemo z uporabo natančnih aktuatorjev, servomotorjev in senzorjev, ki zagotavljajo konstanten nadzor nad silami, pozicioniranjem in zaporedjem operacij. Posledično je kakovost izdelkov bolj stabilna, tveganje za napake manjše, celoten proces pa lažje nadzorljiv in standardiziran. To je bistvena prednost v primerjavi z ročnim postopkom, kjer človeški faktor pomeni večjo variabilnost v izvedbi.

Ob primerjavi obeh rešitev je razvidno, da avtomatska montaža omogoča bistveno višjo produktivnost in zanesljivost, vendar ob višji začetni investiciji in kompleksnosti upravljanja. Ročna montaža ostaja smiselna v okoljih z večjim poudarkom na fleksibilnosti, manjših serijah in nižjih začetnih stroških.



Slika 14: Primerjava učinkovitosti ročne in avtomatske montažne celice.

Vir: Lastni vir



Slika 15: Primerjava avtomatske in ročne montažne celice – grafično.

Vir: Lastni vir

Tabela 1: SWOT analiza

	Ročna celica	Avtomatska celica
MOČI (Strengths)	Nižja začetna investicija Fleksibilnost pri prilagajanju raznolikim izdelkom Lažje odpravljanje manjših težav med montažo Neposredna kontrola operaterja nad procesom	Visoka ponovljivost in natančnost Zmanjšanje števila napak in izmeta Hitrejši proizvodni cikli Možnost 24/7 delovanja brez utrujenosti
SLABOSTI (Weaknesses)	Odvisnost od spretnosti in zbranosti delavca Povečano tveganje za napake in izmet Omejena produktivnost Utrujenost in ergonomija vplivata na kakovost	Visoka začetna investicija Kompleksnost programiranja in vzdrževanja Potrebna usposobljenost za upravljanje Daljši čas implementacije v proizvodnjo
PRILOŽNOSTI (Opportunities)	Možnost postopne avtomatizacije posameznih faz Večja vključenost operaterjev v izboljšave Primerna za manjše serije ali prototipe Lažje uvajanje novih delavcev	Povečanje proizvodne zmogljivosti Manjši stroški na enoto pri večjih serijah Boljše sledenje kakovosti z digitalnimi podatki Integracija z industrijo 4.0 in IoT
TVEGANJA (Threats)	Pomanjkanje usposobljenega kadra Povečano tveganje za poškodbe pri delu Večji stroški dela dolgoročno Nižja konkurenčnost pri velikih količinah	Okvare sistemov lahko ustavijo celoten proces Odvisnost od zunanjih dobaviteljev (programska oprema, servis) Hitro zastaranje tehnologije Težje prilagajanje zelo raznolikim produktom

Vir: Lastni vir

4 PREDVIDENI STROŠKI AVTOMATSKE IN ROČNE CELICE

Zaradi politike zasebnosti in varovanja poslovnih informacij v tej diplomski nalogi niso predstavljeni dejanski finančni zneski, ki se nanašajo na investicijo, vzdrževanje in obratovanje montažnih celic. Namesto tega bodo stroški predstavljeni v relativnih razmerjih in odstotkih, kar omogoča primerjalno analizo brez razkrivanja občutljivih podatkov podjetja.

4.1 *Skupni stroški ročne celice (variabilni, vzdrževanje...)*

Ročna montažna celica, predstavlja razmeroma ugodno naložbo v primerjavi z bolj kompleksnimi avtomatskimi sistemi. Vrednost investicije v takšno celico je bila ocenjena na določen odstotek celotnega proračuna za razvoj montažnih kapacitet. V primerjavi z avtomatsko montažno linijo je ta znesek bistveno nižji, kar pomeni tudi nižjo finančno tveganje ob zagonu nove proizvodne enote. (Jeston J. ; Nelis J., 2014)

Poraba energije pri ročni montažni celici je približno dvakrat manjša kot pri avtomatski celici. To je posledica dejstva, da večino montažnih operacij izvaja človek, medtem ko avtomatska linija za delovanje uporablja več električnih aktuatorjev, motorjev, senzorjev in robotskih sistemov. Nižja poraba energije pomeni tudi nižje obratovalne stroške in ugodnejši vpliv na okolje, kar je danes zelo pomembno.

Kar se tiče amortizacije, je ta pri ročni celici zelo manjša. Ker je začetna investicija nižja in so stroji manj kompleksni, se doba amortizacije razporeji čez daljše obdobje, pri čemer se letni strošek amortizacije razmeroma zmanjša. Ročna celica ima manj premičnih delov, kar pomeni tudi manjšo obrabo in počasnejše zastaranje opreme. (Bosch Rexroth, 2021)

Strošek dela na posamezen kos je pri ročni montažni celici nižji v primerjavi z avtomatsko. Kljub temu, da človek fizično izvaja vse korake montaže, so skupni stroški dela razmeroma nižji, saj avtomatske celice vključujejo visoke investicije v vzdrževanje, nadzor in programiranje. V primeru manjših serij ali pogostih menjav izdelkov, kjer avtomatizacija ni optimalna, lahko ročna celica predstavlja stroškovno učinkovito rešitev. V skupnem strošku na kos predstavlja strošek dela približno 55 %, kar kaže na visoko odvisnost od človeškega faktorja, hkrati pa tudi na fleksibilnost prilagajanja procesom.

Vzdrževanje ročne montažne celice je približno trikrat cenejše kot pri avtomatski celici. Stroški rezervnih delov, orodij in potrebnih servisov so nižji, saj gre za manj kompleksne mehanske komponente, ki jih lahko zamenja ali popravlja tudi interno vzdrževalno osebje. Prav tako se okvare lažje diagnosticirajo in zahtevajo manj zunanjega posredovanja.

Kar se tiče prostorske izrabe, ročna celica zasede približno 55 kvadratnih metrov proizvodnega prostora. Glede na nizko energijsko porabo, nizke stroške opreme in vzdrževanja ter razmeroma preprost postavitveni načrt, je strošek na kvadratni meter nižji kot pri bolj kompleksnih rešitvah. To pomeni večjo ekonomičnost v podjetjih, kjer je razpoložljivost prostora omejena.

Poleg omenjenih dejavnikov velja omeniti še, da je usposabljanje zaposlenih za delo na ročni montažni celici enostavnejše in hitrejšo v primerjavi z avtomatskimi sistemi. Delavci se lažje priučijo postopkov, kar omogoča hitrejšo rotacijo zaposlenih in večjo prilagodljivost ob fluktuaciji kadra. Prav tako je v primeru izpada posamezne pozicije v delovnem timu mogoče hitreje zagotoviti nadomestilo, saj ni potrebnega specializiranega znanja za upravljanje kompleksne opreme. Stroški začetnega uvajanja zaposlenih so zato nižji in predstavljajo manjše breme za podjetje.

Ročna montažna celica tako ponuja več prednosti z vidika stroškovne učinkovitosti, predvsem v okoljih z nižjimi proizvodnimi količinami, fleksibilno proizvodnjo ali omejenimi sredstvi za avtomatizacijo.

4.2 Skupni stroški avtomatske celice (variabilni, vzdrževanje...)

Avtomatska montažna celica predstavlja znatno večjo investicijo v primerjavi z ročno celico. Skupni strošek vzpostavitve avtomatskega sistema dosega večji delež razpoložljivih sredstev, kar je posledica vključevanja napredne tehnologije, robotike, senzorike in kompleksnih krmilnih sistemov. Investicija v avtomatsko linijo je ocenjena kot več kot dvakrat višja od ročne rešitve.

Poraba energije v avtomatski montažni celici je približno dvakrat višja kot pri ročni, saj vključuje napajanje robotskih rok, aktuatorjev, vizualnih sistemov in ostalih električnih komponent. Ta faktor vpliva na višje obratovalne stroške, še posebej v energetsko občutljivem okolju.

Amortizacija opreme je pri avtomatski celici prav tako višja. Zaradi večje začetne vrednosti in večje stopnje tehnološke zahtevnosti, je obdobje vračanja investicije daljše, letni stroški amortizacije pa predstavljajo večji delež skupnih stroškov. Oprema je podvržena večji obrabi, saj vsebuje več premikajočih in elektronskih delov.

Strošek dela na kos pri avtomatski montažni celici je sicer nižji v absolutnem smislu, vendar vključuje višje stroške usposabljanja, nadzora in tehnične podpore. V skupni stroškovni strukturi predstavlja strošek dela približno 43 %, kar nakazuje na nekoliko manjšo odvisnost od človeškega faktorja, vendar hkrati višje stroške zaradi potreb po specializiranem kadru.

Vzdrževanje avtomatske montažne celice je približno trikrat dražje kot pri ročni. Potrebna so redna servisiranja, kalibracije senzorjev, nadgradnje programske opreme in vključevanje zunanjih strokovnjakov. Kompleksnost sistema pomeni večjo zahtevnost diagnostike in daljše čase nedelovanja ob okvarah.

Prostorska izraba avtomatske celice je večja – ta zasede približno 70 kvadratnih metrov. Zaradi večje zasedenosti in potreb po ustreznih varnostnih pasovih je strošek na kvadratni meter višji, kar lahko predstavlja izziv v prostorsko omejenih proizvodnih okoljih.

Usposabljanje delavcev za delo z avtomatsko celico je zahtevnejše. Upravljanje vključuje poznavanje programske opreme, razumevanje delovanja robotike in ravnanje z naprednimi nadzornimi sistemi. Zaradi tega je uvajanje počasnejše, stroški izobraževanja so višji, rotacija kadra pa bolj omejena.

Kljub višji začetni investiciji in obratovalnim stroškom pa avtomatska montažna celica prinaša višjo zmogljivost, večjo ponovljivost in boljšo kakovost sestave.

4.3 Primerjava stroškov ročne in avtomatske celice (variabilni, vzdrževanje...)

Pri analizi stroškovne učinkovitosti ročne in avtomatske montažne celice je ključno upoštevati več dejavnikov, ki vplivajo na skupne stroške proizvodnje. Med najpomembnejše sodijo začetna investicija, obratovalni stroški (energija, vzdrževanje), stroški dela (fiksni, variabilni), prostorska izraba in usposabljanje zaposlenih.

Ročna montažna celica predstavlja nižjo začetno investicijo. Ker vključuje manj kompleksne mehanske dele in ne potrebuje napredne avtomatizacije, je njen nakup in zagon finančno manj obremenjujoč. Avtomatska celica, nasprotno, zahteva bistveno višjo začetno investicijo, saj vključuje robote, senzorsko opremo, nadzorne sisteme in programsko podporo. Ta razlika v začetnem vložku pomeni tudi daljše obdobje amortizacije za avtomatsko celico. Amortizacija avtomatske montažne celice je približno enkrat daljša kot pri ročni celici.

Poraba energije je pri avtomatski celici približno dvakrat višja kot pri ročni. Stroji, roboti, kamere in aktuatorji porabijo znatno več električne energije kot delovno mesto, ki ga upravlja človek. To pomeni višje obratovalne stroške, zlasti v obdobjih povišanih cen energije, s katerimi se trenutno borimo. Na drugi strani ročna celica deluje z bistveno manjšo porabo, kar znižuje dolgoročne stroške.

Vzdrževanje je pri ročni montažni celici tudi ugodnejše, saj gre za mehansko manj zahtevne sisteme. Notranji kader lahko večino vzdrževanja opravi samostojno. Pri avtomatski celici pa so potrebne redne kalibracije, nadgradnje programske opreme ter pogosto tudi pomoč zunanjih strokovnjakov. To podvoji ali celo potroji stroške vzdrževanja.

Prostorska izraba je še en pomemben vidik s strani stroškov. Ročna montažna celica zasede približno 55 m², medtem ko avtomatska potrebuje okoli 70 m². Poleg tega avtomatska zahteva tudi dodatne varnostne ograje, kar dodatno poveča prostorske potrebe. V okoljih, kjer je prostor omejen, je to lahko pomemben dejavnik pri odločitvi.

Kar zadeva strošek dela, je razmerje nekoliko bolj zapleteno. Ročna montaža sicer zahteva več neposrednega dela, vendar je skupni strošek dela na kos nižji kot pri avtomatski celici, kjer so vključeni tudi stroški za programiranje, nadzor, usposabljanje in servis. V strukturi stroškov je delež stroška dela pri ročni montaži ocenjen na okoli 45 %, medtem ko je pri avtomatski 55 %.

Usposabljanje za delo na avtomatski celici je zahtevnejše in dražje. Delavci morajo razumeti principe robotike, znati uporabljati nadzorne vmesnike ter pravilno interpretirati opozorila in napake. Pri ročni montaži pa je uvajanje hitrejše in rotacija kadra lažja.

Skupno gledano, se avtomatska montažna celica zaradi visokih stroškov ene same enote ekonomsko ne izplača. Če pa bi bili v uporabi dve avtomatski montažni celici, ki bi ju upravljala en sam operater (kar je s tehničnega vidika izvedljivo), bi se stroškovna učinkovitost občutno izboljšala. V takem primeru bi se investicija porazdelila, strošek dela na kos bi se zmanjšal, zmogljivost pa bi se podvojila, kar bi avtomatsko rešitev naredilo dolgoročno upravičeno in smiselno.

Če pa te stroške postavimo v globalni kontekst, hitro ugotovimo, da smo v primerjavi z nekaterimi azijskimi državami, kot so Kitajska, Vietnam ali Tajsko, stroškovno manj konkurenčni. V teh državah so stroški dela bistveno nižji, poleg tega pa zaradi večjih serij, bolj optimiziranih linij in množične proizvodnje dosegajo boljše stroškovne kazalnike na kos. Poleg nižjih plač imajo tudi nižje stroške vzdrževanja, dostop do cenejše opreme in širše razpoložljiv kader z izkušnjami na področju avtomatizacije.

Poleg tega pri nas še vedno obstajajo številne priložnosti za izboljšave. Potencial se skriva predvsem v optimizaciji delovnih procesov, uvedbi LEAN orodij, zmanjševanju mikro zastojev, boljši organizaciji materialnih tokov ter učinkovitejši postavitvi opreme. Prav tako je nujno vlagati v izobraževanje kadra, ki bo kos zahtevam moderne proizvodnje, predvsem na področju upravljanja avtomatiziranih sistemov in reševanja napak. (Womack, J. P.; Jones, D. T., 2003)

Če želimo dolgoročno ostati konkurenčni na globalnem trgu, je treba stroškovno strukturo proizvodnje izboljšati, ne le z nakupom opreme, temveč tudi z boljšim vodenjem, organizacijo, digitalizacijo in povezovanjem proizvodnih enot. Prava kombinacija učinkovitosti, avtomatizacije in razumevanja procesov bo tista, ki bo odločala o uspehu podjetij v prihodnjih letih.



Slika 16: Avtomatski montažni stroj Micros.

Vir: Lastni vir



Slika 17: Vhodni material stroja Micros

Vir: Lastni vir



Slika 18: Primer montaže v stroju Micros.

Vir: Lastni vir

5 TRAJNOST CELIC

V sodobni proizvodnji postaja trajnost pomemben dejavnik pri odločanju o tehnologiji in zasnovi proizvodnih celic. Primerjava med ročno in avtomatsko montažno celico kaže pomembne razlike, tako pri porabi energije kot tudi pri vplivu na delavce in njihovo delovno okolje.

Poraba električne energije je pri ročni montažni celici bistveno manjša. Ker večino procesov izvaja človek brez uporabe električnih pogonov, je energetske odtis takšne celice občutno nižji. Avtomatska montažna celica pa uporablja številne porabnike električne energije, kot so roboti, aktuatorji, senzorji, kamere in krmilniki, kar pomeni višjo skupno porabo energije in s tem večji vpliv na okolje. (Dombrowski, Mielke, & Engel, 2014)

Ergonomija delovnega mesta se med celicama močno razlikuje. Ročna montažna celica vključuje ponavljajoče se gibe in statične obremenitve, kar lahko dolgoročno povzroči obrabe in poškodbe. Pojavijo se lahko sindrom karpalnega kanala, bolečine v ramenskem obroču ter druge mišično-skeletne težave. Dodatno tveganje predstavlja nalaganje kroglic v zalogovnik nad višino ramen, kjer mora delavec stopiti na stopnico. To poveča nevarnost zdrsa in padca. Kljub temu ročna celica omogoča določene prilagoditve – delovni proces se lahko izvaja stoje ali sede, na voljo so tudi dvižne mize za pesto in kletko, kar pripomore k lažji in bolj ergonomični manipulaciji komponent. Poleg tega v praksi pogosto pride do situacij, ko zmanjka vozičkov za prenos zabojev, zato delavci izdelke zlagajo v zaboje, ki stojijo na tleh. To pomeni dodatno obremenitev hrbtenice in povečuje možnost nepravilnega dvigovanja.

Pomemben varnostni izziv pri ročni montaži predstavlja tudi oljna megla, ki se pojavlja zaradi nezadostnega odsesavanja zaščitnega olja. Dolgotrajna izpostavljenost lahko škoduje dihalom in poslabša kakovost zraka na delovnem mestu.

Na drugi strani avtomatska montažna celica zaradi manjše vključenosti človeka v sam proces sestave zmanjšuje neposreden fizični napor. Delavec večinoma nadzira proces, menja materiale in spremlja delovanje strojev. Zaradi boljše postavitve komponent, optimizirane višine in avtomatskega podajanja materialov je fizična obremenitev manjša, prav tako je manj ponavljajočih se gibov in s tem povezanih poškodb. Avtomatske celice so pogosto opremljene tudi z ustreznim odsesovalnim sistemom za oljno meglo.

V splošnem gledano ročna montažna celica porablja manj energije, vendar predstavlja večje tveganje za zdravje in varnost zaposlenih. Avtomatska montaža je energetske zahtevnejša, a

omogoča bolj nadzorovano in ergonomično delovno okolje. Z vidika trajnosti ima avtomatizacija potencial, da z ustreznimi izboljšavami postane tudi okoljsko učinkovita rešitev – še posebej, če vključuje energetske optimizirane komponente in dobre varnostne ter ergonomične prakse. (Toyota Motor Corporation, 2022)

Pomemben vidik trajnosti je tudi ravnanje z izdelkom po koncu njegove življenjske dobe. Izrabljeni homokinetični zglob se običajno reciklira. Material, iz katere je izdelan, se predela in ponovno uporabi v kovinski industriji, kar zmanjšuje okoljski odtis izdelka. Novi SX zglobi dodatno prispevajo k trajnostnemu razvoju, saj so izdelani iz sodobnejših, lažjih in bolj ekološko sprejemljivih materialov. Zmanjšana masa končnega izdelka pripomore k manjši skupni teži vozila in s tem k nižji porabi goriva, kar vpliva na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov.

Poleg tega obstajajo tudi različice zglobov, ki so že prašno barvane in zato ne potrebujejo dodatne protikorozijske zaščite z oljem. Takšna rešitev zmanjša količino uporabljenih kemikalij in oljne megle v proizvodnji. Kljub temu pa se pri tem pojavlja novo vprašanje: kakšna je sestava in ekološki vpliv uporabljenega praška za barvanje v primerjavi z zaščitnim oljem? Analiza vplivov obeh pristopov na okolje ostaja pomemben dejavnik pri izbiri najbolj trajnostne rešitve.

Trajnostna naravnost proizvodnje vključuje tudi razvoj komponent, ki so bolj prijazne do okolja v celotnem življenjskem ciklu izdelka. To pomeni ne le zmanjšanje okoljskega vpliva med proizvodnjo, temveč tudi zmanjšano obremenjevanje okolja med uporabo in ob koncu življenjske dobe izdelka. Novi materiali, uporabljeni pri sodobnih SX zglobih, omogočajo lažjo obdelavo, manjšo porabo energije pri izdelavi ter boljše mehanske lastnosti, kar prispeva k zmanjšani potrebi po dodatni zaščiti ali vzdrževanju. Zmanjšana teža zgloba pomeni nižjo maso vozila in s tem izboljšano energetske učinkovitost med uporabo, kar ima neposreden vpliv na manjšo porabo goriva in s tem povezane emisije.

Pomembno je tudi, da se v proizvodnem procesu čim bolj zmanjšajo količine odpadkov, kar pomeni boljši izkoristek vhodnih materialov, natančnejšo obdelavo ter nadzor kakovosti že med proizvodnjo. Avtomatske montažne celice omogočajo boljši nadzor kakovosti in posledično manj izmeta, kar dolgoročno pomeni tudi manj obremenjevanja okolja. Po drugi strani pa ročna montaža, ob izboljšani organizaciji, lahko doseže primerljivo učinkovitost, če v tem primeru vključuje boljše odsesavanje oljne megle, optimizacijo gibanja in logistike materiala ter izobraževanje zaposlenih o trajnostnem ravnanju z viri.

V prihodnosti bodo proizvajalci morali več pozornosti posvetiti tudi materialom za zaščitne premaze. Ekološka nadomestila za tradicionalna olja in barve bodo igrala ključno vlogo pri zmanjševanju vpliva proizvodnje na okolje. Prašni premazi sicer zmanjšajo potrebo po oljih, vendar pa morajo biti sestavinsko ustrezno obravnavani, da se prepreči sproščanje škodljivih snovi ob nanosu ali pri kasnejši predelavi komponent.

Na splošno velja, da proizvodna podjetja z aktivnim vključevanjem trajnostnih pristopov, optimizacijo procesov in uporabo naprednih materialov prispevajo k bolj odgovorni industriji. S tem ne le zmanjšujejo vpliv na okolje, temveč ustvarjajo tudi boljše pogoje za zaposlene in dolgoročno znižujejo stroške poslovanja.



Slika 19: Delovno mesto ročne montažne celice.

Vir: Lastni vir



Slika 20: Oljna komora in miza za izhodni material.

Vir: Lastni vir

6 SKLEP

V diplomski nalogi smo analizirali, primerjali in ovrednotili dva različna pristopa k montaži homokinetičnih zglobov SX tipa – ročno in avtomatsko montažno celico. V celotnem procesu smo podrobno obravnavali organizacijo dela, učinkovitost posamezne montaže, stroškovne kazalnike ter vpliv na trajnostno in varno proizvodno okolje. Na podlagi zbranih podatkov, analize stanja in izvedene primerjave lahko izpostavimo ključne ugotovitve, ki nam omogočajo skupno vrednotenje ciljev in hipotez naloge.

Ročna montažna celica temelji na človeškem delu, kar pomeni visoko prilagodljivost, predvsem pri manjših serijah, a hkrati večjo možnost za napake, fizično obremenitev delavca in manjšo procesno stabilnost. Povprečno se v eni izmeni izdelata okoli 850 kosov, kar ob upoštevanju učinkovitega delovnega časa in pogostih menjav predstavlja nižjo zmogljivost kot pri avtomatski liniji.

Z vidika stroškov ročna montaža vključuje nižjo začetno investicijo, saj stroški opreme in instalacije znašajo le delček cene avtomatizirane linije. Vzdrževanje in nadgradnje so cenovno dostopnejše, prav tako stroški nadomestnih delov in orodij. Strošek dela v kosu predstavlja manj kot polovico skupnega stroška, kar kaže na močno odvisnost od kadrov. Ob tem pa je treba izpostaviti, da fizične obremenitve delavcev, predvsem v zapestjih, dolgoročno vplivajo na zdravje zaposlenih. Varnostni pogoji so pogosto odvisni od dobre prakse posameznih zaposlenih, niso pa nujno sistemsko urejeni.

Pri avtomatski montažni celici opazujemo bistveno višjo raven procesne zanesljivosti in zmogljivosti. Povprečno se izdelata do 1300 kosov na izmeno, cikli so stabilni in optimizirani, količina izmeta pa bistveno manjša. Proces nadzirajo kamere, senzorji in merilniki momenta, kar zmanjšuje možnost napak. OEE avtomatske celice znaša približno 85-90 %, kar v primerjavi z ročno montažo (75-80 %) pomeni občutno višjo skupno učinkovitost. Zmanjšano je tudi število zastojev, saj so okvare redkejšje in njihovo trajanje krajše.

Stroškovno gledano je avtomatska celica občutno dražja na začetku – investicija je približno dvakrat višja od ročne rešitve. Prav tako je dražje tudi vzdrževanje, programiranje in izobraževanje kadra. Vendar pa se ta razlika začne izravnovati z višjo proizvodno zmogljivostjo, manjšim izmetom, manjšimi stroški dela na kos ter večjo ponovljivostjo procesa. Ob predpostavki, da je delavec na ročni in avtomatski montažni liniji plačan isto, in ob pogoju, da bi en operator upravljal dve ali celo tri avtomatske celice, kar je izvedljivo ob ustrezni

postavitvi, se strošek dela dodatno zmanjša, kar celoten sistem uvršča med dolgoročno ekonomsko upravičene naložbe.

Na področju varnosti je avtomatska celica bistveno boljše izbira. Zmanjšana fizična udeležba delavca pomeni manjši riziko za poškodbe, zmanjšanje bolezenskih odsotnosti in boljše dolgoročno zdravje zaposlenih. Avtomatske celice so opremljene z odsesovalnimi sistemi za oljno meglo, materiali se podajajo avtomatsko, ni potrebe po delu nad višino ramen in ni stopanja na dodatne platforme, kar izloča nevarnosti zdrsov.

Kar zadeva trajnost, ročna montaža porablja manj električne energije in ima nižji začetni ogljični odtis. Vendar pa večji izmet, uporaba olj ter slabša ergonomija zmanjšujejo njeno dolgoročno trajnostno vrednost. Avtomatska celica omogoča stabilen proces, večjo ponovljivost, nižji izmet ter sodobne možnosti optimizacije porabe energije. Novi SX zglobi, ki so pogosto vgrajeni v avtomatski montažni sistem, so izdelani iz sodobnejših, lažjih in bolj trajnostnih materialov, kar zmanjšuje končno maso vozila in porabo goriva, posledično pa tudi emisije CO₂. Poleg tega je pomembno omeniti, da se izrabljeni zglobi reciklirajo. Kovine, uporabljene v kosu, se ponovno uporabijo, kar zmanjšuje rabo primarnih surovin.

Na podlagi celotne raziskave lahko potrdimo vse štiri hipoteze:

Hipoteza 1: Avtomatska montažna celica bo izboljšala produktivnost proizvodnje. Analiza učinkovitosti jasno pokaže večje število kosov na izmeno, višjo OEE vrednost in večjo stabilnost procesa.

Hipoteza 2: Avtomatska montažna celica bo bolj varna za delo kot ročna montažna celica. Podatki kažejo na manjšo fizično obremenitev delavca, manjšo izpostavljenost nevarnim postopkom in večjo sistemsko zaščito zaposlenih.

Hipoteza 3: Avtomatska montažna celica bo zmanjšala stroške izdelave kosa. Čeprav so začetne investicije višje, se zaradi večje produktivnosti, nižjega izmeta in možnosti upravljanja več celic z enim operaterjem dolgoročni strošek izdelave kosa zmanjša.

Hipoteza 4: Avtomatska montažna celica bo prispevala k ponovljivosti izdelave kosov, kar bo prineslo manj izmetnih kosov in zmanjšano porabo materiala. Visoka raven avtomatizacije, natančen nadzor in manjši vpliv človeškega faktorja zagotavljajo višjo kakovost in manj izmeta.

Sklepno lahko zapišemo, da avtomatska montažna celica predstavlja sodobnejšo, zanesljivejšo in dolgoročno učinkovitejšo rešitev za montažo homokinetičnih zglobov.

Kljub vsem prednostim pa velja izpostaviti še en pomemben vidik, ki je bil opažen med pripravo diplomske naloge – ena sama avtomatska montažna celica se sama po sebi finančno pogosto ne izplača. Stroški, povezani z nakupom, vzpostavitvijo, programiranjem in kasnejšim vzdrževanjem so visoki. Če celico upravlja en sam operater in linija deluje z zmernim izkoristkom, potem so stroški na kos še vedno previsoki, da bi bili res konkurenčni, zlasti v primerjavi z globalnim trgom.

Drugačna pa postane situacija, če bi imeli v proizvodnem okolju postavljeni dve avtomatski montažni celici, ki bi ju lahko upravljal en operater. V tem primeru bi se strošek dela razpolovil, proizvodna zmogljivost pa bi se skoraj podvojila. Tovrstna konfiguracija omogoča, da prednosti avtomatizacije resnično zaživijo in da se vložek povrne v razumnem časovnem okviru. Iz lastnega opazovanja in analize lahko trdim, da bi bila takšna rešitev ne samo racionalna, ampak tudi dolgoročno nujna, če želimo ostati konkurenčni, učinkoviti in hkrati varni ter trajnostno usmerjeni. Kljub višji začetni investiciji omogoča višjo produktivnost, večjo varnost zaposlenih, nižje operativne stroške in bolj trajnostno delovanje. (ABB, 2022)

Vizualna primerjava jasno kaže, da je avtomatska montažna celica boljša od ročne skoraj pri vseh ključnih kriterijih, razen pri stroškovni dostopnosti in prilagodljivosti za manjše serije. Največjo prednost avtomatizacija izkazuje na področjih produktivnosti, varnosti, ergonomije in ponovljivosti, kar potrjuje osrednje hipoteze diplomske naloge. Ročna montaža se dobro odreže tam, kjer je potrebna hitra prilagoditev ali nižji operativni stroški v enostavnejših okoljih.

7 VIRI, LITERATURA

Lastni zapiski in raziskave. (2025). Neobjavljeno gradivo, pripravljeno med izdelavo diplomske naloge.

ABB. (2022). *ABB predicts key trends that will change robotic automation in 2022*. Pridobljeno iz <https://rb.gy/b598r1>

Bosch Rexroth. (2021). *Assebmly technology manual*. Pridobljeno iz www.boschrexroth.com

Dombrowski, U., Mielke, T., & Engel, C. (2014). *Sustainability in manufacturing*. Pridobljeno iz <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.173>

European Agency for Safety and Health at Work. (2020). *Safe maintenance – Hazardous substances*. Pridobljeno iz EU-OSHA: <https://osha.europa.eu/en>

GKN Automotive. (2017). *SX-Gelenk flyer SPIDAN*. Pridobljeno iz https://www.gknautomotive.com/globalassets/downloads/aftermarket-download-archive-files/sx-gelenk_flyer_gb-spidan_2017.pdf

GKN Automotive. (2022). *SX Countertrack joints – Technical brochure*. Pridobljeno iz https://www.gknautomotive.com/globalassets/downloads/specialist-services---download-archive/sx-joints-brochure/gkn-sx-joints_en.pdf

GKN Automotive. (2024). *Sideshafts – Our products*. Pridobljeno iz GKN Automotive: <https://www.gknautomotive.com/en/Aftermarket/our-products/sideshafts/>

Groover, M. P. (2020). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Pearson Education.

GZS. (2024). *Iz kovinarskih logov*. Pridobljeno iz Gospodarska zbornica Slovenije: https://www.gzs.si/zdruzenje_kovinske_industrije/vsebina/Klubi-strokovne-skupine-ZKovI/Iz-kovinarskih-logov

Institute for Occupational Safety and Health. (2020). *Risk assessment in assembly workplaces*. Pridobljeno iz DGUV – IFA: <https://www.dguv.de/ifa/index.jsp>

ISO. (2018). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems*.

Jeston J. ; Nelis J. (2014). *Business process management*. London: Routledge.

Potočnik, P. (2018). *Avtomatizacija proizvodnih sistemov*. Maribor.

Toyota Motor Corporation. (2022). Pridobljeno iz Global vision on sustainable manufacturing:
<https://global.toyota/en/sustainability>

Womack, J. P.; Jones, D. T. (2003). *Lean thinking*. Free Press.