



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



---

Dragan Dragičević

Metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu  
zasnovanih na lean konceptu

Doktorska disertacija



## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска публикација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	Драган Драгичевић		
Ментор, МН:	Проф. др Милован Лазаревић		
Наслов рада, НР:	Метода за пројектовање и оптимизацију система за монтажу заснованих на lean концепту.		
Језик публикације, ЈП:	Српски		
Језик извода, ЈИ:	Српски		
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	Војводина		
Година, ГО:	2017.		
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт		
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6		
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/спика/графика/прилога)	7/165/63/9/129/0/0		
Научна област, НО:	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент		
Научна дисциплина, НД:	Технологије монтаже		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Lean, системи за монтажу		
УДК			
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	Истраживања у оквиру докторске дисертације усмерена су ка развоју методе за пројектовање и оптимизацију система за монтажу заснованих на lean концепту. Анализирани су постојећи инструменти lean-а и посебно је истражен њихов утицај на развој система за монтажу и анализу кључних параметара система. На основу претходног истраживања, извршена је селекција инструмената lean концепта који су имплементирани у методу за пројектовање и оптимизацију система за монтажу. Верификација предложене методе реализована је на студији случаја оптимизације постојећег система за монтажу циркулационих пумпи. Осим наведеног, извршено је и пројектовање потпуно новог система за монтажу циркулационих пумпи.		
Датум прихватања теме, ДП:			
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	Др Илија Ђосић, професор емеритус	
	Члан:	Dr Niko Heraković, redovni profesor	
	Члан:	Др Иван Бекер, редовни професор	
	Члан:	Др Стеван Станковски, редовни професор	Потпис ментора
	Члан, ментор:	Др Милован Лазаревић, ванредни професор	



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO:</b>		
Identification number, <b>INO:</b>		
Document type, <b>DT:</b>	Monographic publication	
Type of record, <b>TR:</b>	Textual printed material	
Contents code, <b>CC:</b>	PhD thesis	
Author, <b>AU:</b>	Dragan Dragičević	
Mentor, <b>MN:</b>	Prof Milovan Lazarević, PhD	
Title, <b>TI:</b>	Method for optimisation and design of assembly systems based on lean concept	
Language of text, <b>LT:</b>	Serbian	
Language of abstract, <b>LA:</b>	Serbian	
Country of publication, <b>CP:</b>	Republic of Serbia	
Locality of publication, <b>LP:</b>	Vojvodina	
Publication year, <b>PY:</b>	2017	
Publisher, <b>PB:</b>	Author's reprint	
Publication place, <b>PP:</b>	Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad	
Physical description, <b>PD:</b> (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendices)	7/165/63/9/129/0/0	
Scientific field, <b>SF:</b>	Industrial engineering and engineering management	
Scientific discipline, <b>SD:</b>	Assembly technology	
Subject/Key words, <b>S/KW:</b>	Lean, assembly systems	
<b>UC</b>		
Holding data, <b>HD:</b>	The Library of the Faculty of Technical Sciences, Novi Sad	
Note, <b>N:</b>		
Abstract, <b>AB:</b>	Research in this PhD thesis is focused on development of method for optimization and design of assembly systems based on lean concept. Existing instruments of lean are analysed especially their impact on development of assembly system and key parameters analysis. Based on previous research a selection of lean instruments was made and they were implemented in method for optimization and design of assembly systems. Verification of proposed method was realized on case study where existing assembly system was optimized. In addition to the above completely new assembly system was designed using proposed method.	
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB:</b>		
Defended on, <b>DE:</b>		
Defended Board, <b>DB:</b>	President:	Ilija Ćosić, PhD, emeritus
	Member:	Niko Heraković, PhD, full professor
		Ivan Beker, PhD, full professor
Member:	Stevan Stankovski, PhD, full professor	Menthor's sign
Member, Mentor:	Milovan Lazarević, PhD, associate professor	

# Sadržaj

1	Uvod.....	6
1.1	Aktuelno stanje u oblasti .....	8
1.2	Definisanje i opis predmeta istraživanja .....	11
1.3	Cilj istraživanja .....	11
1.4	Struktura doktorske disertacije .....	12
2	Istorija lean koncepta .....	14
3	Instrumenti lean-a .....	17
3.1	Gubici .....	17
3.2	5S.....	19
3.3	Vizuelni menadžment.....	23
3.4	SMED.....	26
3.5	Poka-Yoke .....	28
3.6	Jidoka.....	31
3.7	Standardizovane procedure .....	33
3.8	Kanban .....	39
3.9	Heijunka .....	45
3.10	Mapiranje toka vrednosti.....	48
3.11	Kaizen.....	51
4	Metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu zasnovanih na lean konceptu .....	53
4.1	Osnovni postulati lean koncepta.....	53
4.2	Definisanje proizvoda i njegovih varijanti .....	57
4.3	Određivanje potrebnih količina proizvoda i definisanje radnog takta.....	59
4.4	Identifikacija sastavnih delova proizvoda i strukturiranje proizvoda .....	60
4.5	Analiza mogućnosti implementacije Poka-Yoke alata u delove proizvoda....	61
4.6	Definisanje zahvata i formiranje mrežnog dijagrama .....	62
4.7	Projektovanje i modifikacija zahvata primenom Poka-Yoke alata i SMED-a .	63
4.8	Projektovanje radnih mesta uz primenu 5S, vizuelnog menadžmenta, standardizovanih radnih procedura i jidoka .....	65
4.9	Nivelacija opterećenja, analiza kapaciteta i određivanje potrebnog broja radnih mesta.....	66
4.10	Projektovanje skladišta i međuskladišta primenom heijunka tehnike i implementacija kanban sistema .....	67
4.11	Projektovanje kompleksnog tehničkog sistema.....	68
4.12	Kreiranje mape toka vrednosti.....	69

4.13 Analiza sistema i detekcija gubitaka.....	70
<b>5 Studija slučaja .....</b>	<b>71</b>
5.1 Sistem za montažu centrifugalnih cirkulacionih pumpi.....	71
5.2 Definisanje proizvoda .....	71
5.3 Određivanje potrebnih količina i definisanje radnog takta .....	74
5.4 Identifikacija sastavnih delova i strukturiranje proizvoda.....	77
5.5 Analiza mogućnosti implementacije Poka-Yoke alata u delove proizvoda....	80
5.6 Definisanje zahvata, formiranje mrežnog dijagrama i karte toka montaže.....	86
5.7 Modifikacija elemenata zahvata primenom Poka-Yoke alata i SMED-a .....	89
5.8 Projektovanje radnih mesta primenom 5S, Vizuelnog menadžmenta, Standardnih procedura i Jidoka .....	93
5.9 Analiza kapaciteta i određivanje potrebnog broja radnih mesta .....	129
5.10 Projektovanje skladišta i međuskladišta primenom Heijunka tehnike i Kanban sistema .....	131
5.11 Projektovanje kompleksnog tehnološkog sistema.....	139
5.12 Kreiranje mape toka vrednosti.....	148
5.13 Analiza sistema i detekcija gubitaka.....	153
<b>6 Zaključak.....</b>	<b>159</b>
<b>7 Literatura .....</b>	<b>162</b>

## 1 Uvod

Sistemi za montažu predstavljaju jedan od najznačajnijih elemenata u mnogim industrijskim granama. Danas, moderan sistem za montažu mora istovremeno da odgovori na najmanje tri važna zahteva: produktivnost, kvalitet i cena. Međusobna povezanost navedenih faktora veoma je komplikovana [1]. Sistem za montažu predstavlja kompleksnu celinu sastavljenu od više povezanih delova i potreban je praktičan pristup pri rešavanju problema vezanih za njihovo projektovanje i optimizaciju. Pri projektovanju i optimizaciji sistema za montažu veoma je važno uskladiti niz karakteristika i parametara kako bi se postigao željeni rezultat. Moderna industrija podrazumeva primenu automatizovanih sistema za montažu velikog kapaciteta što omogućuje proizvodnju velikih količina proizvoda u kratkom vremenskom roku. Sa druge strane, konkurentnost na tržištu predstavlja značajan faktor, pa je pored velikih količina, potrebno obezbediti i visok kvalitet proizvoda po što nižoj ceni. Pored navedenog postoje sve češći zahtevi proizvodnje po meri (*eng. „custom made“*) iz čega proizilazi potreba za fleksibilnim sistemima koji se mogu brzo prilagoditi traženim promenama. Kako bi se postigli željeni zahtevi, potrebno je gubitke vremena i svih resursa svesti na minimum.

Koren proceza montaže mogu se naći u veoma dalekoj prošlosti, u osnovi već u vreme kada je čovek počeo da koristi alatke koje nije bilo moguće izraditi od jednog komada materijala, ili ih je bilo veoma teško izraditi od jednog dela [2]. Istoriski gledano, tokom razvoja industrije, sa pojmom automatizovanih sistema za montažu, počinje transformacija ručne montaže u automatizovane montažne procese. Osim oslobođanja radnika monotonog rada, automatizacija procesa montaže utiče i na značajno podizanje kapaciteta proizvodnje, obzirom da su mašine u stanju da određene montažne procese izvršavaju mnogo brže od čoveka. Ipak, razvoj automatizacije nije u potpunosti potisnuo ručnu montažu, tako da danas često možemo videti hibridne sisteme u kojima se deo montaže izvršava automatski, a deo ručno. Sa porastom kompleksnosti proizvoda raste i kompleksnost sistema za montažu iz čega proističe da je veoma često potrebno angažovati veliki broj radnika, kao i različitih mašina i alata, koji su uključeni u proces montaže. Zbog neujednačenog kapaciteta radnih mesta, dugih transportnih vremena ili neplaniranih zastoja često se koriste međuskladišta koja samo prividno ujednačavaju proizvodni proces ali, sa druge strane, predstavljaju čist gubitak. Tendencija povećanja kapaciteta proizvodnje često dovodi do smanjenja fleksibilnosti sistema za montažu, pa prelazak na proizvodnju druge varijante proizvoda predstavlja dugotrajan proces (*eng. „changeover time“*). Zbog toga, često se primenjuje metod proizvodnje određene količine proizvoda unapred, pre nego što ih je kupac poručio, koji se potom skladište i isporučuju kada je to potrebno (*eng. „batch and queue“*). Navedeni pristup predstavlja veliki izvor gubitaka obzirom da se skladišti značajna količina proizvoda koji predstavljaju vezani kapital.

Tradicionalne metode modelovanja sistema za montažu stalno se suočavaju sa rastućim promenama u poslovnom okruženju [1]. U prošlosti, sistemi za

montažu su se razvijali na osnovu empirijskog znanja ljudi, koji su se praktično bavili njihovim razvojem, koje je potom formulisano kao teorijsko ili praktično znanje o sistemima za montažu. Proizvodni sistemi ranije su vođeni tehnološkim razvojem, a ne naučnim otkrićima ili teorijama, gde je nauka o proizvodnim sistemima zaostajala nekoliko decenija za tehnološkim razvojem [3]. Efektivno rešavanje velikih i kompleksnih problema postaje sve važnije, imajući u vidu da su današnji proizvodi sastavljeni od više podsklopova i heterogenih tehnologija nego ranije, što dodatno otežava detaljnu analizu proizvoda [4]. Globalna proizvodnja suočava se sa zahtevima za bržim odzivom i većim stepenom prilagođavanja proizvoda.

„Lean manufacturing“, „lean production“ ili jednostavno lean predstavlja proizvodnu filozofiju koja kaže da svaki utrošak vremena i energije, koji ne dodaje vrednost (eng. „value“) proizvodu, predstavlja gubitak i treba ga eliminisati. Sa stanovišta krajnjeg korisnika, „vrednost“ predstavlja bilo koju radnju ili proces koje bi korisnik bio voljan da plati. Lean filozofija teži uspostavljanju sistema za montažu u okviru kog se, tokom kontinuiranog procesa montaže, uspostavlja jednokomadni tok (eng. „one-piece flow“). Takođe, naglašava se i potreba optimizacije i integracije sistema ljudi, mašina i sirovina što dovodi do značajnog poboljšanja kvaliteta, smanjenja troškova, skraćenja rokova isporuke i podizanja performansi. Kako bi se ovo postiglo lean se ne fokusira na pojedinačne tehnologije i sredstva već na ceo sistem prateći kretanje proizvoda kroz celokupan proces sve do krajnjeg korisnika.

U osnovi, lean potiče iz „Toyota Production System“-a (TPS) koji je nastao kao rezultat eksperimenata koje je Taiichi Ohno izvodio u „Toyota Motor Company“ tokom trideset godina istraživanja. Kontinuirani rast Toyota-e od male kompanije do najvećeg svetskog proizvođača automobila podstakao je intenzivna istraživanja i veće interesovanje za TPS. Krajem XX veka, pojavljuje se termin lean koji, kao i sam TPS, teži redukciji troškova smanjenjem gubitaka. U okviru procesa montaže, baziranog na TPS-u, potrebno je obezbediti tok (eng. „flow“) gde se eliminišu sva nepotrebna čekanja, tako da proizvod može kontinuirano da se kreće kroz celokupan proces montaže. Kontinuirani tok obezbeđuje kretanje proizvoda kroz proces montaže bez zastoja gde ne postoji potreba za uvođenjem međuskladišta. Ovakav sistem za montažu obezbeđuje da kupac „povuče“ (eng. „pull“) proizvod onda kada je potreban (eng. „just in time“). Ovo je moguće postići samo uvođenjem pravilne organizacije radnih mesta i upotrebotm odgovarajućih tehnologija, a sve u cilju smanjenja kompleksnosti sistema za montažu i eliminacije gubitaka.

Eliminacija gubitaka unutar sistema za montažu postala je veoma važan faktor u modernoj industriji, jer je potrebno brzo odgovoriti na zahteve kupca, a pritom održati kvalitet proizvoda i povoljnu cenu. Lean prepoznaje sedam vrsta gubitaka (en. „waste“): gubici usled prekomerne proizvodnje, gubici izazvani čekanjem, transportni gubici, gubici unutar samog proizvodnog procesa, gubici unutar međuskladišta, nepotrebna kretanja, gubici usled proizvodnje proizvoda van standarda. Saglasno sa lean filozofijom, osnovni izvor gubitaka predstavlja nedovršena proizvodnja (eng. „work in process“-WIP). Nedovršena proizvodnja

obuhvata proizvode koji se nalaze unutar proizvodnog procesa ili proizvode koji čekaju svoj red za dalju obradu unutar proizvodnog sistema odnosno međuskladišta. U okviru optimalnog sistema za montažu teži se smanjenju angažovanih resursa, čime se smanjuje potreba za međuskladištima i prekomernim skladištenjem gotovih proizvoda, što predstavlja vezani kapital koji ne može biti iskorišćen za dalje investicije. Pored toga, postoji opasnost da uskladištenim proizvodima istekne rok trajanja ili da jednostavno zastare.

Imajući u vidu gore navedene činjenice, pokazalo se da instrumenti lean koncepta imaju sve veću primenu. Obzirom da sam lean podrazumeva primenu bilo kog alata ili metode, koja može detektovati i/ili redukovati gubitke, razvijeni su, i još uvek se razvijaju, razni alati i metode utemeljeni na osnovnim postulatima lean filozofije. Neki od poznatijih instrumenata lean-a su : „Visual Management“, „Key Performance Indicators“ (KPI), „Overall Equipment Effectiveness“ (OEE), „5 S“ metoda, „Value stream mapping“, „Poka-Yoke“, „SMED“, „Kanban“, „Heijunka“, „Jidoka“ itd.

## 1.1 Aktuelno stanje u oblasti

Za većinu kompanija, ključni aspekti konkurentnosti su: vreme isporuke, kvalitet i cena proizvoda. Kako bi zadržali, odnosno podigli svoju konkurentnost, sve veći broj kompanija primenjuje lean koncept, koji podrazumeva suočenje gubitaka na minimum eliminacijom aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu. Taiichi Ohno, začetnik lean filozofije, kaže: „*Sve što radimo je posmatranje linije vremena od trenutka u kom stigne porudžbina od kupca do trenutka u kom dobijemo novac. Liniju vremena skraćujemo eliminacijom gubitaka koji ne dodaju vrednost.*“ [5]. Obzirom na neosporan uspeh, koji je Taiichi Ohno postigao svojim pristupom u „Toyota Motor Company“, danas možemo videti čitav niz istraživanja vezanih za implementaciju lean koncepta i njegovih alata i metoda [6][7][8][9][10][11][12].

Rad „The genealogy of lean production“ daje prikaz istorijskog razvoja i prihvatanja lean koncepta van granica Japana [13]. U okviru rada prikazana je detaljna analiza razvoja TPS-a od samog početka, kada je 1918. Sakichi Toyoda započeo uspešno poslovanje sa automatizovanim razbojem, sve do prve pojave termina „lean production“ u knjizi „The machine that changed the World“ [14].

U radu „Principles of Lean Thinking“ autor je predstavio osnovne postulante na kojima se bazira lean koncept, kao i najvažnije metode i alate koje je potrebno primeniti kako bi se proizvodni sistem prilagodio zahtevima lean-a[15]. Takođe, predstavljene su i dve studije slučaja primene lean koncepta u okviru dva proizvodna pogona. U konkretnim primerima, prvo je kreirana i analizirana mapa toka vrednosti trenutnog stanja sistema i postavljeni su primarni ciljevi koje treba postići primenom lean koncepta. Prikazane su radnje koje su primenjene, kako bi se postigli željeni ciljevi, a potom su analizirani rezultati njihove primene. U navedenim primerima nije obrazloženo koji kriterijumi su primenjeni pri odlučivanju o izboru instrumenata lean-a, koji će se primeniti, kako bi se postigli željeni rezultati.

Autori Fawaz Abdulmalek i Jayant Rajgopal [16] u svom radu analiziraju benefite primene lean-a pomoću mapiranja toka vrednosti (*eng. „value stream mapping“*) i simulacije. Mapiranje toka vrednosti predstavlja skup svih radnji, koje dodaju, kao i onih koje ne dodaju vrednost proizvodu, potrebnih za kretanje proizvoda kroz ceo proces, počevši od sirovina sve do krajnjeg korisnika [17]. U okviru prve faze, izrađena je mapa toka vrednosti na osnovu trenutnog stanja sistema. Potom je izvršena analiza unutar koje su prikupljene informacije kao što su: dnevne potrebe za proizvodom, da li se proizvodi odmah isporučuju ili se skladište, itd. U drugoj fazi, izrađena je nova mapa toka vrednosti zasnovana na lean konceptu, a potom je izvršena simulacija proizvodnje kako bi se uporedili rezultati sa trenutnim stanjem i analizirala dobit primene lean filozofije. Osim mapiranja toka vrednosti, u okviru rada, ne daje se jasan opis koji alati i metode treba da se primene kako bi proces montaže bio saglasan sa lean konceptom.

U okviru rada „An extended model of design process of lean production systems by means of process variables“ autori su predstavili aksiomatski model procesa dizajniranja lean proizvodnog sistema na osnovu parametara procesa [1]. Razvijen je univerzalni model za konceptualni dizajn lean proizvodnog sistema na osnovu veze parametara dizajna sistema i funkcionalnih zahteva. Model je primenljiv u različitim varijantama proizvodnog sistema. Međutim, apstraktni pristup ovog modela ne daje jasnou informaciju o resursima, alatima i metodama koje je potrebno primeniti kako bi se projektovao proizvodni sistem baziran na lean konceptu.

Mnoga istraživanja usmerena su ka analizi i optimizaciji postojećih sistema za montažu. Autor Jordi Santos i ostali u svom radu analiziraju sistem za montažu grafičkim prikazom vremena trajanja operacija rada i tabelarnim prikazom svih radnih mesta sa njihovim parametrima (ritam toka, dodatna vremena, broj operacija rada po radnom mestu, itd.) [18]. Razvijeni softver daje procenu trenutnog stanja sistema za montažu gde je prikazan ritam toka, vreme potrebno da se proizvede određena količina proizvoda, kao i količinu proizvoda koji se nalaze unutar procesa (međuskladišta). Varijacijom određenih parametara moguće je simulirati izmene u okviru sistema za montažu i analizirati njihov uticaj na poboljšanje procesa montaže. Navedeni softver daje dobar prikaz trenutnog stanja sistema, ali ne ukazuje na to koje konkretnе alate i metode lean filozofije je potrebno primeniti kako bi se postigli željeni rezultati.

Rad „Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools“ daje prikaz upotrebe mape toka vrednosti kao alata pomoću kog se vrši analiza trenutnog stanja sistema za montažu [19]. Analizom mape toka vrednosti detektuju se mesta na kojima postoji prekidi u kretanju proizvoda gde se potom implementira sistem međuskladišta sa „kanban“ kartama kako bi se optimizovala količina proizvoda unutar međuskladišta. Pored navedenog, vrši se i implementacija „milk run“ metode koja podrazumeva optimizaciju logistike gde se formiraju kružne putanje kojima se vrši prikupljanje proizvoda, odnosno dostavljanje sirovina. Nakon izmene sistema, kreira se nova mapa toka vrednosti i vrši se ponovna analiza sistema. U okviru navedenog istraživanja, akcenat je stavljen jedino na optimizaciju sistema za montažu smanjenjem količine proizvoda

unutar međuskladišta upotreboom „kanban“ karti i redizajniranjem transportnog sistema.

U okviru rada „Material handling and process improvement using lean manufacturing principles“, analizirano je poboljšanje proizvodnog procesa mapiranjem toka vrednosti i korišćenjem „5S“, vizuelnog menadžmenta i „kanban“ karti [7]. Prikazani su rezultati primene navedenih instrumenata lean-a pomoću kojih je postignuto skraćenje radnog takta, redukcija transportnih puteva i opterećenja zaposlenih. Osim navedenih alata i metoda, nisu razmatrani neki drugi, takođe važni elementi lean koncepta, kao što su „SMED“, „poka-yoke“, „Jidoka“, itd.

Autor Sergio Aguado i ostali predstavili su model za unapređenje lean proizvodnog sistema procesom inovacije okruženja [20]. Prikazan je model koji, osim analize samog proizvodnog sistema, koristi i parametre vezane za okruženje u kom se proizvodni sistem nalazi (ekonomija, društvo, državna politika, itd.). U okviru istraživanja, prikazan je i konkretan primer primene razvijenog modela. Izvršena je transformacija postojećeg proizvodnog sistema promenom rasporeda i modifikacijom pojedinih elemenata sistema. Međutim, nejasno je koji alati i metode lean koncepta su primjeneni kako bi se postigli željeni rezultati.

Rad „Implementation of Lean Production in Small Sized Enterprises“ analizira primenu lean koncepta u okviru malih preduzeća [21]. Autori rada analizirali su pogodnost primene instrumenata lean koncepta u okviru malih preduzeća i predstavili spisak onih koji su pogodni za primenu u malim preduzećima. Navedeni spisak je sačinjen na osnovu prethodnih istraživanja drugih autora i istraživanja u okviru određenog broja malih preduzeća koja su sproveli autori rada. Odabrani instrumenti lean koncepta svrstani su u pet grupa: kvalitet i kontinuirano unapređenje, organizacija i zaposleni, tokovi materijala, planiranje proizvodnje, mašine i oprema. Osim grupisanja navedenih alata i metoda lean-a, u okviru rada nije predstavljena procedura njihove primene.

Poseban problem kod montažnih procesa, predstavlja mogućnost pojave grešaka tokom procesa montaže, čija je posledica pojava proizvoda van standarda, kao i iznenadnih zastoja, kvarova, pa i povreda radnika. Poka-Yoke predstavlja efikasan alat lean-a za poboljšanje performansi sistema za montažu, u smislu smanjenja mogućnosti, odnosno izbegavanja (jp. „yokeru“) pojave grešaka (jp. „poka“). Cilj poka-yoke je eliminacija proizvoda van standarda prevencijom, ispravkom ili davanjem određene vrste upozorenja kada nastane greška.

U radu „A framework for assessing poka-yoke devices“ predstavljen je metod za implementaciju „poka-yoke“ alata u kontrolu kvaliteta proizvoda i kontrolu nezgoda i bezbednosti [22]. U okviru predložene metode vrši se procena procesa dizajniranja, rada i održavanja „poka-yoke“ alata. Koriste se tri strategije: definisanje 15 osobina „poka-yoke“ alata, identifikacija osobina koje obezbeđuju sigurnosnu karakteristiku i onih koje daju najbolji dizajn, implementaciju i održavanje.

Autori Gabriela Estrada i Joaquim Lloveras u svom radu analiziraju mogućnosti implementacije „poka-yoke“ alata u fazi dizajniranja proizvoda [23].

Razvijen je softver, koji pomaže u odlučivanju, koji od sedamnaest zahteva za implementaciju „poka-yoke“ alata imaju veći prioritet postavljanjem sedam pitanja vezanih za osobine proizvoda. Kao krajnji rezultat primene razvijenog softvera dobija se lista preporuka vezanih za implementaciju „poka-yoke“ alata tokom dizajniranja proizvoda.

Analiza aktuelnog stanja u oblasti je pokazala da su istraživanja u domenu primene lean-a u montaži usmerena, pre svega, na redizajn postojećih sistema za montažu [24][25][26][27][19]. Kod navedenih radova, nije prikazana i jasno definisana metoda projektovanja, odnosno redizajna sistema za montažu.

## 1.2 Definisanje i opis predmeta istraživanja

Kao što je ranije navedeno, sistem za montažu najčešće predstavlja kompleksnu celinu, koja se sastoji od velikog broja radnih mesta sa pripadajućim uređajima za ostvarivanje spojeva i automatizovanih mašina između kojih se često nalaze međuskladišta, kao i razne vrste transportnih uređaja. Projektovanje, odnosno optimizacija jednog takvog sistema, nije nimalo lak zadatak, jer je potrebno uskladiti niz zahteva i parametara.

Sa razvojem lean-a, razvio se veliki broj alata i metoda, čija je osnovna funkcija da pomognu pri projektovanju sistema za montažu, zasnovanog na lean konceptu, odnosno da ukažu na manjkavosti postojećeg sistema za montažu. Problem predstavlja činjenica da ne postoji pojedinačni alat ili metoda čija bi samostalna primena obezbedila projektovanje novog ili transformaciju postojećeg sistema za montažu tako da on u potpunosti zadovoljava lean koncept. Zbog toga je potrebno primeniti čitav niz alata i metoda kako bi se postigao željeni rezultat, što često dovodi do konfuzije, a samim tim i nemogućnosti dostizanja benefita primene lean koncepta. Sa druge strane, različita tumačenja ili nerazumevanje pojedinih pojmovevlean filozofije dovode do drugačijih, neretko loših rezultata njihove primene.

Poseban problem je i činjenica da ne postoji uputstvo ili metoda koja jednoznačno ukazuje koje instrumente lean-a i kojim redosledom treba primeniti kako bi se razvio potpuno novi sistem za montažu zasnovan na lean konceptu. Krajnji rezultat navedenih problema je loša implementacija ili potpuno odustajanje od primene lean koncepta kod sistema za montažu. Istraživanja u ovoj disertaciji usmerena su upravo na pronalaženje rešenja navedenih problema.

## 1.3 Cilj istraživanja

Na osnovu prethodnog istraživanja u oblasti primene lean koncepta na sistemima za montažu, zaključeno je da ne postoji jasno definisana metoda koja bi se primenila pri projektovanju potpuno novog sistema za montažu zasnovanog na lean konceptu. Danas se u većini slučajeva na već postojeće sisteme za montažu primenjuju instrumenti lean-a. Istraživanja su pokazala da i kod primene lean koncepta na postojeće sisteme za montažu dolazi do poteškoća tokom

implementacije pojedinih instrumenata lean-a. Navedene činjenice dovode do zaključka da postoji značajna potreba za razvojem metode koja će obezbititi efikasnu primenu lean filozofije kako kod projektovanja novih, tako i kod optimizacije postojećih sistema za montažu.

U okviru ove disertacije, analiziraće se postojeći instrumenti lean-a, a posebno će biti istražen njihov uticaj na razvoj sistema za montažu, kao i analizu ključnih parametara sistema. Na osnovu prethodne analize, izvršiće se selekcija odgovarajućih instrumenata lean-a, koji će predstavljati osnovu za kreiranje jedinstvene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu baziranih na lean konceptu. Prethodno odabrani instrumenti lean-a biće implementirani u okviru metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu tako da njihov redosled primene odgovara trenutnoj fazi razvoja sistema. Verifikacija razvijene metode biće izvršena na studiji slučaja optimizacije sistema za montažu cirkulacionih pumpi u kompaniji Grundfos. Pored optimizacije postojećeg sistema, paralelno će se izvršiti i projektovanje potpuno novih segmenata (radna mesta, radne ćelije, skladišta, međuskladišta, itd.) na osnovu kojih će biti kreiran predlog novog sistema za montažu cirkulacionih pumpi.

Očekuje se da metoda bude primenljiva tokom razvoja novog, odnosno pri optimizaciji postojećeg sistema za montažu, tako da u potpunosti budu zadovoljeni principi lean filozofije.

U skladu sa postavljenim ciljem istraživanja, definisane su sledeće hipoteze:

- Postoji potreba za razvojem metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu zasnovanih na lean konceptu.
- Primenom razvijene metode moguće je optimizovati postojeći, odnosno projektovati novi sistem za montažu tako da se aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu, potrebne površine i angažovanje potrebnih resursa (tehničkih i ljudskih) svedu na najmanju meru.

Hipoteze na kojima se temelji ova doktorska disertacija izvedene su na osnovu induktivne naučne metode. Izbor odgovarajućih instrumenata lean-a, koji su imlplementirani u metodu za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu, izvršen je analitičko-sintetičkom metodom. Funkcionalnost kreirane metode proverena je eksperimentalnom metodom tj. primenom na realnom sistemu za montažu, dok su pomoću komparativne metode analizirani rezultati primene razvijene metode. Metoda generalizacije korišćena je za formiranje opštih stavova na osnovu pojedinačnih zaključaka, odnosno za generalizaciju zaključaka vezanih za primenu predložene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu.

## 1.4 Struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija je podeljena u šest poglavlja. U daljem tekstu dat je kratak opis svakog poglavlja.

Prvo poglavlje sadrži uvodni deo disertacije kao i aktuelno stanje u oblasti uz definisanje i opis predmeta istraživanja. U okviru prvog poglavlja, dat je i cilj istraživanja sa postavljenim hipotezama.

U drugom poglavlju, dat je kratak pregled razvoja lean koncepta. Poseban akcenat, stavljen je na sve relevantne istorijske činjenice koje su uticale na pojavu lean filozofije (industrijska revolucija, podela rada, standardizovani delovi, standardizovane procedure, itd.)

Treće poglavlje sadrži teorijske osnove i opis instrumenata lean-a koji su implementirani u okviru razvijene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu.

U okviru četvrtog poglavlja, dat je prikaz metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu baziranih na lean konceptu, uz detaljan opis svakog koraka razvijene metode.

Peto poglavlje obuhvata studiju slučaja koja prikazuje praktičnu primenu razvijene metode pri optimizaciji postojećeg sistema za montažu. Pored navedenog, prikazani su i svi relevantni parametri koji su korišćeni za analizu dobijenih rezultata nakon primene razvijene metode.

U šestom poglavlju, sagledani su problemi koji se mogu pojaviti tokom primene razvijene metode. U zaključku je dat osvrt na ostvarene rezultate. Na kraju poglavlja dati su mogući pravci daljeg istraživanja.

Sedmo poglavlje sadrži spisak citirane i korišćene literature.

## 2 Istorija lean koncepta

Početak industrijske revolucije, sredinom XVIII veka, predstavlja jedan od najznačajnijih perioda u ljudskoj istoriji. Ručna proizvodnja doživela je potpuni preobražaj uvođenjem mašina u proizvodne procese. Sve veća primena parnih mašina, korišćenje hidro potencijala i mašinskih alata, podstakla je razvoj industrijskih sistema. Sve do pronalaska parne mašine, procesi montaže su imali podređanu ulogu, jer je najteži deo posla još uvek bila proizvodnja sastavnih delova [2]. Kod ručne proizvodnje, izrada **standardizovanih delova**, iziskivala je veliku količinu rada (posebno kada su u pitanju precizni delovi). Upotreba mašina i mašinskih alata znatno je olakšala i ubrzala izradu standardnih delova što je podstaklo masovnu proizvodnju.

Tokom industrijske revolucije, došlo je do značajnog podizanja kapaciteta proizvodnih sistema i u tom periodu počinju da se pojavljuju i prva značajna istraživanja vezana za optimizaciju proizvodnih procesa. U svojoj kljizi „Bogatstvo naroda“, škotski ekonomista i filozof Adam Smith analizirajući dobrobiti **podele rada** kaže da najveća poboljšanja u produktivnosti rada i rešenja u proizvodnji predstavljaju efekte podele rada [28]. Adam Smith je analizirao podizanje produktivnosti primenom podele rada u fabričkim proizvodnjama čioda. Smith u svojoj analizi zaključuje da je, u slučaju u kom jedan radnik obavlja kompletan proces proizvodnje čiode, moguće proizvesti najviše 20 čioda dnevno. Međutim, ako se proizvodnja podeli u 18 jednostavnijih operacija, tada 10 radnika može proizvesti 48.000 čioda dnevno.

Američki pronalazač Eli Whitney, tokom industrijske revolucije, konstruisao je mašinu za čišćenje pamuka. Upotrebom Elijeve mašine, tada veoma težak proces razdvajanja vlakana pamuka od semena, znatno je olakšan i ubrzan. Pored navedenog, Eli Whitney je podstakao primenu **standardizovanih delova** u proizvodnji vatrene oružja, što predstavlja jedan od najznačajnijih elemenata industrijske revolucije.

Globalno širenje masovne proizvodnje podstaklo je istraživanja usmerena ka poboljšanju efikasnosti industrijskih sistema. Frederick Taylor je jedan od prvih istraživača, koji se bavio sistemskim posmatranjem i proučavanjem rada. U svojoj kljizi „The Principles of Scientific Management“, Taylor je predstavio svoje tehnike za podizanje efikasnosti gde insistira na četiri principa:

1. Zameniti opšte metode rada sa metodama zasnovanim na naučnoj studiji zadatka.
2. Naučno izabrati, obučiti i razviti svakog zaposlenog, a ne ostaviti ih da se sami obuče.
3. Obezbediti detaljna uputstva i nadzor svakog radnika za obavljanje konkretnog zadatka.
4. Podeliti rad skoro podjednako između menadžera i radnika, tako da menadžeri primenjuju naučne principe upravljanja i planiranja rada, a radnici obavljaju poslove [29].

Svojim naučnim prilazom u analizi rada Frederick Taylor je uticao na razvoj i primenu **standardnih procedura**.

Početkom XX veka, počinje intenzivan razvoj i proizvodnja automobila. Kako je automobil kompleksan proizvod, bilo je potrebno angažovati značajne resurse za proizvodnju delova i njihovu montažu. Američki industrijalac Henry Ford 1913. godine uvodi pokretnu traku u proces montaže automobila. Uvođenje pokretne trake u potpunosti je transformisalo proces montaže, od zasebnih radnih mesta, u liniju na kojoj se u svakom segmentu obavlja deo montaže, tako da se na kraju dobija završen automobil. Na ovaj način, produktivnost je značajno podignuta, a cena automobila je redukovana. Osim toga, Henry Ford uvodi i standardizovane komponente u proizvodnju automobila što je omogućilo proizvodnju više modela automobila koji spolja izgledaju različito, ali sadrže veliki broj istih komponenti. Linija za montažu automobila predstavlja sublimaciju nekoliko važnih elemenata koji su ranije primenjeni: podela rada (Adam Smith), standardne procedure (Frederick Taylor) i standardni delovi (Eli Whitney).

Masovna proizvodnja, pored podizanja kapaciteta proizvodnih sistema, usmerila je istraživanja i na kontrolu samih proizvodnih procesa. Sakichi Toyoda, japski industrijalac i pronalazač, konstruisao je automatski razboj koji se, u slučaju da se nit potroši ili dođe do pucanja, automatski zaustavlja. Na ovaj način, onemogućio je proizvodnju loše tkanine i redukovao broj radnika potrebnih za nadzor procesa tkanja. Navedeni sistem kontrole proizvodnog procesa bazira se na **Jidoka** principu, koji podrazumeva implementaciju sistema za detekciju greške pomoću kog se mašina automatski zaustavlja. Sakichi Toyoda je razvio i „**5 zašto**“ koncept, koji kaže da je potrebno, kada se pojavi problem, pet puta postaviti pitanje „zašto“ kako bi se pronašao uzrok i potom primenila odgovarajuća preventiva i izbegla ponovna pojava problema.

Sredinom XX veka, Eiji Toyoda, tadašnji direktor „Toyota Motor Corporation“ i njegov saradnik Taiichi Ohno, detaljno analiziraju koncept masovne proizvodnje u okviru „Ford Motor Company“ gde se proizvodilo oko 8000 automobila dnevno. Kako bi postali konkurentni na tržištu, vrše detaljnu analizu proizvodnog sistema „Toyota Motor Corporation“ i implementiraju niz alata i metoda kako bi gubitke svih resursa sveli na minimum. Taiichi Ohno definiše **sedam gubitaka** koji se javljaju u proizvodnom procesu. U proces montaže automobila implementiran je „**Kanban**“ sistem pomoću kog su redukovane zalihe i koji predstavlja jedan od glavnih oslonaca „**Just In Time**“ koncepta. Shiego Shingo, konsultant u „Toyota Motor Corporation“, osmislio je sistem brze izmene kalupa na presama, poznatiji kao „**SMED**“. Implementacijom „**SMED**“ metode, vreme potrebno za zamenu kalupa na presama, redukovano je sa nekoliko sati na nekoliko minuta, što je dramatično podiglo produktivnost sistema. Pored toga, Shiego Shingo razvio je i „**Poka-Yoke**“ alat za izbegavanje pojave grešaka u procesu montaže čime prvi put uvodi kontrolu na izvoru. Implementacija svega navedenog potpuno je transformisala koncept masovne proizvodnje automobila, koji postaje poznat kao „**Toyota Production System**“ (TPS).

U svojoj knjizi „Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production“ Taiichi Ohno kaže: „... Decenijama je američki industrijski sistem smanjivao troškove proizvodnje, proizvodnjom samo nekoliko modela u velikim količinama... Naš cilj je bio potpuno suprotan, ostvariti smanjenje troškova proizvodnje, proizvodnjom širokog assortimana modela u malim količinama.“ [5]. Navedeni pristup obezbedio je lidersku poziciju „Toyota Motor Corporation“ u oblasti automobilske industrije. Očigledna korist koju je obezbedila primena TPS-a podstakla je mnogobrojna istraživanja u kojima su analizirani instrumenti TPS-a, kao i njihova implementacija.

Lean se u tehničkoj i stručnoj dokumentaciji prvi put pojavljuje početkom devedesetih godina XX veka i vezan je za rezultate obimnog petogodišnjeg istraživanja sprovedenog na „Massachusetts Institute of Technology“ koje se odnosilo na budućnost automobilske industrije na globalnom nivou. U knjizi „The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production“ [14] James Womack pominje pojam „LEAN“ - koncept proizvodnje koji se direktno bazira na principima TPS-a. Sprovedeno istraživanje i objavljena knjiga su ukazali na bitne prednosti koje ima japanski način organizacije proizvodnje, posebno u složenim i zahtevnim sektorima kao što je automobilska industrija. Termin „lean“ se u principu ne prevodi i opšte je prihvaćeno da se svuda u svetu koristi u izvornom obliku.

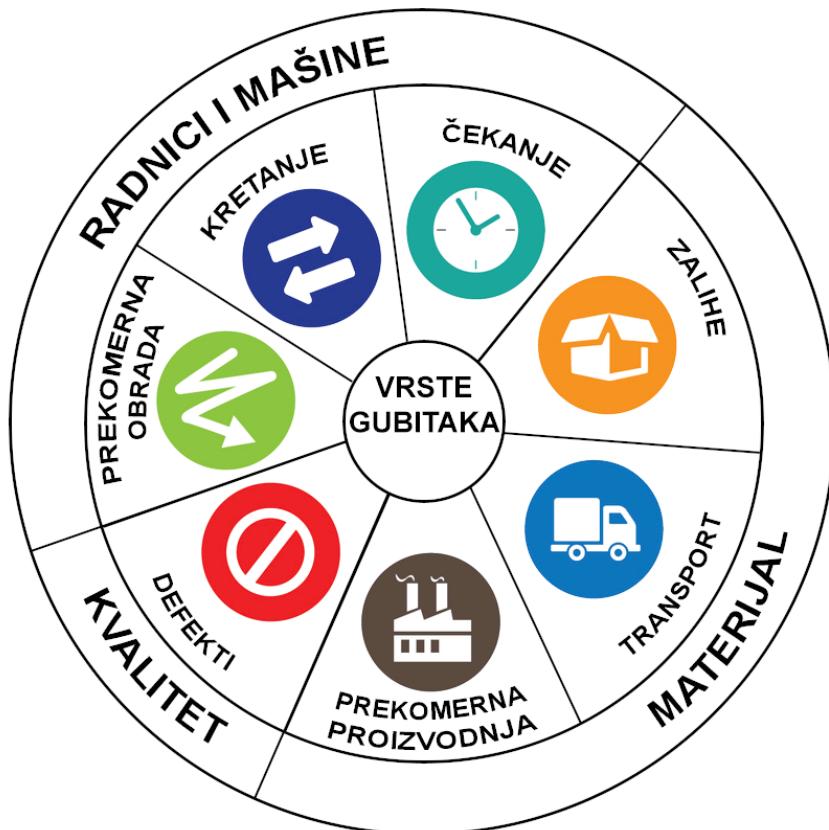
### 3 Instrumenti lean-a

#### 3.1 Gubici

Kao što je ranije navedeno, osnovni princip lean-a je dodavanje vrednosti proizvodu eliminacijom gubitaka. Prvi korak u primeni lean koncepta je identifikacija gubitaka. Celokupan proces montaže može se raščlaniti na niz koraka od kojih neki dodaju vrednost proizvodu, a neki ne. Koraci, koji ne dodaju vrednost proizvodu, predstavljaju gubitke. Kao sastavni deo TPS-a, Taiichi Ohno je definisao dva tipa gubitaka (jp. „muda“):

- **I tip gubitaka** – ne dodaju vrednost proizvodu, ali ih je nemoguće eliminisati zbog prirode proizvodnog procesa. Eliminacija ovih gubitaka zahteva korenite promene i inovacije.
- **II tip gubitaka** – nepotrebni gubici, koji ne dodaju vrednost proizvodu i mogu se eliminisati bez kapitalnih ulaganja.

Bez obzira na strukturu sistema za montažu i finalnog proizvoda, moguće je uočiti gubitke koji se najčešće pojavljuju, a koji imaju direktni uticaj na radnike, mašine, materijale i kvalitet gotovog proizvoda. Navedeni gubici, podeljeni su u sedam kategorija (*Slika 3.1.1*) poznatijih kao „7 gubitaka“.



Slika 3.1.1 Vrste gubitaka

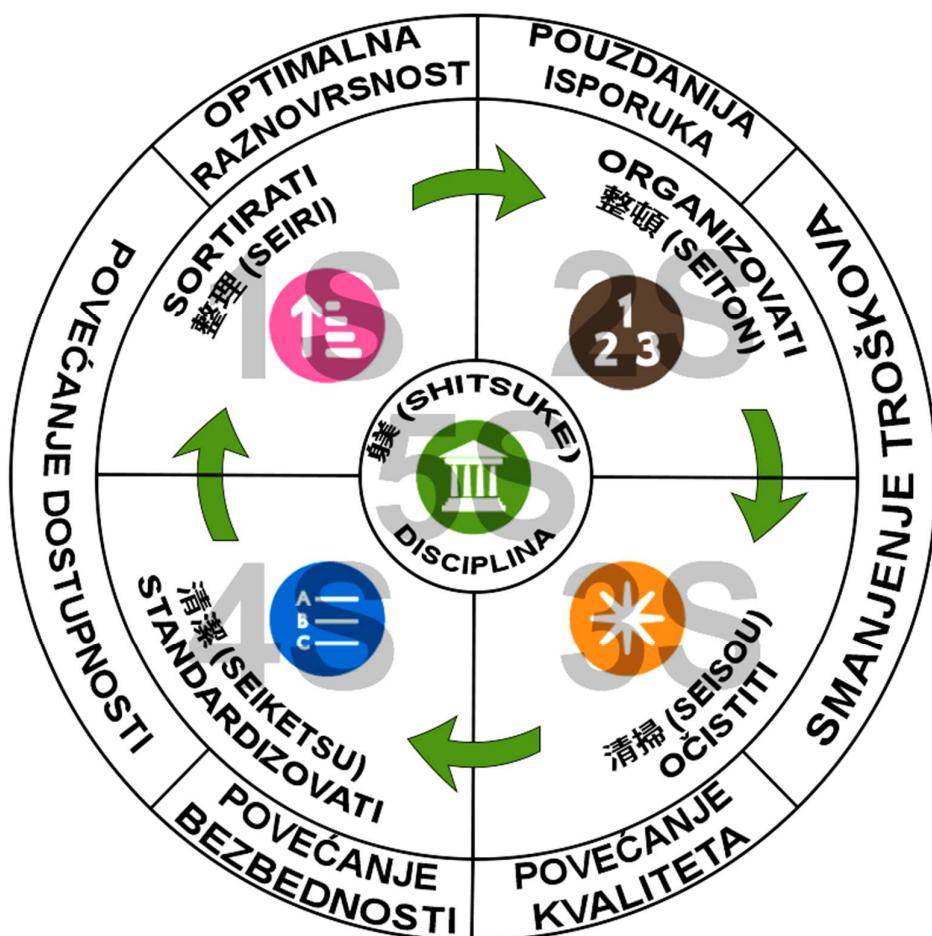
- 1) **Transport** – predstavlja premeštanje materijala sa jedne lokacije na drugu. Transport ne vrši nikakvu promenu na proizvodu, pa samim tim ne dodaje vrednost. Takođe, pri transportu postoji mogućnost da se proizvod ošteti, izgubi ili da se zakasni sa isporukom.
- 2) **Zalihe** – u formi sirovina, nedovršenih ili gotovih proizvoda predstavljaju vezani kapital. Pored toga, zalihe je potrebno uskladištiti i adekvatno upakovati, a veoma često i transportovati na drugu lokaciju što predstavlja dodatne troškove. Postoji verovatnoća da uskladišteni proizvodi zastare ili da se oštete tokom skladištenja. Navedene činjenice ilustruju koliko skrivenih gubitaka za sobom povlači stvaranje zaliha.
- 3) **Kretanje (pokreti)** – predstavlja nepotrebno ili neoptimalno kretanje ljudi (saginjanje, istezanje, podizanje, hodanje, itd.) i mašina između radnih mesta, odnosno kretanje od početne pozicije do pozicije u kojoj se započinje operacija rada. Nepotrebna kretanja uzrokuju nepotreban gubitak vremena, napor za radnika, mogu dovesti do kvarova na mašinama, kao i do povreda radnika.
- 4) **Čekanje** – u toku procesa montaže proizvodi koji se ne obrađuju nalaze se na čekanju. Čekanje nastaje kada informacije, materijali ili oprema nisu pripremljeni. Da bi se u procesu montaže obezbedio kontinuirani tok proizvoda (jedan od osnovnih principa lean-a), mora se eliminisati čekanje.
- 5) **Prekomerna obrada** – predstavlja prekomerno uloženi rad koji nije zahtevan od strane kupca. Ovo podrazumeva upotrebu delova koji su kompleksniji, većeg kvaliteta ili skuplji od onoga što je zaista potrebno. Sa stanovišta procesa montaže, to su neadekvatne tehnike rada, predimenzionisana oprema, male tolerancije itd.
- 6) **Prekomerna proizvodnja** – javlja se svaki put kada se proizvede više proizvoda od zahtevane količine. Predstavlja jedan od najvećih gubitaka, jer prikriva ili generiše sve ostale gubitke. Uzroci prekomerne proizvodnje mogu biti prevelike serije, dugo vreme proizvodnje, loše snabdevanje materijalima, itd.
- 7) **Defekti** – pojavljuju se kao posledica grešaka ili propuštanja neke radnje tokom procesa montaže. Svaki put kada se proizvede škart proizvod (proizvod van standarda) generišu se gubici, jer je potrebno izvršiti doradu ili organizovati dodatnu proizvodnju što iziskuje dodatne materijale i resurse.

Gubici se pojavljuju u slučaju kada nema neprekidnog toka proizvoda kroz proces montaže, odnosno kada se pojavi neujednačenost u procesu (*jp „mura“*). Pojava neujednačenosti u procesu montaže može biti uzrokovana uticajem više faktora: loše planiranje proizvodnje, nepouzdano snabdevanje potrebnim materijalima, neadekvatno dimenzionisan sistem za montažu, itd. Kao posledica neujednačenosti, javlja se neravnomerno opterećenje sistema za montažu (ljudi i mašina) gde često dolazi do preopterećenja (*jp. „muri“*). Preopterećeni radnici podložniji su greškama, pa su posledice napornog rada nezadovoljstvo radnika, češća pojava škarta i u najgorim slučajevima, povrede radnika. Sa druge strane, preopterećene mašine podložne su iznenadnim otkazima koji unose dodatnu nestabilnost u proces montaže.

### 3.2 5S

Kod sistema za montažu radno okruženje predstavlja jedan od najznačajnijih elemenata. Kako bi se postigao što viši kvalitet, što niža cena i pouzdana isporuka, potrebno je obezbediti adekvatno radno okruženje. Neuredno, prljavo i loše organizovano radno mesto negativno utiče na kvalitet proizvoda. Pored toga, pretrpano i loše uređeno radno mesto može imati negativan uticaj na radnike što onemogućava iskazivanje njihovog maksimalnog potencijala i produktivnosti.

5S je sistematična metoda za poboljšanje efikasnosti radnog mesta kroz njegovu organizaciju i predstavlja osnovu lean koncepta (Slika 3.2.1). Primarni cilj 5S metode je maksimalno podizanje kvaliteta i bezbednosti radnog mesta zajedno sa povećanjem produktivnosti [30]. U osnovi, potrebno je smanjiti broj predmeta eliminacijom onih koji nisu potrebni, poboljšati urednost pronalazeći adekvatno mesto za svaki predmet i ostavljajući sve na svom mestu. Primena 5S metode iziskuje upotrebu standardnih procedura što obezbeđuje efikasnost, ponovljivost i bezbedan način rada.



Slika 3.2.1 Elementi 5S metode

„5S“ potiče od pet japanskih reči koje, kada se napišu abecedom, počinju slovom „s“. Navedene reči opisuju kako organizovati radno mesto identifikacijom i uređenjem potrebnih predmeta, održavanjem radnog okruženja i svih pripadajućih elemenata, kao i načinom održavanja novog uređenja. Primena 5S metode izvodi se u pet koraka gde se u svakom primenjuje jedno od pet „s“.

„1S“ - **sortirati i raščlaniti** (jp. „seiri“) predmete na osnovu učestalosti korišćenja. U prvoj fazi, predmete je potrebno sortirati na osnovu određenih kriterijuma vezanih za njihovu upotrebu. U tom smislu potrebno je odgovoriti na sledeća pitanja:

- Čemu služi?
- Koliko često se koristi?
- Da li je potrebno da predmet bude na trenutnoj ili može biti premešten na neku drugu lokaciju?
- Koliko takvih predmeta je potrebno?
- Ko koristi i ko je odgovoran za predmet?
- Postoji li još neki razlog zbog kojeg bi predmet trebalo da bude na trenutnoj lokaciji?

Ukoliko se ispostavi da je neki od predmeta nepotreban, on se označava crvenom oznakom (eng. „red tag“) (Slika 3.2.2). Sve predmete označene crvenom oznakom potrebno je smestiti na lokaciju predviđenu za njihovo odlaganje. Predmeti označeni crvenom oznakom moraju se ukloniti ili premestiti u definisanom roku (obično jedan ili dva meseca).



Slika 3.2.2 Crveni tag

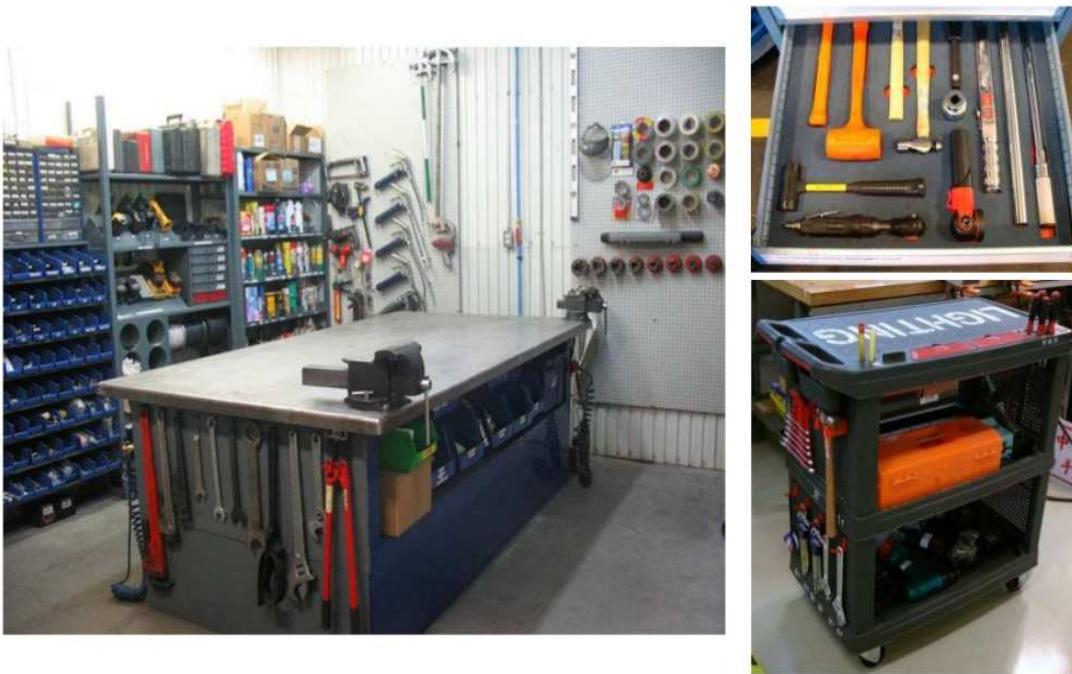
Predmete, koji se koriste, potrebno je rasporediti na osnovu učestalosti njihove primene, i to:

- Predmete, koji se najčešće koriste (svakodnevno ili više puta dnevno), treba smestiti u okviru radnog mesta;
- Predmete, koji se koriste jednom nedeljno ili mesečno, potrebno je smestiti u zonu blisku radnom mestu;
- Predmete, koji se retko koriste, potrebno je smestiti u skladište.

Primenom prvog „S“ vrši se optimizacija raznovrsnosti alata i pribora, tako da se na radnom mestu nalaze samo oni predmeti koji su zaista potrebni za njegovo normalno funkcionisanje.

„2S“ - **organizovati** (jp. „*seiton*“) podrazumeva organizaciju i uređenje potrebnih predmeta, tako da se obezbedi njihova što bolja dostupnost. Svi predmeti se organizuju tako da se obezbedi uređenje bazirano na efikasnosti i efektivnom iskorišćenju dostupnog prostora poštujući sledeće preporuke:

- Pre svega, potrebno je utvrditi da li su svi nepotrebni predmeti uklonjeni (realizacija „1S“).
- Potrebno je uzeti u obzir operacije rada koje se izvršavaju na radnom mestu i u skladu sa tim odrediti pozicije pojedinih predmeta.
- Najčešće korišćeni predmeti moraju biti smešteni tako da se mogu preuzeti u najkraćem mogućem roku sa minimalnim kretanjem.
- Neophodno je kreirati spisak svih predmeta sa njihovim lokacijama i postaviti ga na odgovarajuće mesto (orman, polica, fioka, itd.).
- Nužno je obeležiti sve ormane, police i fioke tako da se zna koji se predmeti u njima nalaze.
- Trebalo bi obeležiti lokaciju opreme, zaliha, zajedničkog prostora i bezbednih zona linijama (razdelne linije za obeležavanje staza za kretanje i radnog mesta, linije za markiranje pozicije opreme, strelice za označavanje smera, itd.).



Slika 3.2.3 Primer primene prva tri „S“

„3S“ - **očistiti** (jp. „*seisou*“) odnosno eliminisati sve vrste zagađenja (nečistoća, prašina, tečnost, itd.), podrazumeva čišćenje radnog mesta i svih pripadajućih predmeta na dnevnom nivou (uglavnom pre i nakon završetka rada).

Tokom čišćenja proverava se da li su svi predmeti na svom mestu, kao i ispravnost alata i pribora. Pored toga, identifikuju se uređaji i predmeti koji prouzrokuju kontaminaciju (prosipanje, curenje, izlivanje, itd.) i obeležavaju se odgovarajućom oznakom. Potrebno je pronaći uzrok kontaminacije i sprovesti potrebne korektivne mere kako bi se ona sprečila. Primena trećeg „S“ direktno utiče na povećanje kvaliteta proizvoda, jer se smanjuje mogućnost kontaminacije nečistoćama.

„4S“ – **standardizovati** (jp. „seiketsu“) znači kreirati vizuelnu kontrolu i uputstva kako bi se radno mesto održavalo uredno, organizovano i čisto. U okviru standardizacije, definišu se standardi za prva tri „S“, tako da ne dođe do grešaka pri njihovom izvršavanju čime se ujedno podiže i nivo bezbednosti. Kako bi se to obezbedilo, u okviru četvrtog „S“, definišu se rutine i standardne procedure za primenu prva tri „S“ što podrazumeva:

- Postavljanje 5S table na kojoj se nalaze podaci vezani za aktivnosti u okviru 5S (dokumeta, liste za proveru, itd.);
- Kreiranje procedura i formulara za proveru statusa prva tri „S“;
- Standardizaciju procedure „crvene oznake“ i lokacija za odlaganje (1S);
- Standardizaciju procedure za kreiranje senčanih tabli, linija za označavanje i markiranje svih zona i elemenata (2S);
- Standardizaciju procedura i rasporeda čišćenja (3S).

„5S“ – **disciplina** (jp. „shitsuke“) obezbeđuje održanje prva četiri „S“. U okviru petog „S“ sprovode se obuke i radionice kako bi se obezbedilo da svi prate „5S“ standard. To znači da svi zaposleni praktikuju upotrebu prva četiri „S“ i prihvataju ga kao deo kulture organizacije u kojoj rade. Kako bi se održalo peto „S“ potrebno je:

- Dugoročno organizovati obuke i radionice kako bi svi zaposleni imali prilike da dobro upoznaju i prihvate 5S principe;
- Periodično proveriti da li su prva četiri „S“ u potpunosti primenjena;
- Da zaposleni prihvate 5S aktivnosti kao deo svakodnevnog rada, a ne kao iznuđene aktivnosti;
- Vršiti redovnu proveru sprovođenja prva tri „S“ i rezultate provere postaviti na 5S tablu;
- Podsticati i prepoznati dostignuća u primeni prva četiri „S“ (umesto sankcionisanja, u slučaju nepoštovanja 5S principa, uvesti nagrade za one koji pravilno održavaju i unapređuju radni prostor).

Kada se gore navedeni koraci u potpunosti primene kao celina, koja predstavlja kulturu organizacije, krajnji rezultat je povećanje produktivnosti, poboljšanje kvaliteta, smanjenje troškova, pouzdanija isporuka i povećanje bezbednosti. Za postizanje najboljih rezultata, potrebno je da svaki zaposleni razume važnost svakog „S“ kako bi se obezbedila potpuna primena 5S koncepta.

### 3.3 Vizuelni menadžment

Dostupnost bitnih informacija predstavlja jedan od najvažnijih elemenata sistema za montažu. Vizuelni menadžment je sistem prikazivanja informacija na način koji obezbeđuje njihovo brzo razumevanje tako da svako može bez poteškoća uvideti šta se dešava i šta je potrebno učiniti, čak i ako osoba nije upoznata sa svim segmentima sistema. U okviru vizuelnog menadžmenta, svi alati, delovi, proizvodne aktivnosti i indikatori performansi proizvodnog sistema, postavljaju se tako da svako ko je uključen u proces može lako da ih razume i primeni [31]. Vizuelni menadžment realizuje se pomoću jednostavnih znakova i signala koji omogućavaju lako razumevanje situacije i prilika.

Osnovni elementi vizuelnog menadžmenta su:

- **Informacije** (Šta je ovo?; Gde se nalazim?; Ko ovde radi?)
- **Uputstva** (Šta je potrebno raditi?; Kako se radi?)
- **Status** (Šta se dešava?; Šta bi trebalo da se dešava?)

Primena vizuelnog menadžmenta je obavezna u praktično svim segmentima sistema za montažu (*slika 3.3.1*) iz čega proizilazi da se mnogi instrumenti lean-a oslanjaju na vizuelni menadžment (5S, andon, kanban, mapiranje toka vrednosti, itd.).



Slika 3.3.1 Elementi vizuelnog menadžmenta

Tokom procesa montaže, važno je praćenje statusa svakog radnog mesta tako da je u svakom trenutku moguće uočiti ako se negde pojavi problem ili se desi zastoj. Andon predstavlja jedan od osnovnih alata vizuelnog menadžmenta, koji jasno prikazuje status određenog dela proizvodnog sistema, tako da se lako uočava koje radno mesto normalno funkcioniše i na kom radnom mestu se pojavio problem. Termin „andon“ u slobodnom prevodu sa japanskog jezika znači „lampa“ iz čega proizilazi da je upravo svetlosna signalizacija osnovni element andon sistema. Osnovni andon predstavlja semafor, koji se aktivira, ako se na radnom mestu pojavi problem. Sistem uglavnom funkcioniše tako što radnik povuče kanap kada se pojavi problem i na taj način aktivira andon signal (*slika 3.3.2*). Odgovorna osoba uočava signal i odmah odgovara na zahtev (primer iz Toyota proizvodnog sistema).



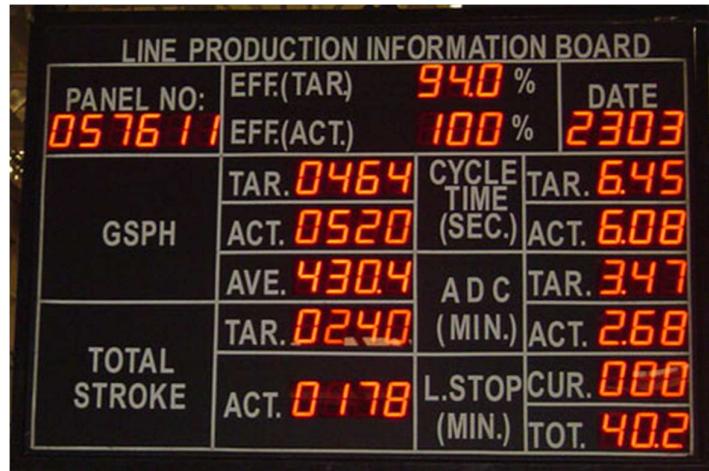
*Slika 3.3.2 Andon kanap*

Kompleksniji andon semafor sadrži više različitih svetlosnih signala (*slika 3.3.3*) gde zelena boja označava normalan rad, žuta pojavu problema i crvena prekid rada (uobičajene boje i njihovo značenje).



*Slika 3.3.3 Andon semafor*

Pored statusa pojedinačnih radnih mesta, u okviru andon sistema, mogu se koristiti i ekrani za prikazivanje informacija o statusu proizvodnje kao što su: planirani i proizvedeni broj proizvoda, vreme trajanja ciklusa, kašnjenje, vreme zastoja, itd (*slika 3.3.4*).



Slika 3.3.4 Andon ekran

Osim andona, u okviru vizuelnog menadžmenta, često se koriste table za prikaz određenih informacija. Njihova funkcija je da prikažu status pojedinih procesa i njihove indikatore, daju informaciju šta je dobro, a šta loše i ukažu na određene radnje ili kontramere koje je potrebno primeniti (*slika 3.3.5*).



Slika 3.3.5 Tabla vizuelnog menadžmenta

### 3.4 SMED

U najvećem broju slučajeva, sistemi za montažu su koncipirani tako da je moguće proizvoditi više varijanti proizvoda. Imajući u vidu razlike, koje se javljaju između pojedinih varijanti, potrebno je za svaku od njih prilagoditi proces montaže tako da zadovolji tražene izmene. Vreme potrebno za prelazak sa proizvodnje jedne varijante proizvoda na drugu, predstavlja veoma važan faktor i potrebno ga je svesti na minimum [32]. Sistemi za montažu, čija je fleksibilnost na niskom nivou, iziskuju duže vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda što ima višestruke negativne uticaje. Ovakvi sistemi uglavnom vode ka proizvodnji u velikim serijama proizvoda kako bi se izbegla česta promena montažnog procesa. Proizvodnja velikih serija dovodi do niza drugih problema: velike zalihe, opasnost od oštećenja i zastarevanja uskladištenih proizvoda, veća mogućnost pojave škarta, duže vreme isporuke, itd.

SMED (eng. „Single Minute Exchange of Dies“) je efikasan sistem za redukciju vremena potrebnog za zamenu alata koji je razvio japanski inženjer Shigeo Shingo. Kao što samo ime kaže, cilj je zameniti alat za jednocifren broj minuta, odnosno za manje od 10 minuta [33]. Primena SMED-a ima višestruke pozitivne uticaje:

- Jeftinija proizvodnja zbog skraćenog vremena čekanja tokom zamene alata;
- Moguća proizvodnja u manjim serijama;
- Smanjenje zaliha zbog proizvodnje u manjim serijama;
- Fleksibilnija proizvodnja omogućava brži odziv na zahteve kupca;
- Povećanje kvaliteta.

Vreme prelaska sa montaže jednog proizvoda na montažu drugog je vreme koje protekne između proizvodnje poslednjeg dobrog proizvoda prethodne varijante i prvog dobrog proizvoda naredne varijante proizvoda (*slika 3.4.1*). U okviru navedenog vremena računa se vreme uklanjanja starog alata, postavljanje novog alata i podešavanje. Tokom podešavanja vrši se probna proizvodnja u okviru koje može doći do proizvodnje određene količine defektnih proizvoda.



*Slika 3.4.1 Vremenski okvir prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda*

Kako bi se izvršila zamena alata potrebno je proći niz koraka, odnosno aktivnosti. Navedene aktivnosti mogu se podeliti na interne i eksterne. Eksterne aktivnosti su sve aktivnosti koje je moguće izvršiti tokom rada maštine

(prikljupljanje alata i potrebnih delova, čišćenje alata i pribora i njihova provera, itd.). Interne aktivnosti su aktivnosti koje je moguće izvršiti samo kada je mašina isključena (zamena alata na presi, zamena oštice noža, itd.). Primena SMED-a izvršava se prolaskom kroz sledeće korake:

- 1) **Posmatranje i identifikacija aktivnosti** – potrebno je izmeriti vreme koje protekne između proizvodnje poslednjeg dobrog proizvoda prethodne varijante i prvog dobrog proizvoda naredne varijante proizvoda. U okviru ovog vremena potrebno je identifikovati sve preduzete aktivnosti. U aktivnosti se ubrajam one koje izvršava čovek, kao i aktivnosti koje izvršavaju mašine.
- 2) **Razdvajanje internih i eksternih aktivnosti** – prethodno identifikovane aktivnosti potrebno je razdvojiti na interne i eksterne. Potom se kreira tabela aktivnosti gde se unosi opis aktivnosti i vreme potrebno da se navedena aktivnost izvrši.
- 3) **Grupisanje eksternih aktivnosti** – u ovom koraku analiziraju se aktivnosti iz prethodno formirane tabele aktivnosti. Poželjno je grupisati sve eksterne aktivnosti tako da se one izvrše tokom rada mašine, odnosno pre ili nakon prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda. Najčešće eksterne aktivnosti su: donošenje pribora i alata, provera ispravnosti, čišćenje alata, itd.
- 4) **Konverzija internih u eksterne aktivnosti** – potrebno je detaljno proanalizirati proces prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda tako da se uoče interne aktivnosti koje je moguće prevesti u eksterne. U okviru analize, potrebno je utvrditi na koji način se interna aktivnost može prevesti u eksternu i šta je potrebno preduzeti. Kao rezultat analize, potrebno je kreirati tabelu sa listom internih aktivnosti koje je moguće prevesti u eksterne. Za svaku aktivnost je potrebno proanalizirati odnos ulaganja i potrebnog rada da bi se izvršila konverzija aktivnosti i korisnosti konverzije u smislu redukcije vremena. Konverzija internih u eksterne aktivnosti obično iziskuje modifikaciju i modularizaciju opreme.
- 5) **Redukcija vremena trajanja aktivnosti** – u ovom koraku posmatraju se sve aktivnosti. Cilj je pojednostaviti aktivnosti i na taj način redukovati vreme potrebno za njihovo izvršavanje. Prioritet je redukovati vreme trajanja internih aktivnosti, jer se na taj način direktno redukuje i vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda. Osnovne smernice u ovom koraku vezane su za eliminaciju i optimizaciju sledećih elemenata:
  - a) Vijci i navrtke – za pričvršćenje elemenata koristiti brzorastavljive mehanizme koji ne zahtevaju upotrebu alata.
  - b) Podešavanja – koristiti standardizovane pinove za centriranje i poravnavanje, podesive mehanizme zameniti za nekoliko fiksnih, koristiti jasno vidljive linije za poravnavanje.
  - c) Kretanje – organizovati izvršavanje aktivnosti tako da se kretanje svede na minimum. Reorganizovati radno mesto tako da svi potrebni elementi budu lako dostupni.
  - d) Čekanje – proanalizirati sve aktivnosti i uočiti koje aktivnosti se mogu izvršavati paralelno tako da se eliminišu čekanja.
  - e) Standardizacija – standardizovati potrebne elemente tako da se koristi što manji broj alata za njihovu zamenu.

Kao rezultat izvršenja pomenutih koraka, potrebno je kreirati **standardizovano uputstvo** za prelazak na proizvodnju druge varijante proizvoda.

Primena SMED-a pokazala se kao veoma efikasno rešenje za redukciju vremena prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda što otvara put za podizanje fleksibilnosti sistema za montažu. Fleksibilniji sistem za montažu može brže odgovoriti na zahteve kupca proizvodeći samo potrebne količine željenih varijanti proizvoda, uz održanje minimalnih zaliha.

### 3.5 Poka-Yoke

Tokom procesa montaže, veoma je važno ispratiti sve korake koje je potrebno izvršiti kako bi krajnji proizvod zadovoljio traženi kvalitet i bio potpuno funkcionalan. U praksi, uvek se može desiti greška tokom procesa montaže što uzrokuje pojavu škart proizvoda. Tradicionalni sistemi za montažu podrazumevaju kontrolu kvaliteta proizvoda čime se smanjuje mogućnost da loš proizvod bude isporučen kupcu. Mana ovakvog pristupa je činjenica da je potrebno vršiti kontrolu svakog proizvoda pojedinačno što iziskuje veliki utrošak vremena i resursa. Iz navedenog razloga, često se kontrola svodi na uzimanje uzoraka u okviru serije proizvoda gde se na osnovu kontrole nasumično odabranih proizvoda zaključuje da li cela serija zadovoljava traženi kvalitet. Ovakav pristup može u određenoj meri da spreči isporuku škart proizvoda kupcima, ali u suštini ne utiče na redukciju količine škarta koji se porizvede.

Poka-Yoke predstavlja efikasan alat za prevenciju i eliminaciju grešaka na izvoru njihovog nastanka. U osnovi, poka-yoke je razvio i primenio Shigeo Shingo, mada se elementi ovog alata mogu uočiti i u nekim ranije razvijenim sistemima. Naziv „Poka-Yoke“ u prevodu sa japanskog jezika znači izbegavanje (jp. „*poka*“) grešaka (jp. „*yoke*“). Poka-yoke sistem poseduje dve funkcije: mogućnost 100% inspekcije i, ako dođe do greške, davanje upozorenja i reakcije [34]. Sam alat podrazumeva primenu različitih tehnika za eliminaciju uzroka pojave grešaka, kao i sistema za upozoravanje da je došlo do greške [35]. Na ovaj način se sprečava da greška, koja se desila u bilo kojoj fazi procesa montaže, rezultuje proizvodnjom škart proizvoda, jer se ista eliminiše na izvoru svog nastanka. Implementacija poka-yoke alata obezbeđuje 100% kontrolu u svim fazama procesa montaže, odnosno obezbeđuje potpunu kontrolu mesta na kom može doći do greške. Ovakav pristup transformiše sistem kontrole kvaliteta tako da se on praktično implementira unutar samog procesa montaže što rezultuje značajnom uštedom vremena, jer se inspekcija vrši paralelno sa procesom montaže.

Sa stanovišta regulatorne funkcije poka-yoke alati se mogu podeliti u dve grupe:

- 1) **Kontrolni poka-yoke** – prekida operaciju rada kada se desi greška (gasi mašinu, zaključava alat, itd.) i na taj način sprečava generisanje novih grešaka. Operaciju rada je moguće nastaviti tek kada se otkloni greška. Pored toga, kontrolni poka-yoke ne dozvoljava izvršenje operacije rada ako neki od uslova

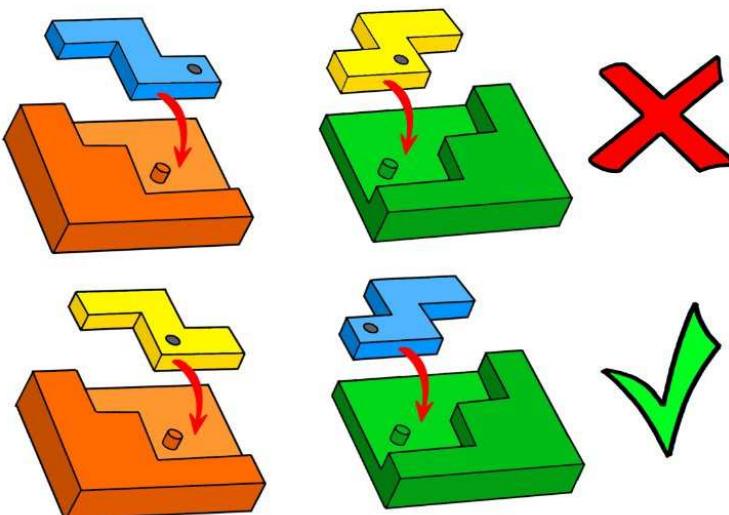
nije zadovoljen (određeni deo nije postavljen na svoje mesto, nije postignut potreban pritisak, itd.).

- 2) **Upozoravajući poka-yoke** - po nastanku greške daje određeni signal upozorenja (svetlosni i zvučni). Ovakav sistem daje upozorenje kada greška nastane, ali ako radnik ne odreaguje na dati signal, sistem će nastaviti da generiše nove greške. Zato je potrebno obezbediti adekvatnu signalizaciju, koja će u konkretnim radnim uslovima moći da privuče pažnju radnika kako bi greška što pre bila uočena i eliminisana.

Sa stanovišta pouzdanosti, uvek je poželjno implementirati kontrolni poka-yoke koji obezbeđuje potpunu kontrolu procesa montaže, jer njegovo funkcionisanje nije uslovljeno osobinama radnika (veština, fokusiranost, istreniranost, itd.), dok se upozoravajući poka-yoke oslanja isključivo na blagovremenu reakciju radnika.

Fizički, poka-yoke alat može biti implementiran na tri načina upotrebom sledećih metoda:

- 1) **Kontaktna metoda** - podrazumeva implementaciju kontaktnog elementa pomoću kog se proveravaju nepravilnosti u obliku i dimenzijsama delova. U okviru ove metode, koriste se razne vrste senzora i mehaničkih prekidača pomoću kojih se detektuje prisustvo određenog dela. Pored navedenog, moguće je koristiti i graničnike koji osiguravaju pravilno pozicioniranje određenih delova ili elemente posebnog oblika tako da ih je nemoguće pogrešno montirati (*slika 3.5.1*).



*Slika 3.5.1 Primer kontaktne metode poka-yoke alata*

- 2) **Metoda fiksnih vrednosti** - detektuje nepravilnosti proverom specifičnog broja pokreta ili delova u slučaju da se određena operacija ponavlja više puta. Sama kontrola može biti vizuelna gde radnik proverava da li je nosač popunjeno tačno određenom količinom delova, odnosno da li su svi delovi uklonjeni sa

nosača nakon završetka operacije rada (*slika 3.5.2*). U nekim slučajevima kontrola se može vršiti i pomoću određene vrste senzora prisutnosti (optički, induktivni, kapacitivni, mehanički, itd.).



*Slika 3.5.2 Nosač sa određenom količinom delova potrebnih za sklapanje SUS motora*

- 3) **Pokret-korak metoda** – vrši proveru redosleda izvršenja specifičnih koraka, odnosno proverava redosled zahvata u okviru operacije rada. Metoda se obično implementira tako što radnik mora da prati instrukcije na osnovu kojih izvršava zadate korake određenim redosledom (znakovna i svetlosna indikacija), a u slučaju da se preskoči određeni korak sistem prijavljuje grešku (svetlosni i zvučni signali). Na *slici 3.5.3* prikazano je radno mesto sa implementiranim pokret-korak metodom. Kutije sa delovima postavljene su na policu i ispred svake kutije nalazi se svetlosni indikator koji obaveštava radnika iz koje kutije je potrebno uzeti deo. Uzimanje delova iz kutije proverava se pomoću senzora tako što se detektuje prisustvo ruke radnika u određenoj kutiji. Nakon uzimanja dela, na nosaču proizvoda aktivira se određeni svetlosni indikator koji pokazuje lokaciju na koju je potrebno namontirati preuzeti deo. Ako se redosled izvršavanja zahvata preskoči u bilo kom trenutku, na monitoru se ispisuje informacija o grešci i aktivira se zvučni signal.



Slika 3.5.3 Radno mesto sa implementiranim pokret-korak metodom

Tokom procesa montaže, pojava grešaka je neizbežna. Međutim, implementacija adekvatnog poka-yoke alata obezbeđuje njihovu brzu detekciju i prevenciju tako da ne dođe do pojave škarta [34]. Važno je razumeti da pravilna implementacija poka-yoke alata podrazumeva kontrolu izvora nastanka greške, odnosno kontrolu procesa montaže svakog proizvoda tako da proizvod sa greškom ne može da nastavi kretanje kroz proces montaže. Pored navedenog, poka-yoke alati imaju i druge pozitivne efekte: redukcija (ili potpuna eliminacija) vremena potrebnog za proveru kvaliteta, skraćenje vremena obuke radnika, smanjenje troškova, povećanje nivoa bezbednosti, itd.

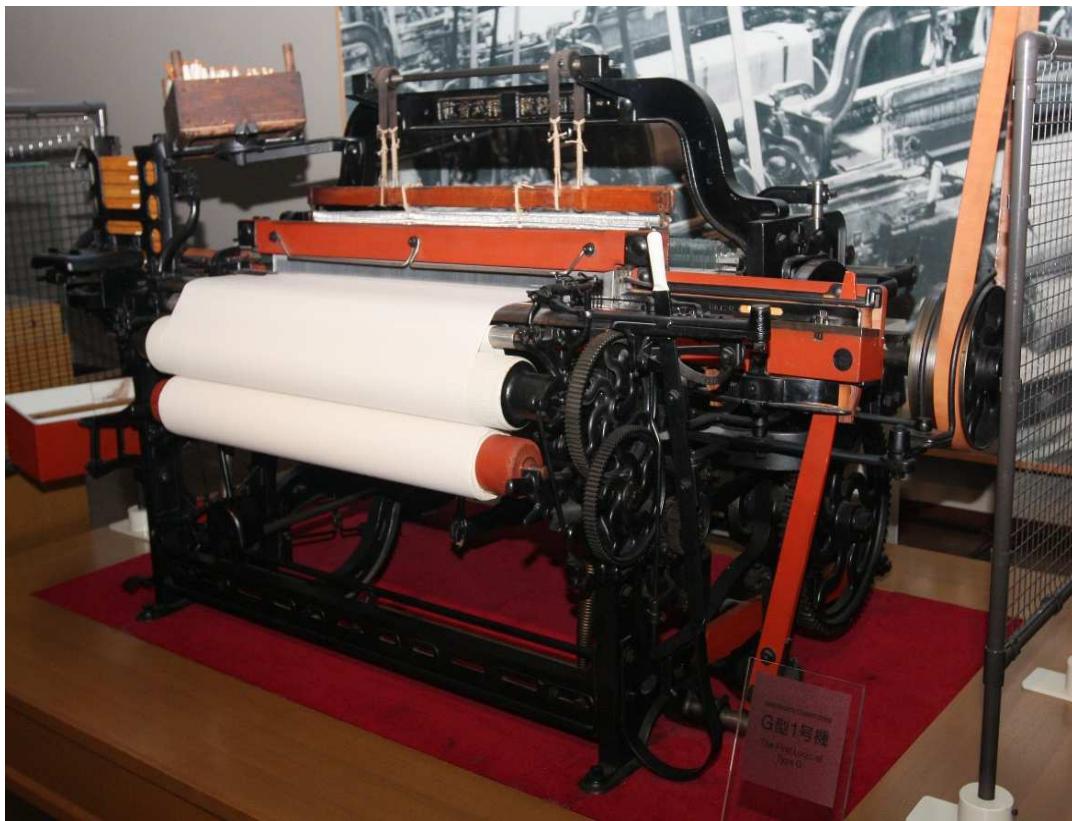
### 3.6 Jidoka

Globalni razvoj robotike i automatizacije uticao je na njihovu sve veću primenu u procesima montaže. Često se ispostavi da je isplativo automatizovati određene segmente procesa montaže, a ponekad i ceo proces, iz više razloga: oslobođanje radnika monotonog rada, cena rada, podizanje produktivnosti, smanjenje troškova proizvodnje, itd. U zavisnosti od prirode procesa montaže, operacije rada mogu biti delimično ili potpuno automatizovane. U slučaju potpuno automatizovanih procesa, gde nije potrebno učešće radnika, mašina samostalno

uzima potrebne elemente, vrši njihovu montažu i na svoj izlaz šalje gotov sklop. Navedeni primer predstavlja slučaj u kom su rad maštine i radnika potpuno razdvojeni, pa je važno obezbediti adekvatan mehanizam kontrole procesa montaže kako bi se sprečila proizvodnja škart proizvoda.

Početkom XX veka Sakichi Toyoda, osnivač kompanije „Toyota“, konstruisao je prvi automatski razboj za tkanje. Nova konstrukcija obezbedila je potpuno automatizovano tkanje tako da radnici više nisu morali da opslužuju mašinu. Pored automatizovanog procesa tkanja, Sakichi Toyoda implementirao je funkciju automatskog zaustavljanja razboja u slučaju da dođe do pucanja konca (*slika 3.6.1*). U TPS-u navedena funkcija poznata je pod nazivom „jidoka“. Japanska reč „jidoka“ označava automatizaciju dok termin „jidoka“ ukazuje na „automatizovani sistem sa ljudskim dodirom“ što podrazumeva sledeće:

1. Sistem je u stanju da detektuje problem, odnosno grešku na proizvodu.
2. Čim se detektuje greška ili problem, sistem se automatski zaustavlja.
3. Nakon zaustavljanja, sistem na određeni način alarmira operatera (andon semafor, zvučni signal, itd.).



*Slika 3.6.1 Toyoda automatizovani razboj tip „G“ sa implementiranom jidoka funkcijom*

Na osnovu navedenih osobina, jasno je da jidoka sprečava nekontrolisanu proizvodnju škart proizvoda i njihovo dalje kretanje kroz proces proizvodnje. Može se reći da je jidoka kontrolni mehanizam koji prati proces i omogućava analizu uzroka pojave greške [36].

Hiroyuki Hirano definiše četiri koraka u razvoju jidoka-e, gde se svaki korak odnosi na specifičnu vezu ljudi i mašina:

- 1) **Ručni rad** – celokupan proces montaže se obavlja ručno. Ovakav pristup je racionalan samo u slučaju jeftine radne snage i ako je moguće brzo završiti proces montaže.
- 2) **Mehanizacija** – delimičan prenos ručnog rada na mašinu. U ovoj fazi deo posla obavlja mašina, ali je radnik i dalje potreban kako bi se izvršio celokupan proces montaže.
- 3) **Automatizacija** – sav ručni rad je prenet na mašinu. Radnik samo ubacuje radni predmet u mašinu i inicijalizuje proces montaže. U ovoj fazi, radnik može da se udalji od maštine, ali nema informaciju da li mašina proizvodi dobar ili loš deo.
- 4) **Jidoka** – kao i u slučaju automatizacije, radnik postavlja radni predmet i inicijalizuje proces montaže. Međutim, u ovom slučaju, radnik ne mora da brine o samom procesu, jer mašina ima mogućnost detekcije defekta i automatskog zaustavljanja. Pored toga, neke maštine poseduju automatski ulaz i izlaz što u potpunosti isključuje radnika iz procesa montaže [37].

Obzirom da jidoka u potpunosti razdvaja ljudski i mašinski rad, jedan operater može pratiti rad većeg broja maština koje samostalno zaustavljaju proces kada se pojavi defekt. Važne osobine jidoka-e su:

- sprečava kontinuiranu proizvodnju škart proizvoda
- sprečava kretanje škart proizvoda ka sledećem procesu
- daje mogućnost lociranja i analize uzroka pojave škarta u ranoj fazi.

Svaki put kada se pojavi škart važno je utvrditi uzroke njegove pojave pomoću „5 zašto“ metode i primeniti odgovarajuće kontramere (poboljšati proceduru rada, analizirati mogućnost implementacije poka-yoke alata, itd.). Najčešći uzroci pojave škarta su: neadekvatna radna procedura, loš kvalitet sirovine, ljudska greška, kvar na mašini, itd.

Jidoka višeg nivoa, osim automatskog zaustavljanja u slučaju pojave greške, daje automatizovanoj mašini mogućnost samopodešavanja ako određeni parametri procesa dođu do graničnih vrednosti. U okviru ovakvog sistema uglavnom se koriste razne vrste senzora koji prate određeni segment procesa tako da sistem konstantno dobija povratnu informaciju i po potrebi automatski vrši korekciju čime se sprečava izlazak iz zadatog opsega.

### 3.7 Standardizovane procedure

Kako bi se realizovala kompletna montaža, od sastavnih delova do gotovog proizvoda, potrebno je izvršiti niz aktivnosti. U zavisnosti od kompleksnosti proizvoda, broj aktivnosti može da varira. Međutim, u bilo kom slučaju, potrebno je ispoštovati određene korake kako bi se obezbedila stabilna proizvodnja ujednačenog kvaliteta. Osim samog procesa montaže, postoji niz drugih aktivnosti koje je potrebno izvršiti odgovarajućim redosledom i na odgovarajući način (pokretanje mašina, čišćenje radnog mesta, rukovanje materijalom, itd.). U svim navedenim slučajevima važno je primeniti standardizaciju aktivnosti kako bi se održao kvalitet proizvoda i postigli željeni rezultati. Standardizacija obuhvata

podešavanje, komunikaciju, praćenje i poboljšanje standarda, gde standard predstavlja polaznu osnovu za merenje rezultata poboljšanja aktivnosti. Ako se poboljšanjem procesa mogu postići bolji rezultati, onda standard može da se promeni u skladu sa tim. Proces kontinuiranog poboljšanja (kaizen) standarda vodi ka razvoju pouzdanijih i sigurnijih metoda, dok standardizacija obezbeđuje održivost postignutih poboljšanja.

Standardizovane procedure predstavljaju detaljni dokument i vizuelni sistem na osnovu kog radnici izvršavaju niz unapred definisanih aktivnosti [38]. Navedeni prilaz obezbeđuje doslednost i stabilnu proizvodnju bez obzira na to koji radnik izvršava zadatke. Kod sistema za montažu, standardizovane procedure imaju veoma široku primenu i povezane su sa drugim instrumentima lean-a kao što su: vizuelni menadžment, 5S, SMED, kanban, poka-yoke, itd. Na osnovu navedenog, jasno je uočljiva primena standardizovanih procedura u sledećim segmentima sistema za montažu:

- Pokretanje mašina i puštanje u rad;
- Izmena i podešavanje alata;
- Procedura montaže;
- Praćenje, poručivanje i prijem materijala;
- Održavanje radnog mesta i mašina;
- Obrada materijala;
- Kontrola kvaliteta.

Standardizovana radna procedura kombinuje elemente aktivnosti tako da se aktivnost izvrši na najbolji način i bez gubitaka kako bi se postigao najefikasniji nivo proizvodnje. Metode standardizovanih radnih procedura razvili su Taiichi Ohno i Shigeo Shingo sredinom XX veka [5]. U svojoj analizi standardizovanih procedura, Shigeo Shingo naglašava važnost optimizacije samog procesa rada konstantnom težnjom za postizanjem ciljeva koji se vezuju za sledeća pitanja:

- Šta – predmet proizvodnje. Koji proizvod?
- Ko – vršioci proizvodnje. Koji ljudi i mašine?
- Kako – metode. Kako izvršiti?
- Gde – prostor. Gde treba odložiti proizvode? Kojom transportnom metodom?
- Kada – vremenski okvir. Za koje vreme? [39]

Standardizovanje radnih procedura je veoma značajno kod aktivnosti koje se ciklično ponavljaju kako bi se obezbedio najviši kvalitet procesa i proizvoda. Pored navedenog, standardizacija pozitivno utiče na podizanje stabilnosti procesa kod sistema za montažu, jer jasno definiše sve aktivnosti koje je potrebno izvršiti čime se znatno smanjuje mogućnost pojave greške. Kako bi se postigli svi navedeni ciljevi potrebno je poštovati sledeća tri elementa:

- 1) **Radni takt** – predstavlja jadan od osnovnih parametara svakog sistema za montažu i definiše ritam proizvodnje kojim se zadovoljava tražnja za proizvodom. Radni takt određuje vremenski interval koji protekne između izbacivanja gotovih proizvoda na izlazu sistema za montažu.

Radni takt se računa po sledećoj formuli:

$$\text{radni takt} = \frac{\text{raspoloživo vreme u smeni}}{\text{zahtevana količina po smeni}} \quad (3.1)$$

Gde je:

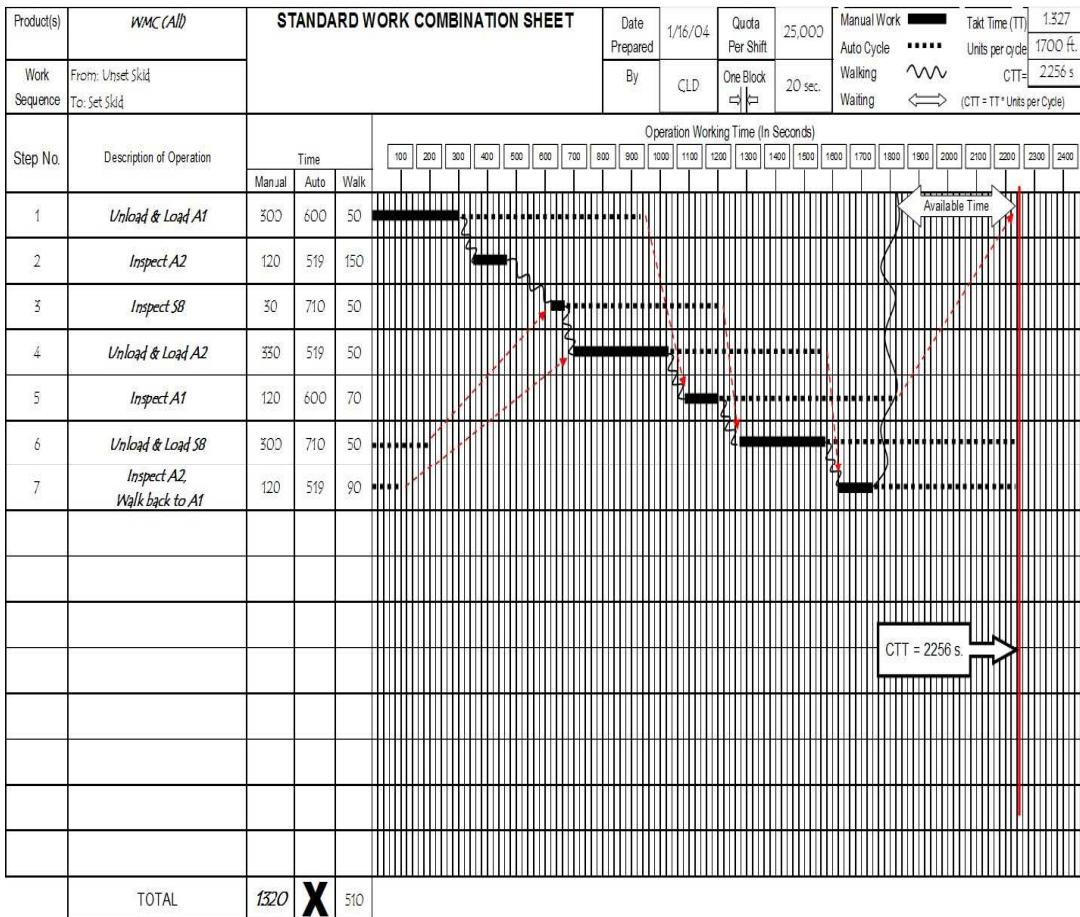
$$\text{raspoloživo vreme} = \text{trajanje smene} - \text{pauze} - \text{ostale aktivnosti} \quad (3.2)$$

Sa druge strane, **radni ciklus** predstavlja vreme potrebno da se završi proizvodnja jednog proizvoda, odnosno njegovog dela u okviru posmatranog radnog mesta. Trajanje ciklusa uključuje ručni rad, rad mašine, kretanje i čekanje. Određuje se prostim merenjem vremena potrebnim da se kompletira jedan gotov proizvod odnosno njegov deo.[31]

Forma za proračun radnog takta			
Čelija/Linija	UPM	Odgovorno lice: Dragan Dragičević Datum: 10.05.2017.	
Operator(i)			
Proizvodi	UPM2, UPS, UPR, UPER		
Trenutni dnevni zahtevi =	1000	komada	
Trenutni broj smena =	2		
Potreban broj komada po smeni =	500	komada	
<b>8</b>	<b>Časova po smeni = 480,00</b>	minuta (Plaćeni radni sati)	
-	15,00	minuta (Pauza)	
-	15,00	minuta (Pauza za ručak)	
-	5,00	minuta (Puštanje u rad)	
-	10,00	minuta (Preventivno održavanje)	
-	10,00	minuta (5S)	
-	10,00	minuta (Timski sastanak)	
<b>Ukupno = 415,00</b>	<b>minuta dostupno po smeni</b>		
<b>415,00</b>	<b>minuta po smeni = 24900,00</b>	sekundi po smeni	
<b>24900,00</b>	podeljeno sa <b>500</b>	komada po smeni = <b>49,80</b>	sekundi po komadu
<b>Radni takt = 49,80 sekundi po komadu</b>			

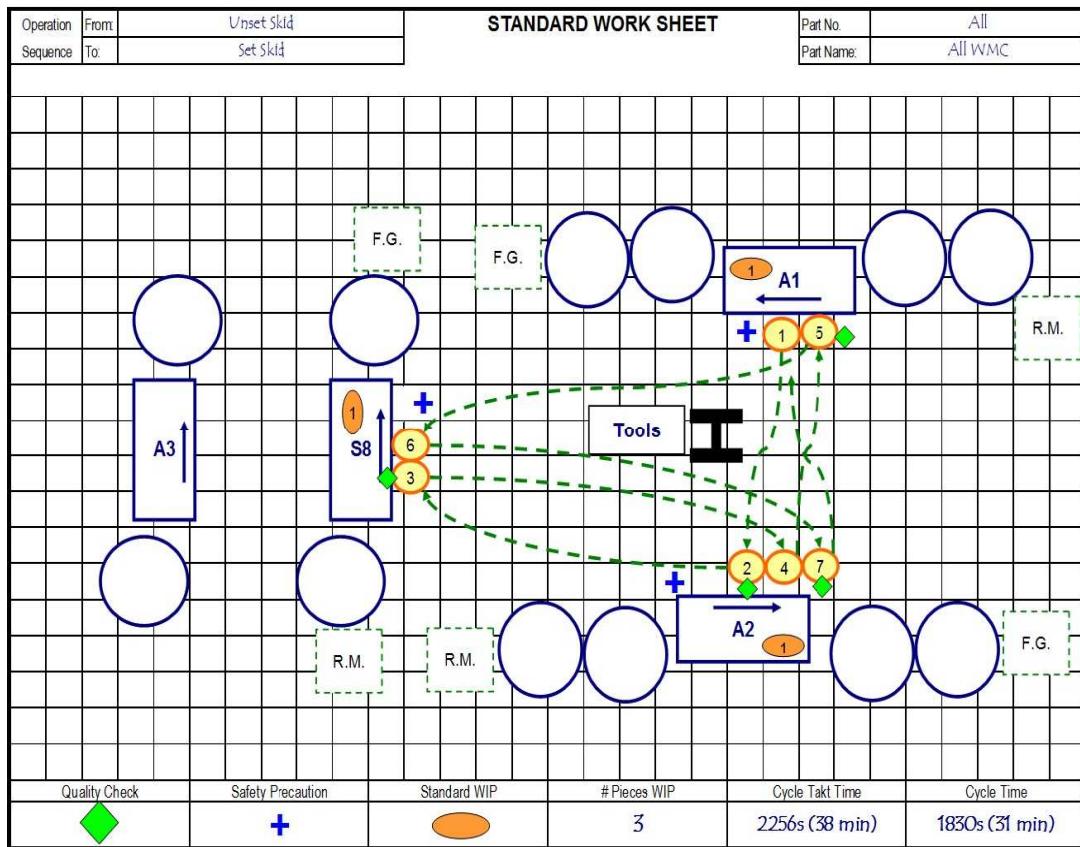
Slika 3.7.1 Primer forme za proračun radnog takta

- 2) **Redosled radnih aktivnosti** – predstavlja kombinaciju rada radnika, rada mašine, vremena kretanja i vremena čekanja radnika. Standardizovani redosled radnih aktivnosti prikazuje se tabelarno za svakog radnika gde se teži da vreme izvršenja radnih aktivnosti (radni ciklus) bude usaglašeno sa radnim taktom. U tabeli redosleda radnih aktivnosti jasno su označeni i definisani svi koraci tako da je moguće izračunati ukupno vreme trajanja za svaku aktivnost (ručni rad, čekanje, kretanje, itd.) (slika 3.7.2).



*Slika 3.7.2 Primer tabele standardizovanog redosleda radnih aktivnosti*

Dobro formiran redosled radnih aktivnosti daje optimalnu efikasnost procesa i konstantno vreme ciklusa uz održanje kvaliteta proizvoda i bezbednosti radnika. Standardna radna tabela prikazuje fizički izgled procesa montaže sa jasno naznačenim redosledom aktivnosti za svakog radnika posebno (*slika 3.7.3*). U okviru tabele, simbolički se prikazuju mesta provere kvaliteta izvršene aktivnosti, lokacija i količine zaliha i mesta gde postoji opasnost od povređivanja. Standardna radna tabela je pogodna za analizu problema koji se javljaju tokom procesa montaže, jer, osim redosleda aktivnosti, grafički prikazuje poziciju elemenata koji učestvuju u procesu montaže, kao i putanje kretanja radnika.



Slika 3.7.3 Primer standardne radne tabele

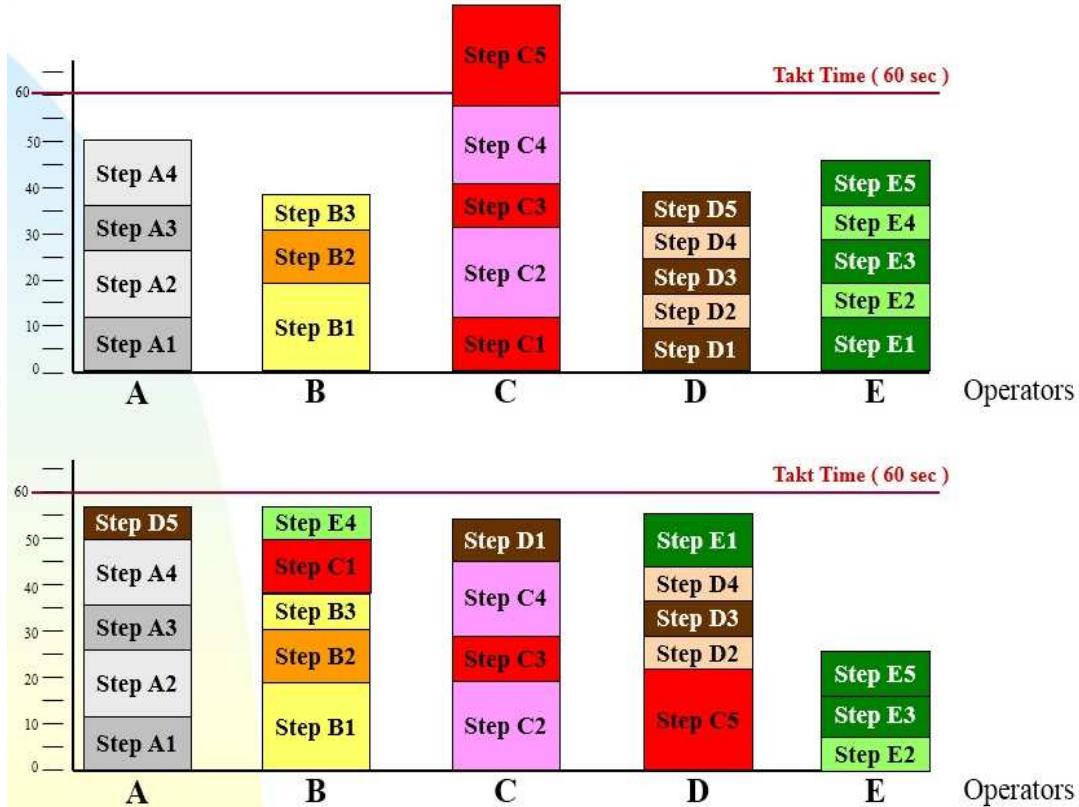
- 3) **Nedovršena proizvodnja** – predstavlja minimalni broj delova u procesu potrebnih za održavanje radnog takta. Obično je to jedan deo između dva radna mesta odnosno jedan deo u automatizovanoj mašini. Ako pojedinačni proces nije usagrađen sa radnim taktom, odnosno, ako radni ciklus procesa premašuje radni takt (specijani procesi), potreban broj delova u procesu računa se po sledećoj formuli:

$$\text{Broj delova u specijanom procesu} = \frac{\text{Vreme trajanja procesa}}{\text{Radni takt}} \quad (3.3)$$

Sva tri gore pomenuta elementa daju veoma važne informacije o procesu montaže i predstavljaju osnovu za održanje željenog kvaliteta i standarda. Sa druge strane, obezbeđuju prostor za dalju analizu i unapređenje tako što olakšavaju preispitivanje procesa montaže i rešavanje problema. U tom kontekstu, jedan od najvažnijih faktora podložnih analizi je opterećenje radnika. Tabela opterećenja radnika daje jasan prikaz gde su radnici manje opterećeni i gde vreme njihovog radnog ciklusa prevazilazi radni takt sistema. Kombinacijom informacija iz tabele standardizovanog redosleda radnih aktivnosti i tabele opterećenja radnika moguće je detaljnije analizirati proces montaže i na taj način izvršiti optimizaciju opterećenja radnika (slika 3.7.4). Kako bi se opterećenje ravnomerno rasporedilo potrebno je izvršiti adekvatnu raspodelu radnih aktivnosti tako da se

zadovolji radni takt. U zavisnosti od odnosa radnog ciklusa i radnog takta moguće je proračunati potreban broj radnika na osnovu sledeće formule:

$$\text{potreban broj radnika} = \frac{\text{radni ciklus}}{\text{radni takt}} \quad (3.4)$$



Slika 3.7.4 Primer optimizacije opterećenja pomoću tabele radnih aktivnosti i tabele opterećenja radnika

Osim radnika, u proces montaže veoma često su uključene i razne vrste mašina koje izvršavaju pojedine zadatke. U navedenom slučaju potrebno je dokumentovati kapacitet pojedinih mašina kako bi se mogle sagledati mogućnosti celokupnog procesa montaže. Tabela kapaciteta procesa formira se za pojedinačnu ćeliju i sadrži informacije o kapacitetu mašina u okviru jedne smene (slika 3.7.5). Osim samog vremena rada tabela sadrži i informacije o vremenu punjenja i pražnjenja maštine, kao i vremenu potrebnom za promenu alata. Analizom podataka iz tabele kapaciteta procesa moguće je uočiti uska grla koja utiču na celokupan radni ciklus sistema.

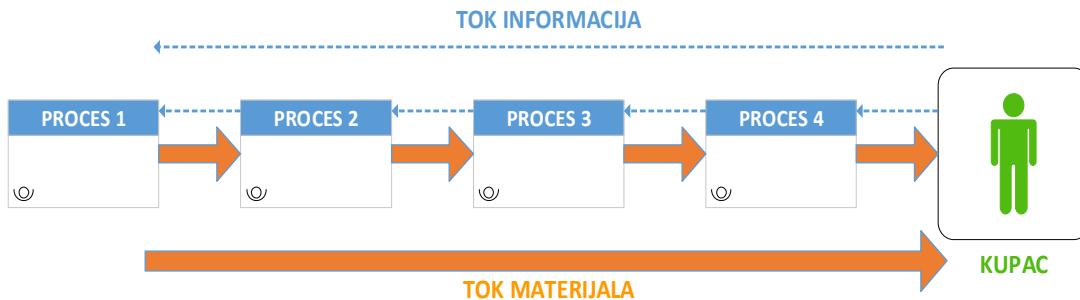
Slika 3.7.5 Primer tabele kapaciteta procesa

Standardizovane procedure pomažu pri identifikaciji i razumevanju osnovnih parametara sistema za montažu vezanih za vreme, rad i opterećenje. Adekvatna primena svih napred navedenih elemenata standardizovanih procedura prikazuje kretanje i opterećenje radnika, kretanje i količinu proizvoda u procesu, radni takt i stepen iskorišćenja opreme. Praćenjem procesa montaže i analizom standardizovanih procedura moguće je uočiti mesta na kojima je potrebno izvršiti izmene kako bi se postigli bolji rezultati. Svaka izmena podrazumeva i promenu standarda iz čega proizilazi da su standardne procedure podložne konstantnom preispitivanju i unapređenju (kaizen).

### 3.8 Kanban

Jedan od osnovnih postulata lean koncepta je „Just – In - Time“ (JIT), što podrazumeva proizvodnju samo kada je proizvod potreban i u potreboj količini. JIT je utemljen na tri osnovna elementa: sistemu povlačenja proizvodnje, radnom taktu i kontinuiranom toku. Ključni element JIT sistema predstavlja povlačenje proizvodnje (eng. „pull“). Kod povlačenja proizvodnje, aktivnosti se izvršavaju na osnovu informacija koje pristižu od subjekta koji zahteva datu aktivnost (slika 3.8.1). To znači da je kod metode povlačenja proizvodnje tok informacija suprotnog

smera u odnosu na tok proizvodnje. Kod ovako organizovanog sistema za montažu, aktivnosti u okviru pojedinačnih radnih mesta izvršavaju se isključivo na zahtev narednog radnog mesta. Ovakav pristup obezbeđuje snabdevanje materijalima, delovima i proizvodima samo kada su potrebni, u potrebnim količinama na željenom mestu.



Slika 3.8.1 Povlačenje proizvodnje

Potpuno primjenjen JIT eliminiše bilo kakve zalihe proizvoda. Međutim, većina sistema za montažu je tako koncipirana da je moguće proizvoditi više varijanti proizvoda. Kod navedenih sistema za montažu važan faktor predstavlja vreme prelaska sa proizvodnje jedne varijante proizvoda na drugu. U slučajevima gde je vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda dugo, nije moguće u potpunosti primeniti JIT već se pribegava kreiranju određene količine minimalnih zaliha. Sa druge strane, u zavisnosti od prirode procesa montaže i kapaciteta pojedinih radnih mesta nije moguće uspostaviti potpuno kontinuirani tok poroizvoda kroz proces montaže pa se pribegava kreiranju međuskladišta koja povećavaju količinu proizvoda u procesu. Kako JIT sistem teži da potpuno eliminiše zalihe, u navedenim slučajevima, potrebno je uspostaviti sistem kontrole koji će održavati potrebne zalihe na minimumu, pri čemu se ne narušava sistem snabdevanja. Kanban predstavlja efikasan alat za upravljanje zalihama i snabdevanjem. U suštini, kanban je signalni mehanizam koji daje dozvolu i uputstvo za proizvodnju ili povlačenje materijala, delova i proizvoda. Implementacija kanban alata predstavlja ključnu aktivnost kod primene lean principa zbog koristi koje donosi u pogledu kontrole zaliha, proizvodnje i snabdevanja [40]. Tardif i Maaseidvaag definisali su kanban kao mehanizam za kontrolu toka materijala koji upravlja količinama i vremenom realizacije tako da se proizvode samo one količine proizvoda koje su zaista neophodne [41].

U osnovi, kanban je nastao po uzoru na supermarket gde kupac uzima proizvode koji su mu potrebni direktno sa polica. Osoblje u supermarketu dopunjuje police samo onim proizvodima koji su prodati. Pozitivna strana ovakvog pristupa je što se ne stvara nepotrebna količina uskladištenih proizvoda koji vremenom mogu da se oštete ili zastare. Kao što je ranije navedeno, kanban je signalni mehanizam gde se prenos „signala“, odnosno informacije, uglavnom vrši pomoću kanban kartica (slika 3.8.2). Informacije koje kanban kartice najčešće sadrže su: naziv i oznaka proizvoda, dobavljač, količina proizvoda u pakovanju, skladišna lokacija i lokacija upotrebe. Osim kartica, kanban može biti realizovan i

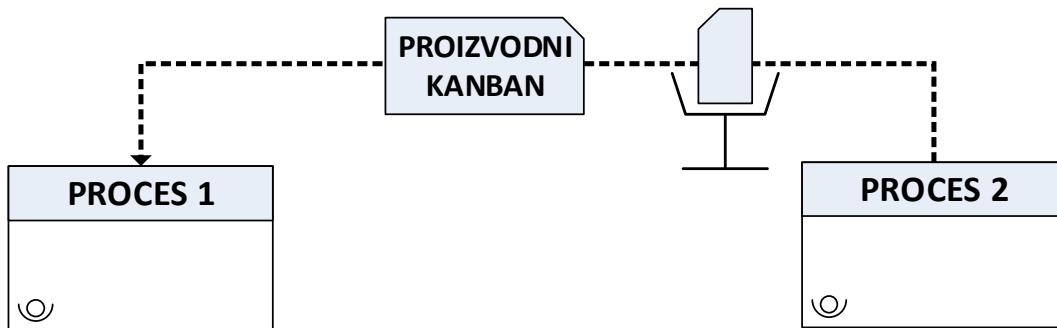
u vidu metalnih pločica, obojenih loptica, elektronskog signala ili bilo kog drugog oblika koji može preneti željenu informaciju bez greške [31].



Slika 3.8.2 Primer kanban kartice

Sa stanovišta sistema za montažu, kanban ima dve funkcije: davanje instrukcije za pokretanje procesa montaže i davanje instrukcije za transport materijala. U tom smislu može se definisati četiri tipa kanban sistema:

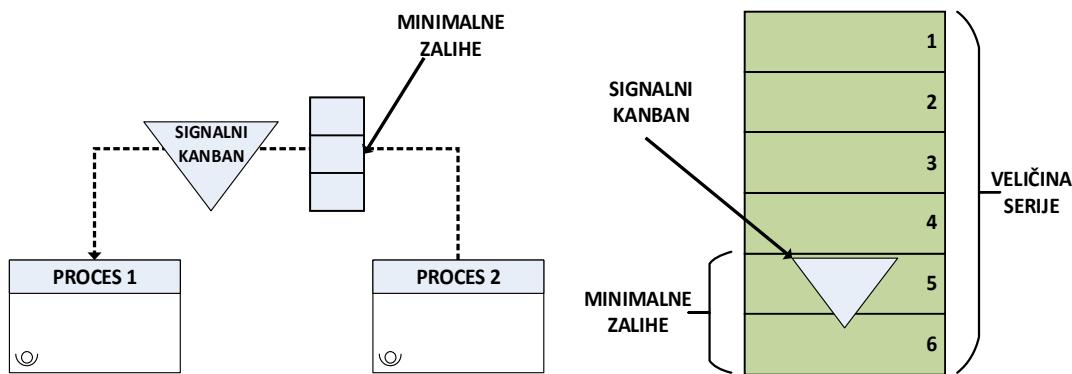
- 1) **Proizvodni kanban** - daje informaciju narednom procesu koji tip i koja količina delova treba da se proizvede (slika 3.8.3). Uglavnom je u pitanju kanban kartica koja može biti zakačena za nosač delova (kutija ili paleta) koje prethodni proces treba da proizvede za naredni proces.



Slika 3.8.3 Proizvodni kanban

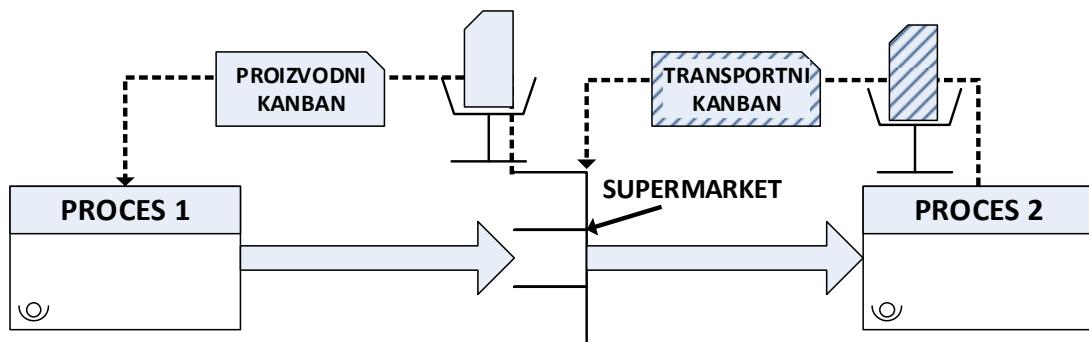
- 2) **Signalni kanban** - u situacijama gde određeni proces proizvodi više varijanti delova pojavljuje se i vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda. Tada se obično proizvode veće količine delova (serijska proizvodnja) kako bi se izbegli česti prelasci sa proizvodnje jedne varijante delova na drugu. U tom slučaju, koristi se signalni kanban koji šalje zahtev za proizvodnju kada se dostignu minimalne zalihe delova (slika 3.8.4 levo). Obično

se realizuje u vidu trougaone metalne pločice koja se postavlja između nosača delova. Kada se dostignu minimalne zalihe, kanban pločica se otkriva i šalje se do prethodnog procesa čime daje signal za početak proizvodnje (*slika 3.8.4 desno*). Minimalne zalihe se dimenzionisu tako da pokrivaju zahteve tekuće proizvodnje gde se vodi računa o vremenu dostave kanban signala, pokretanju proizvodnje i sigurnosnim zalihamama.



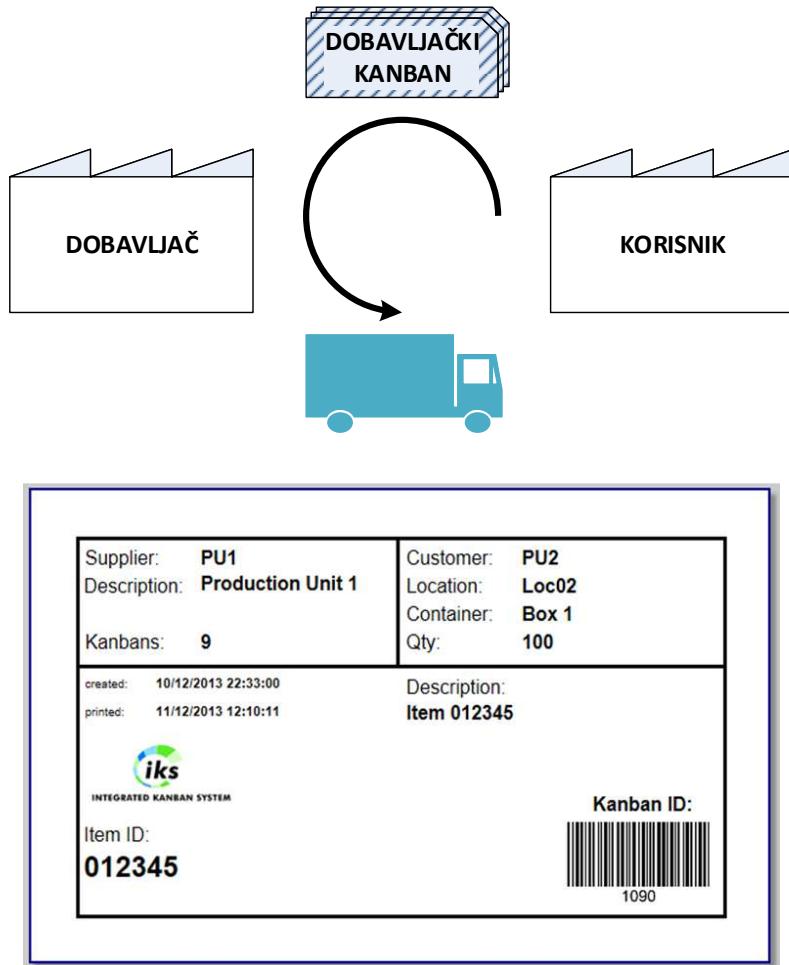
Slika 3.8.4 Signalni kanban

- 3) **Transportni kanban** – u određenim slučajevima proces montaže može biti tako organizovan da se pojedini podsklopovi ili proizvodi montiraju u okviru jedne linije za montažu, a koriste na drugoj fizički udaljenoj liniji koja se nalazi u istom fabričkom krugu. Tada se upotrebljava transportni kanban pomoću kog se daje instrukcija za transport potrebne količine delova do željene lokacije, odnosno radnog mesta. Transportni kanban predstavlja vezu radnog mesta i međuskladišta gde kanban daje informaciju kada i koja količina delova treba da se transportuje iz međuskladišta (supermarket) do radnog mesta. Kod sistema za montažu, gde je u potpunosti primenjena metoda povlačenja proizvodnje, transportni kanban funkcioniše zajedno sa proizvodnim i signalnim kanban-om (*slika 3.8.5*). U navedenom slučaju, transportni kanban povlači delove iz međuskladišta, dok proizvodni i signalni kanban iz međuskladišta iniciraju proizvodnju delova u prethodnim procesima.



Slika 3.8.5 Transportni i proizvodni kanban

4) **Dobavljački kanban** – u velikom broju slučajeva, materijali i delovi koji se koriste u procesu montaže, poručuju se kod eksternih dobavljača. Tada se koristi dobavljački kanban koji u suštini inicira zahtev za poručivanje materijala (*slika 3.8.6*). Obzirom da dobavljač može biti na udaljenoj lokaciji u odnosu na korisnika u savremenim montažnim sistemima dobavljački kanban uglavnom se realizuje u elektronskoj formi. Kako bi se obezbedila stabilna isporuka u predviđenim količinama i vremenskim okvirima, veoma je važno da i sami dobavljači materijala i delova funkcionišu po principu povlačenja proizvodnje i imaju integriran kanban.



*Slika 3.8.6 Dobavljački kanban i primer dobavljačke kanban kartice*

Suština primene kanban-a je kontrola količine proizvoda u procesu i održavanje minimalnih zaliha u sistemima za montažu koji poštuju principe JIT koncepta. Osim direktnog uticaja na zalihe, istraživanja su pokazala da implementacija kanban-a u sistemima za montažu pomaže pri redukovavanju vremena proizvodnje i smanjenju površine međuskladišta [42]. U tom smislu, kanban obezbeđuje informacije o tome koji proizvodi su iskorišćeni i u kojoj količini, kao i gde i kako određeni proizvodi treba da se transportuju ili proizvedu. Sa druge strane, kanban dozvoljava početak proizvodnje samo kada naredni procesi povuku delove iz prethodnih procesa čime održava sistem povlačenja

proizvodnje. S tim u vezi, potrebno je poštovati sledeća pravila kako bi upotreba kanban-a dala željeni efekat:

- Naredni procesi moraju povlačiti delove od prethodnih procesa isključivo kako je definisano kanban indikatorom.
- Prethodni procesi proizvode samo ono što su povukli naredni procesi isključivo na osnovu informacije kanban indikatora.
- Delovi se ne smeju proizvoditi ili transportovati bez kanban indikatora.
- Ka narednom procesu šalju se samo potpuno ispravni delovi u tačno definisanim količinama.
- Uspostaviti nivelisani (ujednačen) raspored proizvodnje (heijunka).
- Svi materijali i delovi moraju imati zakačen pripadajući kanban indikator kako bi se obezbedila vizuelna kontrola.
- Koristiti kanban za analizu i otkrivanje potreba za daljim poboljšanjem (smanjenje zaliha, skraćenje i integracija transportnih puteva, itd.).

U prvoj fazi primene kanban-a, potrebno je odrediti koliko kanban indikatora (kartice, pločice, itd.) je potrebno kako bi se obezbedilo nesmetano funkcionisanje sistema za montažu. Ako se pretpostavi da je ispoštovano gore navedeno pravilo, vezano za primenu heijunka tehnike, može se reći da su poznate količine i varijante proizvoda koje je potrebno proizvesti u definisanom vremenskom periodu. U tom slučaju, broj kanban indikatora može se izračunati na sledeći način:

$$kanban = \frac{Dnevne potrebe * dopuna * (1 + faktor sigurnosti)}{Kapacitet nosača proizvoda} \quad (3.5)$$

Gde je:

$$dopuna = vreme proizvodnje + vreme povrata kanban indikatora \quad (3.6)$$

*Dnevne potrebe* – broj komada koji se proizvede tokom jednog radnog dana

*Kapacitet nosača proizvoda* – broj komada koji stane u kutiju ili na paletu

*Faktor sigurnosti* – definiše količinu sigurnosnih zaliha

Definisani broj kanban indikatora vezan je za prethodno utvrđene potrebne količine i varijante proizvoda. Pri navedenom proračunu treba težiti što manjem kapacitetu nosača proizvoda i obezbediti češće dopremanje proizvoda. Pored toga, faktor sigurnosti, koji se uvodi kao preventivna mera za nepredviđene situacije (kvar mašina, izostanak radnika sa posla, itd.), treba da se svede na najmanju moguću vrednost (u idealnom slučaju 0). Ovako formiran sistem samostalno održava zalihe na minimumu čak i ako postoje umerene oscilacije u potražnji za proizvodom. Obzirom da kanban integriše tokove materijala i informacija, stvara se dobra osnova za analizu i dalje unapređenje sistema za montažu.

### 3.9 Heijunka

Tradicionalni sistemi za montažu bazirani su na masovnoj proizvodnji. Navedeni koncept podrazumeva proizvodnju velikih serija kako bi se izbegli česti prelasci na proizvodnju druge varijante proizvoda. Osnovni razlog za ovakav pristup su duga vremena prelaska proizvodnje na drugu varijantu proizvoda što je izazvano lošom organizacijom i slabom fleksibilnošću montažnog sistema orijentisanog ka masovnoj proizvodnji. Kod navedenih sistema neminovna je pojava velike količine uskladištenih proizvoda i dugih ciklusa proizvodnje. Kao posledica ovakvih karakteristika nastaju poteškoće pri odzivu na zahteve kupaca jer svaka promena željenih količina određenog proizvoda unosi promene u planiranju proizvodnje. Istraživanja su pokazala da u navedenoj situaciji dolazi do neujednačene proizvodnje (mura) koja za posledicu ima neravnomerno opterećenje sistema. Kako bi se ispunili trenutni zahtevi za traženim proizvodom sistem često biva preopterećen (muri) što stvara uslove za pojavu gubitaka (muda) [43].

Lean koncept formira osnovu gde sistemi za montažu teže da što efikasnije odgovore na zahteve kupca (JIT) pri čemu se vodi računa o tome da zalihe budu na minimumu, a opterećenje sistema ujednačeno i bez velikih oscilacija. Ključni element koji obezbeđuje održanje navedenih principa je nivelisanje (*jp. „heijunka“*) proizvodnje. Heijunka predstavlja jedinstven sistem ujednačavanja tipa i količine proizvoda tokom fiksnog vremenskog perioda. Za razliku od tradicionalne proizvodnje u velikim serijama, heijunka teži proizvodnji manjih količina proizvoda ravnomerno raspoređenih u definisanim vremenskim okvirima (*slika 3.9.1*). Bez obzira da li se radi o proizvodnji pojedinačnih proizvoda ili partija proizvoda, cilj je uspostaviti ravnomernu raspodelu koja odgovara trenutnim zahtevima tržišta.

PROIZVOD	NEDELJNI ZAHTEVI
PROIZVOD A	
PROIZVOD B	
PROIZVOD C	
PROIZVOD D	
MASOVNA PROIZVODNJA	
NIVELISANA (HEIJUNKA) PROIZVODNJA	

Slika 3.9.1 Razlika između masovne i heijunka proizvodnje

Osnovni parametar na koji se oslanja nivelišana proizvodnja je radni takt. Kao što je ranije navedeno, radni takt je odnos potrebnog broja proizvoda (zahtev tržišta) i dostupnog vremena u toku jedne smene (izraženo u minutima ili sekundama). Kao polazni podatak obično se uzima procena mesečne potražnje za proizvodom na osnovu koje se planira proizvodnja. U praksi se često dešava da potražnja za proizvodom varira na nedeljnom ili dnevnom nivou. U ovakvim slučajevima, važno je nivelišati proizvodnju po količini uzimajući u obzir prethodno izračunati radni takt. Iz primera prikazanog na *slici 3.9.2* vidi se da nivelišana dnevna proizvodnja uspeva da zadovolji promenljive zahteve za proizvodom koji se pojavljuju tokom jedne radne nedelje. U navedenom primeru nije uzet u obzir faktor sigurnosti koji generiše određenu količinu bezbednosnih zaliha potrebnih kod nestabilne proizvodnje, kao i u slučajevima sporije i neujednačene isporuke.

$$\text{MESEČNA POTRAŽNJA} = 2000 \text{ kom.}$$

$$\text{NEDELJNA POTRAŽNJA} = 500 \text{ kom.}$$

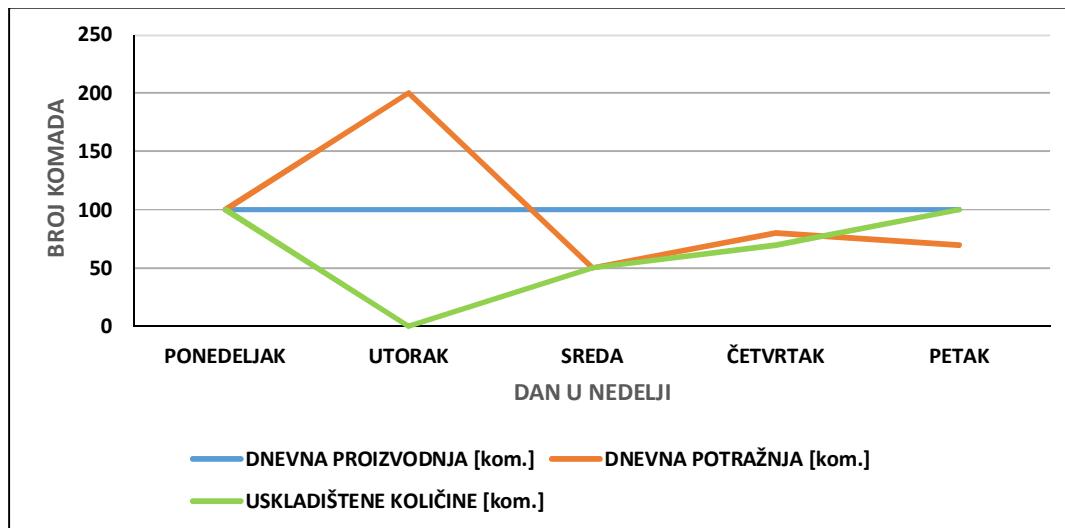
$$\text{DNEVNA POTRAŽNJA} = 100 \text{ kom.}$$

$$\text{BROJ SMENA} = 1$$

$$\text{DOSTUPNO SEKUNDI PO SMENI} = 24900 \text{ s}$$

$$\text{RADNI TAKT} = 249 \text{ s/kom.}$$

	PONEDELJAK	UTORAK	SREDA	ČETVRTAK	PETAK
DNEVNA PROIZVODNJA [kom.]	100	100	100	100	100
DNEVNA POTRAŽNJA [kom.]	100	200	50	80	70
USKLADIŠTENE KOLIČINE [kom.]	100	0	50	70	100



Slika 3.9.2 Primer nivelišanja proizvodnje po količini

Većina sistema za montažu koncipirana je tako da se proizvodi više varijanti proizvoda pa je, osim nivelacije proizvodnje po količini, potrebno izvršiti i nivelaciju proizvodnje po varijanti proizvoda. Tradicionalni sistemi za montažu grupišu proizvode u velike serije gde se prvo proizvode najveće serije, a potom one manje. Ovakav pristup obezbeđuje minimalan broj prelaza na proizvodnju druge varijante proizvoda. Pripremno-završna vremena dele se na veliki broj proizvoda u okviru serije, pa se na ovaj način prikriva i umanjuje njihov uticaj. Sa druge strane, negativan efekat ovakvog pristupa su dugi ciklusi proizvodnje pojedinačnih varijanti proizvoda, pa je zbog toga i odziv sistema na potražnju

kupaca loš. Heijunka skraćuje ciklus proizvodnje smanjenjem veličine serije proizvoda čime se ubrzava odziv na zahteve kupca.

U slučajevima gde postoji više varijanti proizvoda, heijunka teži smanjenju veličine serije, odnosno što češćem prelasku na proizvodnju druge varijante proizvoda. Idealno koncipiran sistem za montažu zasniva se na principu jednokomadnog toka. Međutim, zbog postojanja pripremno-završnih vremena i različitih radnih ciklusa, proizvodnja se obično realizuje u partijama gde količina jedne partije popunjava jedan nosač proizvoda (kutija, paleta, itd). Kako bi se postigao željeni efekat i održala stabilna proizvodnja, heijunka se oslanja na sistem kanban kartica koje određuju potrebne količine proizvoda u definisanom vremenskom intervalu. Sistem se obično realizuje pomoću heijunka kutije (*eng. „heijunka box“*) ili table gde se postavljaju, odnosno povlače kanban kartice. Na *slici 3.9.3* dat je primer heijunka table sa tri varijante proizvoda. Svaki red predstavlja određenu varijantu proizvoda, a svaka kolona interval povlačenja kanban kartica. U zavisnosti od radnog takta za svaku varijantu proizvoda definiše se korak (*eng. „pitch“*) gde je:

$$\text{korak} = \text{radni takt} * \text{količina proizvoda u pakovanju} \quad (3.7)$$

Povlačenje u hodu (*eng. „paced withdrawal“*) predstavlja sistem u kom se rukovalac materijalom kreće definisanim putanjom u definisanom intervalu povlačenja. Proces počinje preuzimanjem kanban kartica sa heijunka table i prenošenjem do radnih mesta uz istovremeno preuzimanje prethodno završenih proizvoda. Završeni proizvodi se prenose do potrošača (supermarket) odakle rukovalac materijalom preuzima nove kanban kartice (novi zahtevi za montažu) i prenosi ih do heijunka table. Na ovaj način tokovi materijala su povezani sa tokovima informacija što obezbeđuje stabilnu proizvodnju koja odgovara isključivo na zahteve kupca, odnosno zahteve narednih procesa.

	INTERVAL POVLAČENJA							
PROIZVOD A	A			A			A	
PROIZVOD B	B			B			B	
PROIZVOD C		C			C			C
PROIZVOD D			D			D		

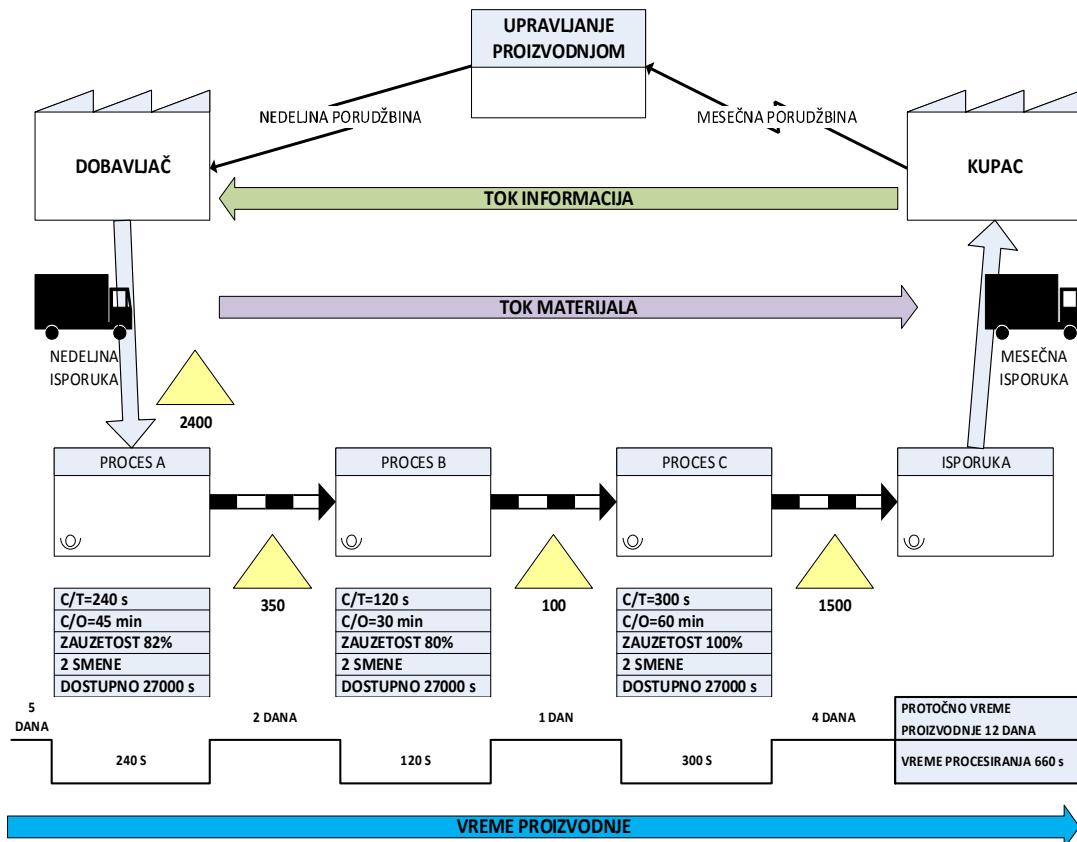
Slika 3.9.3 Primer heijunka table

Heijunka značajno utiče na smanjenje zaliha, i to kako ulaznih sirovina, tako i gotovih proizvoda. Osim toga, sa aspekta kvaliteta proizvoda, heijunka ima pozitivan uticaj, jer nije potrebno proizvesti veliku seriju proizvoda kako bi se primetio problem kvaliteta. Obzirom da heijunka niveliše proizvodnju tako što ravnomerno raspoređuje količine svih varijanti proizvoda, u datom vremenskom

okviru, jasno je da se u ovom slučaju javljaju češći prelasci na proizvodnju druge varijante proizvoda. Kako bi se uticaj pripremno-završnih vremena sveo na minimum, heijunka podrazumeva primenu drugih instrumenata lean-a (SMED, 5 S, standardne procedure, itd.).

### 3.10 Mapiranje toka vrednosti

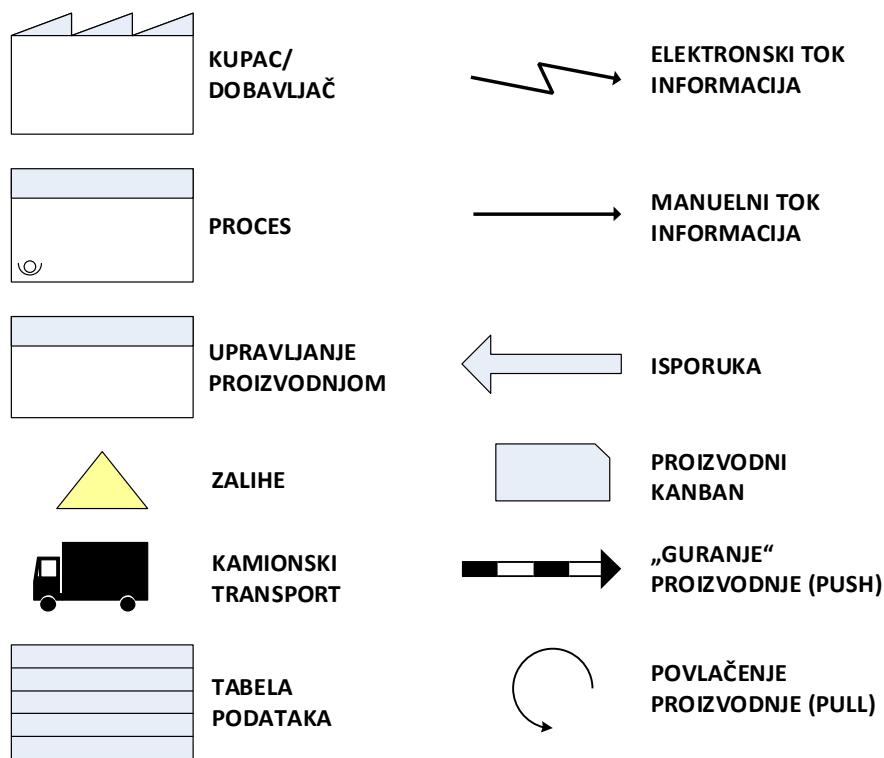
Prvi i osnovni korak pri implementaciji lean koncepta predstavlja definisanje vrednosti. Kod sistema za montažu, vrednost predstavlja proizvod koji je potreban kupcu i koji je kupac voljan da plati. Proces montaže od sastavnih delova, podsklopova i sklopova, do gotovog proizvoda obuhvata niz aktivnosti od kojih samo pojedine dodaju vrednost proizvodu. Imajući u vidu da se u okviru lean filozofije, sve aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu, smatraju gubicima, veoma je važno sagledati tokove materijala i informacija, kako bi bilo moguće detaljno analizirati celokupan proces montaže. Mapiranje toka vrednosti predstavlja jedan od esencijalnih alata lean-a koji na efikasan način prikazuje tok informacija i materijala od trenutka pristizanja porudžbine do isporuke i naplate gotovog proizvoda (*slika 3.10.1*).



Slika 3.10.1 Primer mapiranja toka vrednosti

Sa stanovišta sistema za montažu, mapiranje toka vrednosti obuhvata sve aktivnosti (koje dodaju kao i one koje ne dodaju vrednost) koje je potrebno izvršiti kako bi se od sastavnih delova dobio gotov proizvod. Jedinstven grafički prikaz

toka vrednosti daje pregled celokupnog procesa montaže gde je moguće jasno uočiti mesta na kojima se javljaju gubici. Krajnji cilj mapiranja toka vrednosti je unapređenje sistema za montažu tako da se obezbedi optimalna vrednost (proizvod) koja će se kreirati kroz proces montaže uz minimalne gubitke. Na ovaj način moguće je obezbediti blagovremenu isporuku proizvoda visokog kvaliteta po prihvatljivoj ceni. Jones i Womack u svojoj knjizi „Seeing the Whole Value Stream“ kažu: „Mapiranje toka vrednosti je jednostavan proces direktnog posmatranja trenutnog toka informacija i materijala, njihovog vizuelnog grupisanja i predviđanja budućeg stanja sa mnogo boljim performansama“ [44]. Analizom trenutnog toka vrednosti, osim uočavanja gubitaka, moguće je detektovati i izvore njihovog nastanka. U narednom koraku potrebno je izvršiti planiranje aktivnosti koje će uticati na smanjenje i eliminaciju gubitaka. Navedeni pristup bazira se na posmatranju i optimizaciji celokupnog sistema za montažu, umesto fokusiranja na pojedinačne procese. Jedinstveni grafički simboli olakšavaju proces kreiranja i analize mape toka vrednosti (*slika 3.10.2*).



*Slika 3.10.2 Najčešće korišćeni simboli mape toka vrednosti*

U idealnom slučaju, mapiranje toka vrednosti obuhvata sve aktivnosti počevši od gotovog proizvoda pa sve do osnovnih sirovina. Kada je reč o sistemima za montažu u praksi se često dešava da jedan sistem proizvodi više varijanti ili više vrsta proizvoda. U navedenom slučaju, potrebno je poštovati sledeće korake, kako bi se maksimalno iskoristile prednosti primene mapiranja toka vrednosti:

- 1) **Izabratи proizvod или familiju proizvoda** – u početnoj fazi potrebno je izabrati proizvod, odnosno familiju proizvoda, koji su reprezentativni za posmatrani

proces montaže. Obično je u pitanju proizvod koji se proizvodi u relativno velikim količinama sa stabilnom potražnjom tokom godine. Ako je u pitanju familija proizvoda, potrebno je da sve varijante proizvoda prolaze kroz iste korake procesa montaže uz eventualno postojanje manjih varijacija u koracima procesa montaže.

- 2) **Nacrtati mapu trenutnog stanja** – za izabrani proizvod (ili familiju proizvoda) potrebno je kreirati mapu toka vrednosti, baziranu na trenutnoj situaciji, posmatrajući celokupan proces montaže. Mapa toka vrednosti mora jasno grafički da prikaže tok materijala i informacija. Na osnovu prikupljenih podataka, potrebno je nacrtati vremenski dijagram i izračunati protočno vreme proizvodnje i vreme procesiranja proizvoda. Ovako kreirana mapa toka vrednosti treba da prikaže sve korake koji se dešavaju u procesu uključujući osnovne informacije o svakom koraku. Na osnovu ovih podataka, moguće je uočiti nedostatke i uzroke problema koji utiču na tok, efikasnost, pouzdanost i fleksibilnost sistema za montažu.
- 3) **Kreiranje mape budućeg stanja** – po završetku analize trenutnog stanja i utvrđivanja svih mogućih poboljšanja, potrebno je razviti mapu toka vrednosti koja prikazuje buduće stanje nakon implementacije svih unapređenja. Mapa budućeg stanja treba da bude u saglasnosti sa lean principima, što znači da je potrebno obezbediti neprekidan tok uz detekciju i eliminaciju svih gubitaka.
- 4) **Razvoj akcionog plana** – kako bi se izvršila transformacija sistema za montažu, iz trenutnog u projektovano buduće stanje, potrebno je isplanirati niz pojedinačnih akcija koje će uticati na poboljšanje sistema. Tokom planiranja važno je obratiti pažnju na svaki korak i akcije koncipirati tako da odgovaraju realnim ciljevima i vremenskim okvirima za njihovo ostvarivanje. Sva poboljšanja potrebno je testirati i evaluirati pre nego što se uđe u planiranje njihove implementacije. Akcioni plan se obično vezuje za vremenski period od jedne godine i detaljno prikazuje svaki korak implementacije i ciljeve koje je potrebno postići. U okviru definisanog vremenskog perioda, postavljaju se vremenski okviri u kojima je potrebno izvršiti svaki planirani zadatak.
- 5) **Implementacija** – na osnovu definisanog akcionog plana potrebno je izvršiti implementaciju korak po korak, tako da se što manje naruši stabilno funkcionisanje sistema uz evaluaciju svakog implementiranog poboljšanja. Imajući u vidu ključne elemente lean koncepta, implementirana poboljšanja treba da obezbede kontinuirani tok utemljen na radnom taktu uz nivelišanu proizvodnju baziranu na sistemu povlačenja.

Implementacija lean koncepta u okviru sistema za montažu je veoma teško ostvariva bez mapiranja toka vrednosti. Ako se ne sagleda celokupno stanje sistema za montažu, pojedinačna lokalna poboljšanja veoma teško mogu dovesti do generalnog unapređenja. Osnovni parametar, koji treba posmatrati, je sam proizvod i dodavanje vrednosti proizvodu kroz proces montaže. U knjizi „Learning to See“ Mike Rother kaže: „Kada postoji proizvod koji je potreban kupcu postoji i tok vrednosti. Izazov je uočiti tok.“ [17]. Treba imati u vidu da mapiranje toka vrednosti predstavlja kontinuirani proces u okviru kog se ciklično projektuju mape trenutnog i budućeg stanja uz stalnu implementaciju unapređenja. Glavni razlog ovakvog pristupa je činjenica da je nemoguće kratkoročno dostići idealno

stanje sistema za montažu koji bi bio potpuno oslobođen gubitaka. Implementacija poboljšanja kroz mapiranje toka vrednosti podrazumeva poznavanje i upotrebu ostalih instrumenata lean-a (5S, standardne procedure, SMED, kanban, heijunka, kaizen, itd.)

### 3.11 Kaizen

Sistemi za montažu zajedno sa svim zaposlenima čine celinu koja je podložna stalnoj analizi i unapređenju. Ključ uspeha leži u konstantnom napretku, na svakom mestu i u svakom momentu, bez obzira na to koliko su promene velike ili male. Navedena premla predstavlja osnov kaizena, strategije koja teži kontinuiranom unapređenju. Kaizen je japanski izraz koji se sastoji iz dva pojma, „*kai*“ što u prevodu sa japanskog znači promena i „*zen*“ što označava pojam dobra. Na osnovu slobodnog prevoda može se reći da kaizen označava promenu na bolje i predstavlja filozofiju kontinuiranog poboljšanja koja naglašava važnost uključenja svih zaposlenih u svakodnevnu težnju unapređenja sistema. U suštini, cilj kaizena prevazilazi jednostavno povećanje produktivnosti. Fokus je na humanizaciji radnog mesta, eliminaciji naporanog rada (fizičkog i mentalnog) i obuci zaposlenih kako da efikasno reše problem čim se pojavi tako što će učiti radom (*eng. „learn by doing“*) i koristiti naučni prilaz.[45] Ortiz kaže da bi kaizen trebalo da bude integriran u svakodnevne aktivnosti sa fokusom na eliminaciju gubitaka, kreiranje standarda i održavanju čistog i organizovanog radnog mesta [46]. Važno je primetiti da kaizen znači neprekidno postepeno unapređenje, odnosno proces unapređenja koji se nikada ne završava. Čak i kada su u pitanju sistemi za montažu koji naizgled predstavljaju optimalan proces, uvek postoji mogućnost daljeg unapređenja.

Radni prostor, odnosno lokacija na kojoj se nalazi proizvodni pogon (*jp. „gemba“*) je ključna za uspešno sprovođenje kaizena. Često korišćeni termini „gemba šetnja“ i „gemba kaizen“ ukazuju na činjenicu da je jedino kretanjem kroz proizvodni proces i njegovim direktnim posmatranjem moguće uočiti nedostatke i unaprediti sistem. U svojim istraživanjima Masaaki Imai insistira na pet zlatnih pravila gemba kaizena:

- 1) Ukoliko se pojavi problem, prvo treba proveriti gembu.
- 2) Proveriti gembutsu - relevantne činjenice kako bi se pronašli mogući uzroci problema.
- 3) Preduzeti privremene mere za saniranje problema.
- 4) Pronaći izvor problema.
- 5) Standardizovati procedure kako se problem ne bi ponavljao [47][48].

Kaizen se može podeliti u dva nivoa: sistemski kaizen fokusiran na ceo sistem (kaizen za menadžment) i procesni kaizen koncentrisan na pojedinačne procese u koji su uključeni svi učesnici procesa. Treba imati u vidu da poboljšanja, koja promoviše kaizen, proizilaze iz prethodno prihvaćenih instrumenata lean koncepta. Uspešna implementacija poka-yoke alata, SMED-a, heijunka-e, jidoka-e i mnogih drugih, upravo proizilazi iz kaizen aktivnosti.

Pored navedenog, kaizen događaji predstavljaju formalizovane aktivnosti koje dovode do brzih i skokovitih poboljšanja (jp. „*kaikaku*“). U okviru kaizen događaja formira se tim zaposlenih čiji je zadatak da identifikuju gubitke i primene odgovarajuće instrumente lean-a kako bi ih eliminisali. Tim je uvek sačinjen tako da uključuje i rukovodioce i radnike u proizvodnom procesu dajući svima podjednaku šansu da pokažu svoje ideje i kreativnost. Osim toga, u velikom broju slučajeva, upravo radnici najbolje poznaju situaciju u procesu što dodatno potvrđuje važnost njihovog prisustva u okviru kaizen događaja. Kako bi se postigli što bolji rezultati, svi učesnici tima treba da budu motivisani i zainteresovani za unapređenje. Sam događaj obično traje dva do pet dana i oslanja se na „PDCA“ metodu (eng. „*Plan Do Check Act*“) poznatu i kao demingov krug, a koja kaže da je potrebno sprovesti četiri osnovne aktivnosti:

- planiranje – određivanje ciljeva i potrebnih promena kako bi se ostvarili definisani ciljevi;
- izvršenje – implementacija promena;
- provera – evaluacija postignutih rezultata;
- delovanje – standardizacija uvedenih promena ili početak novog ciklusa ako rezultati nisu zadovoljavajući.

Treba imati u vidu da održavanje postojećeg stanja sistema za montažu, bez unapređenja, dugoročno daje negativne efekte, jer na taj način ne utičemo na eliminaciju postojećih probelma. Potpuno razumevanje kaizena znači uvođenje promena i poboljšanja u svim segmentima sistema za montažu. Poboljšanjima treba da doprinose svi zaposleni, jer bilo ko može uočiti problem ili dati adekvatan predlog za njegovo prevazilaženje. Predlozi za promene treba da budu ekonomični bez potrebe za kapitalnim ulaganjima i velikim troškovima. Na osnovu svega navedenog, jasno je da kaizen otvara neograničene mogućnosti promena, koje se mogu svakodnevno implementirati.

## 4 Metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu zasnovanih na lean konceptu

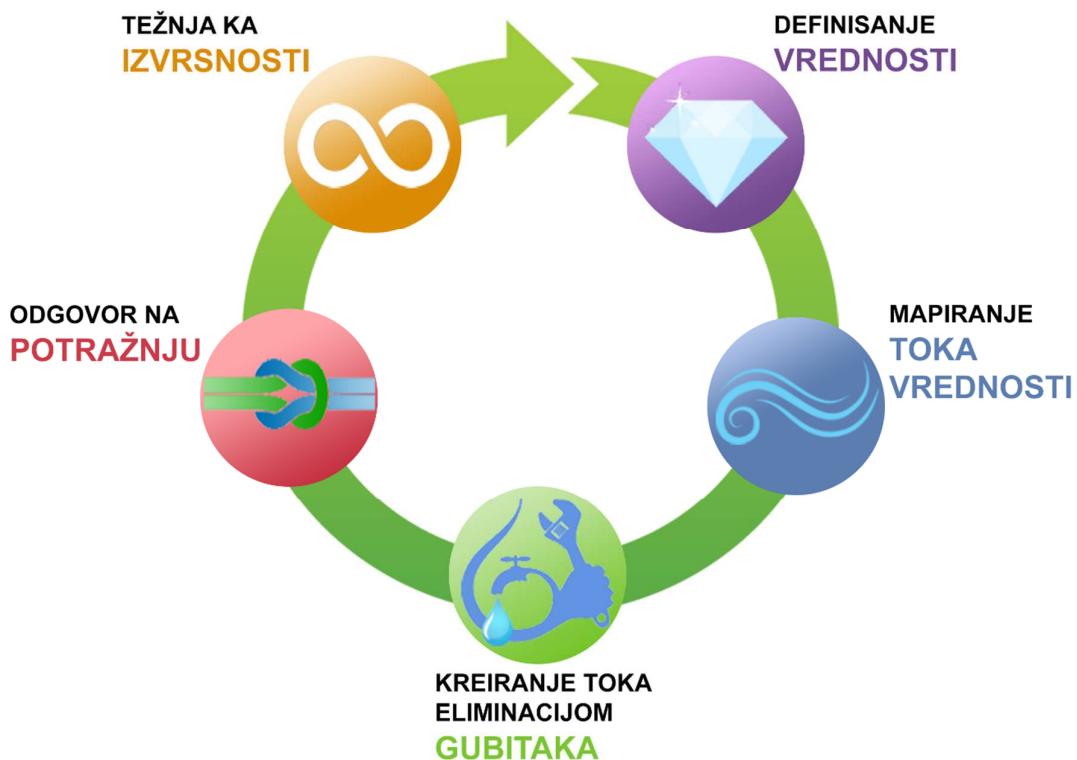
### 4.1 Osnovni postulati lean koncepta

U današnjoj industriji, promene su postale svakodnevna i konstantna pojava. Moderni sistemi za montažu moraju da se prilagode proizvodu, odnosno potrebama kupca, situaciji na tržištu, tehnologijama i regulatornim zahtevima. Sa druge strane, konkurentnost se ogleda u kvalitetu proizvoda, kratkim rokovima isporuke i atraktivnim cenama. Opstanak na tržištu uslovljen je svođenjem gubitaka na minimum i brzom adaptacijom na tražene promene. Navedene činjenice dovode do zaključka da samo jasna i dobro definisana strategija može obezbediti stabilnost i kontinuirani razvoj sistema za montažu.

Ključ uspeha i dugoročni razvoj sistema za montažu leži upravo u primeni lean koncepta. Međutim, samo dobro razumevanje materije i primena adekvatnih instrumenata lean-a mogu dovesti do željenih rezultata. Na *slici 4.0.1* prikazan je „lean krug“ koji definiše neprekidan proces analize i unapređenja sistema za montažu. Ciklus sadrži pet osnovnih elemenata koje treba poštovati kako bi primena lean filozofije dala svoj maksimalni efekat:

- **Definisanje vrednosti** – istraživanje tržišta i definisanje proizvoda koji je potreban kupcu. Samo onaj proizvod koji je kupac voljan da plati po određenoj ceni predstavlja **vrednost**.
- **Mapiranje toka vrednosti** – kretanjem kroz proces montaže proizvod dobija na vrednosti samo u određenim delovima procesa. Kako bi se sagledala celokupna situacija i uočile zone u kojima nema dodavanja vrednosti potrebno je kreirati **mapu toka vrednosti**.
- **Kreiranje toka eliminacijom gubitaka** – uočeni gubici u prethodno kreiranoj mapi toka vrednosti treba da se eliminišu, a sve sa ciljem uspostavljanja **neprekidnog toka**. Ovo podrazumeva sistematsko rešavanje problema sedam gubitaka gde svaki od gubitaka utiče na pojavu prekida u toku vrednosti.
- **Odgovor na potražnju** – kreirani tok vrednosti treba da bude u stanju da odgovori na zahteve kupca. Navedeni sistem uspostavlja se nivelisanom proizvodnjom koja je upravljana zahtevima kupaca. U navedenoj situaciji, kupci **povlače** proizvode samo kada su im potrebni.
- **Težnja ka izvrsnosti** – ma koliko izgledao savršen, projektovani sistem za montažu sigurno sadrži delove procesa koji i dalje generišu gubitke. Primenom filozofije kontinuiranog unapređenja, potrebno je postepeno eliminisati sve postojeće gubitke, odnosno uzroke njihovog nastanka. Osim toga, važno je pratiti trendove razvoja tehnologije gde nova rešenja mogu doprineti eliminaciji do tada nepremostivih gubitaka.

Važno je razumeti da primena lean filozofije predstavlja neprekidan proces pa otuda postaje jasna simbolika kruga unutar kog se nalaze prethodno opisani elementi (slika 4.1.1). Sa druge strane, sistem za montažu mora pratiti razvoj tehnologije kako bi se primenjivali samo optimalni procesi i na taj način maksimizirala vrednost. U tom smislu treba obratiti posebnu pažnju i primetiti da lean filozofija iziskuje primenu optimalnih procesa montaže, a ne visokoproduktivnih mašina orijentisanih ka masovnoj proizvodnji. Samo dobro formiran proces montaže, u okviru kog su primenjeni adekvatni alati, pribori i mašine, može dati željeni rezultat.

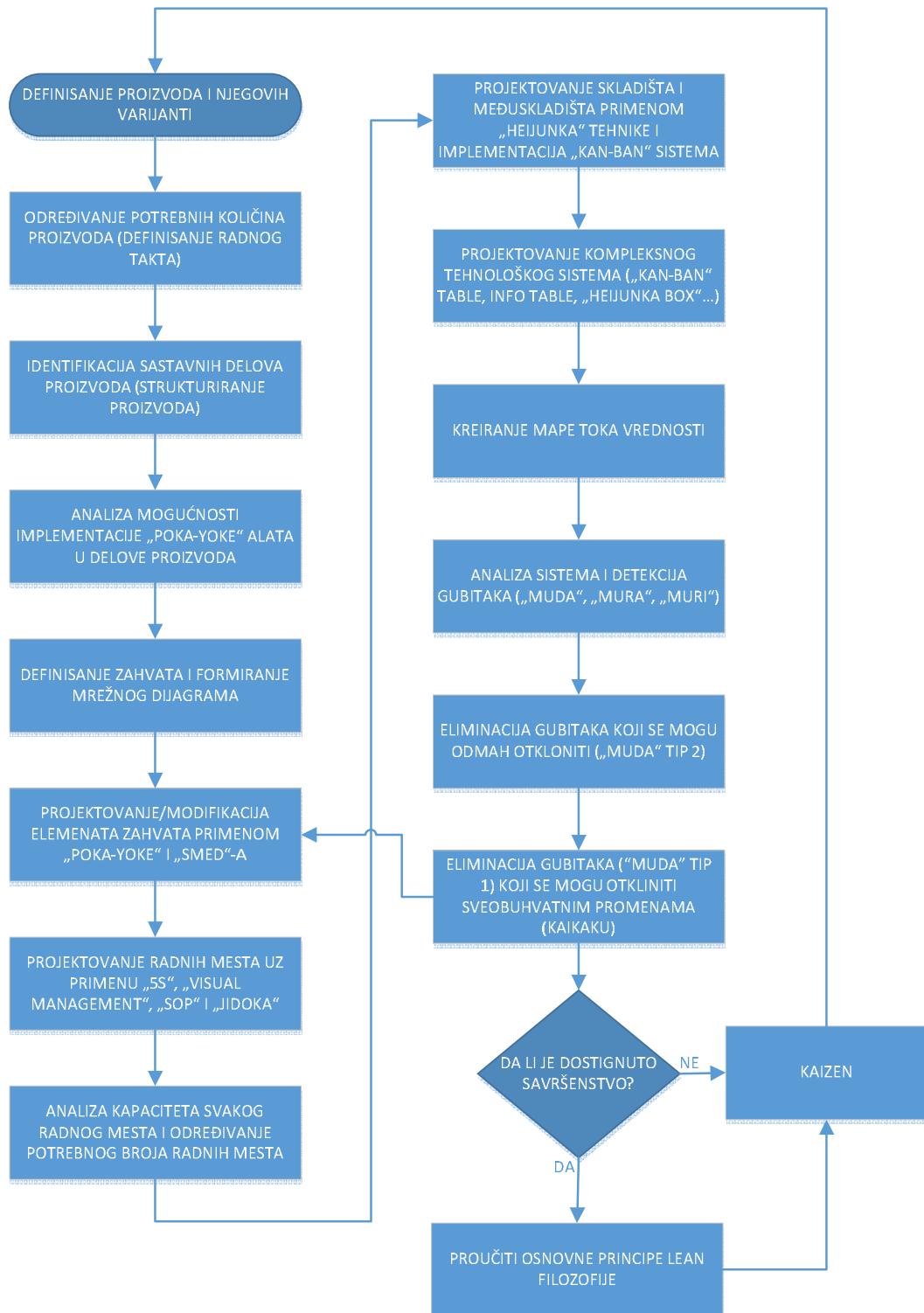


Slika 4.1.1 Osnova lean filozofije

Imajući u vidu sve navedene činjenice, jasno je da lean filozofija podrazumeva niz aktivnosti u okviru kojih je potrebno primeniti različite alate i metode lean-a kako bi se sagledalo stanje sistema i implementirala poboljšanja. Bez obzira da li je u pitanju novi ili postojeći sistem za montažu primena instrumenata lean-a treba da bude pažljivo isplanirana. Postoje mnogi primeri koji govore da nasumična, odnosno pojedinačna primena alata i metoda lean-a, osim što ne daje rezultate, može dovesti i do negativnih posledica. Primena 5S metode je besmislena u slučaju novog sistema za montažu gde još nisu formirana radna mesta. Heijunka sistem može izazvati negativne efekte ako prethodno nije primenjen SMED i standardne procedure. Na osnovu navedenih primera može se zaključiti da samo sistematična primena instrumenata lean-a, u okviru sistema za montažu, garantuje postizanje svih pozitivnih efekata koje donosi implementacija lean koncepta.

Prethodno istraživanje je pokazalo da postoji neosporna potreba za razvojem metode koja jasno definiše primenu instrumenata lean filozofije kod projektovanja i optimizacije sistema za montažu. Na *slici 4.1.2* prikazan je algoritam na kom se temelji razvijena metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu. Navedeni algoritam oslanja se na ranije definisane postulate lean koncepta, a posebno je prilagođen za potrebe razvoja novih i optimizacije postojećih sistema za montažu.

Algoritam metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu nastao je kao rezultat opsežnog istraživanja u okviru doktorske disertacije. Svaki blok prikazanog algoritma predstavlja jedan korak metode u okviru kog je potrebno izvršiti definisane aktivnosti. U nastavku poglavljia detaljno će se proanalizirati svaki korak razvijene metode sa posebnim akcentom na primenjene instrumente lean filozofije.



Slika 4.1.2 Algoritam metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu baziranih na lean konceptu

## 4.2 Definisanje proizvoda i njegovih varijanti

Prvi korak implementacije lean filozofije u bilo kom sistemu iziskuje definisanje vrednosti. Kod sistema za montažu, vrednost predstavlja gotov proizvod, odnosno sklop koji se montira u posmatranom sistemu za montažu. Treba imati u vidu da samo onaj proizvod koji je zaista potreban kupcu predstavlja vrednost. Ranije su se proizvodi razvijali tako da zadovolje jednostavne i jasne potrebe kupca. To je praktično značilo da kupac direktno komunicira sa proizvođačem i opiše šta mu je zaista potrebno. Sa razvojem društva razvili su se i kompleksniji zahtevi kupaca što je uticalo na povećanje stepena složenosti proizvoda. Kako bi se zadovoljile rastuće potrebe društva pojavile su se velike kompanije čija je masovna proizvodnja bila u stanju da obezbedi proizvode za veliki broj potrošača. Mnoga istraživanja potvrđuju da je navedena situacija udaljila krajnje korisnike od proizvođača, pa se tako pojavila razlika između mišljenja razvojnih timova unutar kompanija i onoga što kupci zaista vrednuju[49][50][51][52].

Lean filozofija kaže da vrednost predstavlja samo proizvod koji je potreban kupcu i koji je kupac spreman da plati. Imajući u vidu navedeni princip jasno je da kod definisanja proizvoda ključni faktor predstavlja ispitivanje potreba tržišta. U tom smislu važno je da proizvođač razume potrebe kupca i kreira proizvod koji će zadovoljiti definisane potrebe. Besmisleno je razviti kompleksan proizvod sa mnoštvom različitih osobina koje nisu potrebne kupcu, jer te osobine ne dodaju vrednost proizvodu. Nepotrebne funkcije neminovno utiču na porast cene gotovog proizvoda što proizvođač može dovesti u lošiji položaj u odnosu na konkurenčiju.

Postojeći sistemi za montažu, gde je uspostavljena proizvodnja, poseduju podatke o obimu prodaje na osnovu kojih se može proceniti konkurentnost na tržištu. Mnogo važniji podatak su potrebe kupaca za postojećim proizvodom, odnosno da li postojeći proizvod u potpunosti zadovoljava trenutne zahteve. Zbog toga je potrebno vršiti istraživanja tržišta kako bi se prikupili aktuelni podaci na osnovu kojih se može planirati dalji razvoj proizvoda.

Imajući u vidu da se zahtevi tržišta u nekim segmentima mogu razlikovati, često se javlja potreba za proizvodnjom više varijanti jedne vrste proizvoda. Kod sistema za montažu to znači proizvodnju različitih sklopova koji prolaze kroz celokupan proces montaže, odnosno samo neki segmenti procesa se delimično razlikuju ili su izostavljeni. U navedenoj situaciji, definiše se familija proizvoda u okviru koje različite osobine pojedinih varijanti proizvoda zadovoljavaju različite potrebe kupaca.

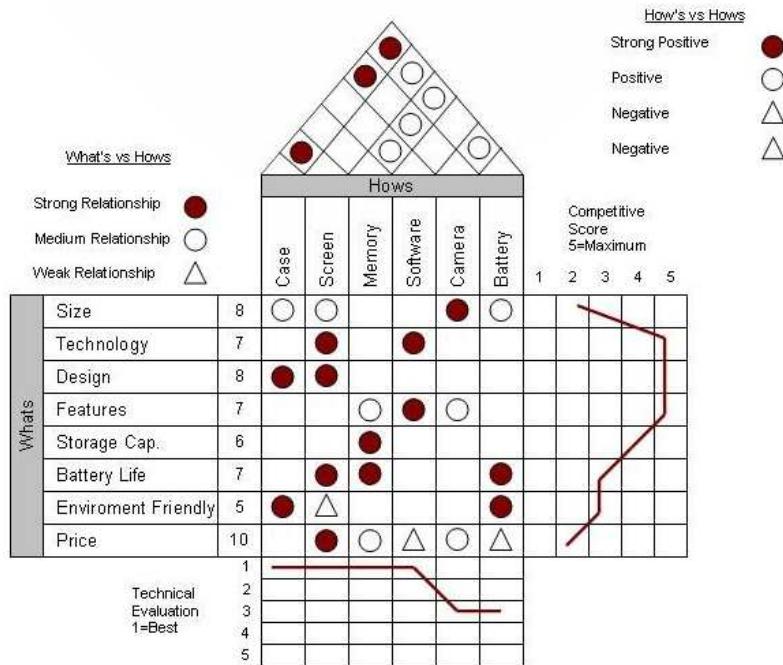
Bez obzira da li je u pitanju novi ili postojeći sistem za montažu može se reći da u oba slučaja proizvod, odnosno vrednost, definiše kupac. Lean filozofija kaže da je potrebno iskoristiti informacije prikupljene od kupca na osnovu kojih se formira specifikacija osobina koje proizvod treba da poseduje, odnosno proveriti da li postojeći proizvod zadovoljava njihova očekivanja.

Danas se mogu pronaći mnogobrojna istraživanja vezana za problematiku definisanja proizvoda u kojima se veoma često pominje QFD metoda [53][54][55].

QFD metodu (*eng. „Quality function deployment“*) razvio je Yoji Akao, japanski specijalista u oblasti planiranja, kako bi pomogao pri transformaciji zahteva kupaca u gotov proizvod. QFD metoda identificuje i klasificiše želje kupaca povezujući ih sa parametrima vezanim za dizajn proizvoda. Krajnji rezultat je formiranje matrica sa organizovanim informacijama koje pomažu pri definisanju proizvoda dajući odgovor na tri važna pitanja:

- Koje osobine proizvoda su najznačajnije za kupca?
- Koji parametri dizajna su povezani sa traženim osobinama proizvoda?
- Koji su ključni parametri novog dizajna?

Osnovni alat QFD metode je „kuća kvaliteta“ (*eng. „house of quality“*) čiji je primer prikazan na *slici 4.2.1*. Svaki red predstavlja zahteve kupca, dok kolone predstavljaju odgovor proizvođača na definisane zahteve u vidu dizajnerskih osobina proizvoda. Ćelije unutar matrice ocenjuju povezanost određenog zahteva kupaca sa određenom osobinom proizvoda. Krov kuće kvaliteta predstavlja međusobni odnos pojedinih dizajnerskih osobina proizvoda. Kao krajnji rezultat primene kuće kvaliteta identificuju se zahtevi kupaca i njihova korelacija sa osobinama proizvoda. Pored navedenog ističe se važnost pojedinih zahteva kao i konkurentnost proizvoda u odnosu na druge proizvođače.



Slika 4.2.1 Primer „kuće kvaliteta“ koja se primenjuje kod QFD metode

### 4.3 Određivanje potrebnih količina proizvoda i definisanje radnog takta

Kako bi sistem za montažu što efikasnije odgovorio na potrebe kupaca, u smislu željenih količina, važno je da proizvodni kapacitet sistema, odnosno njegovih segmenata, bude optimalno dimenzionisan. U tom smislu, potrebno je odrediti koje su to količine proizvoda potrebne kako bi se zadovoljila potražnja kupaca za određeni vremenski period. Kod postojećih sistema za montažu, do potrebnih informacija, dolazi se analizom podataka o potražnji proizvoda. Navedena analiza uglavnom obuhvata period od jedne godine u okviru kog se posmatra koje količine proizvoda su plasirane na tržište (mesečno, nedeljno, dnevno). Sa druge strane, novi sistemi za montažu moraju se osloniti na analizu tržišta i na taj način proceniti potrebne količine proizvoda za definisani vremenski period.

Radni takt određuje ritam proizvodnje i definiše kojim tempom gotovi proizvodi treba da se pojavljuju na kraju procesa montaže kako bi se zadovoljile potrebe kupaca. Da bi se zadovoljila tražena karakteristika, potrebno je da svi procesi u okviru sistema za montažu imaju ciklusno vreme koje nije veće od radnog takta, te je veoma važno izvršiti adekvatnu podelu rada pri formiranju procesa i radnih mesta kod sistema za montažu. Suština određivanja radnog takta je usklađivanje proizvodnje sa potražnjom što je jedan od osnovnih principa lean-a. Na osnovu prethodno određenih potrebnih količina proizvoda definiše se radni takt koji se računa na osnovu sledeće formule:

$$\text{radni takt} = \frac{\text{vreme proizvodnje}}{\text{potrebne količine proizvoda}} \quad (4.1)$$

Kod proračuna radnog takta treba obratiti posebnu pažnju na određivanje dostupnog vremena proizvodnje gde se obično u razmatranje uzima trajanje jedne smene od osam časova, odnosno 480 minuta. Od navedenog vremena treba oduzeti vreme trajanja aktivnosti koje ne učestvuju u samom procesu montaže što obuhvata sve pauze u radu, sastanke i ostale administrativne aktivnosti.

$$\text{vreme proizvodnje} = \text{smena} - \text{pauze} - \text{ostale aktivnosti} \left[ \frac{\text{min}}{\text{smeni}} \right] \quad (4.2)$$

Kako bi proračun radnog takta bio tačan, potrebno je proračunati količinu proizvoda koju treba proizvesti tokom jedne smene. U slučaju da su poznate potrebne dnevne količine tada je:

$$\text{potrebne količine proizvoda} = \frac{\text{dnevne količine}}{\text{broj smena}} [\text{kom./smeni}] \quad (4.3)$$

Važno je primetiti da kod prikazanog proračuna dostupno vreme proizvodnje i potrebne količine proizvoda uzimaju u obzir isti vremenski period, odnosno trajanje jedne smene iz čega sledi:

$$\text{potrebne količine proizvoda} = \frac{[\text{min}/\text{smeni}]}{[\text{kom.}/\text{smeni}]} = [\text{min}/\text{kom.}] \quad (4.4)$$

Proračunati radni takt se koristi kao parametar koji određuje stepen podele rada, odnosno sredstvo za dalju analizu procesa u okviru sistema za montažu.

#### 4.4 Identifikacija sastavnih delova proizvoda i strukturiranje proizvoda

Imajući u vidu da proces montaže podrazumeva spajanje barem dva ili više elemenata u jednu celinu, može se reći da svaki montirani proizvod sadrži tačno određenu količinu delova, sklopova i materijala od kojih je sačinjen. Kako bi se mogao isplanirati proces montaže potrebno je prethodno identifikovati sve sastavne elemente proizvoda. To podrazumeva identifikaciju svih delova, sklopova i materijala koji unapred pripremljeni ulaze u proces montaže. Strukturiranje proizvoda, bazirano na definisanim sastavnim elementima, predstavlja važnu podlogu za planiranje procesa montaže.

U knjizi „Montažni sistemi“, dat je postupak strukturiranja proizvoda [2]. Grafička interpretacija strukture jednog proizvoda ili familije proizvoda dobija se generisanjem strukturne šeme. Strukturiranje proizvoda se najčešće prvo izvodi za proizvod predstavnik familije proizvoda koja se montira, a potom se ostali proizvodi iz familije strukturiraju prema strukturi proizvoda predstavnika. Na *slici 4.4.1* dat je primer strukture proizvoda prema nivoima ugradnje. Struktura se izrađuje odozgo na dole (*eng. Top-down design*) gde proizvod predstavlja nulti nivo montaže, a u svakom sledećem nivou proizvod se rastavlja na sklopove i sastavne delove. Sklopovi i delovi, koji direktno ulaze u gotov proizvod, dodeljuju se prvom nivou montaže. Sklopovi i delovi, koji ulaze u nivo montaže 1 kao komponente, dodeljuju se za jedinicu nižem nivou montaže. Na svakom nivou montaže za pojedinačne sklopove se određuje bazni element koji se potom oslobođa od veza sa elementima posmatranog sklopa. Za sve preostale podsklopove se ponovo određuju bazni elementi i potom se vrši njihovo rastavljanje.

STRUKTURA PROIZVODA	SKICA	NIVO MONTAŽE	VRSTA MONTAŽE
PROIZVOD	P	0	
SKLOPOVI / SASTAVNI DELOVI	S1, D1, S2	1	MONTAŽA SKLOPOVA I DELOVA
SKLOPOVI / SASTAVNI DELOVI	S3, D2, D3, S4, D4	2	MONTAŽA SKLOPOVA I DELOVA
POJEDINAČNI SASTAVNI DELOVI	D5, D6, D7, D8, D9	3	MONTAŽA DELOVA

*Slika 4.4.1 Strukturiranje proizvoda prema nivoima ugradnje*

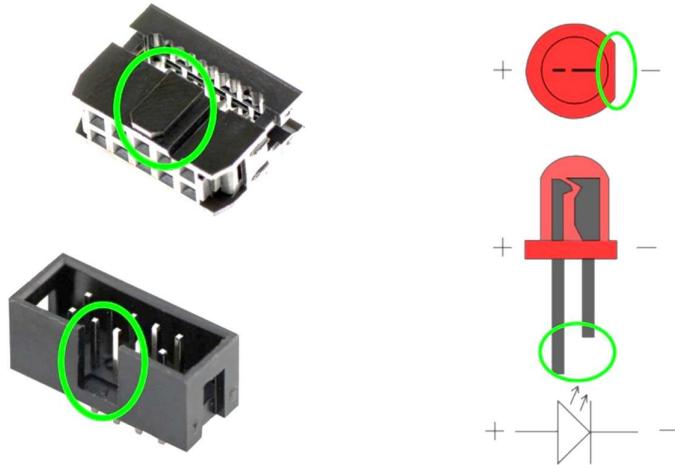
Svaki proizvod se može rastaviti do sastavnih delova, s tim što dubina podele, odnosno broj nivoa montaže, zavisi od načina montaže i složenosti proizvoda. U svakom slučaju, broj nivoa montaže direktno zavisi od ulaznih elemenata posmatranog procesa. Često se dešava da u proces montaže proizvoda ulaze gotovi sklopovi koji su proizvod nekog drugog procesa. U tom slučaju, najniži nivo montaže može sadržati kombinaciju delova i sklopova. Kod formiranja strukturne šeme, sklop treba dodeliti nivou montaže na kom se on može najkasnije ugraditi kako bi se dobio što veći stepen slobode pri planiranju postupka montaže.

## 4.5 Analiza mogućnosti implementacije Poka-Yoke alata u delove proizvoda

Prethodno definisana struktura proizvoda daje uvid u sve njegove elemente koji se međusobno povezuju tokom procesa montaže. Geometrijske karakteristike pojedinih delova i načini njihovog spajanja u nekim slučajevima mogu dovesti do pogrešne montaže. Problemi posebno dolaze do izražaja kod ručne montaže gde se na određenim radnim mestima operacije rada ciklično ponavljaju. Često se dešava da umor i pad koncentracije radnika utiču na lošu orijentaciju i spajanje proizvoda. Ako se navedene greške odmah ne eliminišu, loše montiran podsklop nastavlja da se kreće kroz proces montaže što za posledicu ima proizvodnju defektnih proizvoda. Kako bi se izbegli navedeni problemi, potrebno je proanalizirati mogućnost implementacije poka-yoke alata u elemente proizvoda, koji potencijalno mogu dovesti do pojave grešaka tokom montaže. Shigeo Shingo, koji je prvi predstavio poka-yoke alat, kaže da njegova implementacija obezbeđuje 100% inspekciju i u slučaju pojave greške odmah daje povratnu informaciju [34].

Analizom strukture proizvoda, odnosno delova posmatranog proizvoda, moguće je uočiti elemente čija montaža nije jednoznačno definisana. Tu se pre svega misli na delove čiji oblik dozvoljava spajanje sa drugim delom na više načina. Karakterističan primer su delovi sa simetričnim površinama kod kojih veoma lako može doći do pogrešne orijentacije pri montaži. U zavisnosti od prirode posmatranih elemenata, kao i vrste spoja, moguće je implementirati regulatorni ili fizički poka-yoke alat u delove proizvoda. Kod delova čija je geometrija takva da postoji šansa da dođe do njihove pogrešne orijentacije prilikom montaže često se implementira kontaktni poka-yoke. To podrazumeva modifikaciju geometrije delova dodavanjem karakterističnih oblika koji onemogućavaju njegovu pogrešnu orijentaciju pri montaži. Na *slici 4.5.1* dat je primer električnog utikača i utičnice pljosnatog kabla sa implementiranim kontaktnim poka-yoke alatom. Prikazani priključci su modifikovani tako da je dodavanjem karakterističnog oblika eliminisana osna simetričnost delova pa je zbog toga nemoguće pogrešno orijentisati priključke pri njihovom spajanju. Osim navedenog, moguće je koristiti i kontrolni poka-yoke alat gde promena geometrije dela obezbeđuje vizuelnu kontrolu ispravne orijentacije. Na *slici 4.5.1* prikazana je LE dioda sa implementiranim kontrolnim poka-yoke alatom u vidu zaravnjene površine i skraćene lemne nožice koje označavaju poziciju katode. Kod delova koji su istog ili

sličnog izgleda često dolazi do mešanja njihovih pozicija tokom montaže. U navedenom slučaju, moguće je primeniti kontrolni poka-yoke tako što se karakteristična površina svakog dela oboji određenom bojom koja odgovara boji mesta montaže.



Slika 4.5.1 Kontaktni poka-yoke (levo) i upozoravajući poka-yoke (desno)

Potreba za implementacijom poka-yoke alata u fazi razvoja proizvoda podstakla je istraživanja u navedenoj oblasti u kojima se pominje pojam „DFPYA“ (eng. „*Design For Poka-Yoke Assembly*“). DFPYA je povezan sa zahtevima za primenu poka-yoke alata na delove proizvoda uzimajući u obzir odnos dizajnerskih osobina delova i mogućnosti pojave greške pri montaži. U radovima koji obrađuju DFPYA, autori insistiraju na sedam osnovnih pitanja, vezanih za osobine proizvoda, na osnovu kojih se postavljaju prioriteti za implementaciju poka-yoke alata [23][56]. Važno je naglasiti da kod primene poka-yoke alata na delove proizvoda uvek treba težiti što jednostavnijem rešenju koje neće drastično uticati na usložnjavanje postupka proizvodnje samog dela. Takođe, treba paziti da implementirani poka-yoke alat ne naruši funkcionalnost gotovog proizvoda. Adekvatna primena poka-yoke alata na delove proizvoda obezbeđuje jednoznačnu montažu i kontrolu grešaka tokom samog procesa spajanja elemenata.

## 4.6 Definisanje zahvata i formiranje mrežnog dijagrama

Strukturalna šema daje uvid u sve elemente od kojih je jedan proizvod sačinjen. Povezivanje navedenih elemenata, sa ciljem izgradnje gotovog proizvoda, iziskuje izvršenje niza montažnih zahvata. U knjizi „Tehnološki sistemi u montaži“, zahvati montaže su definisani kao elementarni činioci od kojih je sačinjen celokupan postupak sklapanja proizvoda. Autori knjige kažu da zahvat montaže, za posmatrani proces rada, predstavlja elementarni deo postupka rada u kojem se izvršava spajanje dva ili više delova u jednu zaokruženu celinu, sa utroškom vremena  $t_{zi}$ . U zavisnosti od vrste rada, zahvati se dele na osnovne, pomoćne i pripremno-završne [57]. Sa stanovišta lean koncepta, osnovni zahvati

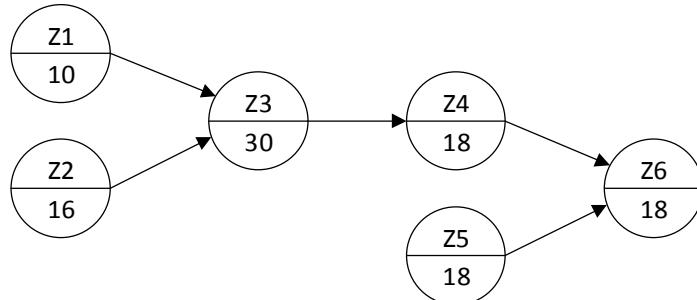
predstavljaju najznačajniji element procesa montaže s obzirom da oni direktno dodaju vrednost proizvodu.

U knjizi „Montažni sistemi“, mrežni dijagram je definisan kao podloga za utvrđivanje redosleda zahvata gde dijagram prikazuje proces montaže strukturiran na elementarne aktivnosti u obliku mreže. Iz mrežnog dijagrama se jednoznačno određuju veze između pojedinih aktivnosti, kao i njihova međusobna uslovjenost [2]. Osnovni simboli mrežnog dijagrama prikazani su na *slici 4.6.1*. Simbol elementa predstavlja krug unutar kog se nalaze identifikacione oznake elementa i opcionalno označenje zahvata i drugih važnih parametara (vrsta spoja, vreme trajanja zahvata, itd.). Simbol veze u mrežnom dijagramu predstavlja linija sa strelicom gde vrh strelice označava elemente koji slede one sa drugog kraja linije.



*Slika 4.6.1 Simbol elementa (levo) i simbol veze (desno) mrežnog dijagrama*

Na *slici 4.6.2* prikazan je primer mrežnog dijagrama u okviru kog su prikazani redni brojevi zahvata i trajanje montaže u sekundama. Na ovaj način se daje pregledan prikaz logičke strukture postupka rada što je veoma korisno kod planiranja montaže kompleksnih proizvoda. Osim navedenog, mrežni dijagram daje dobru podlogu za određivanje stepena podele rada, odnosno grupisanja zahvata u skladu sa definisanim radnim taktom.



*Slika 4.6.2 Primer mrežnog dijagrama*

## 4.7 Projektovanje i modifikacija zahvata primenom Poka-Yoke alata i SMED-a

Kako bi se izvođenje zahvata izvršilo u optimalnim vremenskim okvirima, potrebno je detaljnije proanalizirati sve faktore koji utiču na vreme trajanja zahvata. U tom smislu, važno je pre svega prepoznati činioce pojedinih zahvata odnosno njihova vremena. Kada je reč o montaži, može se definisati osnovna podela na pripremno - završno vreme i vreme montaže odnosno vreme spajanja. U okviru pripremno - završnog vremena obuhvaćene su aktivnosti vezane za pripremanje radnog mesta (priprema alata i pribora, čišćenje, itd.), kao i pripremanje elemenata koji se spajaju. Vreme montaže predstavlja vreme u okviru kog se izvršava spajanje dva elementa uključujući i podešavanje, kontrolu spoja, prinošenje, itd. Pripremno - završno vreme, kao i vreme montaže, sadrže osnovna

i dopunska vremena. Detaljna podela i definisanje navedenih vremena prikazani su u knjizi „Montažni sistemi“ [2]. Dopunska vremena su vezana za gubitke koji se mogu javiti tokom izvođenja pojedinih aktivnosti i sa stanovišta lean filozofije podložna su detaljnijoj analizi kako bi se utvrdili i eliminisali uzroci njihovog nastanka.

Priprema za izvršenje procesa montaže, između ostalog, iziskuje i pripremu potrebnih alata i pribora. Bez obzira da li se radi o automatizovanoj ili ručno – mehanizovanoj montaži, često se javlja potreba za izmenom alata usled prelaska na montažu druge varijante proizvoda, potrebe za servisiranjem alata, itd. U navedenim slučajevima potrebno je obezbediti što efikasniju zamenu alata sa najmanjim utroškom vremena. SMED, kao jedan od osnovnih instrumenata lean-a, usmeren je upravo na rešavanje navedenih problema. Kao što je ranije objašnjeno, SMED se fokusira na raščlanjivanje internih i eksternih aktivnosti potrebnih za zamenu alata gde je težnja da se što veći broj internih aktivnosti prevede u eksterne. Drugi segment SMED-a je redukcija trajanja aktivnosti gde se često, osim skraćenja osnovnog vremena, eliminiše ili znatno umanjuje trajanje dopunskih vremena. Shigeo Shingo je u svojoj knjizi prikazao mnoge primere uspešne implementacije SMED-a [33]. Redukcija vremena trajanja aktivnosti je često povezana sa modifikacijom alata, odnosno veza, tako da je uklanjanje alata moguće izvršiti ručno, bez upotrebe dodatnih alata. Na *slici 4.7.1* prikazan je vijak čije se pritezanje i odvrtanje može izvršiti bez upotrebe alata.



Slika 4.7.1 Brzorastavljajući vijak

Priroda pojedinih zahvata može biti takva da oni nisu jednoznačno definisani. U navedom slučaju, pogrešno izvršeni zahvat može rezultovati lošom montažom i potrebom za ponovnim izvođenjem zahvata. Implementacija poka-yoke alata u elemente zahvata direktno utiče na eliminaciju navedenih pojava. Kod montaže se dešava da orijentisanje i pozicioniranje, kako elemenata koji se spajaju, tako i alata i pribora, može biti otežano, što direktno utiče na pojavu dodatnih vremena. Primena poka-yoke alata na elemente zahvata često podrazumeva veoma jednostavne adaptacije kao što su: postavljanje graničnika, bojenje elemenata, upotreba senzora, itd. Navedene izmene obezbeđuju efikasnije izvršenje zahvata (npr. jednostavije i brže pozicioniranje) što utiče na redukciju osnovnih i minimizaciju dopunskih vremena trajanja zahvata. Na *slici 4.7.2* prikazana je implementacija jednostavnog poka-yoke alata koji obezbeđuje lako pozicioniranje delova tako da uvek budu spojeni pod pravim uglom [58].



Slika 4.7.2 Primer poka-yoke alata

#### 4.8 Projektovanje radnih mesta uz primenu 5S, vizuelnog menadžmenta, standardizovanih radnih procedura i jidoka

Prethodno realizovani koraci daju podlogu za projektovanje i optimizaciju radnih mesta uz poštovanje utvrđenih principa lean-a. Na osnovu kreirane strukture proizvoda i mrežnog dijagrama definišu se zahvati i operacije montaže koje se izvršavaju na svakom radnom mestu. Prvi korak projektovanja radnog mesta predstavlja izrada dokumentacije i implementacija standardizovanih radnih procedura. Standardizovane radne procedure, pre svega, obezbeđuju informacije o radnim aktivnostima i redosledu njihovog izvršavanja. U okviru dokumentacije, mora biti jasno definisan proces montaže kao i sve druge aktivnosti koje je potrebno izvršiti.

Definisanje aktivnosti i svih potrebnih elemenata za njihovo izvršenje omogućavaju implementaciju 5S metode. Kao što je ranije objašnjeno, 5S metoda podrazumeva sortiranje alata i pribora na osnovu učestalosti primene i njihovu organizaciju kako bi se obezbedila optimalna dostupnost. Na osnovu prethodnih informacija o aktivnostima i samom procesu montaže, potrebno je definisati održavanje odnosno čišćenje radnog mesta i pripadajućih alata i pribora. Četvrto „S“, u okviru 5S metode, podrazumeva standardizaciju, odnosno izradu uputstava, kako bi se radno mesto održavalo organizovano i čisto. Navedena uputstva ulaze u sastav standardizovanih radnih procedura.

Standardizovane radne procedure, uključujući i 5S metodu, mogu dati svoj doprinos samo primenom kroz vizuelni menadžment. To znači da je potrebno definisati koncizna uputstva i obeležja i postaviti ih na odgovarajuća mesta u okviru radnog prostora. Vizuelni menadžment treba da obezbedi dostupnost svih potrebnih informacija, pa je potrebno implementirati i andon semafor kako bi se mogao pratiti status radnog mesta.

U slučaju automatizovane montaže, jidoka predstavlja važan instrument lean-a, koji pojednostavljuje praćenje automatizovanog procesa. Ranije je rečeno da jidoka obezbeđuje automatsko zaustavljanje mašine ako dođe do greške čime se radnik oslobođa potrebe za konstantnim praćenjem procesa. Osim navedenog, jidoka je posebno važna kod uvođenja automatizacije u slučaju postojećih ručno-

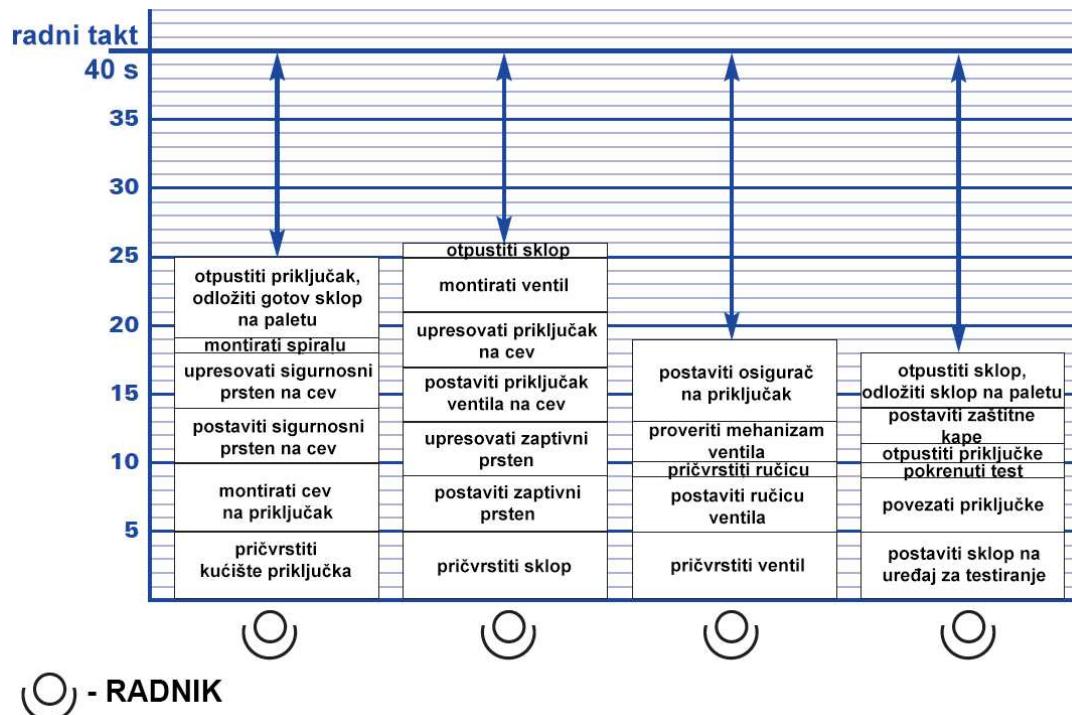
mehanizovanih procesa montaže. Postepeno uvođenje automatizacije podrazumeva analizu svih zahvata koji se izvršavaju i implementaciju jidoka mehanizama tamo gde postoji mogućnost pojave greške.

#### 4.9 Nivelacija opterećenja, analiza kapaciteta i određivanje potrebnog broja radnih mesta

Kako bi se odredio potreban broj isto opremljenih radnih mesta, treba proveriti odnos ranije definisanog radnog takta i radnog ciklusa posmatranog radnog mesta. Podatak o radnom ciklusu može se dobiti iz prethodno kreiranih standardnih radnih procedura koje obuhvataju tabele sa redosledom radnih aktivnosti i tabele kapaciteta mašina.

Kod ručne montaže, radni ciklus predstavlja vreme potrebno za izvršavanje svih aktivnosti, kako bi se obavila kompletna operacija rada. Sa druge strane, u automatizovanim procesima, radni ciklus predstavlja vreme potrebno da mašina izvrši sve definisane operacije na posmatranom predmetu rada.[31]

Tabela opterećenja radnika daje dobar grafički prikaz odnosa radnog takta i vremena trajanja svih zahvata koje radnik treba da izvrši u okviru jednog radnog ciklusa (*slika 4.9.1*). Blokova u tabeli predstavljaju aktivnosti koje radnik treba da izvrši. Slaganje blokova saglasno je sa redosledom izvršavanja, dok visina bloka odgovara vremenskom periodu potrebnom za izvršenje odgovarajuće aktivnosti.



Slika 4.9.1 Primer tabele opterećenja radnika

U idealnom slučaju radni ciklus treba da bude nešto manji u odnosu na definisani radni takt. Kada radni ciklus prevazilazi radni takt, analizom tabele opterećenja radnika može se razmotriti mogućnost redistribucije određenih aktivnosti na radna mesta kod kojih je radni ciklus kraći od radnog takta. Na ovaj način se vrši nivelacija opterećenja radnika, odnosno teži se izjednačavanju količine rada.

Analizom tabele redosleda radnih aktivnosti i kapaciteta mašina moguće je odrediti broj istih tehnoloških sistema, odnosno radnih mesta, koji mogu da zadovolje radni takt. Kao što je ranije navedeno, potreban broj radnih mesta računa se kao odnos radnog ciklusa i radnog takta.

#### 4.10 Projektovanje skladišta i međuskladišta primenom heijunka tehnike i implementacija kanban sistema

Jedan od osnovnih postulata lean filozofije predstavlja povlačenje proizvodnje. Ranije je pojašnjeno da povlačenje proizvodnje podrazumeva reakciju sistema u skladu sa potražnjom. Primena heijunka tehnike obezbeđuje kreiranje optimalnih količina gotovih proizvoda u skladu sa potražnjom i definisanim radnim taktom. Na ovaj način moguće je projektovati skladište gotovih proizvoda čiji kapacitet odgovara nivelišanoj proizvodnji.

Kod sistema za montažu, važno je uspostaviti sistem povlačenja između radnih mesta, tako da prethodno radno mesto odgovara na zahtev narednog. U idealnom slučaju, gde sva radna mesta imaju radni ciklus usaglašen sa radnim taktom, uspostavlja se neprekidan tok proizvoda kroz proces montaže. Sa druge strane, kod većine sistema, radni ciklus nije ujednačen pa se javljaju prekidi u procesu montaže što dovodi do potrebe implementacije međuskladišta. Kako bi se količine delova i sklopova u međuskladištima sveli na minimum, potrebno je implementirati kanban sistem. Broj kanban karti definiše količine sklopova koji se nalaze u međuskladištima i, kao što je ranije navedeno, računa se na sledeći način:

$$kanban = \frac{Dnevne potrebe * dopuna * (1 + faktor sigurnosti)}{Kapacitet nosača proizvoda} \quad (4.5)$$

Gde je  $x$  sigurnosni faktor i definiše količinu sigurnosnih zaliha. Kod dobro organizovanog snabdevanja ovaj faktor obično ima vrednost 0,1 (10%). U slučaju da se javljaju prekidi u snabdevanju faktor sigurnosti dobija veću vrednost što utiče na povećanje bezbednosnih zaliha.

Izračunati broj kanban karti definiše maksimalnu količinu proizvoda koja se može naći u međuskladištu. Odnos maksimalnih količina i kapaciteta nosača proizvoda određuje makismalan broj nosača proizvoda koji se može naći u međuskladištu. Na osnovu navedenih proračuna, moguće je dimenzionisati međuskladište čiji kapacitet odgovara navedenim parametrima.

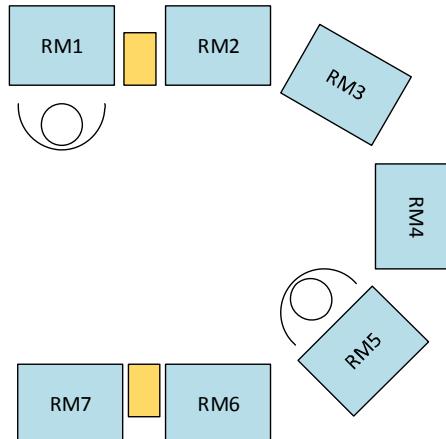
## 4.11 Projektovanje kompleksnog tehnološkog sistema

Prethodno realizovani koraci obezbeđuju sve relevantne informacije vezane za tok montaže, pojedinačna radna mesta i potrebna međuskladišta što daje podlogu za projektovanje kompleksnog tehnološkog sistema. U ovoj fazi treba voditi računa o osnovnim smernicama lean koncepta kako bi se umanjila šansa za pojavu gubitaka. S tim u vezi, važno je poštovati sledeće:

- Raspored radnih mesta i mašina treba da bude u saglasnosti sa tokom montaže pri čemu treba težiti konfiguraciji sistema koja obezbeđuje najkraće transportne puteve.
- Međuskladišta moraju imati implementiran kanban sistem sa definisanom lokacijom kanban table.
- Saglasno sa vizuelnim menadžmentom potrebno je postaviti znakove i obeležja, informacione table, ekrane i semafore kako bi se obezbedila dostupnost važnim informacijama.

Kao što je ranije navedeno, raspored radnih mesta i mašina treba da bude u saglasnosti sa tokom montaže, odnosno, potrebno je obezbediti kontinuirani jednokomadni tok ili tok u malim partijama. Kako bi se postigli navedeni zahtevi, lean filozofija se oslanja na ćelijsku proizvodnju (*eng. „cell manufacturing“*). Radna ćelija obuhvata više radnih mesta i mašina formirajući grupu koja izvršava određeni segment procesa montaže. Obično se formira tako da obuhvata kompletну montažu određenog sklopa, odnosno grupe sličnih sklopova (familija sklopova). Implementacija radnih ćelija obezbeđuje formiranje kompaktnih grupa u okviru kojih se radna mesta nalaze jedno pored drugog. Na ovaj način se umanjuje potreba za kretanjem radnika, dok se predmet montaže brzo kreće između radnih mesta. Kod familije sličnih proizvoda, radne ćelije obezbeđuju dobru fleksibilnost, jer se proces montaže unutar ćelije može brzo prilagoditi drugoj varijanti proizvoda. Kod modernih sistema za montažu, radne ćelije se veoma često primenjuju, jer je prepoznat njihov doprinos pri eliminaciji gubitaka. Postoje mnoga istraživanja koja se bave problematikom formiranja radnih ćelija [59][60].

U skladu sa karakteristikama proizvoda i procesa montaže, radne ćelije mogu biti formirane na više načina. „U“ oblik radne ćelije (*slika 4.11.1*) se veoma često primenjuje zbog niza pozitivnih osobina: ulaz i izlaz su blizu jedan drugom, blizina radnih mesta, olakšana komunikacija, itd. Kod „U“ radne ćelije montaža se uglavnom odvija u unutrašnjem delu dok se dopremanje delova i odnošenje gotovih sklopova vrši sa spoljne strane.



Slika 4.11.1 Izgled „U“ radne ćelije

Osim navedenog, postoje i drugi oblici radnih ćelija („O“, „I“, itd.). Pri formiranju radne ćelije, sam oblik nije od presudnog značaja. Suština je u formiranju kontinuiranog toka montaže gde se proizvod kreće kroz proces putanjom koja se ne ukršta sama sa sobom. Na ovaj način se obezbeđuje optimalan tok montaže uz minimalne gubitke nastale transportom i kretanjem.

## 4.12 Kreiranje mape toka vrednosti

Sistem za montažu je u najvećem broju slučajeva sačinjen od većeg broja radnih mesta i međuskladišta. Formiranjem radnih ćelija vrši se grupisanje radnih mesta uz pripadajuća međuskladišta čime se formiraju određene celine u okviru procesa montaže (operacije rada). Kako bi se što detaljnije proanalizirali svi važni parametri kompleksnog sistema za montažu, potrebno je kreirati mapu toka vrednosti. Mapiranjem toka vrednosti dobija se jasna slika celokupnog sistema gde se lako mogu uočiti mesta na kojima se javljaju gubici. Pored navedenog, mapa toka vrednosti daje dobar uvid u performanse pojedinačnih procesa unutar sistema za montažu. Womack kaže da mapiranje toka vrednosti predstavlja tehniku kojom se pojašnjava celokupan proces, tako da se jasno uočavaju aktivnosti koje dodaju i one koje ne dodaju vrednost proizvodu [61].

Kreiranje mape toka vrednosti trenutnog stanja podrazumeva posmatranje procesa montaže od ulaznih sirovina, pa sve do gotovog proizvoda. Osim toga, potrebno je posmatrati i tok informacija koje inicijalizuju aktivnosti u okviru procesa montaže. Pojedina istraživanja ukazuju da je pri kreiranju mape toka vrednosti najbolje koristiti papir A3 formata i grafitnu olovku, jer se često javljaju potrebe za ispravkama i izmenama [62]. Kreiranje mape toka vrednosti trenutnog stanja obuhvata sledeće korake:

- Izbor proizvoda predstavnika ili familije proizvoda za koje se kreira mapa toka vrednosti;
- Definisanje graničnih procesa odnosno okvira u kom se kreira mapa toka vrednosti (ulaz i izlaz procesa montaže);

- Definisanje koraka procesa montaže (pojedinačne operacije rada i procesi koji se odvijaju unutar radnih celija);
- Definisanje toka informacija;
- Prikupljanje podataka o pojedinačnim procesima (međuskladišta, radni ciklus, vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda, broj angažovanih radnika, dostupno radno vreme, količina škarta, itd.);
- Kreiranje linije vremena.

Mapa toka vrednosti trenutnog stanja obezbeđuje sve značajne informacije povezane sa generisanjem gubitaka: prevelike zalihe, dugo protočno vreme, velik broj škarta, dugo vreme prelaska na proizvodnju druge varijante proizvoda, itd. Kako bi se prevazišli uočeni gubici, poželjno je kreirati mapu toka vrednosti budućeg stanja sistema koja treba da oslikava najbolji mogući proces montaže u datim uslovima. Na ovaj način, jasno se ukazuje na mogućnosti poboljšanja sistema za montažu pomoću odgovarajućih instrumenata lean-a.

#### 4.13 Analiza sistema i detekcija gubitaka

Pojedini gubici uočeni analizom mape toka vrednosti trenutnog stanja, mogu se otkloniti bez značajnijih kapitalnih ulaganja („muda“ tip 2). Pri eliminaciji gubitaka, potrebno je timski rešavati probleme pomoću kaizen aktivnosti, odnosno kaizen događaja. Na ovaj način se sistemski pristupa rešavanju problema i svakom zaposlenom se daje šansa da pokaže svoju kreativnost i doprinese unapređenju procesa montaže. Svako poboljšanje sistema, potrebno je verifikovati i dokumentovati kroz novu mapu toka vrednosti koja ukazuje na probleme koji još uvek nisu prevaziđeni čime se stvara novi podsticaj za unapređenje. Pored navedenog, postoji niz drugih alata koji mogu pomoći pri detekciji i otklanjanju gubitaka. Efikasan sistem za pronalaženje uzroka nastanka problema je „5 zašto“ metoda i „fishbone“ dijagram. Obe metode se fokusiraju na sam gubitak odakle se postupnom analizom, korak po korak, dolazi do izvora nastanka problema.

U slučaju projektovanja novog sistema za montažu, potrebno je analizirati mapu toka vrednosti i uočiti sve eventualne nedostatke u tokovima materijala i informacija. Posebnu pažnju treba obratiti na količinu proizvoda u procesu koji imaju direktni uticaj na produženje protočnog vremena. Važno je uočiti sva uska grla kako bi se izbeglo gomilanje nedovršenih proizvoda u prethodnim procesima. Rezultat analize mape toka vrednosti projektovanog sistema za montažu stvara podlogu za unapređenje pojedinačnih segmenata primenom odgovarajućih instrumenata lean-a. Svi uočeni gubici, koje je nemoguće eliminisati promenom dostupne tehnologije, treba da budu posebno obeleženi na mapi toka vrednosti kako bi se analizirali kroz buduće kaizen događaje odnosno eventualni kaikaku.

## 5 Studija slučaja

U ovom poglavlju, prikazana je primena razvijene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu baziranih na lean konceptu. Pokazano je kako predložena metoda i njeni delovi funkcionišu u praksi i koji su postignuti rezultati. Studija slučaja je realizovana u kompaniji Grundfos na postojećem sistemu za montažu centrifugalnih cirkulacionih pumpi. U navedenom primeru, razvijena metoda je primenjena u celosti čime su obuhvaćeni svi segmenti lean koncepta, koji su ranije implementirani, kao i oni koji su predloženi i implementirani tokom realizacije studije slučaja. Pored navedenog, paralelno sa optimizacijom postojećeg sistema, izvršeno je i projektovanje potpuno novih segmenata (radna mesta, radne ćelije, skladišta, međuskladišta, itd.), koji daju podlogu za projektovanje novog sistema za montažu zasnovanog na lean konceptu. Na ovaj način je pokazano kako se predložena metoda može primeniti u slučaju optimizacije postojećeg, odnosno projektovanja potpuno novog sistema za montažu.

### 5.1 Sistem za montažu centrifugalnih cirkulacionih pumpi

U okviru sistema za montažu UPM2 vrši se sklapanje centrifugalnih cirkulacionih pumpi. Navedeni proizvodi imaju široku primenu u grejnim i rashladnim sistemima. Veći deo proizvodnje plasira se potrošačima koji koriste cirkulacione pumpe kao podsklop većih proizvoda (solarni i sanitarni bojeri, peći za etažno grejanje, itd.), dok se manji deo pumpi plasira na tržište kao gotov proizvod za finalnu ugradnju u domaćinstvima i drugim objektima.

### 5.2 Definisanje proizvoda

Osnovni tipovi pumpi koje se sklapaju na posmatranom sistemu za montažu nose oznaku: UPS, UPR i UPM2. Na *slici 5.2.1* prikazane su cirkulacione pumpe tipa UPS i UPM2 koje se najčešće sklapaju. Navedeni tipovi pumpi proizvode se u više varijanti i to:

- Tip UPM2 u 18 varijanti
- Tip UPS i UPR u 57 varijanti

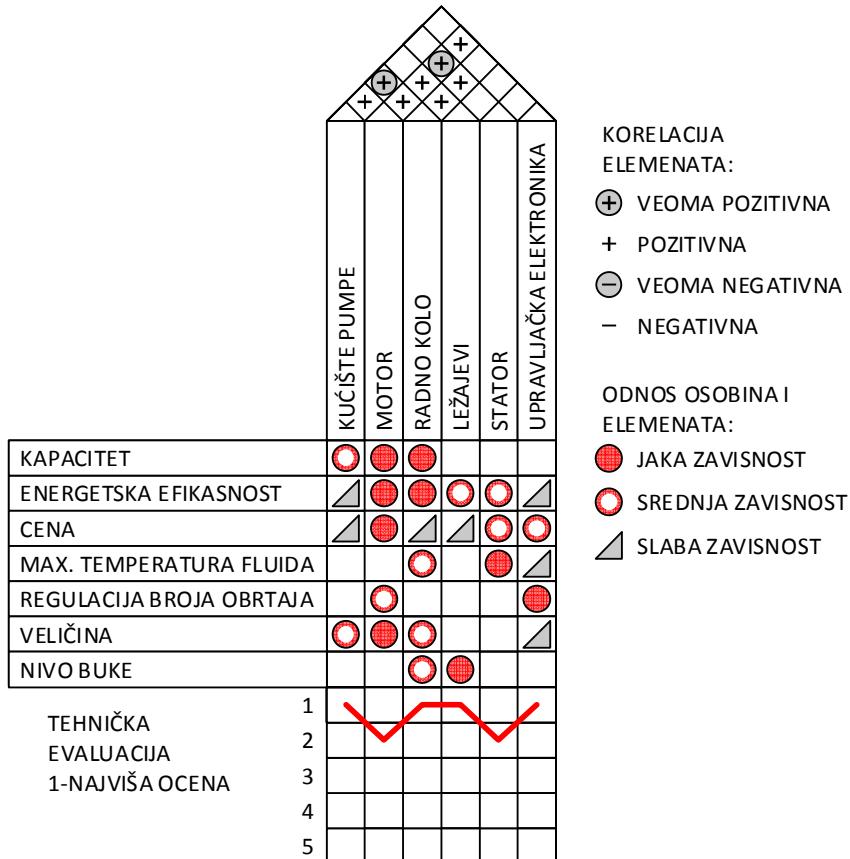


Slika 5.2.1 Cirkulaciona pumpa tip UPS (levo) i UPM2 (desno)

Cirkulaciona pumpa tipa UPM2 zahteva najveći broj aktivnosti u procesu proizvodnje što uslovljava kretanje proizvoda kroz sva radna mesta u okviru posmatranog sistema za montažu. Pored navedenog, cirkulaciona pumpa tipa UPM2 ima i značajno procentualno učešće u ukupnoj proizvodnji. Zbog svega toga, analiza posmatranog sistema za montažu baziraće se na pomenutom proizvodu kako bi se obuhvatile sve aktivnosti koje je potrebno izvršiti tokom procesa montaže.

UPM2 je visokoefikasna cirkulaciona pumpa predviđena za ugradnju u bojlere i druge sisteme u kojima je potrebno obezbititi cirkulaciju fluida. Navedeni tip pumpe sadrži upravljačku elektroniku koja obezbeđuje daljinsku regulaciju broja obrtaja motora pomoću niskonaponskog PWM signala (pulsno-širinski modulisani signal). Pored navedenog, komutacija motora se vrši elektronski (ECM), a rotor motora sadrži stalne magnete. Pomenute karakteristike obezbeđuju široku primenu pumpe UPM2 u raznim modernim sistemima za zagrevanje vode.

Na slici 5.2.2 prikazana je kuća kvaliteta u okviru koje je izvršena analiza funkcionalnih zahteva i tehnička evaluacija cirkulacione pumpe UPM2. U razmatranje su uzeti najvažniji tehnički zahtevi kupaca: kapacitet cirkulacione pumpe, energetska efikasnost, cena, maksimalna temperatura radnog fluida, mogućnost regulacije broja obrtaja motora, gabariti pumpe i nivo buke koji proizvodi cirkulaciona pumpa.



Slika 5.2.2 Kuća kvaliteta za cirkulacionu pumpu UPM2

Matrica sa odnosom funkcionalnih zahteva i elemenata cirkulacione pumpe daje jasnu sliku njihove međusobne povezanosti. Kapacitet i energetska efikasnost, kao glavni funkcionalni zahtevi, direktno zavise od dizajna i tehničkih karakteristika električnog motora i radnog kola pumpe, dok sa ostalim elementima postoji srednja ili slaba zavisnost.

Jedan od osnovnih zahteva koje proizvod mora da ispunji je energetska efikasnost. U skladu sa najnovijom direktivom Evropske Komisije, od avgusta 2015. godine, samo pumpe koje imaju EEI (eng. *Energy Efficiency Index*) ne veći od 0,23 mogu se naći na tržištu. To znači da pumpe moraju imati mogućnost kontrole brzine i rotor sa permanentnim magnetom.[63] Kako bi se omogućila regulacija brzine, cirkulaciona pumpa UPM2 poseduje upravljačku elektroniku koja reguliše broj obrtaja motora pomoću ulaznog PWM signala. Ugrađeni sinhroni motor, pored mogućnosti regulacije broja obrtaja, ima i znatno veću efikasnost u poređenju sa kaveznim asinhronim motorom koji se inače ugrađuje u ovaj tip proizvoda. Keramički ležajevi i keramičko vratilo rotora podmazuju se fluidom koji se pumpa čime se obezbeđuju nizak nivo trenja što povoljno utiče na energetsku efikasnost i obezbeđuje nizak nivo buke. Osim toga, poboljšano kućište pumpe i radno kolo daju bolje hidrauličke performanse. Navedene karakteristike obezbeđuju  $EEI \leq 0,23$  što je u skladu sa direktivama Evropske Komisije. Upravljačka elektronika pumpe UPM2 sadrži aluminijumski hladnjak, dok su

namotaji statora motora zaštićeni poboljšanim izolatorom. Ove osobine omogućavaju rad sa fluidima visoke temperature (do 95°C). Kompaktan dizajn kućišta pumpe i motora obezbeđuju optimalne gabaritne dimenzije u odnosu na kapacitet pumpe. Na osnovu analize tehničke evaluacije, može se zaključiti da cirkulaciona pumpa tipa UPM2 sa veoma visokim ocenama zadovoljava sve važne karakteristike koje predstavljaju uslov za ispunjenje zahteva kupaca navedenih u okviru matrice kuće kvaliteta.

Analiza krovne matrice kuće kvaliteta pokazuje uglavnom pozitivnu zavisnost pojedinih elemenata cirkulacione pumpe. Poboljšanje upravljačke elektronike pozitivno utiče na rad motora. Unapređenje karakteristika statora ima povoljan uticaj na podizanje performansi motora. Radno kolo i kućište pumpe imaju jaku pozitivnu zavisnost zbog svog direktnog međusobnog uticaja u smislu podizanja hidrauličkih performansi.

Rezultati analize kuće kvaliteta pokazuju da centrifugalna cirkulaciona pumpa UPM2 zadovoljava sve relevantne zahteve kupaca. Tehnička evaluacija visoko ocenjuje važne elemente pumpe uz postojanje dominantne pozitivne međusobne zavisnosti elemenata proizvoda. Navedeni parametri pokazuju da pumpa UPM2 predstavlja tržišno atraktivni proizvod koji daje željenu vrednost kupcu, te je njena proizvodnja u potpunosti opravdana.

### 5.3 Određivanje potrebnih količina i definisanje radnog takta

Na osnovu podataka dostupnih u kompaniji Grundfos (period 10.2016. - 03. 2017.) potražnja za cirkulacionim centrifugalnim pumpama, koje se proizvode na posmatranom sistemu za montažu, je oko 7.500 komada dnevno. Navedene količine biće uzete kao parametar pri proračunu radnog takta i potrebnih kapaciteta.

Raspoloživo vreme proizvodnje proračunato je u saglasnosti sa postojećim rasporedom radnih aktivnosti i brojem radnih dana u kompaniji Grundfos. Sistem za montažu UPM2 radi pet dana nedeljno, a proizvodnja je organizovana u tri smene koje traju osam časova. S obzirom da postoje tri smene, pojedine aktivnosti se organizuju tako da tokom njihove realizacije budu prisutni i zaposleni koji rade samo prvu, odnosno prvu i drugu smenu (menadžment, održavanje, itd.). *Tabela 5.3.1* prikazuje raspored i trajanje dodatnih aktivnosti za svaku od smena (podaci kompanije Grundfos). Na osnovu navedenih podataka, uočava se da u prvoj smeni, pored svakodnevnih aktivnosti, postoji i planirano nedeljno preventivno održavanje u trajanju od 120 minuta. Preventivno održavanje se realizuje svakog utorka u intervalu od 12h do 14h. Tokom preventivnog održavanja vrši se detaljno čišćenje radnih mesta, mašina, alata i pribora. Osim navedenog, vrši se i eventualna popravka svih segmenata sistema za montažu za koje se ranije ustanovilo da ne funkcionišu u skladu sa propisima.

Tabela 5.3.1 Raspored aktivnosti po smenama

1. smena		Početak: 06:00		Kraj: 14:00						
Aktivnost	Početak	Kraj	Nedeljni raspored izvršenja aktivnosti							
			Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Timski sastanak	09:00	09:15	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Pauza	09:15	09:30	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Pauza za ručak	11:40	12:05	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Preventivno održavanje	12:00	14:00		Uto.						
<hr/>										
2. smena		Početak: 14:00		Kraj: 22:00						
Aktivnost	Početak	Kraj	Nedeljni raspored izvršenja aktivnosti							
Pauza	16:30	16:45	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Timski sastanak	16:45	16:55	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Pauza za ručak	19:05	19:30	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
<hr/>										
3. smena		Početak: 22:00		Kraj: 06:00						
Aktivnost	Početak	Kraj	Nedeljni raspored izvršenja aktivnosti							
Pauza	00:50	01:00	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Pauza za ručak	01:00	01:25	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	
Pauza	03:30	03:45	Pon.	Uto.	Sre.	Čet.	Pet.	Sub.	Ned.	

Analiza rasporeda iz *tabele 5.3.1* pokazuje da trenutno ne postoje planirane 5S aktivnosti. U okviru trećeg poglavlja, detaljno je opisan 5S koncept, kao i njegova ključna uloga u organizaciji i funkcionisanju radnog mesta. Treba naglasiti da aktivnosti, koje obuhvataju nedeljno preventivno održavanje (čišćenje), samo delimično pokrivaju segment 5S. Imajući u vidu navedene činjenice, predlaže se uvođenje 5S aktivnosti u okviru svakodnevnog rada u trajanju od 10 minuta po smeni. Kao što je ranije pojašnjeno, 5S aktivnosti odnose se na organizaciju i održavanje radnog mesta čistim i urednim, tako da je tokom predloženog vremena u trajanju od 10 minuta potrebno izvršiti sve aktivnosti vezane za 5S. Pored navedenog, u postojećem planu ne postoje podaci o vremenu potrebnom za puštanje sistema u rad što je veoma važan faktor obzirom da ima značajan uticaj na proračun potrebnog radnog takta. Pošto u rasporedu aktivnosti ne postoji podatak o puštanju sistema u rad, ovaj parametar je utvrđen direktnim posmatranjem sistema i merenjem potrebnog vremena za uspostavljanje proizvodnje. Na osnovu pet uzoraka merenja vremena, ustanovljeno je prosečno vreme potrebno za puštanje sistema u rad u trajanju od 10 minuta.

Na osnovu informacija iz *tabele 5.3.1* proračunata je srednja vrednost vremena trajanja svih aktivnosti po smeni. Ovako dobijene srednje vrednosti iskorišćene su za proračun radnog takta. *Tabela 5.3.2* pokazuje da radni takt sistema za montažu UPM2 treba da bude 9,61 sekundu po komadu kako bi se zadovoljila trenutna potražnja. U okviru proračuna radnog takta, uzete su u obzir i aktivnosti vezane za 5S i puštanje u rad, a koje nisu predviđene postojećim planom (obeleženo crvenom bojom u *tabeli 5.3.2*). Na ovaj način obezbeđen je proračun

realnog radnog takta koji je za 0,7 sekundi kraći u odnosu na radni takt koji ne obuhvata 5S aktivnosti i puštanje u rad.

Tabela 5.3.2 Proračun radnog takta sistema za montažu UPM

Forma za proračun radnog takta					
Čelija/Linija	UPM	Odgovorno lice: Dragan Dragičević	Datum: 10.05.2017.		
Operater(i)					
Proizvodi	UPM2, UPS, UPR, UPER				
<b>Trenutni dnevni zahtevi = 7500 komada</b>					
<b>Trenutni broj smena = 3</b>					
<b>Potreban broj komada po smeni = 2500 komada</b>					
<b>8</b> Časova po smeni = 480,00 minuta (Plaćeni radni sati) - 18,33 minuta (Pauza) - 25,00 minuta (Pauza za ručak) - 10,00 minuta (Puštanje u rad) - 8,00 minuta (Preventivno održavanje) - 10,00 minuta (5S) - 8,33 minuta (Timski sastanak)					
<b>Ukupno = 400,34 minuta dostupno po smeni</b>					
<b>400,34 minuta po smeni = 24020,40 sekundi po smeni</b>					
<b>24020,40 podeljeno sa 2500 komada po smeni = 9,61 sekundi po komadu</b>					
<b>Radni takt = 9,61 sekundi po komadu</b>					

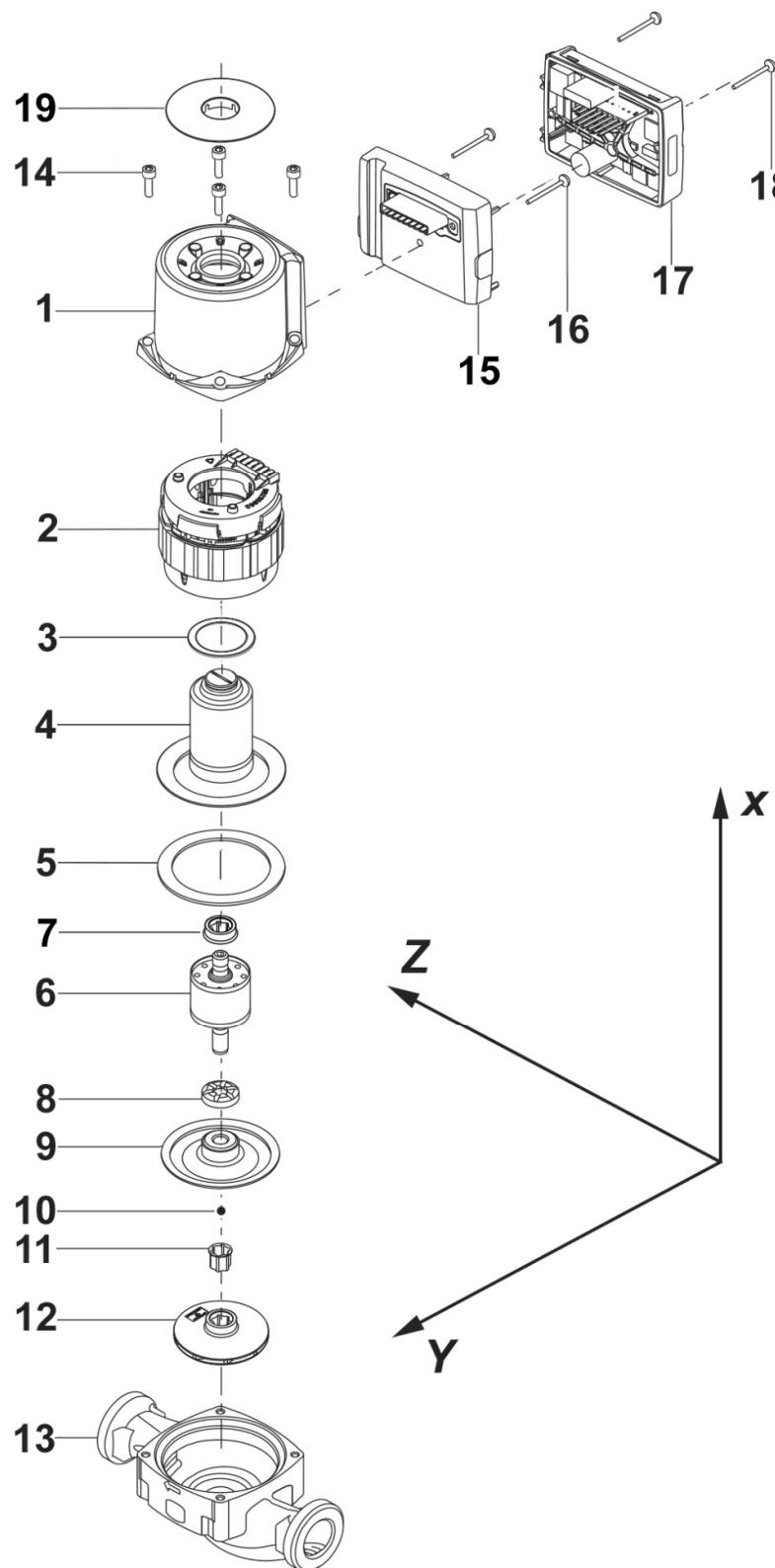
## 5.4 Identifikacija sastavnih delova i strukturiranje proizvoda

Centrifugalna cirkulaciona pumpa UPM2 sačinjena je od 19 različitih elemenata. Navedeni elementi predstavljaju delove i gotove podsklopove proizvedene u okviru drugih sistema za montažu. U *tabeli 5.4.1* dat je spisak svih elemenata koji se montiraju na sistemu za montažu UPM2.

*Tabela 5.4.1 Spisak elemenata koji se montiraju na sistemu za montažu UPM2*

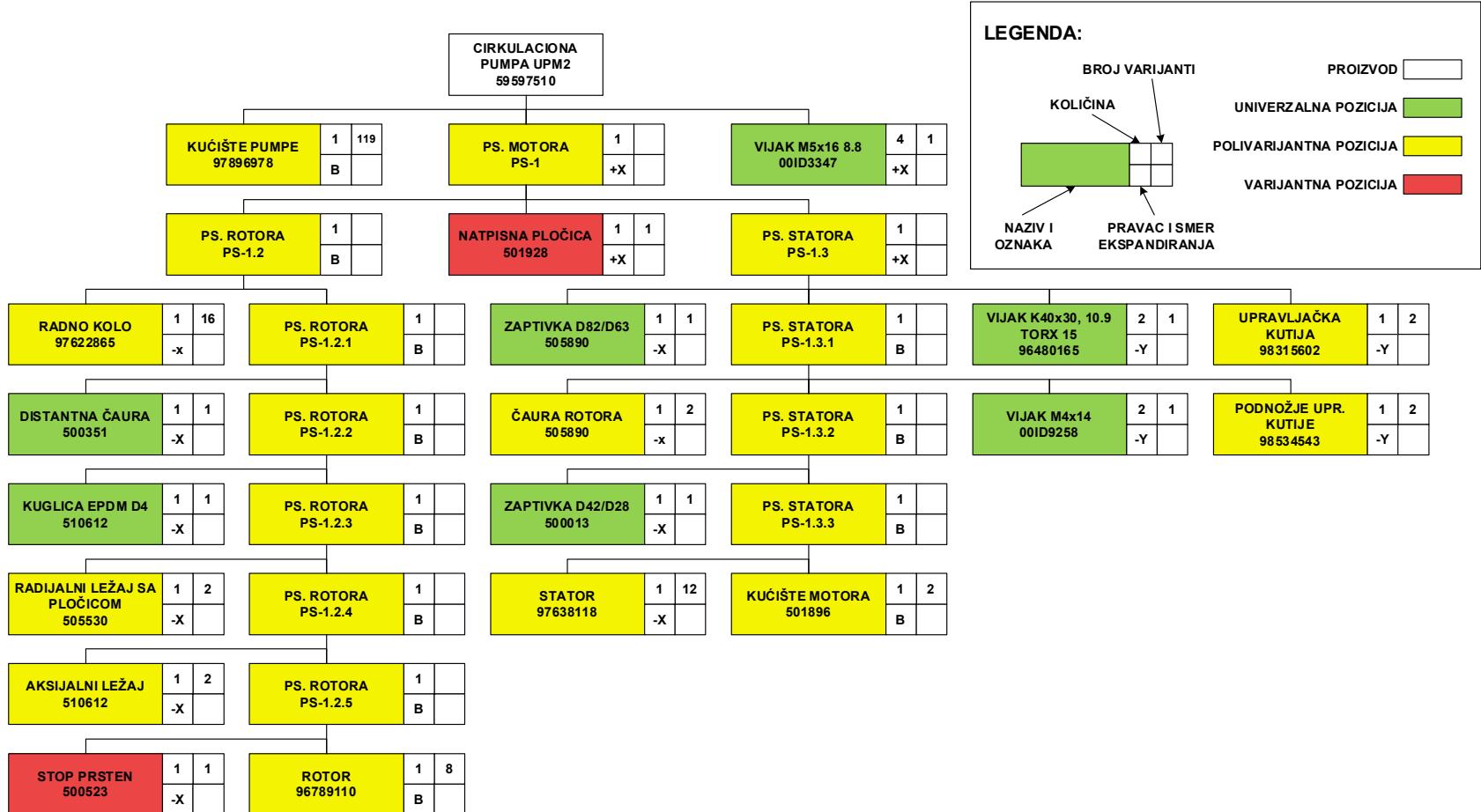
Redni broj	Oznaka	Naziv	Količina	Broj varijanti
1	D	Kućište motora, peskirano	1	2
2	S	Stator UPM2 1x230V 50Hz	1	12
3	D	Zaptivka D42/D28.7x1.5	1	1
4	S	Čaura rotora MK1.5	1	2
5	D	Zaptivka D82/D63.5x2	1	1
6	S	Rotor motora sa vratilom	1	8
7	D	Stop prsten	1	1
8	D	Aksijalni ležaj	1	2
9	S	Radijalni ležaj sa pločicom	1	2
10	D	Kuglica EPDM D4	1	1
11	D	Distantna čaura	1	1
12	D	Radno kolo D61 Z9 PES	1	16
13	D	Kućište pumpe, UPM2	1	119
14	D	Vijak M5x16 8.8	4	1
15	D	Podnože upravljačke kutije UPM2, desno	1	2
16	D	Samourezni vijak M4x14	2	1
17	S	Upravljačka kutija UPM2 PWM R B11 7m/70W config	1	1
18	D	Vijak sa ravnom glavom K40x30, 10.9 Torx 15	2	1
19	D	Natpisna pločica UP15 standard	1	3

Na osnovu spiska iz *tabele 5.4.1* identifikovani su svi sastavni elementi centrifugalne cirkulacione pumpe tipa UPM2 čime je stvorena podloga za razradu strukturne sastavnice proizvoda. Na *slici 5.4.1* dat je eksplodirani prikaz pumpe UPM2 gde je jasno označen svaki od elemenata koji se montira u okviru posmatranog sistema za montažu. Uz poštovanje usvojenog koordinatnog sistema i praćenje demontaže proizvoda, kreirana je struktorna sastavnica za pumpu UPM2 (*slika 5.4.2*).



Slika 5.4.1 Eksplodirani prikaz centrifugalne cirkulacione pumpe UPM2

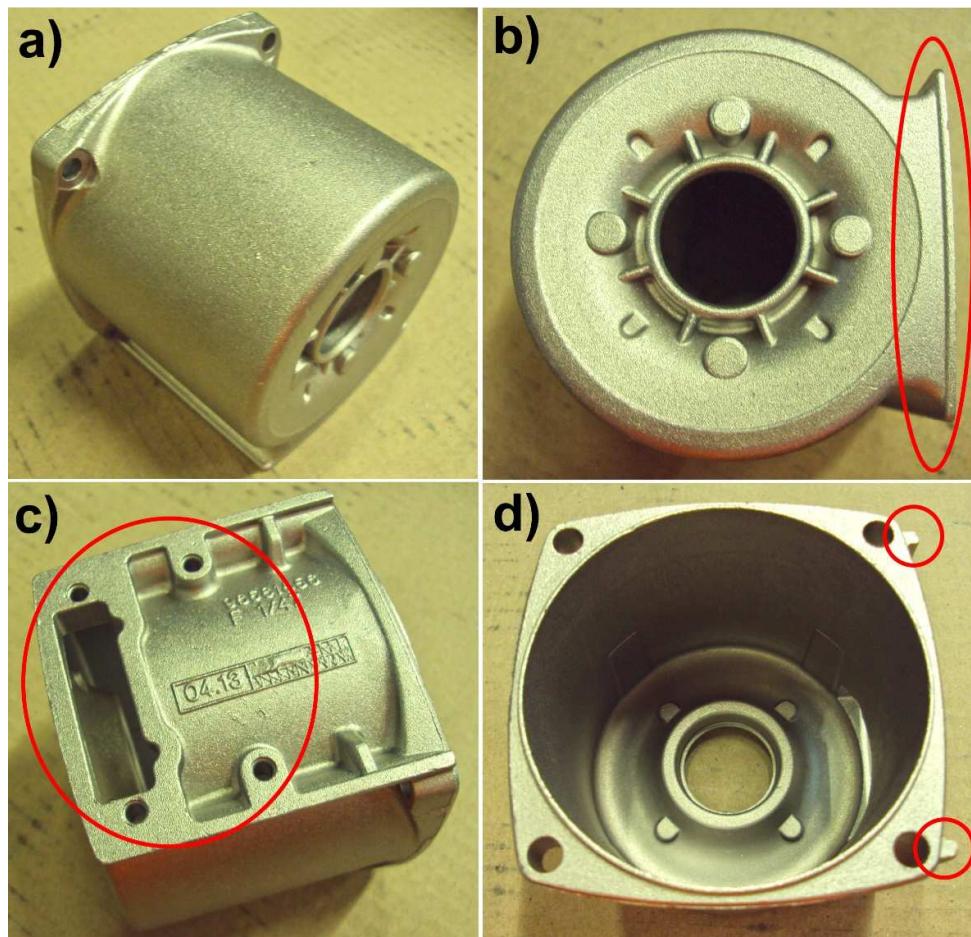
Slika 5.4.2 Strukturalna sastavnica pumpe UPM2



## 5.5 Analiza mogućnosti implementacije Poka-Yoke alata u delove proizvoda

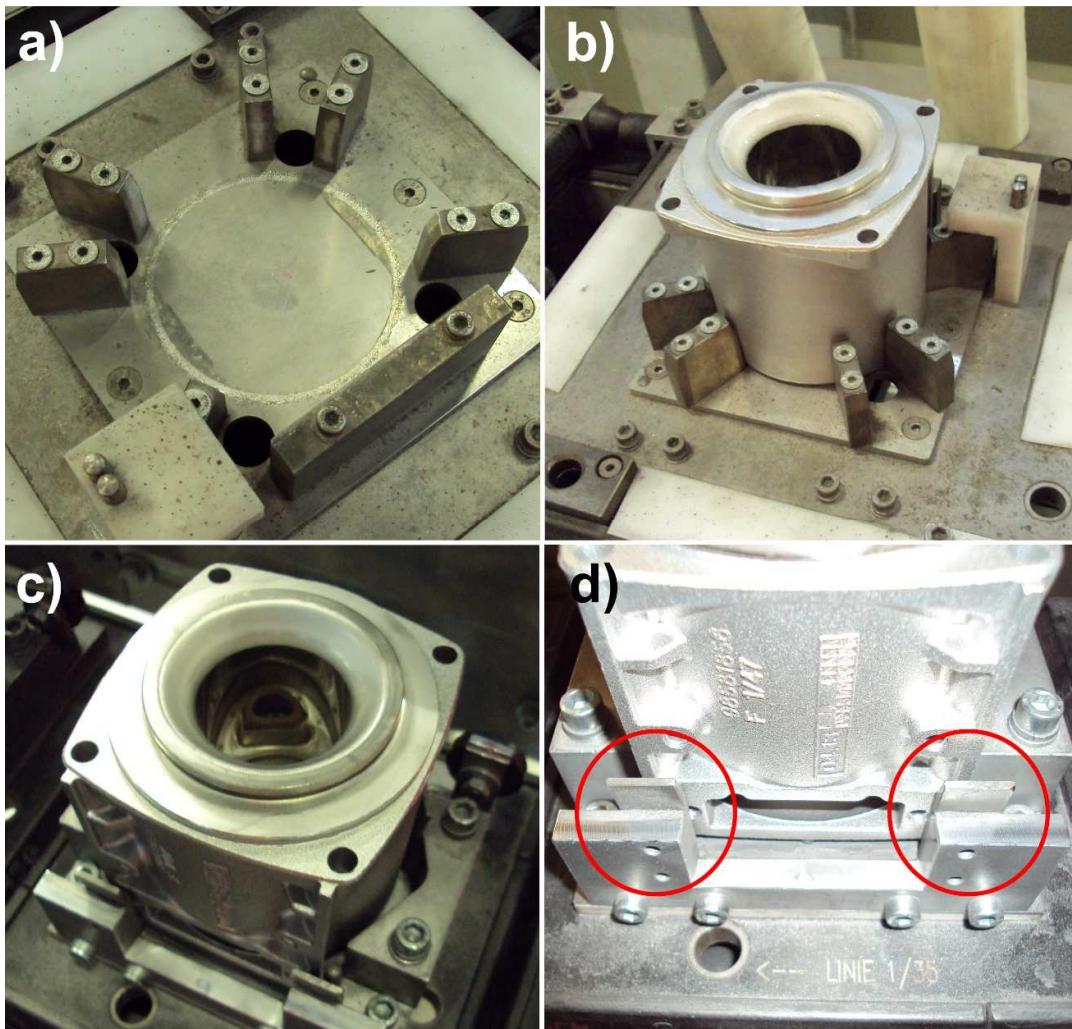
U prethodnom poglavlju je pojašnjen značaj implementacije Poka-Yoke alata u delove i sklopove proizvoda kako bi se obezbedila prevencija nastanka greške tokom procesa montaže. U tom smislu, izvršena je analiza svih elemenata cirkulacione pumpe koji se montiraju u okviru posmatranog sistema za montažu. Analiza elemenata obuhvata proveru mogućnosti pogrešne montaže dela ili sklopa usled njegove loše orijentacije ili pozicioniranja na bazni deo.

Na *slici 5.5.1* prikazano je kućište motora, koje je jedan od sastavnih delova cirkulacione pumpe UPM2. U okviru strukturne sastavnice (*slika 5.4.2*), kućište motora je proglašeno baznim delom na koji se montiraju ostali delovi i podsklopovi. Pogrešna montaža može biti uzrokovana lošim pozicioniranjem baznog dela na nosaču proizvoda, pa je zbog toga važno postojanje karakterističnih površina i oblika koji obezbeđuju jednoznačno pozicioniranje. Na *slici 5.5.1* obeleženi su karakteristični oblici pojedinih segmenata kućišta motora koji daju mogućnost njegove jednoznačne orijentacije i pozicije tokom procesa montaže.



Slika 5.5.1 Kućište motora

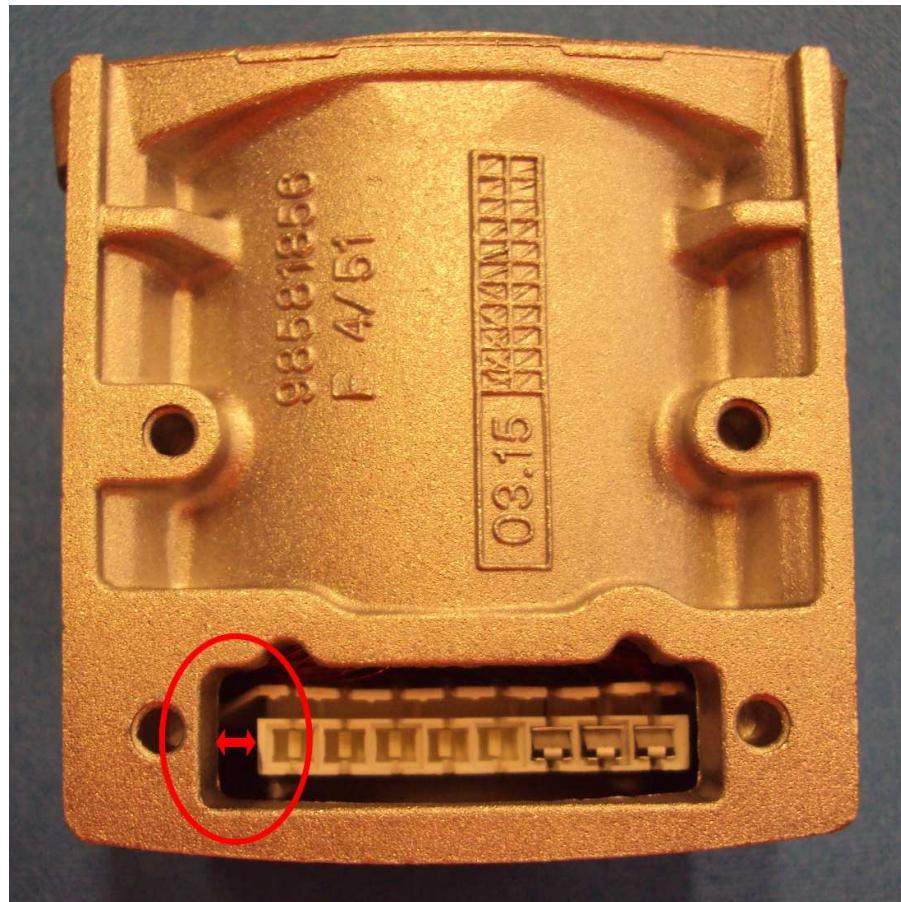
Pozicija otvora za priključak statora kao i rupe u koje se uvrću samourezni vijci za pritezanje upravljačke kutije (*slika 5.5.1-c*) jednoznačno definišu poziciju i orijentaciju priključka upravljačke kutije pri njegovoj montaži. Zaravnjena površina na koju se postavlja upravljačka kutija (*slika 5.5.1-b*) daje mogućnost jednoznačnog pozicioniranja kućišta motora na nosač proizvoda tokom procesa montaže (*slika 5.5.2-d*). Kao što je prikazano na *slici 5.5.2*, karakterističan oblik kućišta motora i odgovarajući graničnici na nosaču kućišta u potpunosti eliminišu mogućnost nepravilnog pozicioniranja.



*Slika 5.5.2 Kućište motora i nosač kućišta*

Kako bi se električni priključak statora, nakon montaže u kućište motora, našao u predviđenoj poziciji, potrebno je pravilno orijentisati stator pre same montaže. Cilindričan oblik statora dozvoljava njegovu proizvoljnu orijentaciju u odnosu na kućište motora, pa je potrebno obezbediti pouzdan način detekcije i obezbeđivanja pravilne pozicije. Na *slici 5.5.3* dat je primer loše montaže statora motora gde je usled loše orientacije došlo do smicanja priključka statora u odnosu na otvor kućišta motora. S obzirom da se spajanje statora motora i kućišta vrši

presovanjem, popravka loše montiranog sklopa iziskuje upotrebu specijalnih alata i pribora, kao i dodatni utrošak vremena.

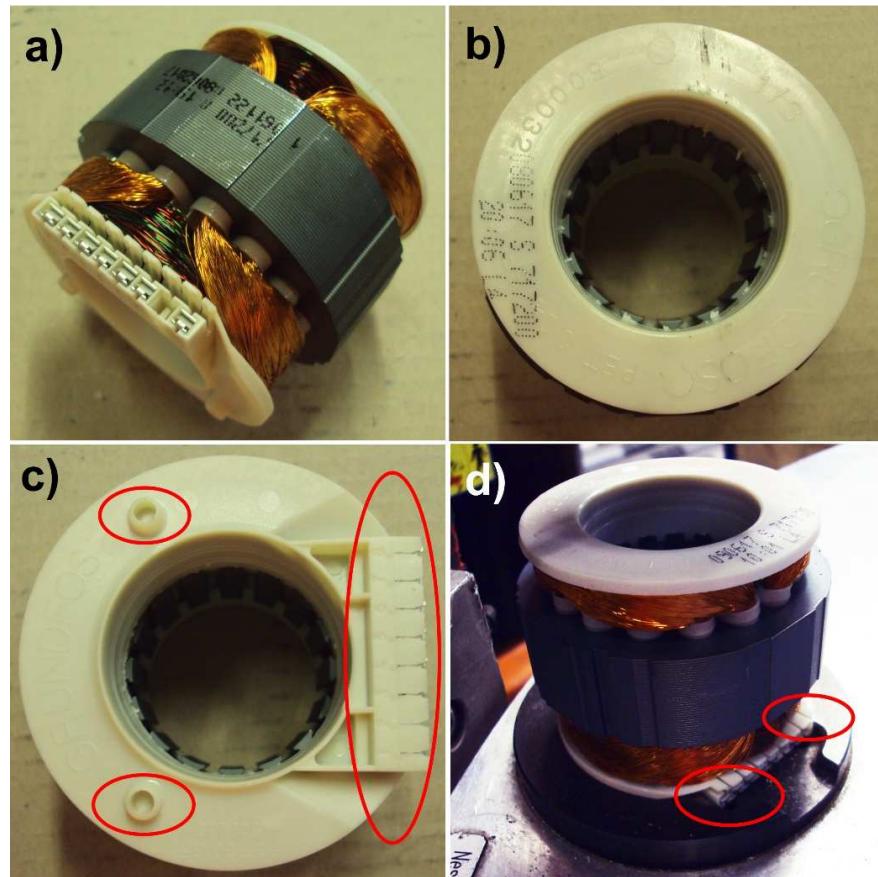


Slika 5.5.3 Primer loše montaže statora motora

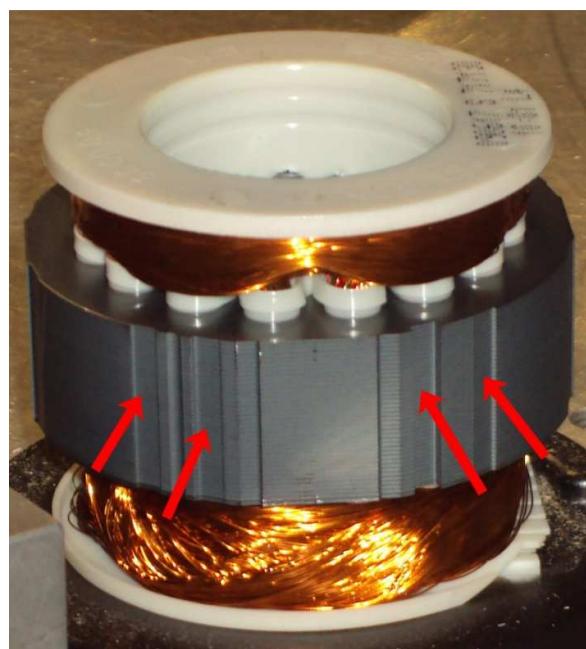
Na slici 5.5.4, prikazan je stator motora u više različitih pogleda. S obzirom da sâm električni priključak statora predstavlja zaravnjeni deo na prstenastoj kapi statora, ovu geometrijsku karakteristiku je moguće iskoristiti za detekciju pravilnog pozicioniranja (slika 5.5.4-c). Osim navedenog, dva prstenasta udubljenja, koja se nalaze na površini kape statora (slika 5.5.4-c), obezbeđuju pouzdano i jednoznačno pozicioniranje statora u nosaču pre samog zahvata montaže (slika 5.5.4-d).

Bez obzira na gore pomenute karakteristike, zbog prirode procesa spajanja statora motora i kućišta, pozicija statora se može izgubiti i tokom samog utiskivanja, jer ni jedan element ne ograničava promenu pozicije tokom spajanja. Iz navedenog razloga, predlaže se modifikacija kućišta motora, tako da se iskoriste karakteristični žlebovi koji postoje na telu statora, a čija je prosečna dubina oko 1mm (slika 5.5.5). Ako bi se izvršila modifikacija odlivka kućišta motora, tako da se dodaju dva odgovarajuća ispupčenja (slika 5.5.6) koja će se geometrijski i poziciono poklapati sa dva žleba na stotoru motora, omogućilo bi se održanje željene pozicije

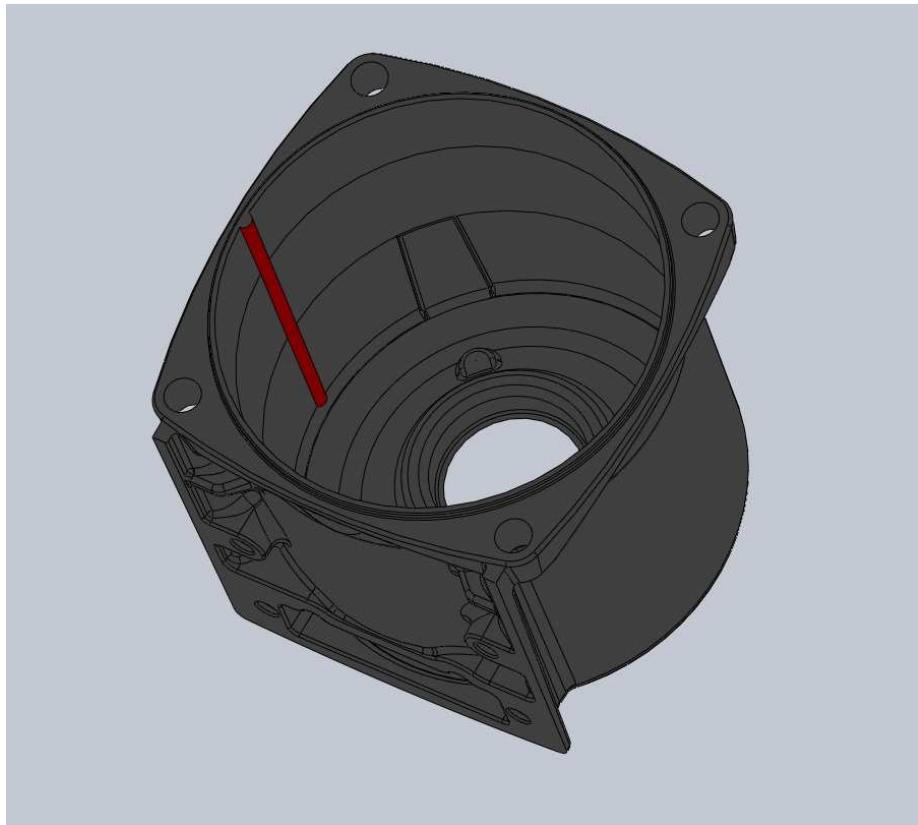
statora motora u odnosu na kućište i ujedno bi se sprečilo presovanje ako nije obezbeđena pravilna pozicija oba elementa.



Slika 5.5.4 Stator motora



Slika 5.5.5 Karakteristični žlebovi na telu statora



Slika 5.5.6 Modifikacija kućišta motora dodavanjem karakterističnog ispupčenja

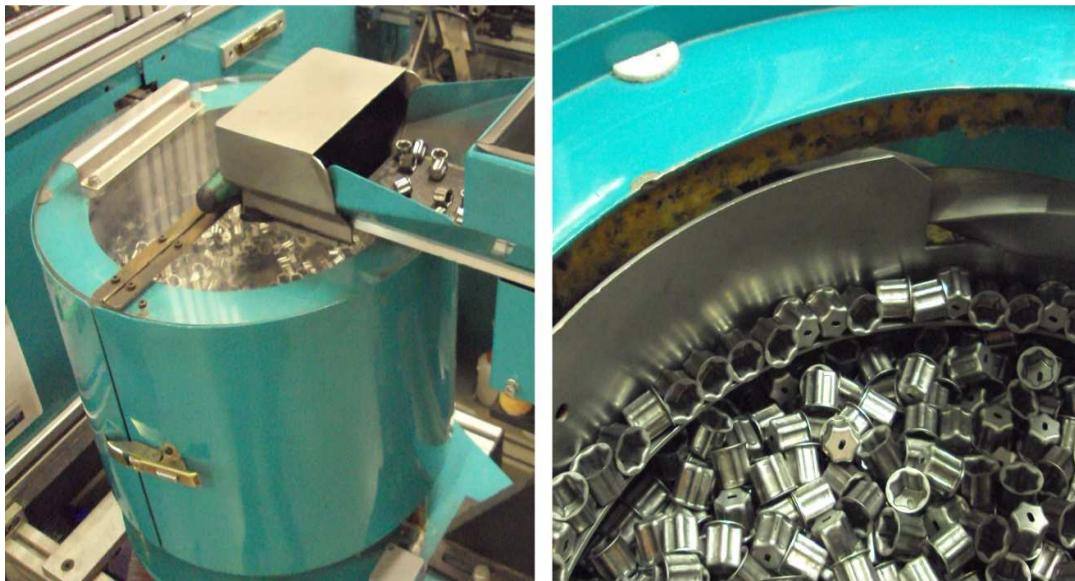
Podnožje upravljačke kutije, kao i sama upravljačka kutija, poseduju električne priključke i otvore za postavljanje vijaka čiji oblik i pozicija jednoznačno određuju njihovu orijentaciju pri montaži (*slika 5.5.7*)



Slika 5.5.7 Priključak upravljačke kutije (levo) i upravljačka kutija (desno)

Geometrijske karakteristike ostalih elemenata, koji su sastavni deo cirkulacione pumpe tipa UPM2, takve su, da je uz primenu adekvatne metode orijentacije (pasivne, aktivne i prinudne), moguće obezbediti njihovo

automatizovano dovođenje u pravilan položaj pre same montaže. Na *slici 5.5.8* dat je primer vibro bunkera koji se koristi za automatizovanu orijentaciju i dodavanje distantnih čaura.



*Slika 5.5.8 Vibro bunker za dodavanje distantnih čaura*

## 5.6 Definisanje zahvata, formiranje mrežnog dijagrama i karte toka montaže

Na osnovu prethodno kreirane strukturne sastavnice i definisanja svih elemenata koji se montiraju na posmatranom sistemu za montažu, stvorena je podloga za formiranje liste zahvata i mrežnog dijagrama. *Tabela 5.6.1* prikazuje listu zahvata potrebnih za montažu cirkulacione pumpe tipa UPM2, kao i vreme trajanja svakog zahvata. Spojevi, koji se ostvaruju tokom izvođenja zahvata iz *tabele 5.6.1*, su: spojevi elastičnom deformacijom, navojni spojevi i spojevi plastičnom deformacijom.

*Tabela 5.6.1 Lista zahvata montaže za centrifugalnu cirkulacionu pumpu UPM2*

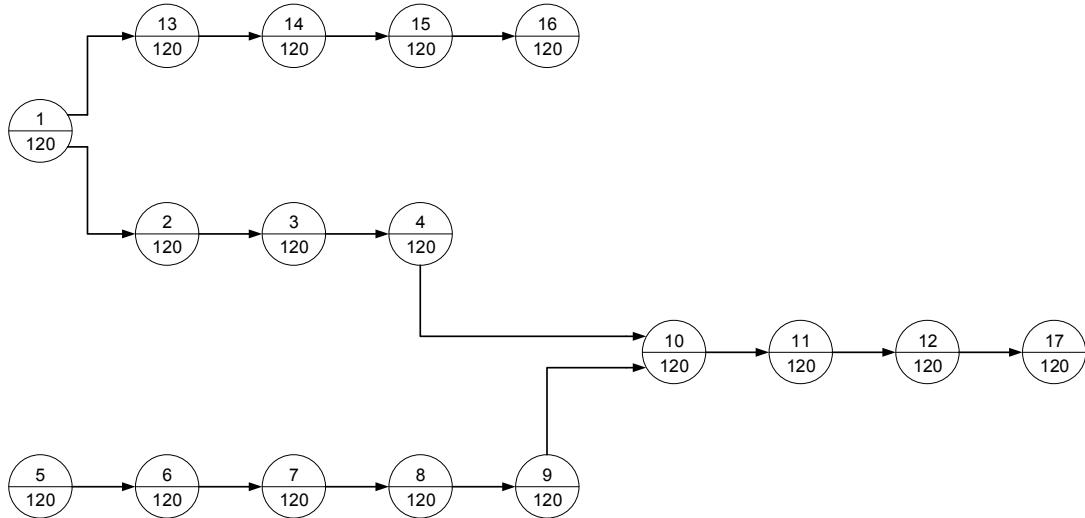
Redni broj	Zahvat	s/kom
1	Utiskivanje statora u kućište motora	6,5
2	Postavljanje male zaptivke	2,5
3	Utiskivanje čaure rotora u stator	2,5
4	Postavljanje velike zaptivke	2,5
5	Postavljanje aksijalnog ležaja na vratilo rotora	3,0
6	Postavljanje radikalnog ležaja sa pločicom na vratilo rotora	3,5
7	Postavljanje gumene kuglice u vratilo	3,0
8	Presovanje distantne čaure na vratilo rotora	3,5
9	Presovanje radnog kola na distantnu čauru	4,0
10	Postavljanje sklopa rotora u čauru rotora	4,5
11	Predmontažu kućišta pumpe	3,0
12	Uvrtanje 4 vijka i pritezanje kućišta pumpe	5,5
13	Predmontažu podnožja upravljačke kutije	2,5
14	Uvrtanje 2 vijka i pritezanje podnožja upravljačke kutije	5,5
15	Predmontažu upravljačke kutije	4,0
16	Uvrtanje 2 vijka i pritezanje upravljačke kutije	5,5
17	Utiskivanje natpisne pločice	2,0

Prethodno kreirana strukturna sastavnica (*slika 5.4.2*) i lista zahvata montaže (*tabela 5.6.1*) daju potrebne podatke za kreiranje mrežnog dijagrama (*slika 5.6.1*). Analizom mrežnog dijagrama prikazanog na *slici 5.6.1* uočavaju se sledeće strukture:

- Razgranata struktura (zahvati 13 i 2)
- Nezavisna paralelna struktura (zahvati 4 i 9)
- Jednostavna struktura (zahvati: 13-16, 2-4, 10-17, 5-9)

Nakon izvršenja zahvata 1, javlja se razgranata struktura gde se opcionalno može izvršiti zahvat 13, odnosno zahvat 2. Ovakva razgranata struktura daje mogućnost odlučivanja da li se montaža cirkulacione pumpe, nakon presovanja

statora u kućište motora, nastavlja montažom podnožja upravljačke kutije ili postavljanjem male zaptivke u kućište motora. Nezavisna paralelna struktura zahvata 4 i 9 daje mogućnost njihovog istovremenog izvođenja. S obzirom da zahvati 5 do 9 čine jednostavnu strukturu sa određenim vezama jasno je da se montaža podsklopa rotora sa radnim kolom može vršiti paralelno sa zahvatima 1 do 4. Grupe zahvata 2-4, 5-9, 10-17 i 13-16 čine jednostavnu strukturu sa određenim vezama gde su za izvršenje svakog zahvata potrebni delovi korišćeni u prethodnom zahvatu.



Slika 5.6.1 Mrežni dijagram cirkulacione pumpe tipa UPM2

Imajući u vidu da se većina zahvata može izvršiti na automatizovanim i robotizovanim sistemima, montirani skloovi treba da budu pogodni za rukovanje i transport. Shodno navedenim kriterijumima, izvođenje grupe zahvata 13-16 je pogodnije izvršiti nakon grupe zahvata 2-4 i 10-17, jer se kasnijom ugradnjom upravljačke kutije izbegava njeno oštećenje tokom transporta i manipulacije.

Na slici 5.6.2 prikazana je karta toka montaže cirkulacione pumpe UPM2 kreirana na osnovu mrežnog dijagrama sa slike 5.6.1 i liste zahvata iz tabele 5.6.1. Analizom karte toka uočava se da je moguće izvršiti 13 zahvata u kojima je kućište motora bazni deo. Za preostalih pet zahvata, bazni deo predstavlja rotor motora. Ovakva struktura karte toka montaže ukazuje da je cirkulaciona pumpa UPM2 pogodna za automatizovanu montažu s obzirom da se tokom procesa montaže pojavljuju dva bazna dela sa minimalnim brojem dopunskih rukovanja u okviru celokupnog toka montaže.

Analizom trenutnog stanja sistema za montažu UPM2 utvrđeno je da se predložena karta toka montaže u potpunosti slaže sa tokom montaže koji je zaista i primenjen na posmatranom sistemu za montažu.

Redni broj	Naziv	Tok montaže											
1	Kućište motora, peskirano	Z1	Z2	Z3	Z4	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17
2	Stator UPM2 1x230V 50Hz												
3	Zaptivka D42/D28.7x1.5												
4	Čaura rotora MK1.5												
5	Zaptivka D82/D63.5x2												
6	Rotor motora sa vratilom	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9							
7	Aksijalni ležaj												
8	Radijalni ležaj sa pločicom												
9	Kuglica EPDM D4												
10	Distanntna čaura												
11	Radno kolo D61 Z9 PES												
12	Kućište pumpe WDeflec.Bosch CHG,UPM2												
13	Vijak M5x16 8.8												
14	Podnožje upravljačke kutije UPM2, desno												
15	Samourezni vijak M4x14												
17	Upravljačka kutija UPM2 PWM R B11 7m/70W config												
18	Vijak sa ravnom glavom K40x30, 10.9 Torx 15												
19	Natpisna pločica UP15 standard												

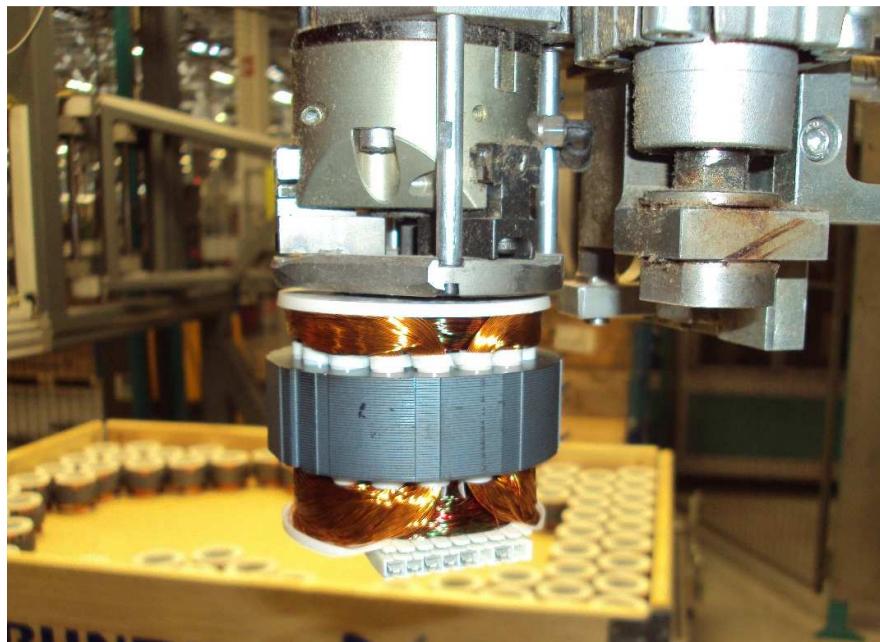
Slika 5.6.2 Kartica toka montaže za cirkulacionu pumpu UPM2

## 5.7 Modifikacija elemenata zahvata primenom Poka-Yoke alata i SMED-a

Najveći deo zahvata montaže, u okviru posmatranog sistema, je automatizovan. Zbog toga automatizovani zahvati montaže neće biti predmet analize mogućnosti implementacije Poka-Yoke alata s obzirom da primena navedenih alata ima efekta samo kod ručne i ručno-mehanizovane montaže. Sa druge strane, SMED, kao veoma važan instrument lean koncepta, teži uspostavljanju sistema u kom se vrši brza izmena alata i pribora, odnosno brz prelazak na proizvodnju druge varijante proizvoda što predstavlja veoma važan faktor posebno kod automatizovanih sistema za montažu. U nastavku će biti predstavljena analiza zahvata, primenjenih u okviru posmatranog sistema za montažu, nakon čega će se razmotriti potreba za implementacijom Poka-Yoke alata kod ručnih i ručno-mehanizovanih zahvata, odnosno implementacija SMED-a kod automatizovanih zahvata. Analiza će biti izvršena na osnovu prethodno kreirane strukturne sastavnice (*slika 5.4.2*) i liste zahvata (*tabela 5.6.1*).

### 1) Montaža statora u kućište motora

Kod posmatranog sistema za montažu, zahvat spajanja statora i kućišta motora je u potpunosti automatizovan. Postavljanje i pozicioniranje statora u kućište motora vrši se pomoću robotizovanih manipulatora koji poseduju odgovarajuće hvatače prilagođene karakterističnom obliku statora motora. Na *slici 5.7.1* prikazan je hvatač za izuzimanje statora motora sa palete na kojoj se dopremaju statori. Prikazani element predstavlja paralelni troprsti pneumatski hvatač koji vrši prihvatanje sa unutrašnje strane statora širenjem tri prsta. Navedeni hvatač je pogodan za ovu namenu s obzirom da bez ikakve izmene alata (prstiju hvatača) može da prihvati sve postojeće varijante statora motora.



*Slika 5.7.1 Hvatač za izuzimanje statora motora sa palete*

Pri montaži statora u kućište motora važno je obezbediti njegovu pravilnu poziciju. Zbog toga je potrebno koristiti adekvatan alat prilagođen karakterističnom obliku tela i dimenzijama statora kako bi se održala njegova pravilna pozicija pri montaži u kućište motora. Analizom svih 12 varijanti statora utvrđeno je da postoje dve grupe statora koje imaju različite geometrijske karakteristike. Zato treba koristiti dva različita pribora u zavisnosti od toga koja varijanta statora se montira. Na *slici 5.7.2* prikazan je pribor za prihvati i pozicioniranje statora. S obzirom da SMED podrazumeva zamenu alata za jednocifren broj minuta, potrebno je obezbediti zamenu bez velikog broja aktivnosti i pomoćnih alata i pribora. Imajući u vidu navedeno, pribor prikazan na *slici 5.7.2* projektovan je tako da za njegovo postavljanje na manipulator nije potrebno koristiti nikakav alat dok je za pritezanje na nosač potreban jedan šestougaoni ključ (za pritezanje četiri vijka). Eksperimentalno je utvrđeno da sve aktivnosti u okviru zamene navedenog pribora u proseku ukupno traju 200 sekundi (oko 3,3 minuta) što je u skladu sa preporukama SMED-a. Trebalо bi napomenuti da pri zameni navedenog pribora, eksterne aktivnosti predstavljaju priprema zamenskog pribora i ključa za pritezanje vijaka. U navedenom slučaju, operater priprema navedene elemente pre nego što se prethodni proces montaže završi, jer je spajanje statora i kućišta motora u potpunosti automatizovano.

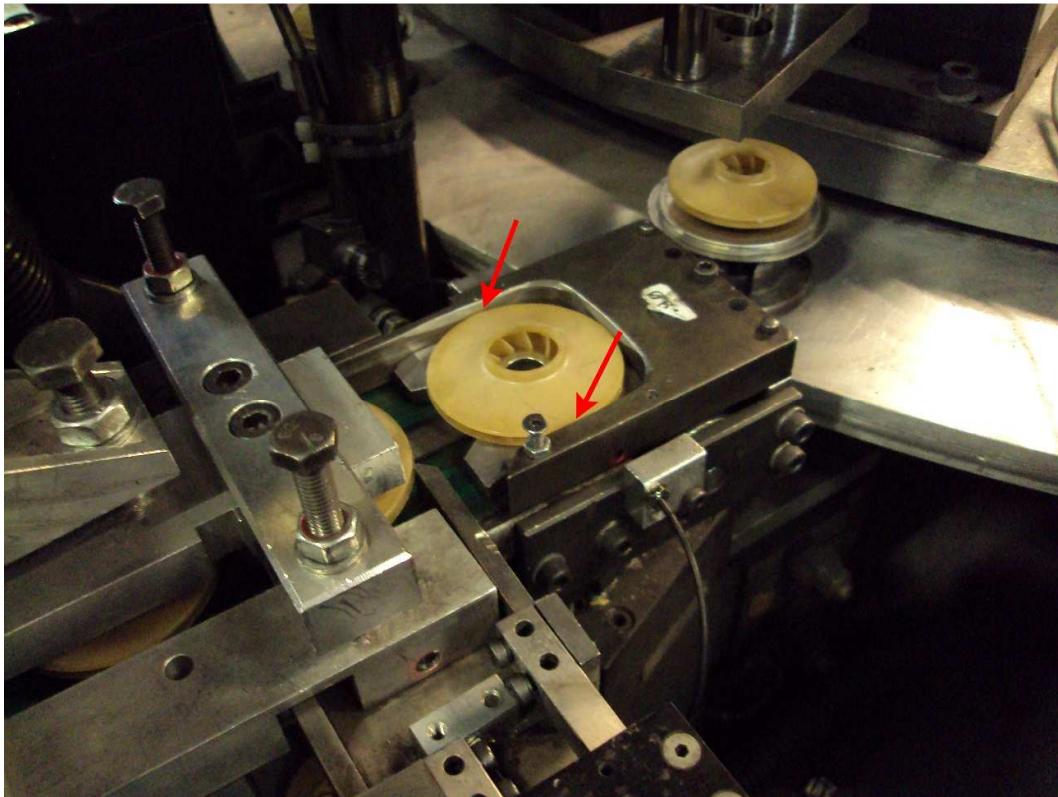


*Slika 5.7.2 Pribor za pozicioniranje statora pri montaži u kućište motora*

## 2) Montaža radnog kola na sklop rotora

Kao što je prikazano u struktornoj sastavniци cirkulacione pumpe UPM2, postoji ukupno 16 varijanti radnog kola. Kod navedenih varijanti radnog kola postoje određene varijacije u njihovom prečniku što znači da je u slučaju automatizovane montaže potrebno obezbediti adekvatan pribor za prihvati i

pozicioniranje svih varijanti radnog kola. Na *slici 5.7.3* prikazan je postojeći pribor za prihvati i pozicioniranje radnog kola cirkulacione pumpe.



*Slika 5.7.3 Pribor za prihvati i pozicioniranje radnog kola cirkulacione pumpe*

Na osnovu analize postojećeg stanja, utvrđeno je da za 16 varijanti radnog kola postoji osam različitih pribora za prihvati i pozicioniranje. Za zamenu navedenog pribora, potrebno je koristiti jedan šestougaoni ključ kojim se pritežu vijci za fiksiranje i podešavanje pozicije. Eksperimentalno je utvrđeno da aktivnosti vezane za zamenu pribora u proseku ukupno traju 180 sekundi. Međutim, osim aktivnosti vezane za samu zamenu, u zavisnosti od slučaja do slučaja, potrebno je izvršiti dodatno podešavanje pozicije pribora kako bi automatizovani manipulator bio u stanju da pravilno izuzme radno kolo i postavi ga na sklop rotora. Svaki put kada je pribor loše podešen, središnji otvor na radnom kolu nije dobro pozicioniran u odnosu na manipulator, što dovodi do smicanja radnog kola prilikom izuzimanja, jer dolazi do pojačanog trenja radnog kola o stranice pribora (*slika 5.7.3*). Iz navedenog razloga, pored osnovnog vremena, potrebnog za zamenu pribora, pojavljuje se i dodatno vreme podešavanja koje traje između 60 i 480 sekundi. U najgorem slučaju, kada se podešavanje vrši nekoliko puta, zamena pribora traje duže od 10 minuta što nije u skladu sa preporukama SMED-a.

Sumiranjem napred navedenog, predlaže se modifikacija pribora za prihvati i pozicioniranje radnog kola. Na *slici 5.7.4* prikazan je postojeći pribor (levo) koji je načinjen od jednog komada čelika. Ovakav pribor ne dozvoljava kompenzaciju gubitka saosnosti radnog kola i manipulatora obzirom da su prsti pribora sačinjeni od krutog materijala. Modifikovana varijanta pribora za prihvati radnog kola (*slika*

5.7.4-desno) poseduje čelično telo, kao i postojeći, s tom razlikom što su prsti zasebni elementi načinjeni od tankog čeličnog lima debljine 0,5 mm. Ovako konstruisani prsti poseduju određenu elastičnost koja dozvoljava kompenzaciju gubitka saosnosti radnog kola i manipulatora. Na ovaj način moguće je skratiti vreme podešavanja pribora na 60 sekundi. Kao što je ranije pomenuto, sama zamena pribora u proseku traje oko 180 sekundi što sa podešavanjem ukupno daje 240 sekundi ili 4 minuta.



Slika 5.7.4 Pribor za prihvatanje i pozicioniranje radnog kola: postojeći (levo), modifikovani (desno)

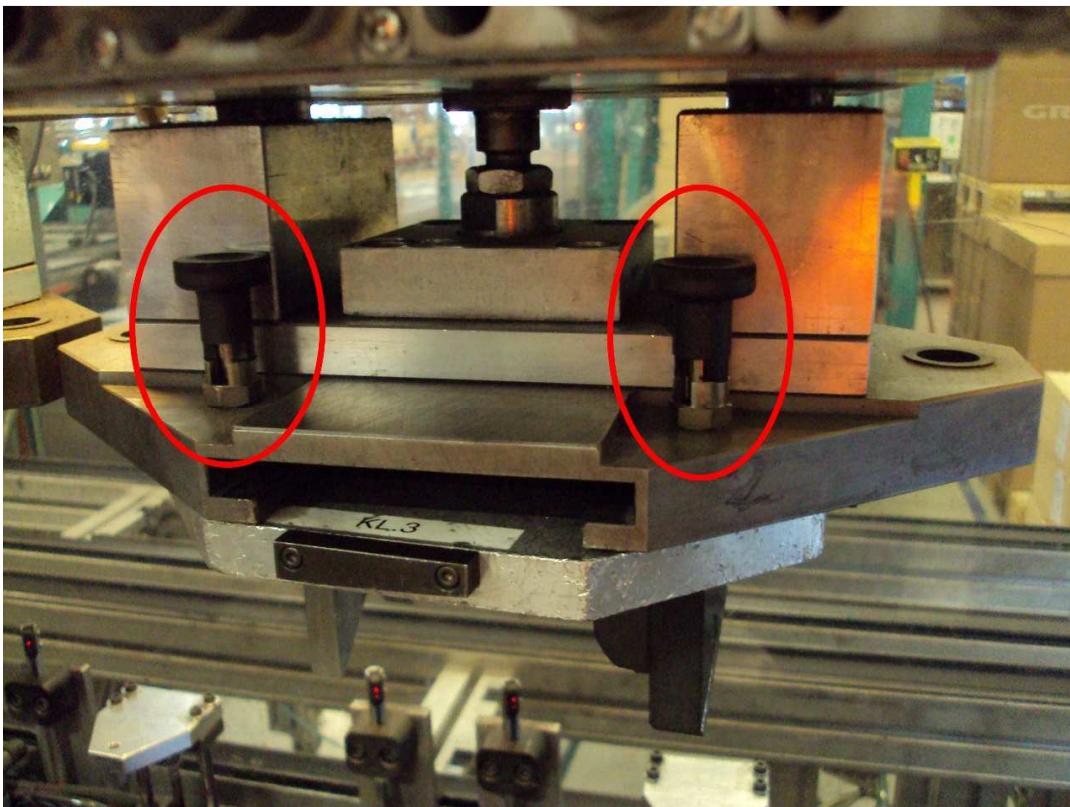
### 3) Montaža kućišta cirkulacione pumpe

Kućište cirkulacione pumpe postoji u 119 varijanti. Predmontaža kućišta pumpe na podsklop motora se vrši ručno, dok je zahvat uvrštanja vijaka i pritezanja kućišta automatizovan. S obzirom da se geometrija kućišta razlikuje u zavisnosti od varijante cirkulacione pumpe, potrebni su različiti pribori za fiksiranje kućišta tokom pritezanja vijaka (slika 5.7.5).



Slika 5.7.5 Različite vrste pribora za fiksiranje kućišta pumpe

Imajući u vidu veliku varijantnost kućišta pumpe javlja se potreba za čestom izmenom pribora za fiksiranje. Zato je važno obezbediti laku i brzu zamenu u što kraćem vremenskom intervalu. Na *slici 5.7.6* prikazan je sistem klinova sa oprugom koji obezbeđuju brzu zamenu pribora za pritezanje kućišta pumpe. Prikazani sistem klinova ne zahteva upotrebu alata prilikom zamene. Eksperimentalno je utvrđeno da sve aktivnosti koje se izvode prilikom zamene pribora prosečno traju oko 60 sekundi. Sama zamena prosečno traje oko 20 sekundi, dok je ostatak vremena potreban za dopremanje zamenskog alata do radnog mesta. Kao što je ranije rečeno, uvrтанje vijaka i pritezanje kućišta pumpe vrši se automatski, pa se aktivnosti pripreme zamenskih alata u skladu sa SMED-om prevode u eksterne aktivnosti, čime se vreme zamene alata za fiksiranje kućišta pumpe svodi na 20 sekundi.



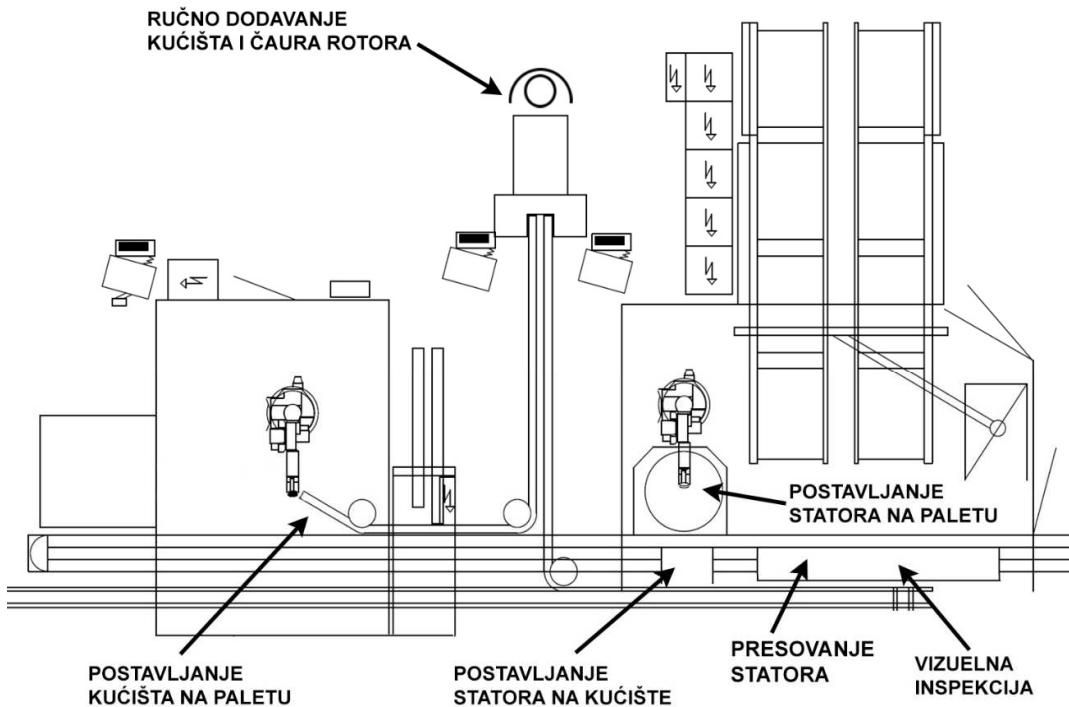
Slika 5.7.6 Elementi za brzu izmenu pribora za fiksiranje kućišta pumpe kao deo SMED-a

## 5.8 Projektovanje radnih mesta primenom 5S, Vizuelnog menadžmenta, Standardnih procedura i Jidoka

Sistem za montažu centrifugalnih cirkulacionih pumpi UMP2 sadrži u potpunosti formirana radna mesta. Kako je sistem sačinjen od velikog broja automatizovanih stanica za montažu, grupisanih u celine, odnosno radne ćelije koje opslužuje jedan operater, u nastavku će biti predstavljena detaljna analiza pomenutih radnih ćelija. Posebna pažnja biće posvećena analizi primene 5S metode, vizuelnog menadžmenta, standardnih procedura i Jidoke.

### 1) Radna ćelija za presovanje statora motora u kućište

Radna ćelija sadrži tri zasebna segmenta (*slika 5.8.1*). U prvom segmentu, radnik ručno postavlja kućišta motora i čaure rotora na dve paralelne pokretnе trake. Navedeni elementi se pokretnim trakama, koje imaju i ulogu međuskladišta, transportuju do narednih segmenata sistema za montažu. U drugom segmentu, robotizovani manipulator uzima kućište motora sa pokretnih traka i postavlja ga na paletu koja se pokretnom trakom kreće do narednog radnog mesta. Treći segment obuhvata robotizovano izuzimanje statora motora iz grupnog pakovanja i postavljanje na paletu. Nakon toga, stator se rotacionim stolom transportuje do manipulatora, koji postavlja stator na kućište motora, nakon čega pneumatska presa vrši njihovo spajanje. Kućište motora se prethodno zagreva indukcijom električne struje čime se olakšava proces presovanja (širenje materijala usled zagrevanja). Nakon presovanja, vrši se vizuelna kontrola ispravnosti načinjenog spoja. Montirani sklop kućišta i statora motora transportuje se pokretnom trakom do narednog segmenta sistema za montažu.



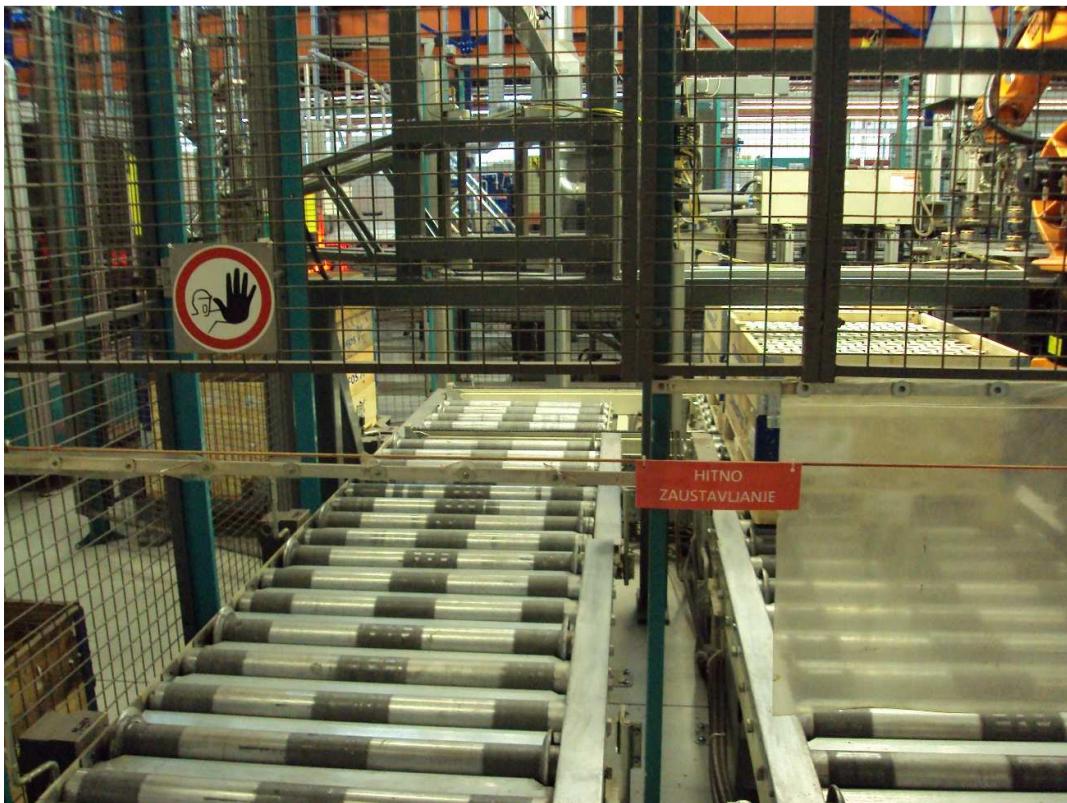
*Slika 5.8.1 Šematski prikaz radne ćelije za presovanje statora u kućište*

Sa stanovišta vizuelnog menadžmenta, radna ćelija je opremljena potrebnim elementima koji daju informacije o bezbednosnim rizicima, radu sistema, znacima upozorenja, itd.



Slika 5.8.2 Elementi vizuelnog menadžmenta na kavezu robotizovanog manipulatora

Na slikama 5.8.2 i 5.8.3 prikazani su znaci upozorenja postavljeni na kavez robotizovanog manipulatora. Navedeni znaci su segment vizuelnog menadžmenta i u konkretnom slučaju daju jasnu informaciju o bezbednosnim rizicima i pravilima koje je potrebno poštovati u radnoj zoni manipulatora.



Slika 5.8.3 Znak upozorenja i obeleživač kanapa za hitno zaustavljanje

U okviru radnog mesta za postavljanje kućišta motora i čaura rotora na pokretnu traku nalaze se sva potrebna standardizovana uputstva i procedure za bezbedan i pravilan rad (*slika 5.8.5*). Standardizovano uputstvo za bezbedan rad daje sve potrebne informacije vezane za:

- Puštanje maštine u rad (ko pušta mašinu u rad, ko isključuje mašinu, hitno zaustavljanje i ponovno pokretanje nakon hitnog zaustavljanja).
- Zahvate koji se vrše u okviru radne ćelije i režime rada (ručno/automatski).
- Sigurnosne mehanizme (sigurnosni kanapi, tasteri za hitno zaustavljanje).
- Sredstva lične zaštite (rukavice, zaštitne naočare, zaštitne cipele)
- Ponašanje u slučaju požara.
- Ponašanje u slučaju nesreće.
- Posebni uslovi (kako postupiti u slučaju nerazumevanja uputstava ili drugih nejasnih okolnosti).

Standardizovano radno uputstvo (*slika 5.8.5*) daje detaljan prikaz svih aktivnosti koje je potrebno izvršiti na početku, tokom i na kraju rada. Uz opis svake aktivnosti priložena je i fotografija koja ilustruje pravilno izvršenu aktivnost, lokaciju izvršenja aktivnosti, kao i alate i pribore koje je potrebno upotrebiti. U konkretnom slučaju, dat je detaljan opis aktivnosti koje je potrebno izvršiti prilikom ulaganja palete sa statorima u zonu robotizovanog manipulatora, uklanjanje praznih paleta, kao i način rukovanja kućištima motora i čaurama rotora prilikom postavljanja na pokretnu traku. Pored navedenog, dato je i uputstvo za vizuelnu kontrolu kućišta motora pre postavljanja na pokretnu traku. Pored dokumenta, priloženi su i uzorci kućišta, koji zadovoljavaju, kao i oni koji su van želenih standarda, tako da su kriterijumi vizuelne kontrole jasno definisani (*slika 5.8.4*).



Slika 5.8.4 Uzorci kućišta motora priloženi u okviru uputstva za kontrolu kvaliteta



Slika 5.8.5 Standardizovana uputstva i procedure za bezbedan rad

Standardizovana radna uputstava sadrže i procedure vezane za primenu i održavanje 5S-a. Na slici 5.8.6 prikazan je deo 5S dokumenta gde su date sledeće informacije:

- Zone koje je potrebno očistiti;
- Koja sredstva za čišćenje je potrebno primeniti;
- Ko izvršava navedene aktivnosti;
- Vreme predviđeno za izvršenje aktivnosti;
- Kada se izvršavaju navedene aktivnosti;
- Fotografije čistog i urednog radnog mesta.

Functional location		Line	UPM2-PJ	Cleaning and Inspection table		Date created:	24.03.2017.			
		Line 1				Created by:	GMSRCO			
<b>Cleaning (Čišćenje)</b>	<b>No</b>	<b>Equipment</b>	<b>Operation</b>	<b>Method</b>	<b>Time</b>	<b>Period</b>			<b>Responsible</b>	
		Oprema	Operacija	Metod	Vreme	1/smena	1/dan	1/nedelja	period.	Odgovoran
	1	276232	Usisati elevator za impelere	Usisivati	5					Operater
	2	276232	Pokupiti sve komponente unutar i ispod PJ-a	Ručno	5					Operater
	3	276232	Čišćenje senzora	Pistoj za vazduh	5					Toolsetter
	4	276232	Složiti sve komponente uredno i spremiti za neometan nastavak rada	Ručno	5					Operater
5	276232	Isprazniti škart gumice koje se nalaze u posudi, izdutati i obristiti sredstvom za čišćenje caure i kompletan sto sa velikim gumičama kao i deo gde se nalazi griper koji prebacuje guminicu.	Tetnost/Krpa/vazduh	10					Operater	

This document is a copy. The original can be found in JMS - Integrated Management System, via Insite/Toolbox.

Version	3	Document no	GMSFS640207	Valid from	23.11.2013.
Doc. type	Form	Author	GMSRMA	Approver	GMSPKC

Slika 5.8.6 Deo 5S dokumentacije

Pored navedenog, mesta odlaganja alata, pribora i ostalih sredstava su adekvatno obeležena kao što je prikazano na slikama 5.8.7 i 5.8.8.



Slika 5.8.7 Obeleženo mesto za odlaganje palete sa delovima



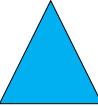
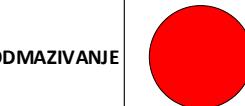
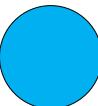
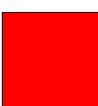
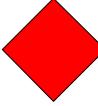
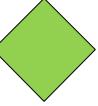
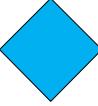
Slika 5.8.8 Obeleženo mesto za odlaganje pomoćnog alata za pozicioniranje statora motora

Analizom 5S dokumentacije uočeno je da se pojedine aktivnosti izvode u različitim vremenskim intervalima i to: u svakoj smeri, jednom dnevno i jednom nedeljno. Imajući u vidu navedene podatke, predlaže se uvođenje sistema posebnih obeležja na mestima gde treba izvršiti čišćenje, podmazivanje, proveru i podešavanje. Kao što je prikazano u tabeli 5.8.1 različiti geometrijski oblici ukazuju koju aktivnost je potrebno izvršiti, dok njihova boja definiše vremenski interval izvršenja. Na ovaj način je moguće unaprediti održavanje radnog mesta, mašina, alata i pribora, jer se pomoću navedenih simbola vizuelnog menadžmenta jednoznačno definišu:

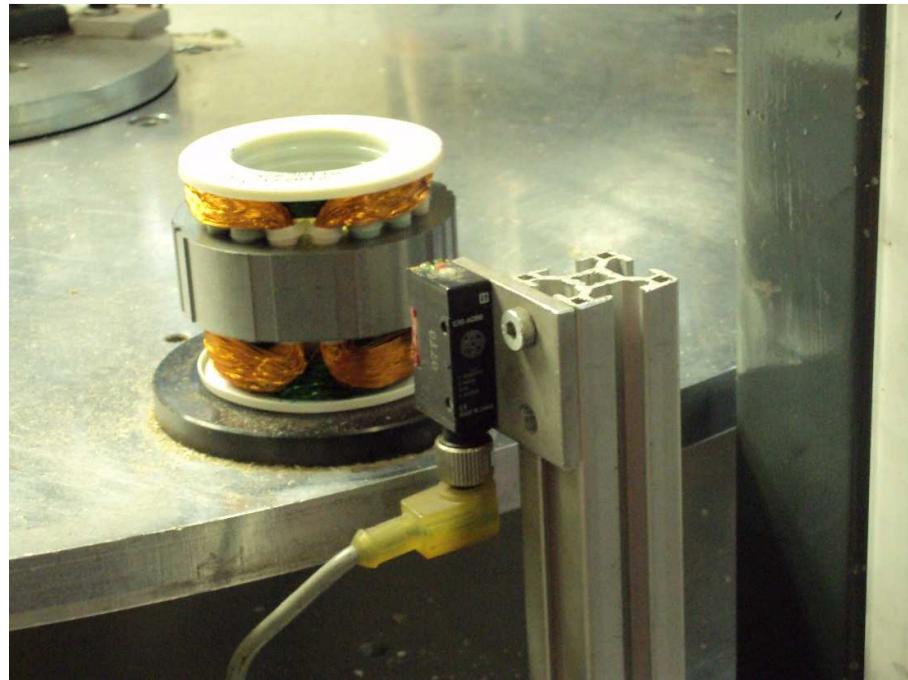
- Aktivnosti koje je potrebno izvršiti;
- Lokacije na kojima se izvršavaju aktivnosti;
- Vremenski intervali u kojima se izvršavaju aktivnosti.

Navedeni simboli se u vidu nalepnica ili pločica postavljaju na vidno mesto u zoni u kojoj se određena aktivnost izvršava. Uvedeni sistem obeležavanja je potrebno dokumentovati u okviru postojećih 5S i standardnih radnih procedura tako da se obezbedi dostupnost informacija vezanih za značenje pojedinih simbola. Predloženi sistem obeležavanja je potrebno primeniti kod svih radnih mesta u okviru posmatranog sistema za montažu.

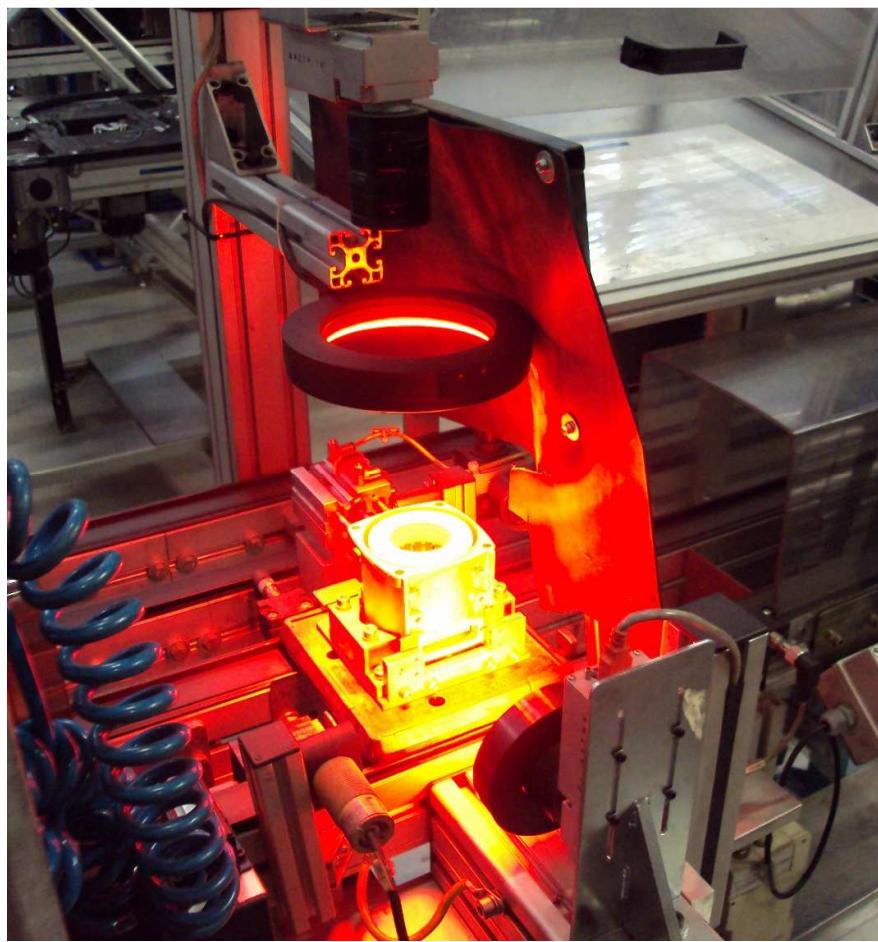
Tabela 5.8.1 Sistem obeležavanja aktivnosti i interval njihovog izvršenja

ZNAČENJE \ INTERVAL IZVRŠENJA	U SVAKOJ SMENI	DNEVNO	NEDELJNO
ČIŠĆENJE			
PODMAZIVANJE			
PODEŠAVANJE			
PROVERA			

Kako su, osim ručnog postavljanja kućišta motora i čaure rotora na pokretnе trake, svi ostali zahvati automatizovani, radna ćelija je opremljena nizom uređaja za detekciju položaja delova i ispravnosti sklopa. Na slici 5.8.9 prikazan je optički senzor koji detektuje pravilnu orientaciju statora motora. U slučaju loše orientacije, senzor šalje signal na digitalni ulaz PLC-a koji zaustavlja proces i prijavljuje grešku. Sistem nije moguće ponovo pokrenuti sve dok se greška ne otkloni, odnosno, dok se ne izvrši pravilna orientacija statora. Nakon spajanja statora i kućišta motora, vrši se vizuelna kontrola načinjenog sklopa sistemom mašinske vizije (slika 5.8.10). Kamera pravi fotografiju otvora na kućištu motora kroz koji prolazi električni priključak statora. Sistemom mašinske vizije vrši se analiza fotografije gde se proverava pozicija električnog priključka statora u odnosu na otvor kućišta motora. U slučaju da je načinjen loš sklop on se automatski odbacuje čime se sprečava dalja montaža i proizvodnja neispravne cirkulacione pumpe.



Slika 5.8.9 Optički senzor za detekciju položaja statora motora kao deo Jidoke



Slika 5.8.10 Sistem mašinske vizije za detekciju ispravnosti sklopa kao deo Jidoke

Pored navedenih elemenata, u okviru radne ćelije za motažu statora u kućište motora, vrši se i obeležavanje kućišta motora. Robotizovani manipulator prinosi kućište motora do glave štampača koji na površini kućišta ispisuje podatke vezane za vreme proizvodnje i serijski broj proizvoda (*slika 5.8.11*). Na ovaj način, obezbeđeno je praćenje proizvoda kroz proces montaže, kao i kasnije praćenje tokom životnog ciklusa.

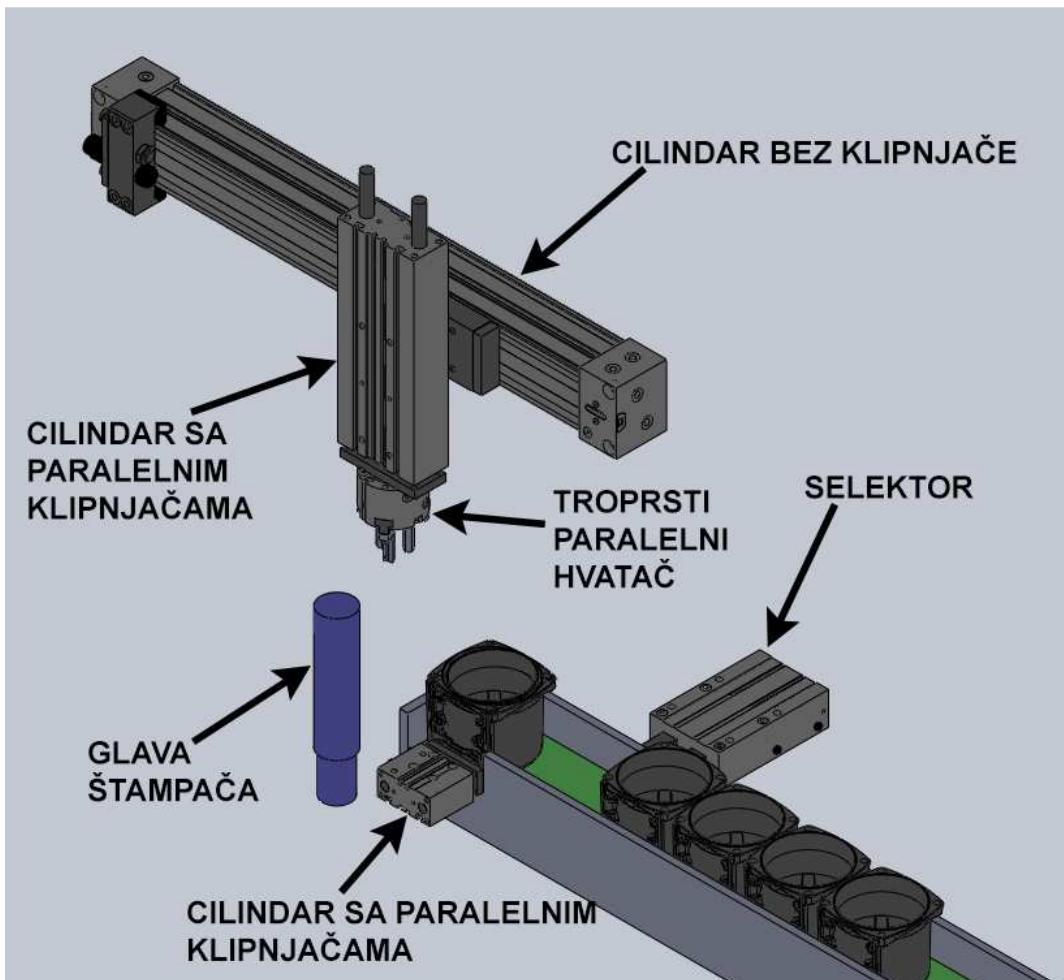


*Slika 5.8.11 Obeleženo kućište cirkulacione pumpe*

Kao što je ranije pojašnjeno, postavljanje kućišta motora na paletu vrši se pomoću robotizovanog manipulatora antropomorfne konfiguracije. Ovakvi sistemi su prvenstveno namenjeni obavljanju složenih manipulacija i izvođenju kompleksnih radnji (zavarivanje, lepljenje, bojenje, itd.). U konkretnom slučaju, manipulator izvršava jednostavan zahvat reorijentacije kućišta motora i njegovo postavljanje na paletu. Imajući u vidu jednostavnost navedenih zahvata, jasno je da je primjenjeni sistem manipulacije isuviše kompleksan. Ovakav koncept je u suprotnosti sa preporukama lean filozofije koja teži primeni jednostavnih sistema čije karakteristike odgovaraju zahtevima za izvršenje definisanih zahvata i radnog takta. Osim toga, alati i mašine treba da budu što jednostavniji za korišćenje i održavanje. Pored navedenog, postojeća stanica za presovanje čaure rotora u sklop motora zauzima i značajnu površinu, s obzirom da su gabariti robotizovanog manipulatora relativno veliki.

Na *slici 5.8.12* prikazano je idejno rešenje manipulatora za postavljanje kućišta motora na paletu. Kućišta motora se pokretnom trakom transportuju do pneumatskog selektora gde se izuzima jedno kućište koje nastavlja kretanje do kraja pokretne trake. Na kraju pokretne trake pneumatski cilindar sa paralelnim klipnjačama pritiska zaravnjenu stranu kućišta motora i vrši njegovo pozicioniranje. U sledećem koraku, vrši se dovođenje pneumatskog hvatača u poziciju za stezanje kućišta. Nakon stezanja, kućište motora se podiže sa pokretne

trake. Štampanje podataka se vrši paralelno sa zahvatom pozicioniranja kućišta motora iznad palete. U narednom koraku, vrši se postavljanje kućišta motora na paletu i otpuštanje sa pneumatskog hvatača.



Slika 5.8.12 Idejno rešenje manipulatora za postavljanje kućišta motora na paletu

Proračun vremena trajanja svih zahvata, potrebnih za postavljanje kućišta motora na paletu, izvršen je na osnovu kataloških podataka odabralih pneumatskih komponenti. U tabeli 5.8.2 prikazana je standardna tabela kombinovanja zahvata za predloženi sistem. Ukupno vreme trajanja svih zahvata iznosi 7,4 s što je kraće od zahtevanog radnog takta (9,6 s/kom.). Kao što je prikazano u tabeli 5.8.2 pojedini zahvati se mogu izvršavati paralelno. Nakon stezanja i podizanja kućišta motora sa pokretne trake, otpočinje sledeći ciklus zahvata izuzimanja, transporta i pozicioniranja kućišta motora. Ovakvim kombinovanjem zahvata dobija se ciklusno vreme od 4,9 s. Proračunato ciklusno vreme je skoro dva puta kraće od definisanog radnog takta što znači da predloženo rešenje svojim kapacitetom u potpunosti zadovoljava potrebe sistema. Kataloški podaci odabralih pneumatskih komponenti garantuju višemilionske cikluse u normalnim radnim uslovima čime je obezbeđen dug životni vek.

## **Standardna tabela kombinovanja zahvata**

Proces:	Postavljanje kućišta motora na paletu	Dostupno vreme:	72061,2 s	Radni takt:	9,6 s/kom.
Proizvod:	Cirkulaciona pumpa UPM2	Zahtevani kapacitet:	7500 kom.	Proračunao:	DD

Ruchō = ■

Automatski = .....

Kretanie =

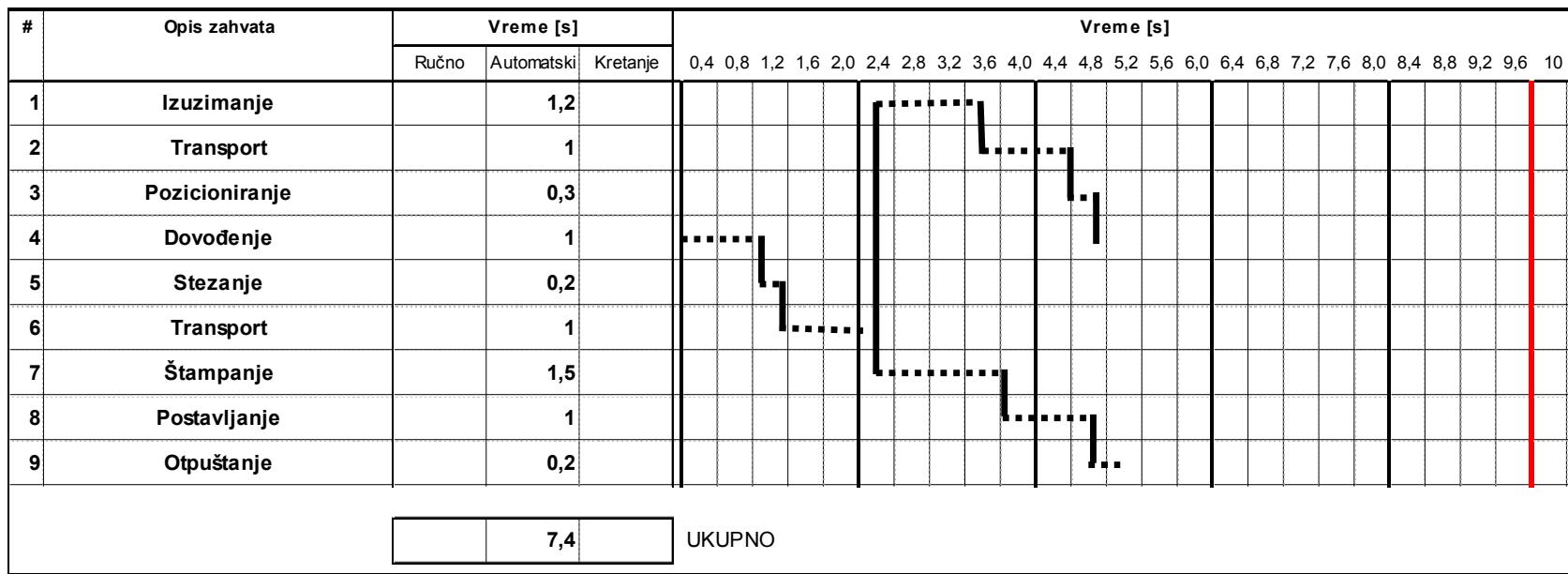
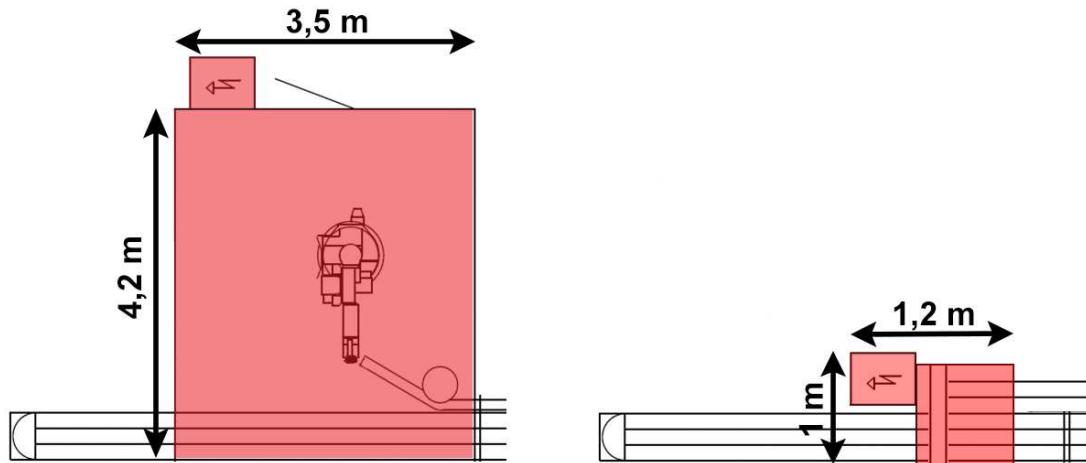


Tabela 5.8.2 Standardna tabela kombinovanja zahvata za predloženi sistem

Na slici 5.8.13 dat je uporedni prikaz trenutnog stanja i predloženog rešenja stanice za postavljanje kućišta motora na paletu. Sa slike se vidi da predloženi sistem zauzima višestruko manju površinu u odnosu na postojeći manipulator. Navedeni primer pokazuje da se poštovanjem osnovnih smernica lean koncepta, u pogledu primene jednostavnih rešenja, može ostvariti i značajna ušteda prostora što svakako predstavlja jedan od važnih faktora pri kasnjem projektovanju kompleksnog tehnološkog sistema.

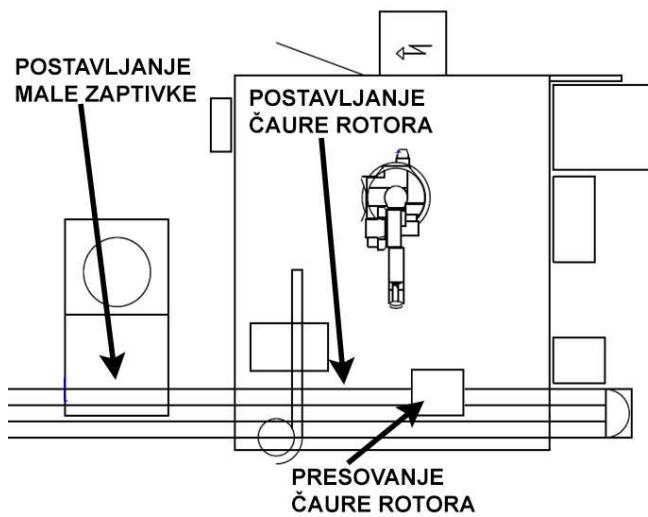


Slika 5.8.13 Površina postojeće stanice (levo) i predloženog rešenja (desno)

## 2) Radna ćelija za postavljanje male zaptivke i montažu čaure rotora

Nakon presovanja statora u kućište motora, montirani sklop se pokretnom trakom doprema do radne ćelije u okviru koje se vrši postavljanje male zaptivke na dno kućišta motora i presovanje čaure rotora (slika 5.8.14). Zahvat postavljanja zaptivke u kućište je u potpunosti automatizovan. Nakon postavljanja zaptivke sklop se pokretnom trakom transportuje do stanice za postavljanje čaure rotora. Sistem robotizovanih manipulatora izuzima po dve čaure rotora sa pokretne trake i postavlja ih na dva sklopa kućišta motora istovremeno. Po završetku postavljanja čaure rotora, sklop se transportuje do stanice za spajanje gde se vrši automatizovano presovanje čaure rotora u kućište motora.

Kao i u slučaju prethodne radne ćelije, obezbeđena su sva potrebna standardizovana radna uputstva uključujući i 5S dokumentaciju. Obzirom da su svi segmenti radne ćelije automatizovani, Jidoka je implementirana u okviru svih zahvata. Na sliki 5.8.15 prikazan je manipulator za postavljanje čaura rotora na kućište motora. Hvatači manipulatora opremljeni su odgovarajućim senzorima položaja pomoću kojih se detektuje prisustvo čaure rotora u hvataču.

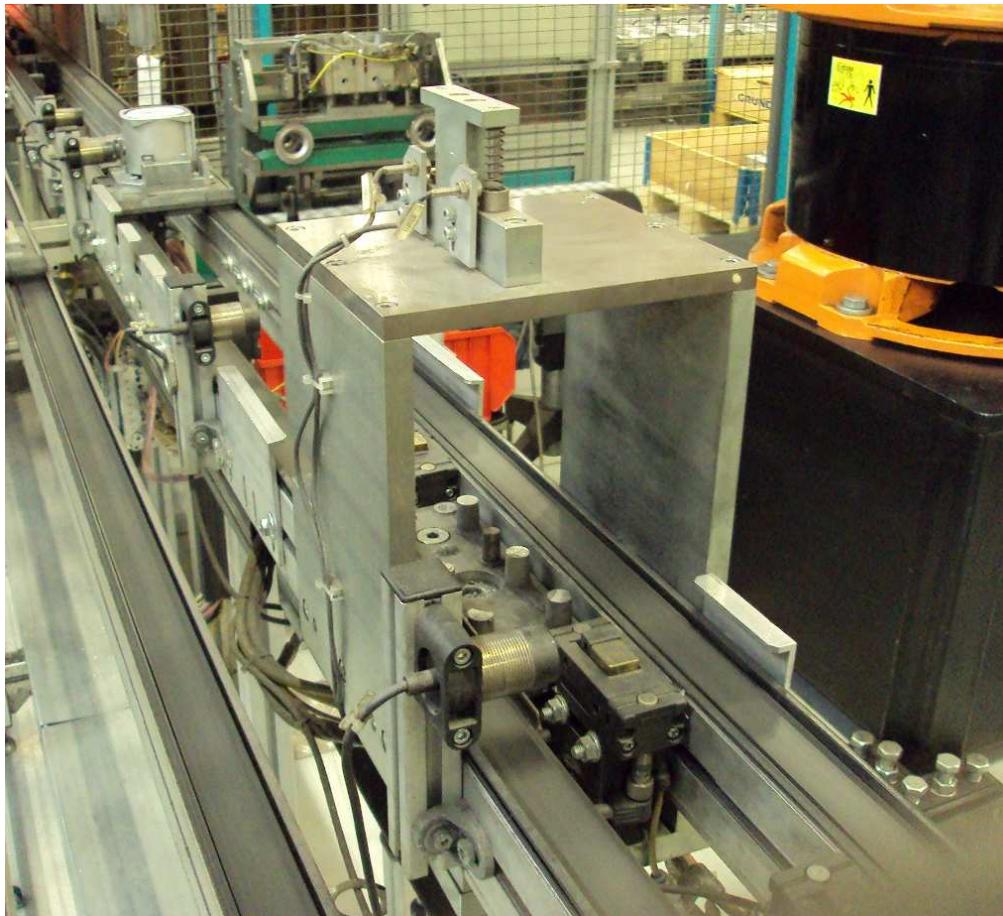


Slika 5.8.14 Šematski prikaz stanice za postavljanje male zaptivke i montažu čaure rotora

Nakon postavljanja male zaptivke, vrši se automatizovana detekcija prisustva na sklopu motora i u slučaju njenog izostanka, proces montaže se automatski zaustavlja. Na ovaj način sprečava se mogućnost montaže čaure rotora u kućište motora ako mala zaptivka prethodno nije postavljena na predviđenu poziciju. Stanica za presovanje čaura rotora u kućište motora opremljena je induktivnim senzorima koji detektuju poziciju mehanizma za presovanje (slika 5.8.16). Pored navedenog, prati se i pozicija klipa pneumatskog cilindra koji vrši presovanje. Na ovaj način je obezbeđena automatizovana provera ispravnosti ostvarenog spoja. U slučaju da je čaura rotora loše pozicionirana ili nije postavljena na sklop motora, induktivni senzori, odnosno reed prekidači, neće dati odgovarajući signal što rezultuje automatskim prekidom procesa montaže. Navedeni automatizovani sistemi provere deo su Jidoka implementirane u okviru svih važnih zahvata posmatrane radne celije.



Slika 5.8.15 Manipulator za postavljanje čaure rotora na kućište



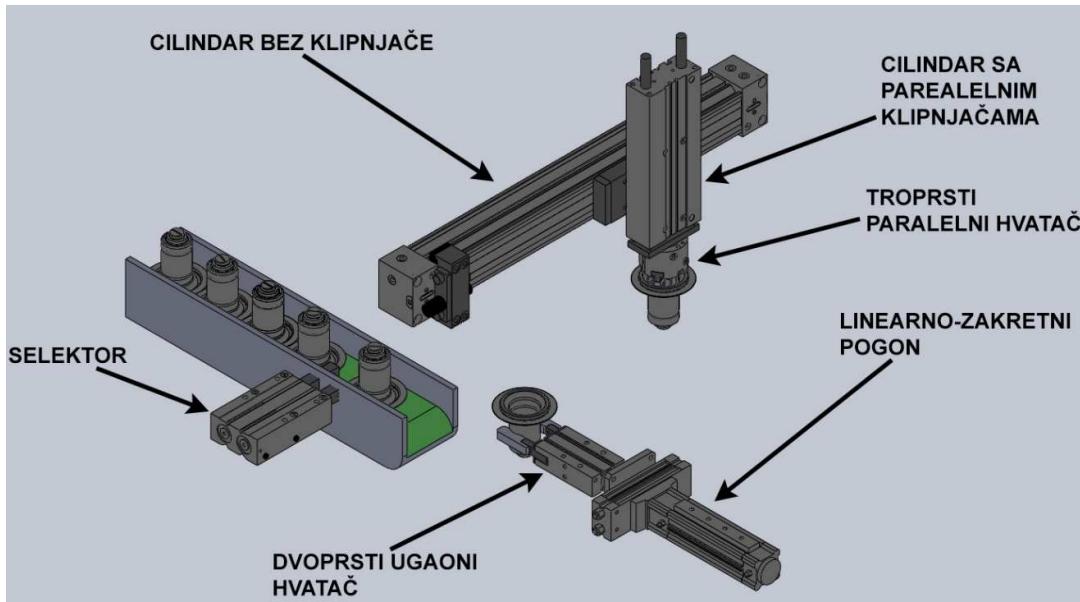
Slika 5.8.16 Stanica za presovanje čaure rotora u sklop motora

Kao što je opisano, postavljanje čaure rotora na sklop motora vrši se pomoću robotizovanog manipulatora antropomorfne konfiguracije. Slično slučaju prethodne radne ćelije gde se vrši postavljanje kućišta motora na paletu, i ovde je primenjen isuviše kompleksan sistem za izvođenje jednostavnih zahvata. Kroz analizu prethodne radne ćelije pojašnjeno je da ovakav pristup nije u skladu sa osnovnim postulatima lean koncepta. Iz navedenih razloga, predlaže se modifikacija postojeće stanice za presovanje čaura rotora u sklop motora.

Na slici 5.8.17 prikazano je idejno rešenje manipulatora za postavljanje čaure rotora na sklop motora. S obzirom da su sva kretanja jednoznačno definisana pozicijama u dve tačke za izvršenje svih zahvata primenjeni su pneumatski aktuatori. Programiranje upravljačkog segmenta ovakvog sistema je znatno jednostavnije u odnosu na programiranje putanja postojećeg robotizovanog manipulatora. Sistem prikazan na slici 5.8.17 vrši postavljanje čaure rotora na sklop motora izvršavanjem sledećih koraka:

- Klipnjača linearno-zakretnog pogona je u izvučenom položaju, a prsti ugaonog hvatača su otvoreni.
- Pneumatski selektor izdvaja jednu čauru rotora iz niza na pokretnoj traci.
- Dvoprsti hvatač prihvata izdvojenu čauru rotora.

- Klipnjača linearno-zakretnog pogona se uvlači.
- Nakon dostizanja krajnjeg uvučenog položaja klipnjača cilindra linearno-zakretnog pogona se rotira za  $180^\circ$  i reorjentiše čauru rotora.
- Prirubnica cilindra sa paralelnim klipljačama se izvlači.
- Troprsti paralelni hvatač prihvata reorjentisanu čauru, a prsti dvoprstog hvatača se otvaraju.
- Prirubnica cilindra sa paralelnim klipnjačama se uvlači.
- Cilindar bez klipnjače pomera klizač na desnu stranu.
- Nakon dostizanja krajeve desne pozicije cilindra bez klipnjače, prirubnica cilindra sa paralelnim klipnjačama se spušta i postavlja čauru rotora na kućište motora.
- Prsti troprstog hvatača se zatvaraju i otpuštaju postavljenu čauru.



Slika 5.8.17 Predlog manipulatora za postavljanje čaure rotora na sklop motora

Ciklusno vreme predloženog sistema proračunato je na osnovu vremena trajanja pojedinačnih kretanja svakog aktuatora. Navedena vremena kretanja dobijena su pomoću kataloških podataka odabranih pneumatskih komponenti. Kao što je prikazano na slici 5.8.17 segment za reorientaciju čaure rotora je nezavisan od manipulatora za postavljanje čaure rotora na kućište motora. Zato se pojedini pomoćni zahvati mogu izvršavati paralelno. Kao što je prikazano u standardnoj tabeli kombinovanja zahvata (tabela 5.8.3), nakon što manipulator za postavljanje čaure rotora na sklop motora preuzme reorjentisanu čauru i otpočne pomoćni zahvat pozicioniranja, selektor može otpočeti sa sledećim zahvatom izuzimanja. Ovakvim kombinovanjem zahvata dobija se ciklusno vreme od 6,8 sekundi po komadu što je za 2,8 sekundi kraće od definisanog radnog takta. Proračun prikazan u tabeli 5.8.3 potvrđuje da predloženi sistem za postavljanje čaure rotora na sklop motora zadovoljava kapacitet definisan radnim taktom uz postojanje rezervnog kapaciteta od  $\sim 29\%$ .

Tabela 5.8.3 Standardna tabela kombinovanja zahvata

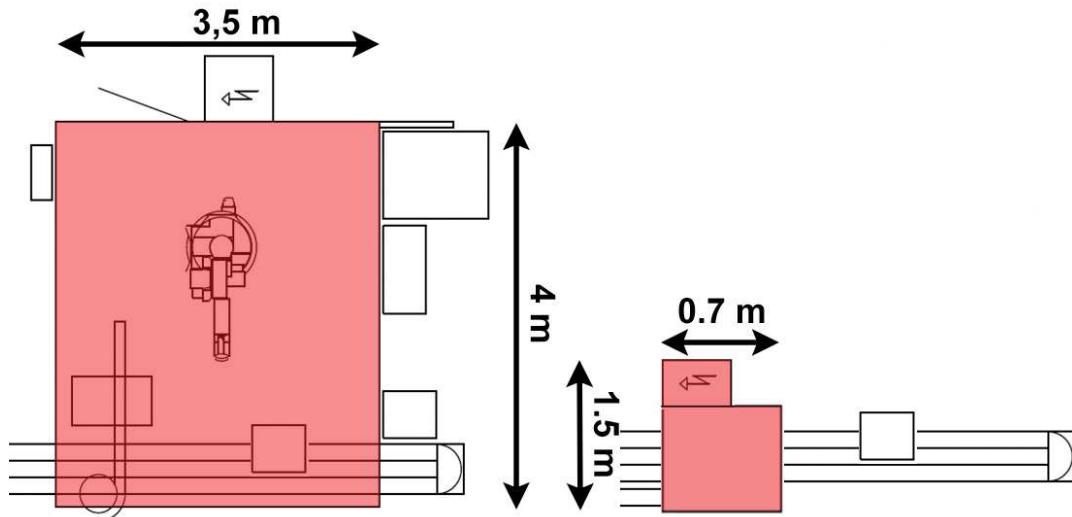
## Standardna tabela kombinovanja zahvata

Proces:	Postavljanje čaure rotora na sklop motora	Dostupno vreme:	72061,2 s	Radni takt:	9,6 s/kom.																													
Proizvod:	Cirkulaciona pumpa UPM2	Zahtevani kapacitet:	7500 kom.	Proračunao:	DD																													
<hr/>																																		
#	Opis zahvata	Vreme [s]		Vreme [s]																														
		Ručno	Automatski	Kretanje	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10					
1	Izuzimanje			1,2																														
2	Dovođenje			0,8																														
3	Stezanje			0,2																														
4	Transport			0,8																														
5	Orijentisanje			1																														
6	Dovođenje			1,2																														
7	Stezanje			0,2																														
8	Otpuštanje			0,2																														
9	Transport			1,2																														
10	Pozicioniranje			1,6																														
11	Ulaganje			1,2																														
12	Otpuštanje			0,2																														
			9,8	UKUPNO																														

Datum: 10.04.2017.

Ručno = Automatski = Kretanje = 

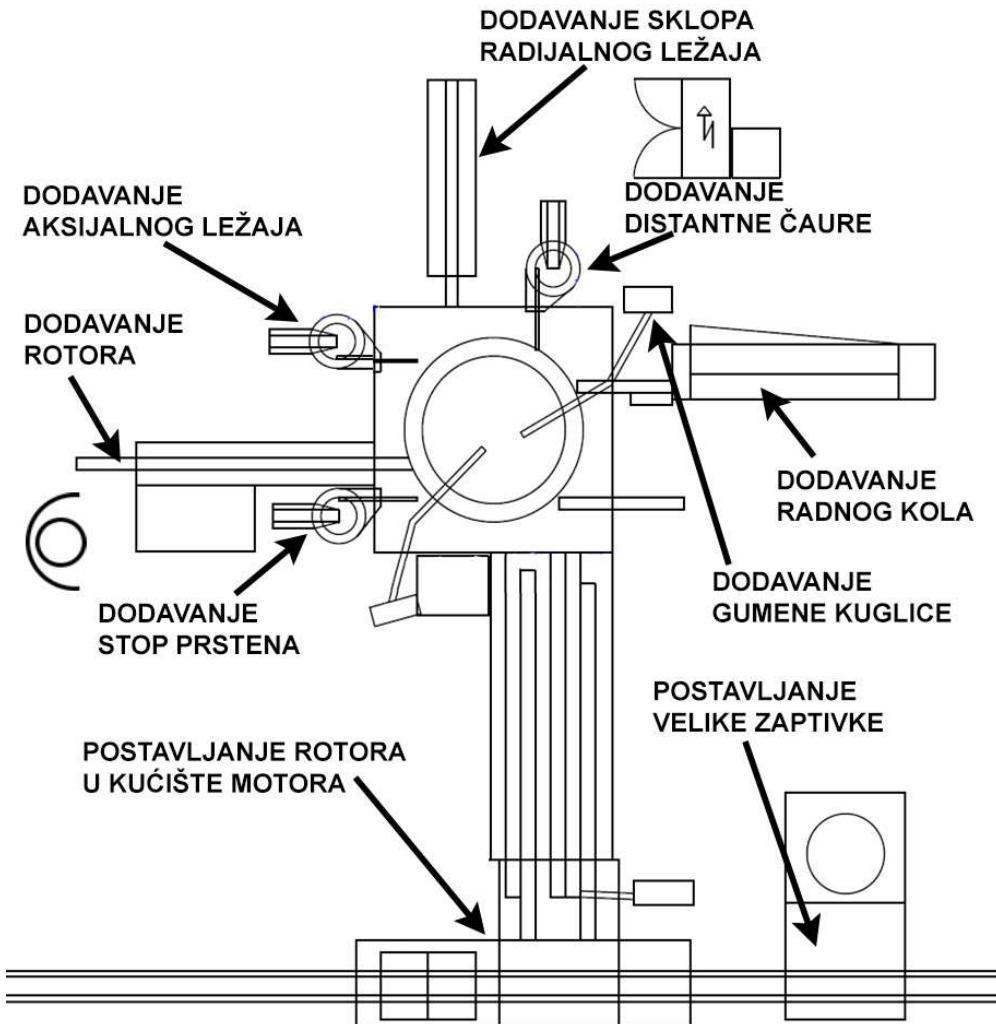
Na slici 5.8.18 dat je uporedni prikaz postojećeg i predloženog sistema za postavljanje čaure rotora na sklop motora. Kao što je prikazano, predloženi sistem zauzima znatno manju površinu u odnosu na postojeći što dodatno potvrđuje opravdanost implementacije predloženog sistema. Važno je napomenuti da predložene pneumatske komponente imaju deklarisane višemilionske cikluse čime je obezbeđen dug životni vek predloženog rešenja.



Slika 5.8.18 Površina postojećeg sistema (levo) i predloženog manipulatora (desno)

### 3) Radna ćelija za montažu sklopa rotora i postavljanje velike zaptivke

Kao što je predviđeno ranije prikazanom kartom toka montaže (slika 5.6.2), montaža sklopa rotora vrši se paralelno sa montažom sklopa motora. Na sliци 5.8.19 prikazana je radna ćelija za montažu sklopa rotora i postavljanje velike zaptivke na sklop kućišta motora. Stanica za automatizovanu montažu sklopa rotora sadrži rotacioni sto u okviru kog su implementirani segmenti za montažu svih delova koji ulaze u sastav sklopa rotora. Stop prsten, aksijalni ležaj i distantna čaura dopremaju se do mesta montaže pomoću vibro bunkera. Rotor motora sa vratilom, radijalni ležaj i gumene kuglice, operater ručno postavlja u gravitacione dodavače. Radna kola se pomoću elevadora izuzimaju iz bunkera i postavljaju na pokretnu traku. Sistemom mašinske vizije sa pokretne trake se komprimovanim vazduhom uklanjaju sva pogrešno orijentisana radna kola koja se ponovo vraćaju u bunker. Svi dopremljeni elementi se prihvataju posebno prilagođenim manipulatorima i dovode se do pozicije za montažu. U sastavu navedene radne ćelije nalazi se i stanica za automatizovano postavljanje velike zaptivke na sklop motora.



Slika 5.8.19 Šematski prikaz radne ćelije za montažu sklopa rotora i stanice za postavljanje velike zaptivke

U okviru stanice za montažu sklopa rotora, svi zahvati montaže su automatizovani, pa je iz tog razloga potrebno implementirati sistem detekcije grešaka, koje se mogu pojaviti tokom montaže i obezbediti automatizovano zaustavljanje ako dođe do problema. Imajući u vidu navedeno, svi segmenti koji učestvuju u procesu montaže sklopa rotora opremljeni su odgovarajućim senzorima čija je uloga praćenje pozicije i prisustva pojedinih elemenata kako bi se utvrdila pravilna montaža i pozicija pojedinih delova.

Kao i kod prethodnih radnih ćelija, obezbeđena je sva potrebna dokumentacija vezana za standardizovane radne procedure, bezbedan rad i 5S. Na slici 5.8.20 prikazan je panel na kom se nalaze alati i pribor potreban za postavljanje i zamenu elementa za prihvat i pozicioniranje radnog kola. U okviru 5S dokumentacije priložena je fotografija uredno organizovanog panela uz prateća uputstva za njegovo održavanje. S obzirom da postoji više različitih varijanti radnog kola, pored standardizovanih radnih uputstava, radno mesto sadrži i panel sa uzorcima svih varijanti radnog kola uključujući i njihove oznake (slika 5.8.21).

Navedeni panel deo je vizuelnog menadžmenta koji operateru obezbeđuje jasne informacije, koje radno kolo odgovara određenoj oznaci, tako da je moguće izvršiti vizuelnu kontrolu i proveru da li su pripremljeni odgovarajući delovi za montažu određene varijante cirkulacione pumpe.



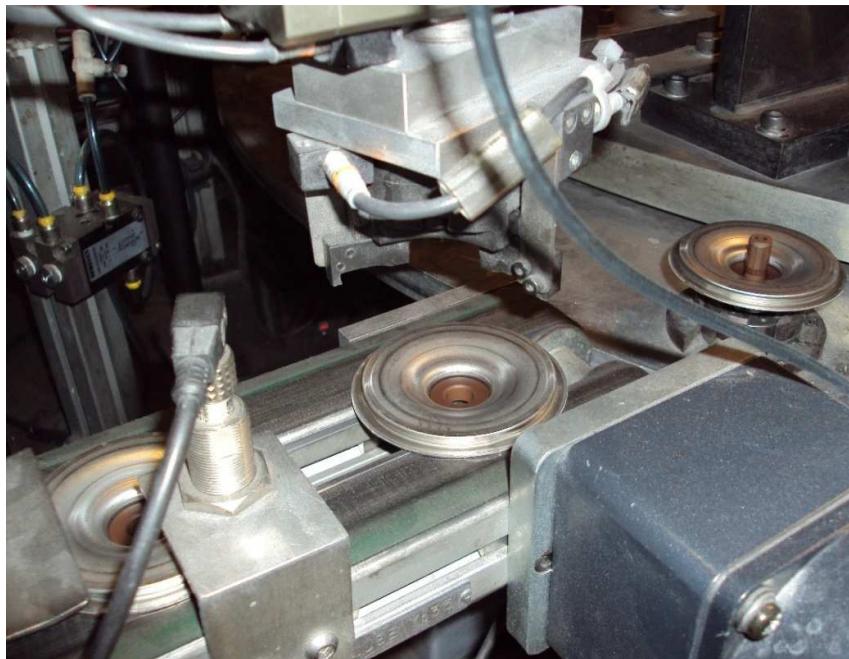
Slika 5.8.20 Mesto odlaganja alata za pozicioniranje radnog kola



Slika 5.8.21 Panel sa uzorcima različitih varijanti radnog kola

Imajući u vidu da je proces montaže sklopa rotora automatizovan, u skladu sa preporukama lean koncepta, stanica za montažu je opremljena senzorima koji

prate prisustvo i poziciju svih delova sklopa. Na *slici 5.8.22* prikazani su senzori za detekciju prisustva i pozicije sklopa radijalnog ležaja na pokretnoj traci i pneumatskom hvataču. Navedeni sistem detekcije prisustva i pozicije delova je primjenjen i na ostalim pozicijama stаницe za montažu sklopa rotora.

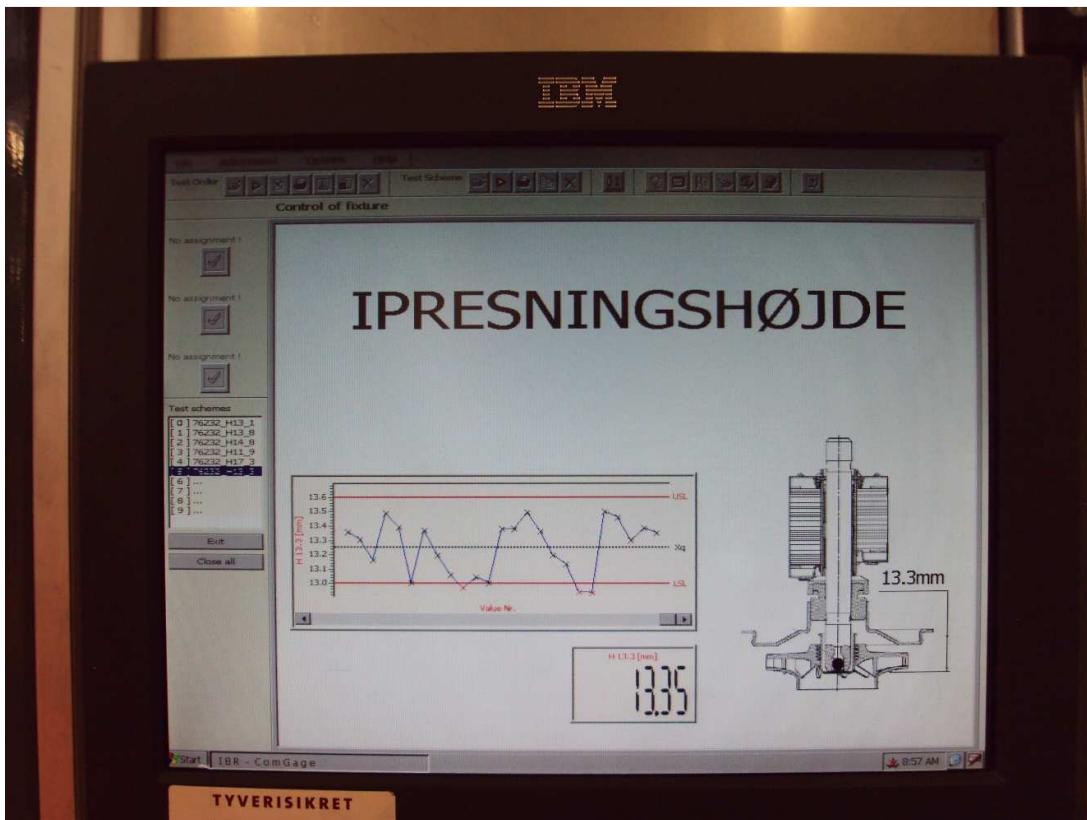


Slika 5.8.22 Sistem detekcije prisustva i pozicije sklopa radijalnog ležaja

Na *slici 5.8.23* prikazan je kompletno montiran sklop rotora. Sa slike se vidi da je na vratilo rotora montiran niz delova (aksijalni ležaj, radijalni ležaj, distantna čaura, itd.). Pozicija radijalnog ležaja i radnog kola na vratilu rotora je veoma važna, jer utiče na mogućnost montaže sklopa u kućište motora odnosno na funkcionalnost gotovog proizvoda. Iz navedenog razloga, po završetku montaže sklopa rotora, vrši se automatizovana provera rastojanja pojedinih delova (*slika 5.8.24*). U slučaju odstupanja od zadatih vrednosti, sklop se automatski odbacuje.



Slika 5.8.23 Sklop rotora



Slika 5.8.24 Automatizovana provera rastojanja aksijalnog ležaja i radnog kola

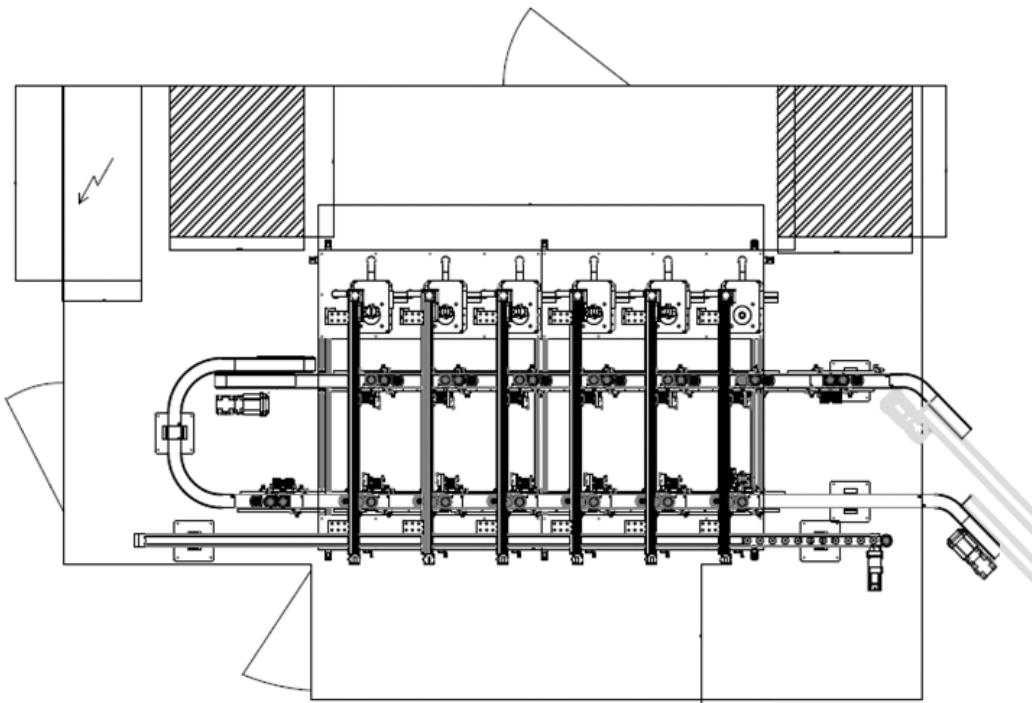
Cirkulaciona pumpa tipa UPM2 poseduje mogućnost regulacije broja obrtaja pomoću PWM signala. Kako bi se obezbedila navedena funkcionalnost, pored ugradnje odgovarajućeg statora, potrebno je ugraditi i namagnetisani rotor motora. Iz navedenog razloga, nakon montaže sklopa rotora, mora se izvršiti magnetizacija jezgra rotora. Na slici 5.8.25 dat je šematski prikaz stanice za magnetizaciju koja je deo radne ćelije za montažu sklopa rotora. Iz stanice za automatizovanu montažu, sklop rotora se pokretnom trakom doprema do stanice za magnetizaciju. Stanica je opremljena sa šest pozicija za magnetizaciju. Proces magnetizacije se vrši uvođenjem jezgra rotora u jako magnetno polje tokom definisanog vremenskog perioda od približno pet sekundi. Nakon magnetizacije, sklop rotora se pokretnom trakom transportuje do pozicije za montažu u kućište motora. Stanica za montažu sklopa rotora u kućište motora opremljena je automatizovanim manipulatorom koji izuzima slop rotora sa pokretne trake i vrši njegovo utiskivanje u kućište motora. Gotov sklop se dalje transportuje do stanice za montažu kućišta pumpe.

Kao što je pomenuto, proces magnetizacije sklopa rotora traje približno pet sekundi što je za 4,6 sekundi kraće od definisanog radnog takta. Kao što je prikazano na slici 5.8.25, stanica sadrži šest pozicija za magnetizaciju što dovodi do zaključka da kapacitet stanice za magnetizaciju daleko prevaziđa potrebe sistema. Sa druge strane, direktnim posmatranjem rada stanice za magnetizaciju uočava se niz zahvata koji utiču na generisanje značajnih gubitaka čime se drastično smanjuje

efektivni kapacitet. Dominantan uticaj na generisanje gubitaka imaju duga transportna vremena koja se pojavljuju u više segmenata:

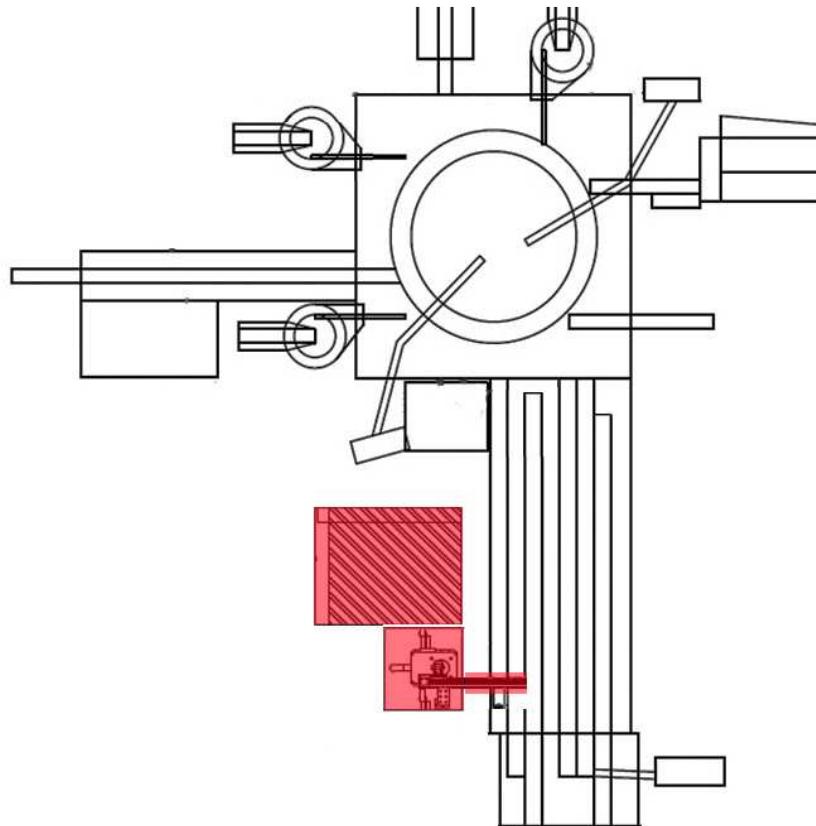
- Transport sklopa rotora od stanice za montažu do stanice za magnetizaciju.
- Interni transport i manipulacija sklopom rotora unutar stanice za magnetizaciju.
- Transport paleta na koje se postavlja sklop rotora.
- Transport od stanice za magnetizaciju do stanice za montažu sklopa rotora u kućište motora.

Kada se uzme u obzir trajanje svih gore pomenutih aktivnosti, dobija se prosečno ciklusno vreme pojedinačne pozicije za magnetizaciju od čak 28 sekundi. Pored generisanih gubitaka, ovako konfigurisana stanica za magnetizaciju zauzima i značajnu površinu, što dodatno negativno utiče na celokupan sistem za montažu.



Slika 5.8.25 Šematski prikaz stanice za magnetizaciju rotora

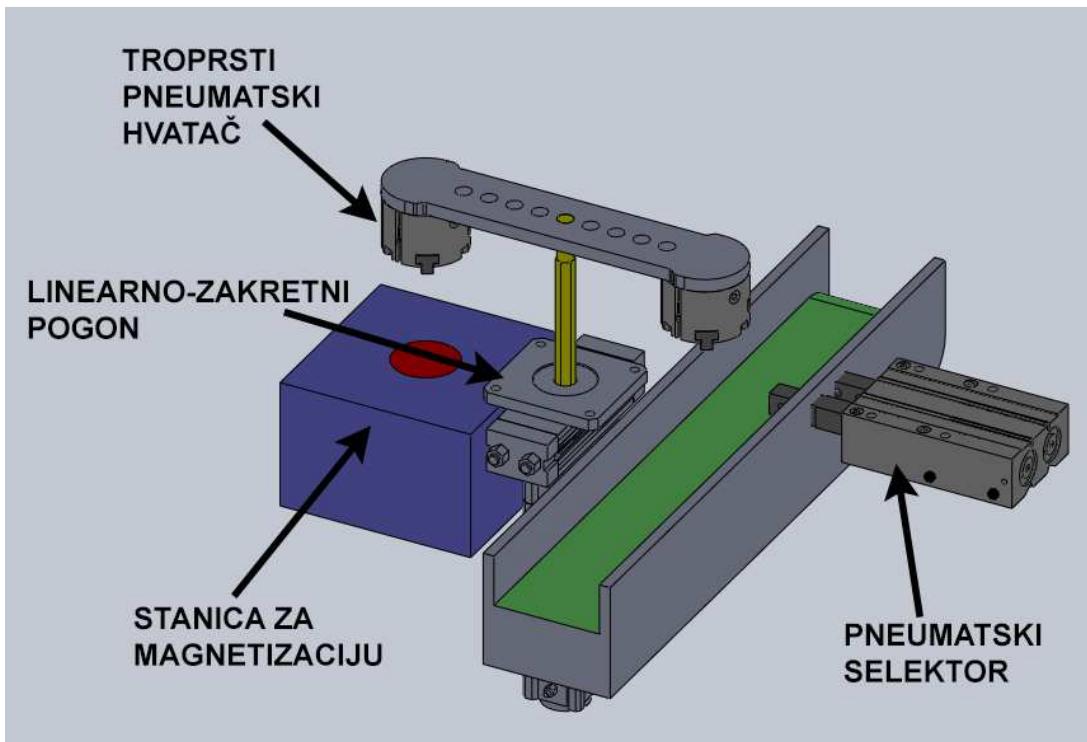
Imajući u vidu sve gore pomenute gubitke, predlaže se potpuna izmena stanice za magnetizaciju sklopa rotora. Predložena izmena podrazumeva integraciju samo jedne pozicije za magnetizaciju i to na samom izlazu stanice za automatizovanu montažu sklopa rotora (*slika 5.8.26*). Ovakav koncept eliminiše nepotreban transport, kao i FIFO međuskladište koje se generiše na ovaj način. Pored navedenog, novo rešenje zauzima površinu od  $2 \text{ m}^2$  što je približno  $12 \text{ m}^2$  manje u odnosu na postojeće rešenje.



Slika 5.8.26 Predlog modifikacije stanice za magnetizaciju

Na slici 5.8.27 prikazano je konceptualno rešenje manipulatora za postavljanje sklopa rotora u uređaj za magnetizaciju. Pneumatski selektor izuzima jednu paletu sa sklopom rotora na pokretnoj traci i pozicionira je ispod manipulatora. Linearno-zakretni pogon nosi dva troprsta hvatača koji istovremeno izuzimaju sklop rotora iz uređaja za magnetizaciju, odnosno sa pokretnе trake. Zakretanjem za  $180^\circ$ , linearno-zakretni pogon pozicionira namagnetisani sklop iznad prethodno ispraznjene palete na pokretnoj traci. Istovremeno, vrši se pozicioniranje nemagnetisanog sklopa iznad uređaja za magnetizaciju. Ulaganje sklopa rotora u uređaj za magnetizaciju, odnosno na paletu, takođe se izvršava istovremeno. Jasno je da koncept prikazan na slici 5.8.27 predstavlja znatno jednostavnije rešenje u odnosu na postojeće što je u skladu sa preporukama lean koncepta, koje kažu da uvek treba težiti primeni što jednostavnijih rešenja.

Kao što je prikazano u standardnoj tabeli kombinovanja zahvata (tabela 5.8.4) veliki broj pomoćnih zahvata izvršava se paralelno čime je vreme koje ne dodaje vrednost proizvodu svedeno na minimum. Prikazana kombinacija pomoćnih zahvata daje ciklusno vreme od 5,5 sekundi po komadu što je kraće od definisanog radnog takta od 9,6 sekundi po komadu. Pored ranije pomenutih pozitivnih karakteristika, prikazani proračun dodatno potvrđuje valjanost predloženog rešenja u pogledu minimizacije gubitaka što je osnovni cilj lean filozofije.



Slika 5.8.27 Predlog manipulatora za postavljanje sklopa rotora u uređaj za magnetizaciju

Tabela 5.8.4 Standardna tabela kombinovanja zahvata

## Standardna tabela kombinovanja zahvata

#	Opis zahvata	Vreme [s]			Vreme [s]																									
		Ručno	Automatski	Kretanje	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10	
1	Dovođenje			1,2																										
2	Stezanje			0,2																										
3	Izuzimanje			1,2																										
4	Transport			1,5																										
5	Ulaganje			1,2																										
6	Otpuštanje			0,2																										
7	Dovođenje			1,2																										
8	Stezanje			0,2																										
9	Izuzimanje			1,2																										
10	Transport			1,5																										
11	Ulaganje			1,2																										
12	Otpuštanje			0,2																										
				11	UKUPNO																									

Datum: 10.04.2017.

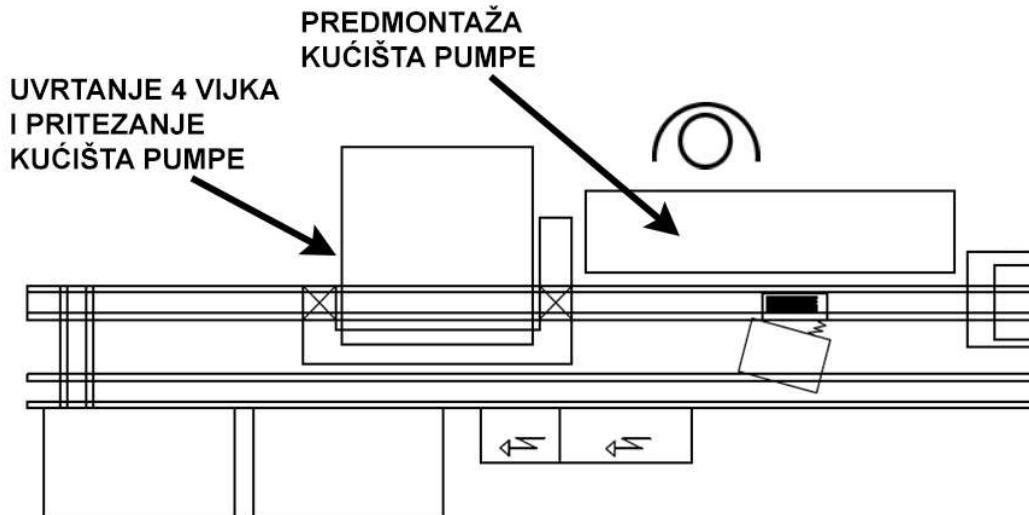
Ručno =

Automatski =

Kretanje =

#### 4) Radna ćelija za montažu kućišta pumpe

Radna ćelija za montažu kućišta pumpe sadrži dva segmenta: radno mesto za ručnu predmontažu kućišta pumpe i stanicu za automatizovano uvrstanje vijaka i pritezanje kućišta pumpe (*slika 5.8.28*). Sklop motora se na paleti, pomoću pokretne trake, doprema do radnog mesta za predmontažu kućišta pumpe. Operater izuzima kućište pumpe iz grupnog pakovanja i vrši vizuelnu kontrolu ispravnosti dela. Nakon vizuelne kontrole, vrši se čišćenje unutrašnjosti kućišta pumpe pomoću komprimovanog vazduha. Čišćenje se vrši preventivno zbog mogućnosti prisustva opiljaka unutar kućišta. Nakon čišćenja, operater postavlja kućište pumpe na sklop motora poštujući definisanu orientaciju. Paleta na kojoj se nalazi sklop motora sa postavljenim kućištem pumpe ulazi u stanicu za automatsko uvrstanje vijaka i pritezanje kućišta pumpe. U okviru navedene stanice, vijci se pneumatskim transportom dopremaju iz bunkera do pozicije za uvrstanje u sklop cirkulacione pumpe. Uvrstanje vijaka vrši se regulisanim obrtnim momentom, tako da je obezbeđeno uniformno pritezanje kućišta pumpe.

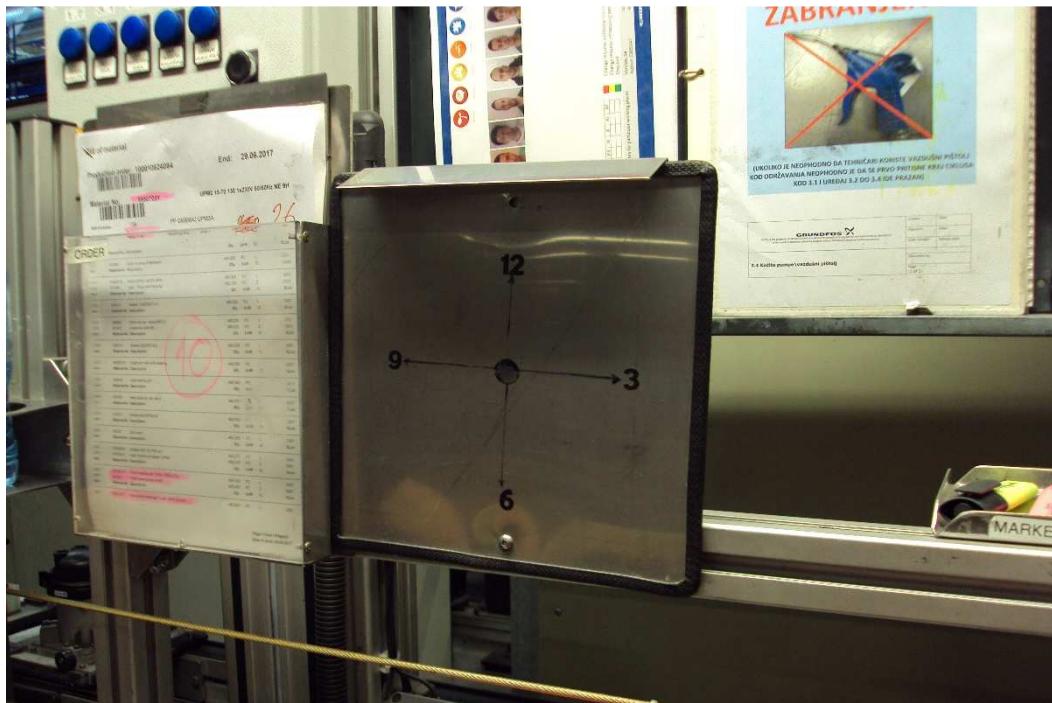


*Slika 5.8.28 Šematski prikaz radne ćelije za montažu kućišta pumpe*

Kao što je ranije navedeno, postoji ukupno 119 varijanti kućišta cirkulacione pumpe. U zavisnosti od varijante potrebno je izvršiti adekvatnu orientaciju kućišta tokom predmontaže na sklop motora. Kako bi se obezbedile informacije o potrebnoj orientaciji kućišta pumpe u okviru dokumentacije standardnih radnih uputstava priložene su fotografije pravilno montiranog kućišta pumpe za svaku od varijanti (*slika 5.8.29*). Pored navedenog, na radnom mestu je postavljen „sat“ koji olakšava operateru proveru pravilne orientacije kućišta pumpe (*slika 5.8.30*). U okviru dokumentacije, strelicom je obeležen priključak na kućištu cirkulacione pumpe čija orientacija treba da bude u skladu sa obeležjima na „satu“ (3,6,9 i 12). Kao što je prikazano u primerima na *slici 5.8.29* kućište pumpe na levoj fotografiji treba orijentisati tako da priključak stoji na „9 sati“, dok u slučaju kućišta sa desne fotografije, priključak treba postaviti na „12 sati“.



Slika 5.8.29 Fotografije pravilno postavljenog kućišta pumpe u okviru standardnih radnih uputstava



Slika 5.8.30 Sat za proveru orientacije kućišta pumpe

Nakon uvrtanja vijaka i pritezanja kućišta pumpe, vrši se vizuelna inspekcija montiranih delova. Na slici 5.8.31 prikazana je stanica za vizuelnu inspekciju u kojoj četiri kamere snimaju karakteristične pozicije sklopa

cirkulacione pumpe. Fotografije sa svake kamere analizira softver instaliran na računaru. Softver vrši proveru prisutnosti i pozicije karakterističnih oblika na fotografiji (glava vijka, pozicija priključka kućišta pumpe, itd.). U slučaju da parametri bilo koje fotografije odstupaju od očekivanih, stanica za vizuelnu inspekciju prijavljuje grešku. Na ovaj način, obezbeđena je automatizovana provera ispravnosti načinjenog sklopa.



Slika 5.8.31 Stanica za proveru ispravnosti sklopa motora i kućišta cirkulacione pumpe

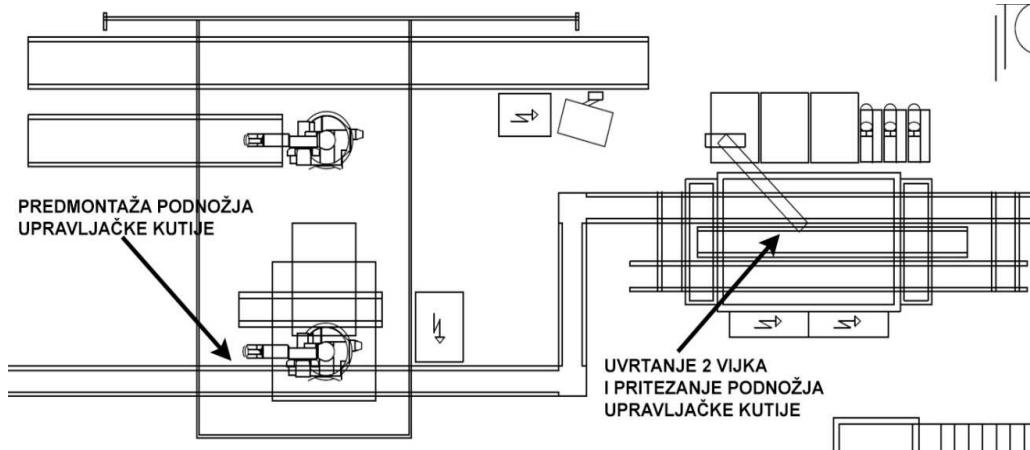
##### 5) Radna ćelija za montažu podnožja upravljačke kutije

Nakon montaže sklopa cirkulacione pumpe, vrši se postavljanje i pritezanje podnožja upravljačke kutije u okviru radne ćelije prikazane na *slici 5.8.32*. Važno je napomenuti da se, nakon montaže kućišta cirkulacione pumpe, vrši automatizovana reorientacija sklopa i njegovo postavljanje na drugu paletu (*slika 5.8.33*). Na ovaj način se priključak statora pozicionira tako da se nalazi sa gornje strane što olakšava montažu preostalih delova (upravljačka kutija, natpisna pločica, itd.).

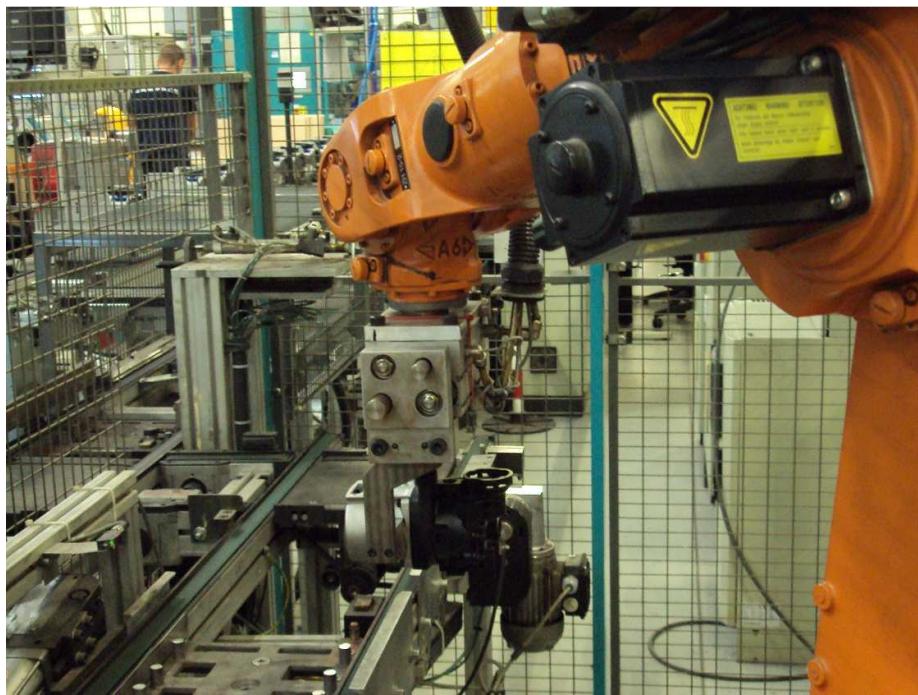
Pre motaže, podnožja upravljačke kutije se ručno pravilno orijentisu i postavljaju na grupni nosač delova (*slika 5.8.34*) odakle se robotizovanim manipulatorom izuzimaju i postavljaju na sklop cirkulacione pumpe. Po završetku zahvata, vrši se automatizovana vizuelna kontrola prisustva i ispravnosti podnožja upravljačke kutije na sklopu. Ako je podnožje pravilno postavljeno, sklop se pokretnom trakom transportuje do stanice za automatizovano postavljanje i uvrtanje vijaka za pritezanje podnožja upravljačke kutije. Vijci se posebnim mehanizmom izuzimaju iz bunkera i pneumatski transportuju do

uređaja za uvrtanje vijaka. Proces pritezanja vijaka se vrši uz kontrolisani obrtni moment što obezbeđuje ravnomerno i uniformno pritezanje upravljačke kutije.

S obzirom da je proces montaže podnožja upravljačke kutije u potpunosti automatizovan, u skladu sa preporukama lean koncepta, potrebno je obezbediti adekvatne jidoka mehanizme. Iz navedenih razloga, implementiran je sistem mašinske vizije koji proverava tip i ispravnost podnožja upravljačke kutije pre nego što ga robotizovani manipulator izuzme iz palete. U slučaju da neki od uslova nije ispunjen, podnožje upravljačke kutije ostaje na paleti i ne ulazi u proces montaže. Kao što je ranije rečeno, nakon montaže podnožja, sledeći segment mašinske vizije proverava ispravnost načinjenog sklopa i u slučaju pojave greške automatski zaustavlja dalji proces montaže.



*Slika 5.8.32 Šematski prikaz radne ćelije za montažu podnožja upravljačke kutije*



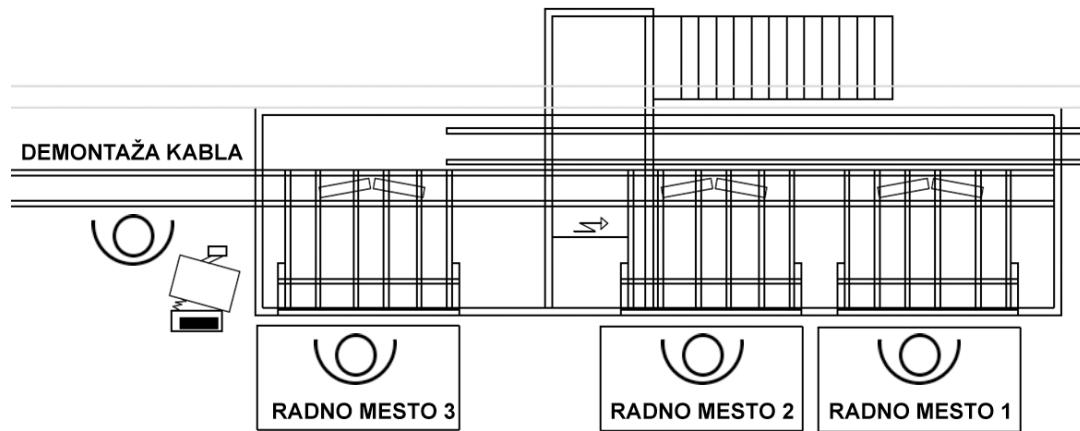
*Slika 5.8.33 Automatizovana reorientacija sklopa cirkulacione pumpe*



Slika 5.8.34 Paleta sa unapred orijentisanim podnožjima upravljačke kutije

#### 6) Radna ćelija za montažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe

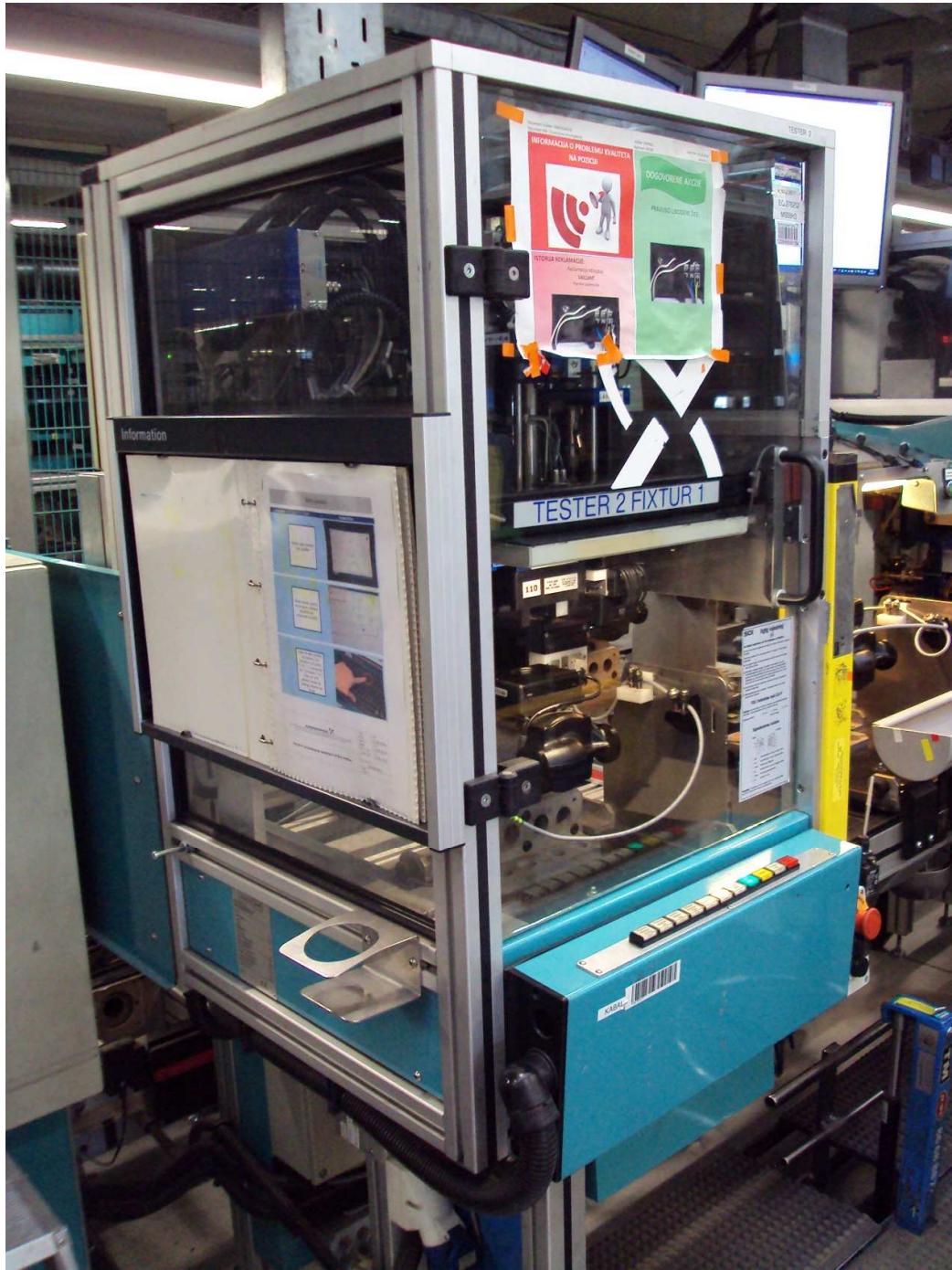
Na slici 5.8.35 prikazan je deo radne ćelije za montažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe. U navedenom segmentu, montaža upravljačke kutije se vrši ručno. U zavisnosti od varijante cirkulacione pumpe, montira se i odgovarajući kabal koji je potreban za električno testiranje cirkulacione pumpe.



Slika 5.8.35 Šematski prikaz dela radne ćelije za montažu upravljačke kutije

Na slici 5.8.36 prikazano je jedno od tri radna mesta za montažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe. Nakon montaže upravljačke kutije i odgovarajućeg kabala, operater ručno povezuje montirani kabal na uređaj za

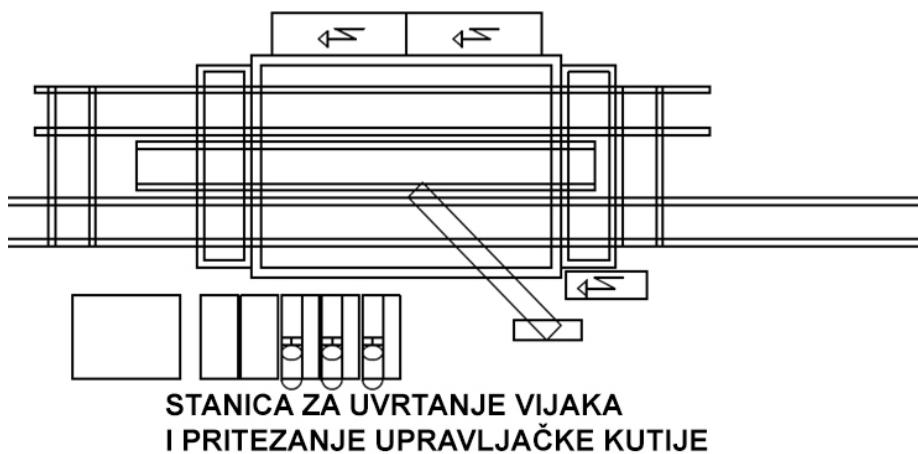
testiranje cirkulacione pumpe. Test obuhvata proveru električne funkcionalnosti cirkulacione pumpe merenjem jačine električne struje tokom rada motora u različitim režimima rada (pokretanje pumpe, promena brzine, itd.). Kako testiranje traje oko 25 sekundi (u zavisnosti od varijante pumpe), sam test traje duže od montaže upravljačke kutije i električnog kabla. Zbog ograničenog kapaciteta uređaja za testiranje, svako radno mesto je opremljeno sa po dve stanice za testiranje cirkulacione pumpe.



Slika 5.8.36 Radno mesto za montažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe

Sa slike 5.8.36 se vidi da je radno mesto opremljeno potrebnom dokumentacijom u vezi sa standardnim radnim procedurama i 5S (panel na levoj strani radnog mesta). U okviru radnog mesta su postavljeni i monitori preko kojih se može pratiti tekuće testiranje cirkulacione pumpe, kao i rezultati obavljenih testiranja. Nakon montaže upravljačke kutije i testiranja cirkulacione pumpe, vrši se ručna demontaža kabla korišćenog za testiranje. Cirkulacione pumpe, koje su prošle električno testiranje, dopremaju se pokretnom trakom do radnog mesta za demontažu kabla. Nakon demontaže kabla, vrši se uvrтанje vijaka i pritezanje upravljačke kutije.

Na slici 5.8.37 prikazana je stanica za automatizovano uvrtanje vijaka i pritezanje upravljačke kutije. Navedena stanica je deo radne ćelije za montažu upravljačke kutije. Izuzimanje vijaka iz bunkera i njihova pravilna orijentacija vrši se pomoću posebnog mehanizma (slika 5.8.38). Vijci se pneumatski transportuju do alata za uvrtanje. Proces uvrtanja i pritezanja vijaka vrši se uz automatizovanu kontrolu obrtnog momenta, tako da je obezbeđeno adekvatno i uniformno pritezanje upravljačke kutije.



Slika 5.8.37 Deo radne ćelije za montažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe



Slika 5.8.38 Automatizovano izuzimanje vijaka iz bunkera

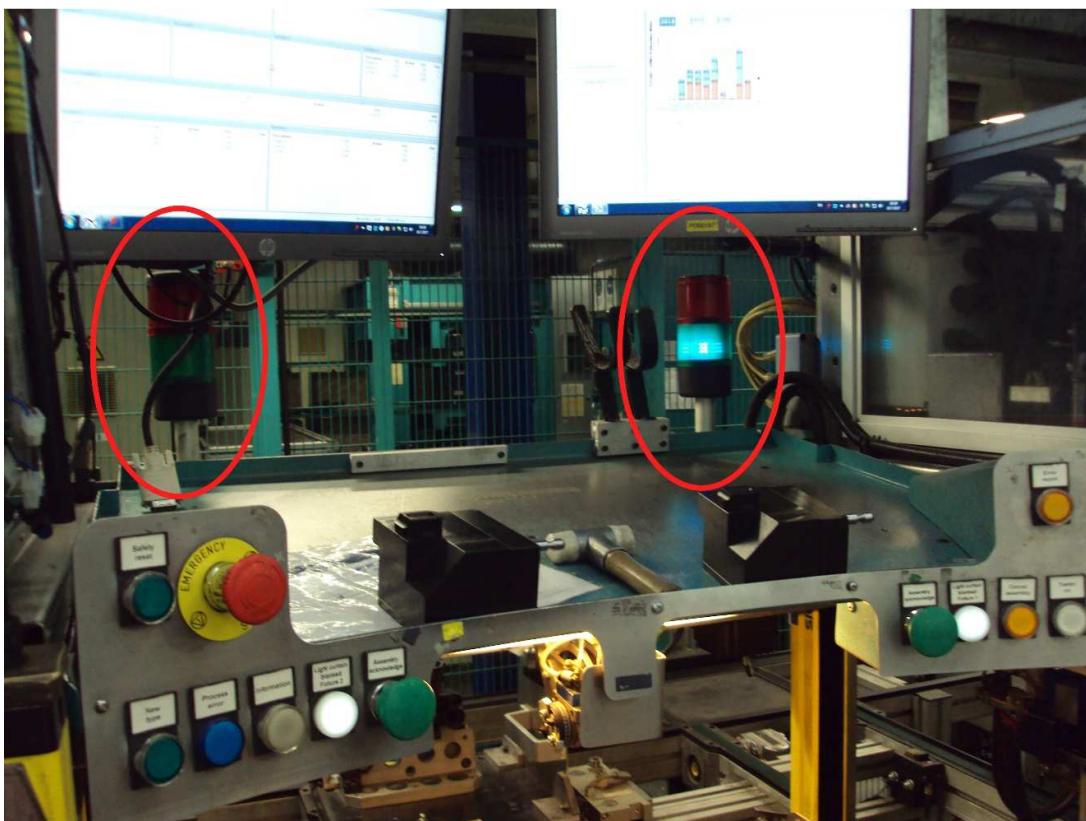
Generalnom analizom svih radnih ćelija uočeno je loše funkcionisanje andon semafora. Kao što je pojašnjeno u trećem poglavljju, andon semafori imaju veoma važnu ulogu u okviru vizuelnog menadžmenta. Postavljanje andon semafora je posebno značajno kod automatizovanih procesa montaže, jer obezbeđuje jasno uočljiv svetlosni signal koji daje informaciju o statusu sistema. U konkretnom slučaju, gde operateri opslužuju po nekoliko automatizovanih stanica, andon semafori obezbeđuju olakšano praćenje statusa i blagovremenu reakciju u slučaju pojave problema. Na slici 5.8.39 prikazan je jedan od neispravnih andon semafora uočenih u okviru posmatranog sistema za montažu.



Slika 5.8.39 Neispravan andon semafor na stanicici za postavljanje velike zaptivoke

Osim navedenog problema uočeno je da pozicija pojedinih andon semafora nije adekvatna. Na *slici 5.8.40* prikazani su andon semafori postavljeni u okviru stanica za električno testiranje cirkulacione pumpe. Sa slike se vidi da su andon semafori zaklonjeni drugim elementima sistema zbog čega su veoma teško uočljivi. Ovakva pozicija andon semafora veoma loše utiče na njihovu funkciju obzirom da, sem operatera koji se nalazi na posmatranom radnom mestu, ni jedan drugi učesnik procesa montaže ne može videti status semafora.

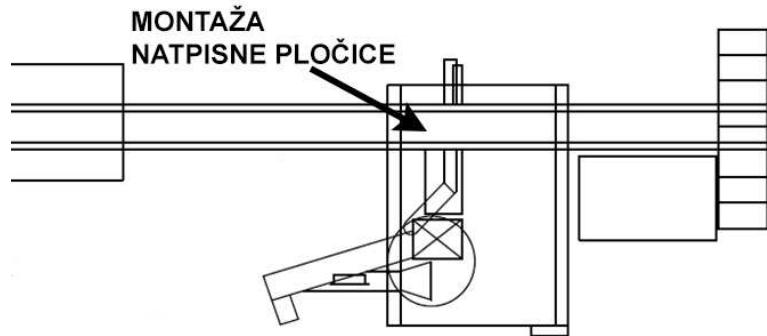
Na osnovu svih gore pomenutih razloga predlaže se revitalizacija neispravnih kao i relokacija loše postavljenih andon semafora tako da njihova pozicija obezbedi bolju vidljivost statusa posmatrane stanice.



Slika 5.8.40 Loše pozicionirani andon semafori na stanicama za električno testiranje

#### 7) Stanica za montažu natpisne pločice

Kompletno montirana cirkulaciona pumpa transportnom trakom se doprema do stanice za montažu natpisne pločice (*slika 5.8.41*). Obzirom da je natpisna pločica varijantni deo navedena radna stanica nije u svim slučajevima uključena u proces montaže. Natpisne pločice se iz bunkera izuzimaju pomoću elevatora odakle padaju na pokretnu traku. Robotizovani manipulator izuzima natpisne pločice sa pokretnе trake i postavlja ih u jedan od dva hvatača u zavisnosti od njihove orijentacije. Pravilno orijentisane pločice se odmah utiskuju u kućište pumpe, dok se pogrešno orijentisane pločice rotiraju posebnim mehanizmom, pa tek nakon toga ulaze u alat za utiskivanje.



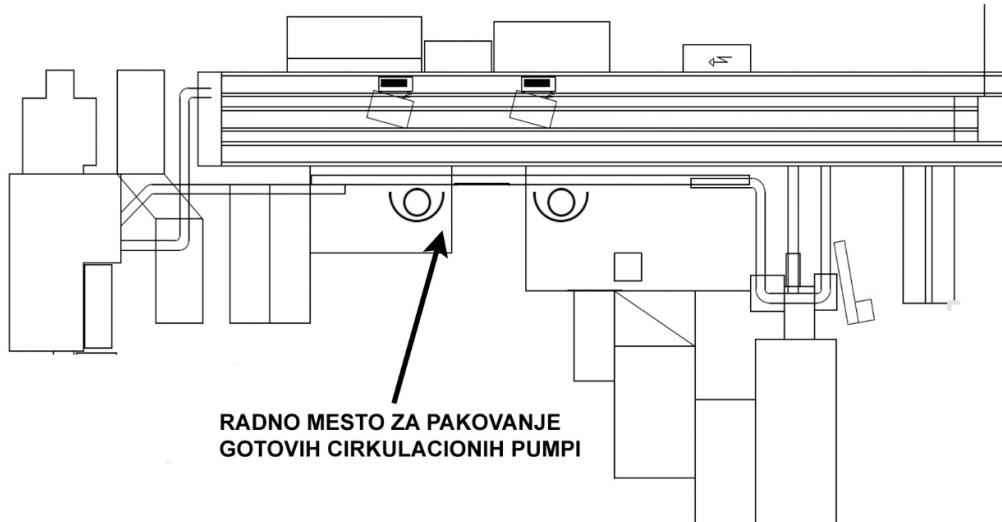
Slika 5.8.41 Šematski prikaz stanice za montažu natpisne pločice

U zavisnosti od varijante cirkulacione pumpe, natpisna pločica može sadržati različite podatke. Jedan od zahteva pri montaži natpisne pločice je njena pravilna orijentacija u odnosu na kućište motora, odnosno pravilna orijentacija teksta ispisanih na pločici. Kako bi se ispunio navedeni zahtev, stanica za montažu natpisne pločice opremljena je sistemom mašinske vizije koji pre montaže pločice proverava orijentaciju ispisanih teksta. U zavisnosti od rezultata, manipulator se rotira i koriguje orijentaciju natpisne pločice pre montaže na cirkulacionu pumpu. Pored navedenog, nakon montaže natpisne pločice, drugi segment mašinske vizije proverava prisustvo i orijentaciju natpisne pločice (slika 5.8.42). U slučaju da pločica nije montirana ili je pogrešno orijentisana, sistem automatski prijavljuje grešku.



Slika 5.8.42 Sistem mašinske vizije za proveru prisustva i orijentacije natpisne pločice

Nakon postavljanja natpisne pločice, zavšava se montaža cirkulacione pumpe tipa UPM2. Gotovi proizvodi se transportnom trakom dopremaju do radnog mesta za pakovanje (*slika 5.8.43*). Cirkulaciona pumpa se ručno skida sa nosača nakon čega operater vrši poslednju vizuelnu kontrolu pre pakovanja. U zavisnosti od varijante, proizvodi se pakuju na palete (grupno pakovanje) ili u pojedinačne kutije. Kao i u slučaju grupnog pakovanja, pojedinačne kutije se postavljaju na paletu koja se potom, pomoću viljuškara, transportuje u magacin sa gotovim proizvodima.



*Slika 5.8.43 Šematski prikaz radnog mesta za pakovanje cirkulacionih pumpi*

## 5.9 Analiza kapaciteta i određivanje potrebnog broja radnih mesta

Prethodnom analizom sistema za montažu cirkulacionih pumpi UPM2 utvrđene su potrebne količine na osnovu kojih je definisan radni takt od 9,61 s/kom. (*tabela 5.3.2*). Navedena vrednost radnog takta biće uzeta kao parametar za određivanje potrebnog broja radnih mesta u okviru svake od prethodno opisanih radnih celija.

Određivanje kapaciteta radnih mesta, izvršeno je eksperimentalnom metodom merenjem ciklusnog vremena. U okviru svakog radnog mesta, mereno je vreme potrebno za montažu 10 jedinica proizvoda (u tri prolaza) nakon čega je proračunata srednja vrednost ciklusnog vremena za posmatrano radno mesto.

Definisanje potrebnog broja radnih mesta vrši se na osnovu proračunatog opterećenja:

$$\text{opterećenje r.m.} = \text{ciklusno vrme} / \text{radni takt} * 100\% \quad (5.1)$$

U *tabeli 5.9.1* prikazana su ciklusna vremena za sva prethodno opisana radna mesta. Rezultati merenja pokazuju da su ciklusna vremena većine radnih

mesta kraća od definisanog radnog takta. Ciklusno vreme radnog mesta za presovanje statora u kućište motora iznosi 13 s/kom. Duže ciklusno vreme uzrokovano je procesom indukcionog zagrevanja kućišta motora pre montaže statora. Iz navedenog razloga, potrebno je obezbeđiti dva radna mesta za presovanje statora u kućište motora.

Kao što je ranije prikazano, stanica za postavljanje i presovanje čaure rotora obezbeđena je sa dva hvatača koji istovremeno pozicioniraju dve čaure rotora u sklop kućišta motora. Na ovaj način je ciklusno vreme od 12,5 s/kom. usklađeno sa definisanim radnim taktom.

U slučaju radnog mesta za montažu upravljačke kutije i električno testiranje, potrebno je obezbeđiti četiri radna mesta. Kod pomenutog radnog mesta, postoji značajna varijacija ciklusnog vremena u zavisnosti od varijante pumpe koja se montira. Pored navedenog, dolazi i do generisanja dodatnih vremena koja će biti kasnije detaljnije proanalizirana. S obzirom da je proračunato srednje ciklusno vreme od 30 s/kom. znatno duže od zahtevanog radnog takta, jasno je da postoji potreba za većim brojem radnih mesta za predmontažu upravljačke kutije i testiranje cirkulacione pumpe. Kao što je ranije prikazano, u okviru sistema za montažu UPM2, instalirano je tri pomenuta radna mesta. Navedeni broj radnih mesta ne poklapa se sa proračunom potrebnog broja radnih mesta prikazanom u tabeli 5.1.8. Kako se prikazana računica bazira isključivo na merenju ciklusnog vremena postojećih radnih mesta, u kasnijoj analizi obradiće se svi gubici koji utiču na produženje ciklusnog vremena posmatranog radnog mesta.

Ostala radna mesta svojim ciklusnim vremenom, odnosno kapacitetom, zadovoljavaju definisani radni takt od 9,6 s/kom. iz čega proizilazi da je potrebno instalirati samo po jedno radno mesto.

*Tabela 5.9.1 Ciklusno vreme i proračun potrebnog broja radnih mesta*

Radno mesto	Ciklusno vreme [s/kom]	Radni takt [s/kom]	Opterećenje [%]	Potreban broj radnih mesta
Utiskivanje statora u kućište motora	13,0	9,6	135,4	2
Postavljanje male zaptivke	5,5		57,3	1
Utiskivanje čaure rotora u stator	12,5		130,2	2
Postavljanje velike zaptivke	5,5		57,3	1
Montaža sklopa rotora	6,0		62,5	1
Postavljanje sklopa rotora u čauru rotora	9,2		95,8	1
Predmontaža kućišta pumpe	5,0		52,1	1
Uvrtanje 4 vijka i pritezanje kućišta pumpe	7,5		78,1	1
Predmontaža podnožja upravljačke kutije	5,0		52,1	1
Uvrtanje 2 vijka i pritezanje podnožja upravljačke kutije	7,0		72,9	1
Predmontaža upravljačke kutije i testiranje pumpe	32,0		333,3	4
Uvrtanje 2 vijka i pritezanje upravljačke kutije	7,0		72,9	1
Utiskivanje natpisne pločice	5,0		52,1	1

## 5.10 Projektovanje skladišta i međuskladišta primenom Heijunka tehnike i Kanban sistema

Skladišta i međuskladišta predstavljaju važan segment svakog sistema za montažu. Stabilna proizvodnja zahteva stabilno snabdevanje potrebnim sirovinama i delovima što iziskuje kreiranje adekvatnih skladišta koja mogu pokriti zahteve proizvodnje. Lean koncept teži sistemu „just in time“, odnosno kreiranju minimalnih zaliha. Kako bi se ispunili pomenuti zahtevi, skladišta i međuskladišta se moraju oslanjati na heijunka tehniku i kanban sistem. Implementacija kanban sistema podrazumeva kreiranja sledećih elemenata:

1. Standardna pakovanja (kutije, palete, kontejneri, itd.);
2. Radna mesta i radne ćelije;
3. Kanban kartice;
4. Ulazno skladište;
5. Izlazno skladište.

Adekvatno implementiran kanban sistem obezbeđuje povlačenje sirovina i delova samo kada su oni potrebni određenoj radnoj stanici, odnosno radnoj ćeliji. Na ovaj način se zalihe u skladištima i međuskladištima održavaju na minimumu pri čemu se eliminiše prekomerna proizvodnja. Pored navedenog, smanjenje zaliha značajno utiče i na redukciju prostora koje skladišta i međuskladišta zauzimaju u proizvodnom pogonu.

Posmatrani sistema za montažu poseduje kanban sistem za snabdevanje radnih mesta. U nastavku će biti predstavljen navedeni sistem i biće izvršena analiza postojećeg stanja uz davanje preporuka za poboljšanje.

Na osnovu podataka prethodno identifikovanih sastavnih delova i strukturne sastavnice, dobija se jasan uvid u sve delove, sklopove i njihove varijante. Kako bi se izvršila montaža potrebnih količina određene varijante cirkulacione pumpe, svako radno mesto mora biti snabdeveno odgovarajućim delovima i sklopovima u potrebnim količinama. Iz navedenog razloga, potrebno je formirati skladišta i međuskladišta delova i sklopova u okviru svake radne ćelije. Na *slici 5.10.1* prikazano je standardizovano pakovanje u kom se dopremaju svi delovi i sklopovi. Drveni sanduk je postavljen na euro paletu standardnih dimenzija 1200x800 mm. U zavisnosti od karakteristika i gabarita, delovi i sklopovi su dodatno upakovani u kutije ili postavljeni na odgovarajuće palete.



Slika 5.10.1 Standardizovano pakovanje delova u drvenim sanducima

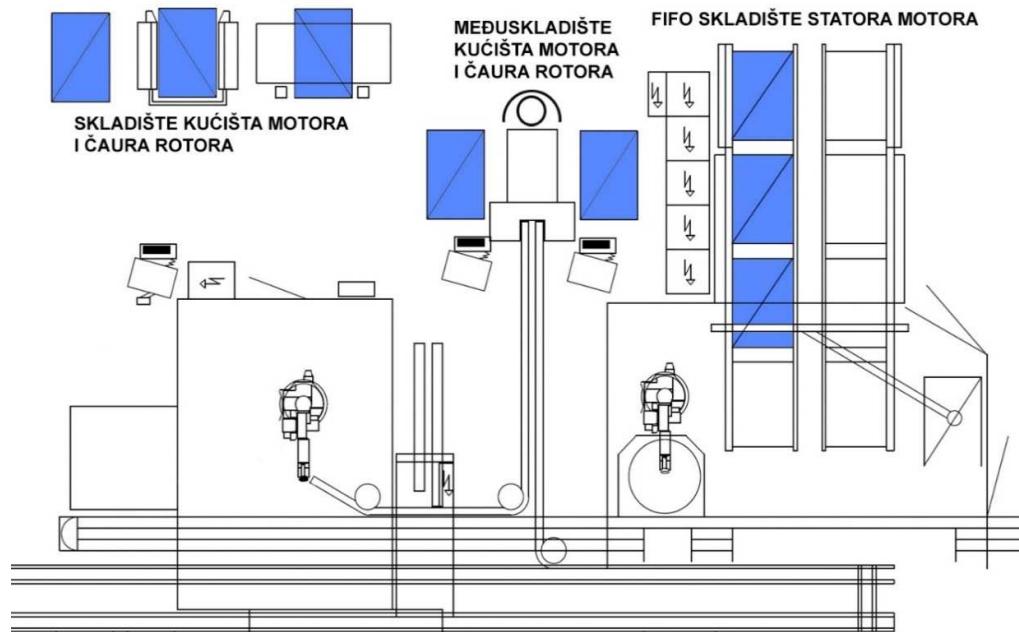
U skladu sa preporukama lean filozofije, primenjuje se dobavljački kanban, tako da svako pakovanje sadrži kanban nalepnici sa podacima o dobavljaču, materijalu i količini (slika 5.10.2). S obzirom na različite gabarite delova i sklopova, kapacitet standardizovanog pakovanja varira od nekoliko stotina do nekoliko hiljada komada po pakovanju.



Slika 5.10.2 Dobavljački kanban na standardizovanom pakovanju

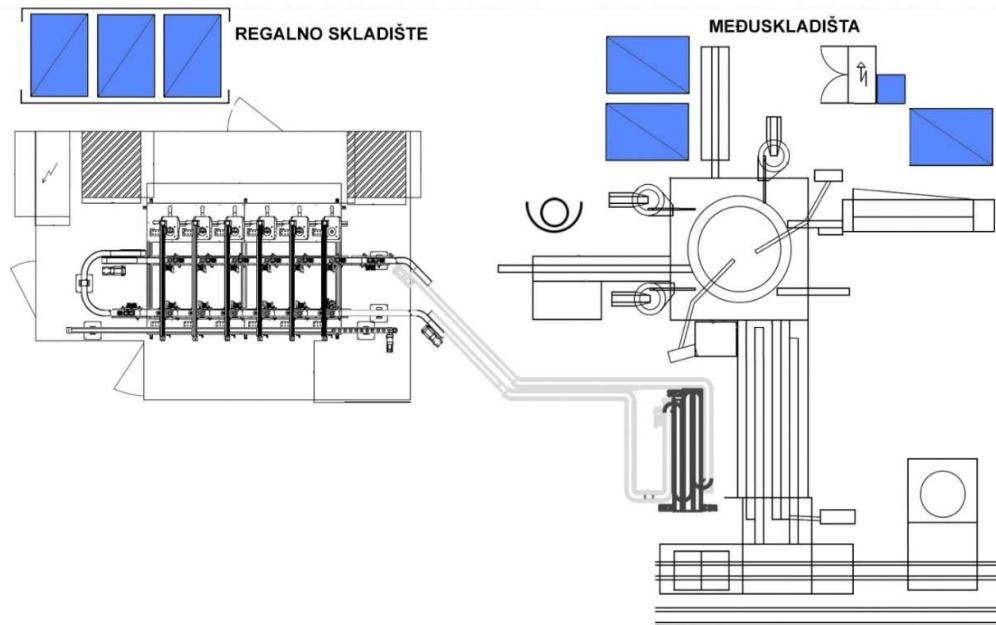
Radna ćelija za montažu statora u kućište motora prikazana je na slici 5.10.3. Na slići su plavom bojom obeležene lokacije skladišta. Kao što je prikazno, radna stanica za montažu statora u kućište motora sadrži protočno FIFO skladište statora motora kapaciteta tri standardna pakovanja. Pored navedenog, projektovano je i skladište kućišta motora i čaura rotora kapaciteta tri standardna pakovanja uz mogućnost proširenja na šest pakovanja vertikalnim skladištenjem. U okviru

radnog mesta za postavljanje kućišta motora i čaura rotora na pokretnu traku planirano je međuskladište za po jedno pakovanje navedenih delova.



Slika 5.10.3 Skladišta radne ćelije za montažu statora u kućište motora

Na slici 5.10.4 dat je šematski prikaz radne ćelije za montažu sklopa rotora sa pripadajućim skladištima. Sa slike se vidi da pored međuskladišta u okviru stanice za montažu rotora postoji i regalno skladište koje ima kapacitet od devet standardnih pakovanja. Imajući u vidu da sklop rotora sadrži relativno velik broj delova, potrebno je obezbediti adekvatano skladište sa dovoljnim brojem pozicija.



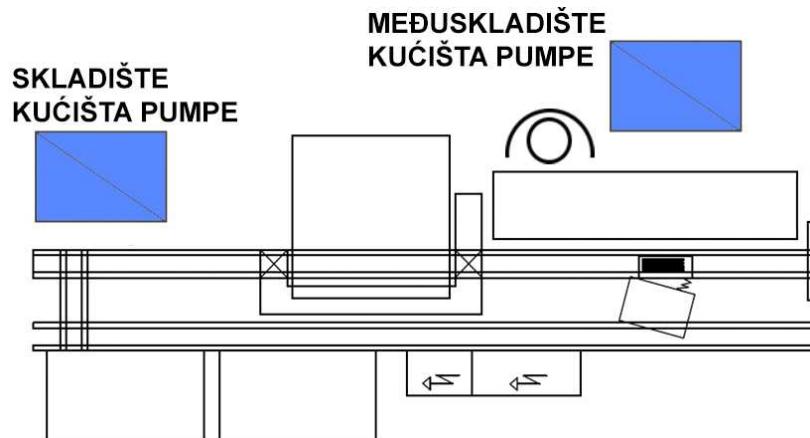
Slika 5.10.4 Skladišta radne ćelije za montažu sklopa rotora

Pojedini delovi se zbog svojih malih dimenzija u okviru standardnog pakovanja pakuju u manje kutije. Na *slici 5.10.5* prikazano je međuskladište sa pakovanjima distandnih čaura i radijalnih ležajeva. Navedene delove operater uzima iz standardnog pakovanja u regalnom skladištu prikazanom na *slici 5.10.4* i donosi do međuskladišta u okviru radnog mesta. Na ovaj način je značajno smanjena površina koju zauzima pomenuto međuskladište, s obzirom da su kutije prikazane na *slici 5.10.5* znatno manjih dimenzija u odnosu na standardno pakovanje. Snabdevanje stanica za postavljanje male i velike zaptivke je rešeno na isti način.



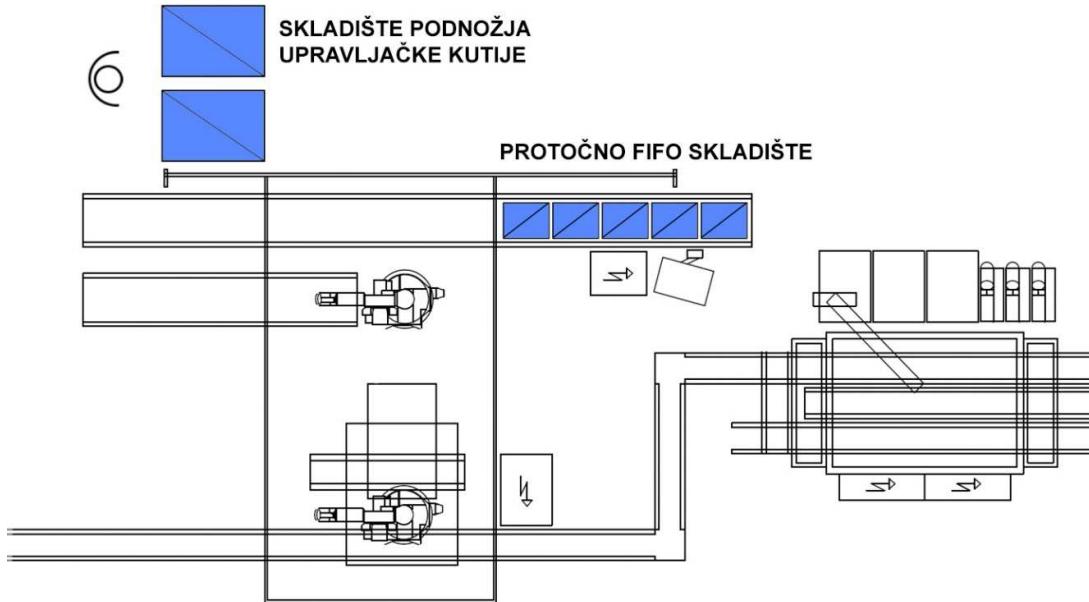
Slika 5.10.5 Pakovanja distandne čaure i aksijalnih ležajeva

Radno mesto za montažu kućišta cirkulacione pumpe poseduje dve lokacije za skladištenje (*slika 5.10.6*). Obe lokacije imaju isti kapacitet od jednog standardnog pakovanja. Skladište kućišta pumpe, osim pripreme materijala za nastavak proizvodnje, ima i ulogu izlaznog skladišta u koje operater odlaže standardno pakovanje sa delovima koji nisu utrošeni tokom prethodne proizvodnje.



Slika 5.10.6 Radno mesto za montažu kućišta pumpe sa pripadajućim skladištima

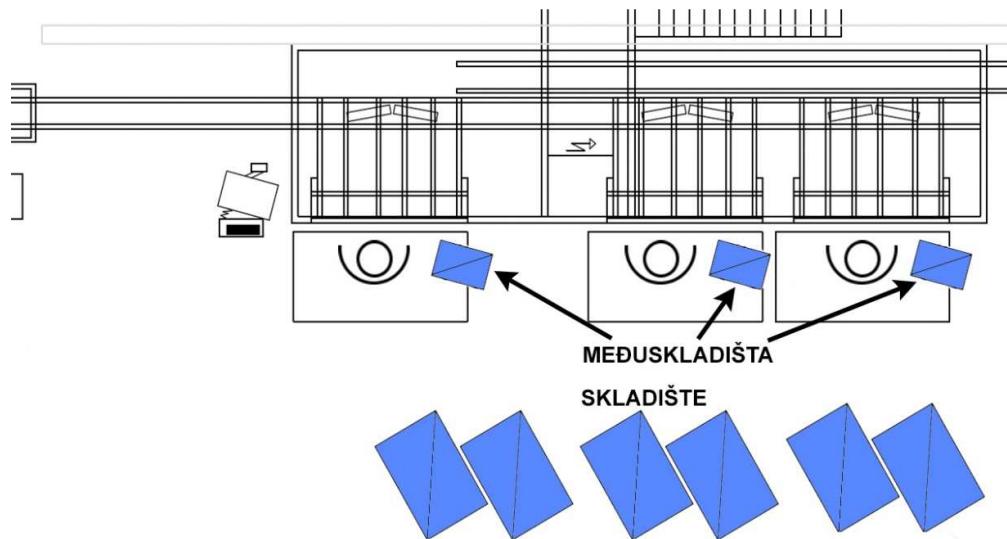
Radna ćelija za montažu podnožja upravljačke kutije raspolaže skladištem kapaciteta dva standardna pakovanja (slika 5.10.7). Podnožja upravljačke kutije operater pojedinačno izuzima iz standardnog pakovanja i postavlja na posebnu paletu. Popunjene palete, operater ulaže u protočno FIFO skladište, koje je u sastavu stanice za automatizovanu predmontažu podnožja upravljačke kutije. Pored navedenog, stanica za automatizovano uvrstanje vijaka opremljena je međuskladištem za vijke kapaciteta 2000 komada. Vijci se dopremaju u standardnom pakovanju raspoređeni u 16 manjih kutija.



Slika 5.10.7 Skladišta radne ćelije za montažu podnožja upravljačke kutije

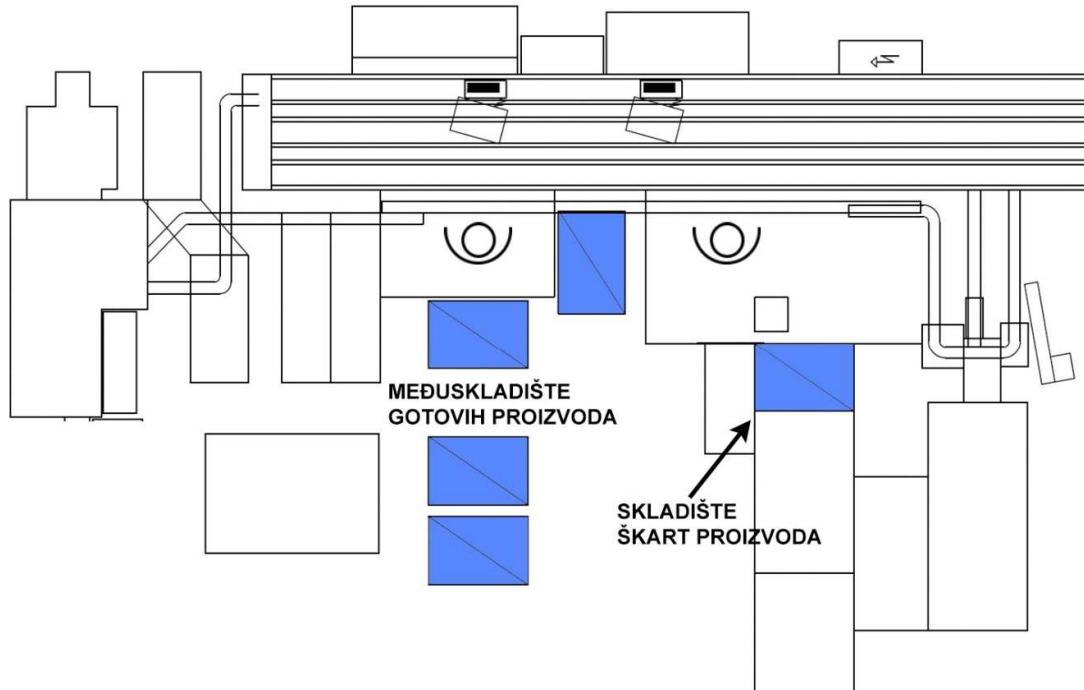
Na slici 5.10.8 prikazana je radna ćelija za montažu upravljačke kutije i električno testiranje cirkulacione pumpe. Radna ćelija raspolaže skladištem kapaciteta šest standardnih pakovanja. U navedeno skladište, dopremaju se odgovarajuće upravljačke kutije i kablovi potrebni za električno testiranje. Standardno pakovanje sadrži 28 paleta sa po 12 upravljačkih kutija. Kao što je

prikazano na *slici 5.10.8* sva tri radna mesta su opremljena međuskladištema za snabdovanje upravljačkim kutijama. U prikazana međuskladišta operatori postavljaju tri palete sa upravljačkim kutijama.



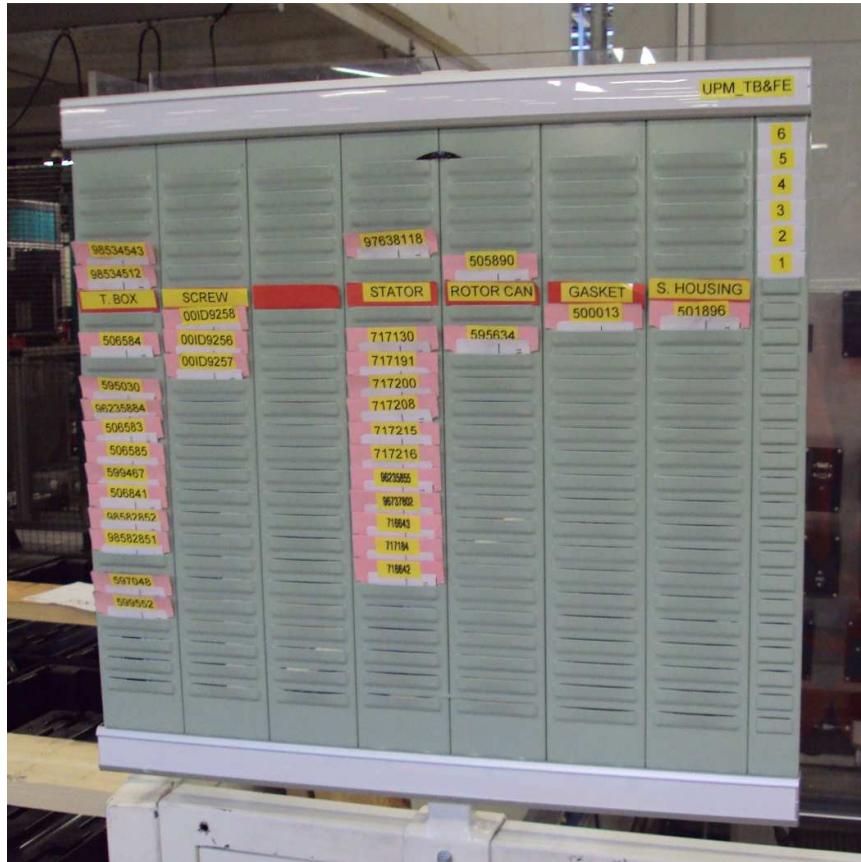
*Slika 5.10.8 Skladišta radne ćelije za montažu i testiranje upravljačke kutije*

Radna ćelija za pakovanje gotovih proizvoda opremljena je izlaznim međuskladištem kapaciteta četiri standardna pakovanja (*slika 5.10.9*). Pored navedenog, u okviru radne ćelije nalazi se i međuskladište za jedno standardno pakovanje u koje se odlažu škart proizvodi. Iz međuskladišta gotovih proizvoda, rukovalac materijalom pomoću viljuškara odnosi gotove proizvode u centralno regalno skladište.



*Slika 5.10.9 Radna ćelija za pakovanje gotovih proizvoda sa pripadajućim skladištima*

Na *slici 5.10.10* prikazana je jedna od tri kanban table implementirane u okviru sistema za montažu UPM2. Table su podeljene u kolone gde svaka kolona sadrži kanban kartice određenog dela. Svaka kartica u koloni odgovara određenoj varijanti dela. Postavljanjem kanban kartice u određeni red inicira se poručivanje dela čiji se podaci nalaze na kanban kartici. Kao što je prikazano na *slici 5.10.10* redovi za poručivanje su označeni brojevima od 1 do 6 čime je definisan broj standardnih pakovanja koje je potrebno dopremiti.



*Slika 5.10.10 Kanban tabla u okviru sistema za montažu UPM2*

Sistem poručivanja funkcioniše tako što operater, na osnovu trenutnih potreba, postavlja kanban karticu u određeni red za poručivanje. Rukovalac materijalom elektronskim uređajem očitava bar kôd sa kanban kartice i ručno unosi podatak o potrebnoj količini. Očitani podaci se bežičnim putem prenose do centralnog skladišta gde se na osnovu pristiglih podataka vrši priprema potrebnog materijala. Rukovalac materijalom preuzima pripremljeni materijal iz centralnog skladišta i na osnovu podataka sa transportne kanban kartice (koja se nalazi na svakom standardnom pakovanju) vrši isporuku do odgovarajuće radne ćelije. Nakon isporuke, rukovalac materijalom elektronskim uređajem očitava bar kôd sa transportne kanban kartice čime potvrđuje isporuku potrebnih delova.

Detaljnom analizom sistema za montažu UPM2, utvrđeno je da rukovalac materijalom nema jasno definisano uputstvo vezano za interval preuzimanja gotovih proizvoda, provere kanban tabli i isporuke delova. Zbog toga postoji

mogućnost da potreбni delovi ne budu isporučeni na vreme, odnosno da dođe do prekomernog skladištenja materijala u okviru radnih ćelija. Navedene situacije generišu gubitke koje je moguće izbeći unapređenjem postojećeg sistema snabdevanja. Ranije je pojašnjeno da pored kanban kartica, heijunka igra važnu ulogu u ujednačavanju kako proizvodnje tako i snabdevanja sistema za montažu.

Na *slici 5.10.11* ilustrovan je predlog modifikacije postojećeg sistema snabdevanja. Kao što je ranije rečeno, povlačenje u hodu predstavlja sistem u kom se rukovalac materijalom kreće definisanim putanjom u definisanim vremenskim intervalima. U konkretnom slučaju, interval povlačenja određuje poslednji segment procesa montaže odnosno radna ćelija za pakovanje gotovih proizvoda. Ako se u obzir uzme ranije definisani radni takt od 9,6 sekundi po komadu i prosečan broj od 160 gotovih proizvoda, koji može da stane u standardni nosač, tada je interval povlačenja:

$$9,6 \frac{s}{kom.} * 160 kom. = 1996,8 s = 25,6 min \quad (5.2)$$

Proračunata vrednost predstavlja interval povlačenja koji jasno definiše frekvenciju preuzimanja gotovih proizvoda, odnosno dostavljanja potrebnih delova. Kao što je prikazano na *slici 5.10.11* rukovalac materijalom se kreće jasno definisanim putanjom poštujući sledeće korake:

- Odnošenje gotovih proizvoda u supermarket centralnog skladišta;
- Preuzimanje ranije poručenih delova iz supermarketa;
- Odlazak do kanban table i očitavanje kanban kartica sa zahtevima za isporuku novih količina delova (elektronsko slanje podataka centralnom skladištu);
- Odnošenje ranije preuzetih delova do skladišta u okviru radne ćelije;
- Preuzimanje gotovih proizvoda iz radne ćelije za pakovanje i odnošenje u supermarket centralnog skladišta.

Ovako organizovan sistem jasno određuje putanju kojom se rukovalac materijalom kreće. Uz poštovanje prethodno definisanog intervala povlačenja, obezbeđuje se stabilan tok potrebnog materijala i gotovih proizvoda. Sa druge strane, stabilan tok informacija, obezbeđen ritmičnim preuzimanjem kanban kartica, ujednačava broj zahteva za isporuku delova iz centralnog skladišta.

Ako se uzme u obzir proračunati interval povlačenja od 25,6 minuta, moguće je odrediti potreban broj kanban karti za svako radno mesto na osnovu sledeće formule:

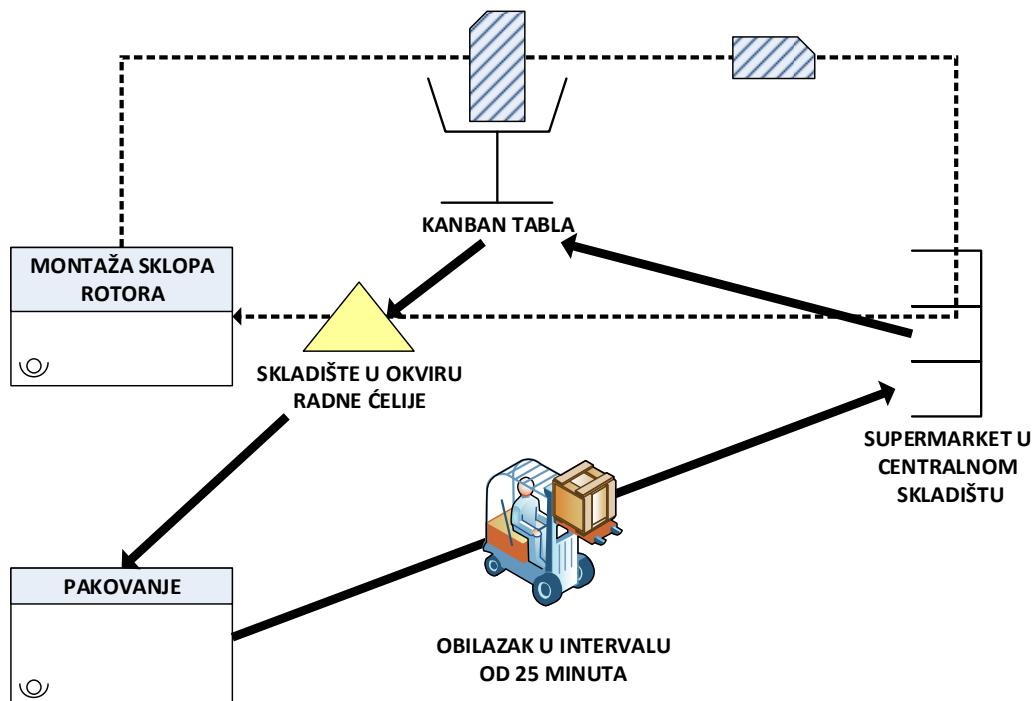
$$br. kanbana = \frac{potrebne količine \left[ \frac{kom.}{min} \right] * povlačenje[min] * (1 + x)}{kapacitet nosača [kom.]} \quad (5.3)$$

Gde je x sigurnosni faktor i definiše količinu sigurnosnih zaliha.

Primenom napred prikazane formule, na postojeći sistem za montažu, moguće je uočiti da pojedina radna mesta poseduju predimenzionisana skladišta.

Ova pojava uzrokovana je nepostojanjem definisanog intervala povlačenja, zbog čega je na svakom radnom mestu potrebno povećati sigurnosne zalihe.

Kako bi se predupredili pomenuti problemi, za potrebe projektovanja novog sistema za montažu primeniće se sistem snabdevanja prikazan na *slici 5.10.11*. Na bazi predloženog sistema snabdevanja proračunaće se potreban broj kanban karti. Na ovaj način je moguće obezbediti održavanje minimalnih zaliha uz stabilno snabdevanje.



Slika 5.10.11 Predlog organizacije sistema snabdevanja primenom heijunka tehnike

## 5.11 Projektovanje kompleksnog tehnoškog sistema

Na osnovu prethodne detaljne analize i projektovanja radnih mesta, određivanja njihovih kapaciteta, potrebnih skladišta i međuskladišta, obezbeđeni su uslovi za kreiranje kompleksnog tehnoškog sistema. U ovom koraku potrebno je definisati lokacije svih činilaca sistema za montažu pri čemu treba voditi računa o kretanju proizvoda kroz proces montaže, obezbediti adekvatne puteve za kretanje ljudi i transportnih sredstava, itd. Posebno je značajno poštovanje preporuka vizuelnog menadžmenta koje se odnose na implementaciju adekvatnih obeležja, znakova i informacionih tabli. U tom smislu, potrebno je jasno obeležiti transportne puteve i staze predviđene za kretanje ljudi, na pogodne lokacije postaviti informacione i kanban table. Osim toga, važno je obezbediti preglednost kako bi se što lakše sagledali svi segmenti sistema i omogućilo praćenje procesa montaže.

S obzirom da je posmatrani sistem za montažu u potpunosti formiran, u nastavku će biti proanalizirani svi njegovi važni segmenti uz davanje preporuka

vezanih za implementaciju pojedinih instrumenata lean-a i poboljšanje sistema. Pored navedenog, posebno će biti obrađeno kretanje proizvoda kroz proces montaže.

U trećem poglavlju je pojašnjen značaj vizuelnog menadžmenta i njegova povezanost sa drugim instrumentima lean filozofije. Na *slici 5.11.1* prikazana je staza za kretanje pešaka u okviru posmatranog sistema za montažu. U skladu sa bezbednosnim preporukama, pešačka staza je jasno i vidno obeležena. Pored navedenog, u skladu sa bezbednosnim propisima o potrebnoj zaštitnoj opremi, postavljeni su adekvatni znaci koji daju jasnu informaciju o potrebnim zaštitnim sredstvima u određenoj zoni (*slika 5.11.2*).



Slika 5.11.1 Obeležena staza za kretanje pešaka



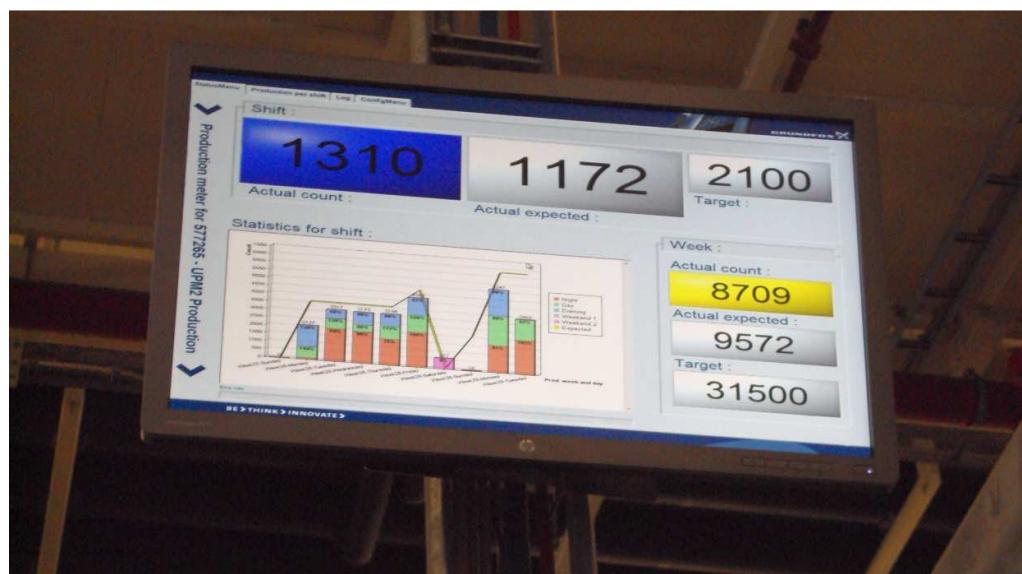
Slika 5.11.2 Obeležena zona obaveznog nošenja zaštitne obuće

Kao što je prikazano na *slici 5.11.3* u skladu sa preporukama 5S metode u vezi sa organizacijom radnog prostora, površine za odlaganje materijala, alata i pribora su adekvatno obeležene.



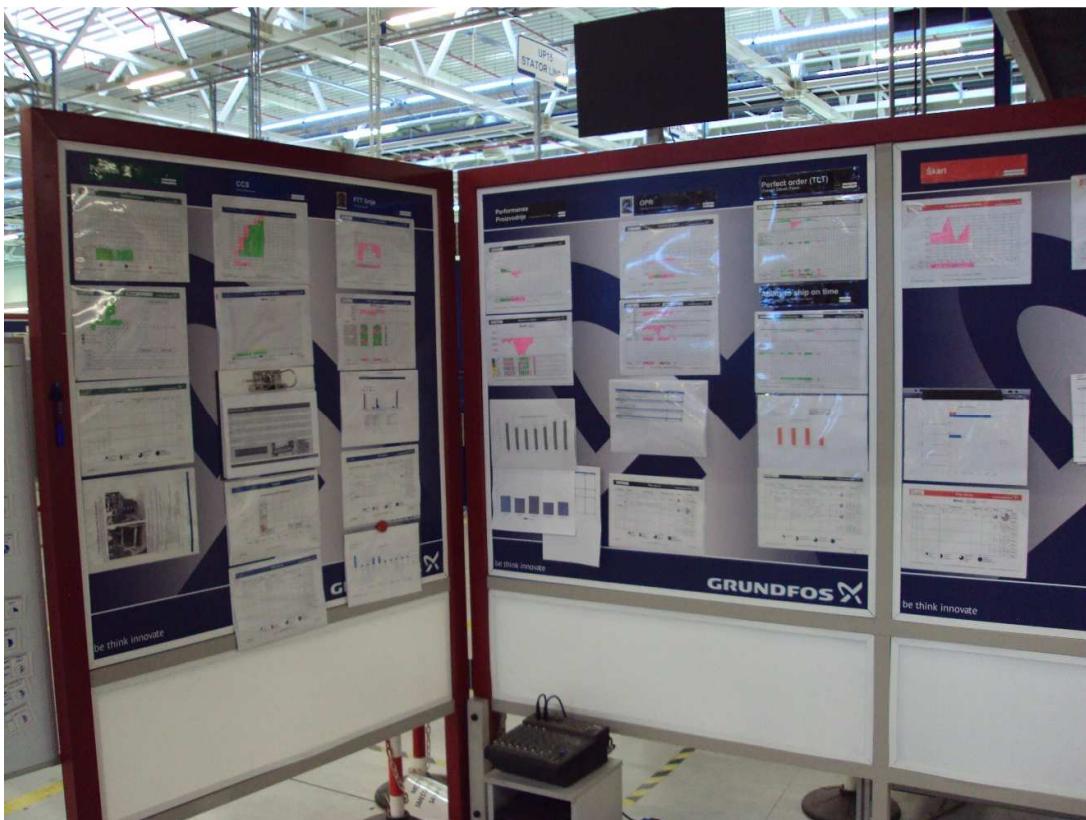
Slika 5.11.3 Obeležena površina za odlaganje materijala

Na *slici 5.11.4* prikazan je informacioni displej koji je deo sistema za montažu UPM2. Na displeju se ispisuju podaci o statusu proizvodnje u tekućoj smeni i tekućoj nedelji. Podaci se ažuriraju u realnom vremenu tako da je u svakom trenutku moguće videti ostvarenu i željenu proizvodnju.



Slika 5.11.4 Informacioni displej u okviru sistema za montažu UPM2

Jedan od važnih elemenata vizuelnog menadžmenta predstavljaju i informacione table za prikaz statusa pojedinih procesa i njihovih indikatora. Na slici 5.11.5 prikazan je deo informacione table koja se nalazi u okviru posmatranog sistema za montažu. Podaci, koji se nalaze na informacionoj tabli, daju detaljan opis sistema i obezbeđuju praćenje svih važnih parametara u pogledu ostvarene i željene proizvodnje, broj zastoj, nihovo trajanje i uzrok nastanka, itd. Osim toga, informaciona tabla daje uvid i u statuse pojedinih procesa vezanih za rešavanje uočenih problema kroz kaizen događaje. Važno je pomenuti i praćenje ključnih indikatora performansi sistema na dnevnom, nedeljnem i mesečnom nivou.



Slika 5.11.5 Deo informacione table sistema za montažu UPM2

Na slici 5.11.6 dat je šematski prikaz postojećeg stanja sistema za montažu cirkulacionih pumpi UPM2. Šematski prikaz obuhvata sve prethodno opisane radne ćelije sa pripadajućim skladištima i međuskladištima. Na slici su crvenom bojom obeležene transportne trake po kojima se proizvod kreće tokom procesa montaže, dok su plavom bojom obeležena skladišta i međuskladišta.

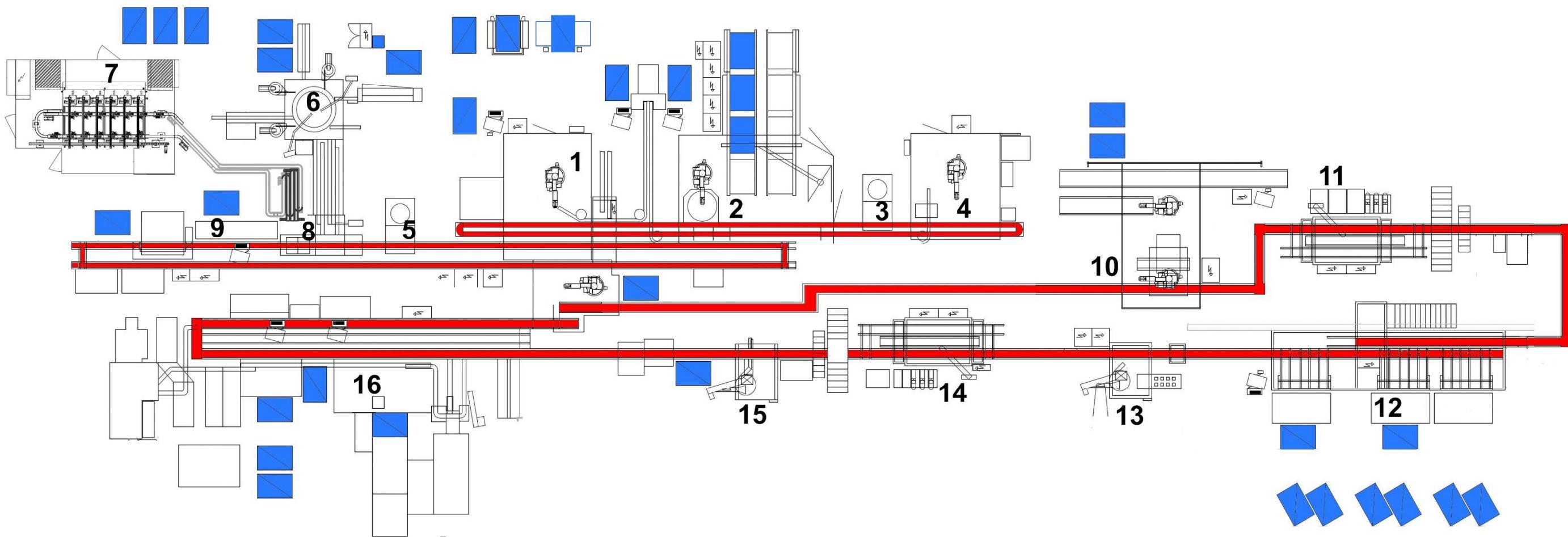
Ranije je pojašnjeno da pri kreiranju kompleksnog tehnološkog sistema posebnu pažnju treba obratiti na kretanje proizvoda kroz proces montaže. To podrazumeva grupisanje radnih mesta i kreiranje radnih ćelija koje će obezbediti što kraće transportne puteve, bez ukrštanja, tako da gubici koji nastaju usled kretanja proizvoda kroz proces budu minimalni. Pored navedenog, količinu proizvoda na čekanju (međuskladišta) treba svesti na minimum.

U okviru posmatranog sistema za montažu proizvod se kroz celokupan proces kreće pokretnim trakama. Kao što je prikazano na *slici 5.11.6* sistem za montažu sadrži četiri nezavisna segmenta pokretnih traka. Prebacivanje proizvoda sa jedne pokretne trake na drugu vrši se pomoću robotizovanih manipulatora. Pored transporta, pokretne trake kreiraju i sistem FIFO međuskladišta između pojedinih radnih mesta. Kapacitet pomenutih međuskladišta varira u zavisnosti od međusobne udaljenosti susednih radnih mesta. S obzirom da je sistem konfigurisan tako da radna mesta povezuje niz FIFO međuskladišta, u tom slučaju, davalac ritma (*eng. pacemaker*) predstavlja poslednje radno mesto u procesu. Kod posmatranog sistema za montažu poslednje radno mesto je pakovanje proizvoda, pa se ono proglašava davaocem ritma. Važno je napomenuti da davalac ritma gubi svoju funkciju ako postoji usko grlo u procesu, odnosno radno mesto čije je ciklusno vreme duže od ritma toka. Navedena situacija se može javiti kada je kapacitet radnog mesta manji od potrebnog, odnosno kada dođe do produženja ciklusnog vremena usled pojave gubitaka. Ovakvi problemi se mogu uočiti samo direktnim posmatranjem procesa montaže i kreiranjem mape toka vrednosti što predstavlja naredni korak razvijene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu.

Detaljnom analizom posmatranog sistema za montažu uočeni su veoma dugi transportni putevi između pojedinih radnih mesta. Dugi transportni putevi su posledica prostornog rasporeda radnih mesta, površine koje pojedina radna mesta zauzimaju, kao i geometrije prostora na kom se nalazi posmatrani sistem za montažu. Kao posledica pomenute pojave, javljaju se duga transportna vremena i formiranje predimenzionisanih FIFO međuskladišta između susednih radnih mesta. Primer predugovog transportnog puta i predimenzionisanog FIFO skladišta posebno je uočljiv između radne ćelije za montažu kućišta pumpe i stanice za postavljanje podnožja upravljačke kutije. U navedenom slučaju, transport proizvoda traje  $\sim 153$  sekunde, dok je kapacitet FIFO međuskladišta 55 komada proizvoda. Važno je napomenuti da u slučaju pojave zastoja na nekom od narednih radnih mesta, pored pomenutog transportnog vremena, pojavljuje se i vreme koje proizvod provede na čekanju u FIFO skladištu. Direktnim posmatranjem procesa montaže i merenjem vremena uočeno je da u slučaju zastoja i gomilanja proizvoda u pomenutom međuskladištu vreme transporta od radne ćelije za montažu kućišta pumpe do stanice za montažu podnožja upravljačke kutije može narasti i do 2500 sekundi. Sličan problem se javlja i u slučaju transporta od stanice za montažu podnožja upravljačke kutije do radne ćelije za montažu upravljačke kutije i električno testiranje. U pomenutom slučaju, u FIFO međuskladište može se smestiti 80 proizvoda, dok prosečno vreme transporta (bez čekanja) iznosi  $\sim 155$  sekundi.

- 1 - postavljanje kućišta motora na paletu
- 2 - utiskivanje statora u kućište motora
- 3 - postavljanje male zaptivke
- 4 - utiskivanje čaure rotora u stator
- 5 - postavljanje velike zaptivke
- 6 - montaža sklopa rotora
- 7 - magnetizacija jezgra rotora
- 8 - postavljanje sklopa rotora u kućište motora

- 9 - montaža kućišta pumpe
- 10 - predmontaža podnožja upravljačke kutije
- 11 - uvrtanje vijaka i pritezanje upravljačke kutije
- 12 - montaža upravljačke kutije i električno testiranje pumpe
- 13 - postavljanje poklopca upravljačke kutije
- 14 - uvrtanje vijaka i pritezanje upravljačke kutije
- 15 - utiskivanje natpisne pločice
- 16 - pakovanje gotovih proizvoda



Slika 5.11.6 Šematski prikaz sistema za montažu UPM2

Kao što je ranije pojašnjeno, studija slučaja obuhvata i projektovanje novog tehnološkog sistema. Razvoj novog sistema utemeljen je na prethodnim koracima razvijene metode u okviru kojih je izvršena analiza i projektovanje optimalnih segmenata sistema za montažu. Na osnovu ranije projektovanih novih radnih stanica, predloga vezanih za modifikaciju standardnih radnih procedura, proračunatog kapaciteta i optimizacije snabdevanja, projektovan je potpuno nov sistem za montažu. Važno je napomenuti da su pri projektovanju novog, uzete u obzir dimenzije postojećeg sistema, odnosno njegova ukupna dužina i širina. Na ovaj način, izbegнута је могућност projektovanja novog sistema koji fizički ne bi bilo moguće smestiti na dostupnu lokaciju.

Na *slici 5.11.7* prikazana je blok šema novog sistema za montažu cirkulacionih pumpi u okviru kog su implementirane ranije projektovane nove radne stanice. Kao što je prikazano, sistem sadrži dva segmenta pokretnih traka „O“ oblika. Sva radna mesta i stanice za automatizovanu montažu prostorno su raspoređeni tako da se obezbedi tok montaže sa minimalnim transportnim putevima i međuskladištim. Kao i u slučaju postojećeg sistema za montažu, najveće FIFO međuskladište nalazi se između radne ćelije za montažu kućišta pumpe i stanice za postavljanje podnožja upravljačke kutije. Navedeno međuskladište ima kapacitet za 19 proizvoda što je za 36 proizvoda manje u odnosu na postojeće međuskladište. Na osnovu brzine kretanja pokretnе trake proračunato je vreme transporta od 62 sekunde što je za 93 sekunde kraće u odnosu na trenutno stranje.

Skladišta i međuskladišta potrebnih delova pozicionirana su tako da se nalaze blizu odgovarajuće radne ćelije pri čemu su sva ulazna skladišta postavljena pored transportnog puta (transportni put obeležen zelenom bojom na *slici 5.11.7*). Pozicije skladišta su takve da se kretanje radnika i transport materijala do radnog mesta svodi na najmanju moguću meru. Blagovremeno snabdevanje potrebnim materijalom obezbeđeno je pomoću tri kanban table postavljene duž transportnog puta. Ovakva konfiguracija obezbeđuje primenu „milkrun“ metode gde rukovalac materijalom pri ostavljanju potrebnog materijala u odgovarajuća skladišta ujedno može preuzeti i nove zahteve na osnovu informacija sa kanban tabli.

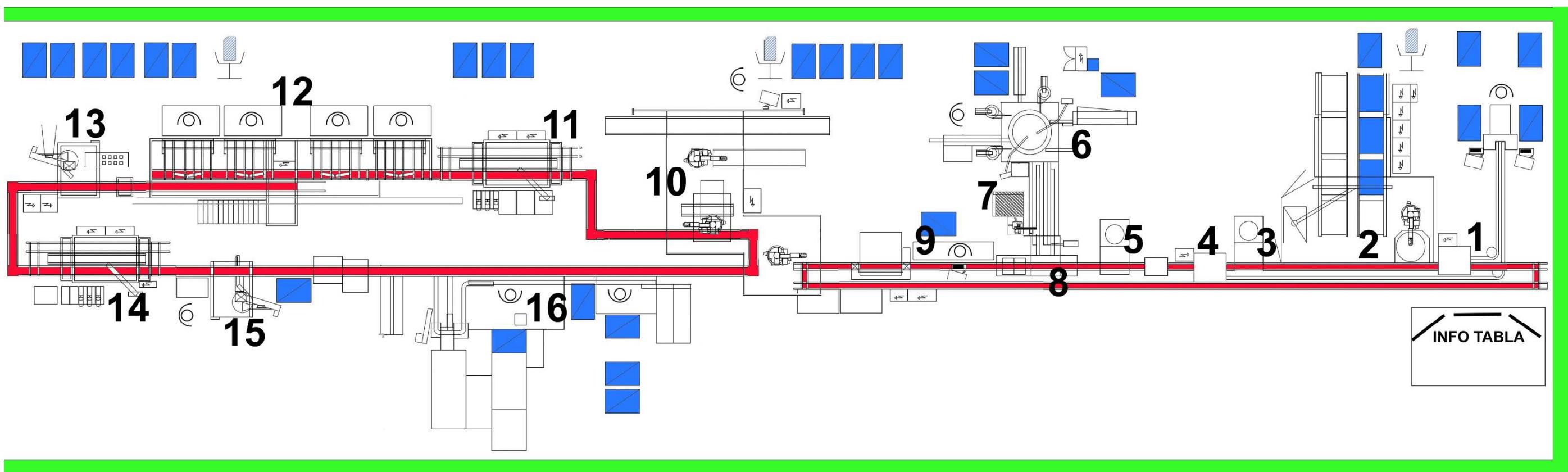
U skladu sa preporukama vizuelnog menadžmenta u okviru novog sistema za montažu, planirana je implementacija tri informaciona displeja u blizini pozicija kanban tabli, tako da svi učesnici u procesu mogu imati uvid u trenutne zahteve i realizovane količine. Pored navedenog, izdvojen je i prostor za postavljanje informacionih tabli gde bi se održavali timski sastanci, analizirale performanse sistema i planirale aktivnosti vezane za unapređenja i eliminaciju uočenih gubitaka. Prostorni raspored radnih ćelija unutar novog sistema olakšava praćenje procesa montaže. Svaka radna stanica opremljena je andon semaforom postavljenim na vidno mesto, tako da je omogućena blagovremena reakcija u slučaju pojave problema.

Analizom predloženog rešenja uočava se značajna ušteda prostora u poređenju sa postojećim sistemom, što je rezultat primene optimizovanih radnih stanica čiji su gabariti znatno manji u odnosu na postojeće. Pored navedenog,

optimalan raspored segmenata radnih ćelija obezbeđuje nesmetan pristup svim delovima sistema što kod postojećeg sistema nije slučaj.

Uzimajući u obzir prethodno navedene karakteristike novog sistema za montažu, jasno je da predloženo rešenje u velikoj meri umanjuje gubitke koji postoje u posmatranom sistemu. Tu se pre svega misli na količine proizvoda u procesu i gubitke koje generišu dugi transportni putevi. U narednom koraku, metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu biće kreirane mape toka vrednosti postojećeg i novog sistema za montažu. Mape toka vrednosti daće jasan uvid u protočno vreme i vreme procesiranja (dodavanja vrednosti) na osnovu kojih će se izvršiti poređenje karakteristika postojećeg i novog sistema za montažu.

- |   |   |
|---|---|
| 1 - postavljanje kućišta motora na paletu       | 9 - montaža kućišta pumpe                                     |
| 2 - utiskivanje statora u kućište motora        | 10 - predmontaža podnožja upravljačke kutije                  |
| 3 - postavljanje male zaptivke                  | 11 - uvrtanje vijaka i pritezanje upravljačke kutije          |
| 4 - utiskivanje čaure rotora u stator           | 12 - montaža upravljačke kutije i električno testiranje pumpe |
| 5 - postavljanje velike zaptivke                | 13 - postavljanje poklopca upravljačke kutije                 |
| 6 - montaža sklopa rotora                       | 14 - uvrtanje vijaka i pritezanje upravljačke kutije          |
| 7 - magnetizacija jezgra rotora                 | 15 - utiskivanje natpisne pločice                             |
| 8 - postavljanje sklopa rotora u kućište motora | 16 - pakovanje gotovih proizvoda                              |



Slika 5.11.7 Šematski prikaz novog sistema za montažu

## 5.12 Kreiranje mape toka vrednosti

Izrada mape toka vrednosti iziskuje prethodno upoznavanje sa procesom montaže i analizu svih činilaca posmatranog sistema. U tom smislu, važno je uočiti sve segmente koji dodaju, kao i one koji ne dodaju vrednost proizvodu. Posmatranjem kretanja proizvoda kroz proces montaže određuje se vreme tokom kog se proizvodu dodaje vrednost i utvrđuje se koja količina vremena se troši na aktivnosti koje ne dodaju vrednost (transport, čekanje, skladištenje, itd). Pored navedenog, potrebno je utvrditi tokove materijala i informacija kroz sistem za montažu.

U okviru prethodnih koraka metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu, izvršena je detaljna analiza svih činilaca posmatranog sistema. Na osnovu pomenute analize, određeni su svi elementi mape toka vrednosti. Tu se pre svega misli na pojedinačna radna mesta, radne celije, skladišta, međuskladišta, tokove materijala i informacija, itd. Direktnim posmatranjem toka montaže utvrđena su vremena trajanja svih zahvata montaže, odnosno ciklusna vremena svakog procesa. Pored navedenog, izmereno je i vreme koje protekne tokom transporta proizvoda kroz proces montaže, kao i vreme čekanja u međuskladištima.

Na osnovu prikupljenih podataka, kreirana je mapa toka vrednosti sistema za montažu UPM2 (*slika 5.12.1*). Kao što je prikazano, proizvodni procesi povezani su sistemom FIFO međuskladišta. Primetno je da kapaciteti međuskladišta znatno variraju što je pre svega uzrokovano konfiguracijom posmatranog sistema. Na mapi toka vrednosti uočljiva su duga vremena čekanja u zonama svih međuskladišta čiji kapacitet prelazi 30 jedinica proizvoda. Proračun protočnog vremena vrši se pomoću sledeće formule:

$$\text{protočno vreme} = \text{ciklusno vreme} * \text{br. proizvoda u procesu} \quad (5.4)$$

Kod proračuna protočnog vremena u obzir se uzima ciklusno vreme procesa koji je davalac ritma odnosno procesa čije je ciklusno vreme najduže (usko grlo). Broj proizvoda u procesu je ukupan broj proizvoda koji se nalazi unutar sistema za montažu. Obzirom da proces montaže upravljačke kutije i električno testiranje predstavlja usko grlo u posmatranom sistemu, njegovo ciklusno vreme će biti uzeto kao parametar za proračun protočnog vremena. Ukupan broj proizvoda koji može da se nađe u procesima i međuskladištima posmatranog sistema iznosi 320 komada. Na osnovu prikupljenih podataka dobija se protočno vreme:

$$\text{protočno vreme} = 10,7 \text{ s/kom.} * 320 \text{ kom.} = 3424 \text{ s} \approx 57 \text{ min} \quad (5.5)$$

Dugo protočno vreme rezultat je kombinacije dugih transportnih puteva i predimenzionisanih međuskladišta. S obzirom da se tokom navedenog vremena ne dodaje vrednost proizvodu, jasno je da ono predstavlja gubitak.

Ciklusna vremena svih radnih mesta daju ukupno vreme procesiranja od 67,1 sekundu. Proces montaže upravljačke kutije i električno testiranje predstavljaju usko grlo posmatranog sistema što neminovno uzrokuje akumulaciju proizvoda u međuskladišta prethodnih procesa.

U ranijoj fazi, tokom projektovanja skladišta i međuskladišta, izvršena je analiza postojećeg stanja čiji su parametri prikazani u mapi toka vrednosti (*slika 5.12.1*) Snabdevanje radnih celija vrši se kroz lokalna skladišta dok se potreban materijal poručuje postavljanjem kanban kartice na odgovarajuću kanban tablu. Kao što je prikazano, na mapi toka vrednosti, podaci sa kanban kartica se elektronskim putem šalju do centralnog skladišta gde se vrši priprema potrebnog materijala. U prethodnom koraku, gde su analizirana skladišta i međuskladišta, ukazano je na problem nepostojanja procedure snabdevanja. Kao što je prikazano na mapi toka vrednosti, ne postoji definisan interval provere kanban tabli, odnosno donošenja novih količina materijala. Kako u snabdevanju nije primenjena heijunka, može doći do nestasice delova, odnosno gomilanja zaliha u lokalnom skladištu čiji je kapacitet ograničen na manje količine. Poručivanje materijala od dobavljača, kao i prijem zahteva od kupaca, vrši se elektronskim putem. Dopremanje materijala do centralnog skladišta i odnošenje gotovih proizvoda vrši se na dnevnom nivou u zavisnosti od poručenih količina.

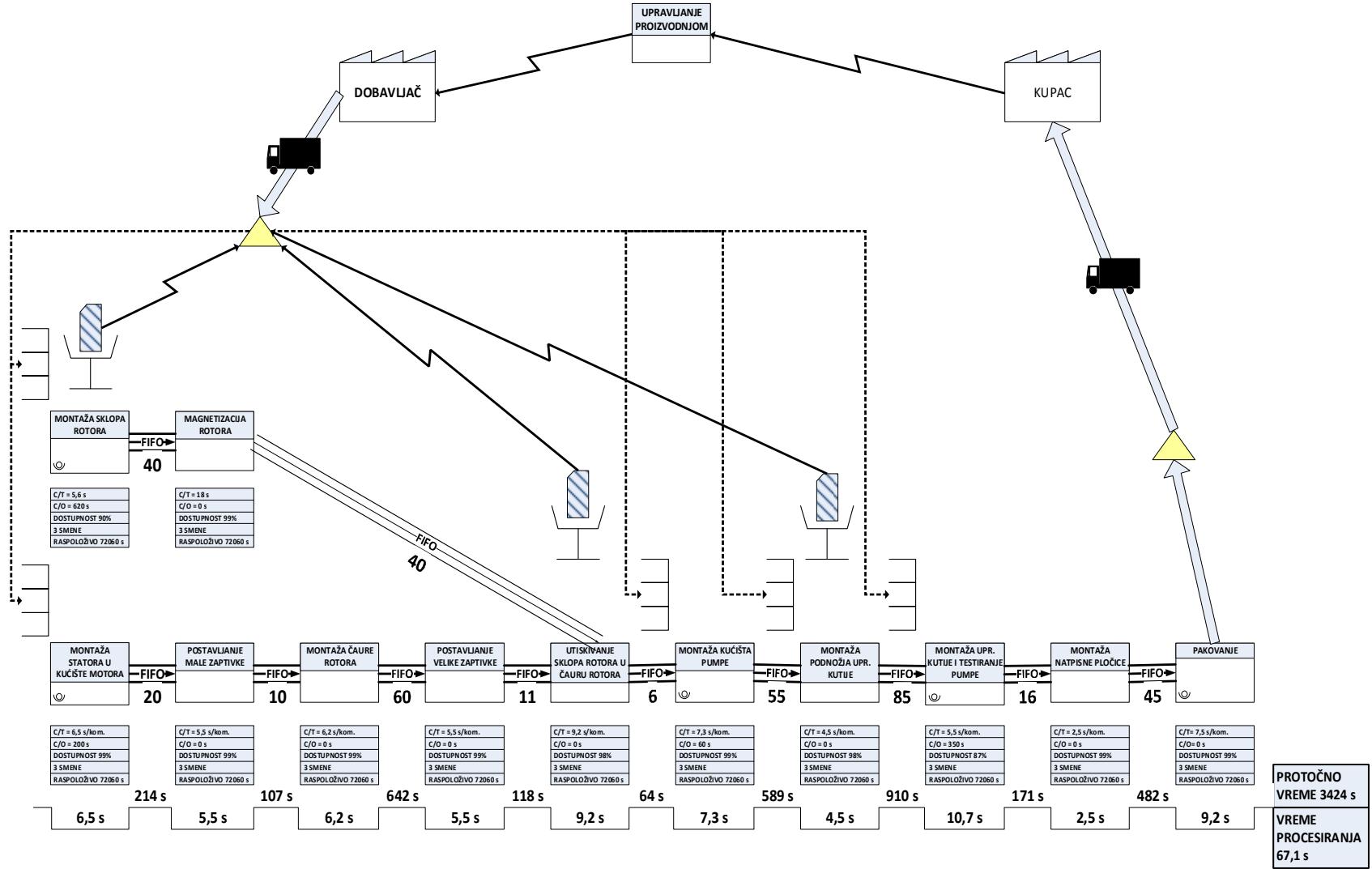
U prethodnom koraku metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu, projektovan je novi sistem. Kao što je ranije rečeno, novi sistem za montažu projektovan je na osnovu podataka dobijenih kroz sve prethodne korake metode za projektovanje i optimizaciju. Navedeni podaci iskorišćeni su za kreiranje mape toka vrednosti novog sistema za montažu (*slika 5.12.2*). Kao što je ranije pojašnjeno, novi sistem je konfigurisan tako da se susedni procesi nalaze blizu jedan drugom čime su transportni putevi i međuskladišta znatno redukovani. Na mapi toka vrednosti novog sistema (*slika 5.12.2*) uočljiva su znatno kraća transportna vremena i vremena čekanja u poređenju sa mapom toka postojećeg sistema za montažu (*Slika 5.12.1*). Pri analizi kapaciteta radnih mesta na osnovu cikluspog vremena ustanovljeno je da radna celija za montažu upravljačke kutije i električno testiranje zahteva četiri radna mesta umesto postojeća tri. Iz navedenog razloga, kod novog sistema za montažu pomenuta radna celija ne predstavlja usko grlo s obzirom da je cikluspno vreme od osam sekundi po komadu kraće od definisanog radnog takta (9,6 s/kom.). Imajući u vidu da su svi procesi povezani FIFO međuskladištima i da pakovanje, kao poslednji proces sistema, ima najduže cikluspno vreme ono se proglašava davaocem ritma. Ukupan broj proizvoda koji se može naći unutar procesa je 96 komada. Navedeni podaci daju protočno vreme:

$$\text{protočno vreme} = 9,2 \text{ s/kom.} * 96 = 883 \text{ s} \approx 15 \text{ min} \quad (5.6)$$

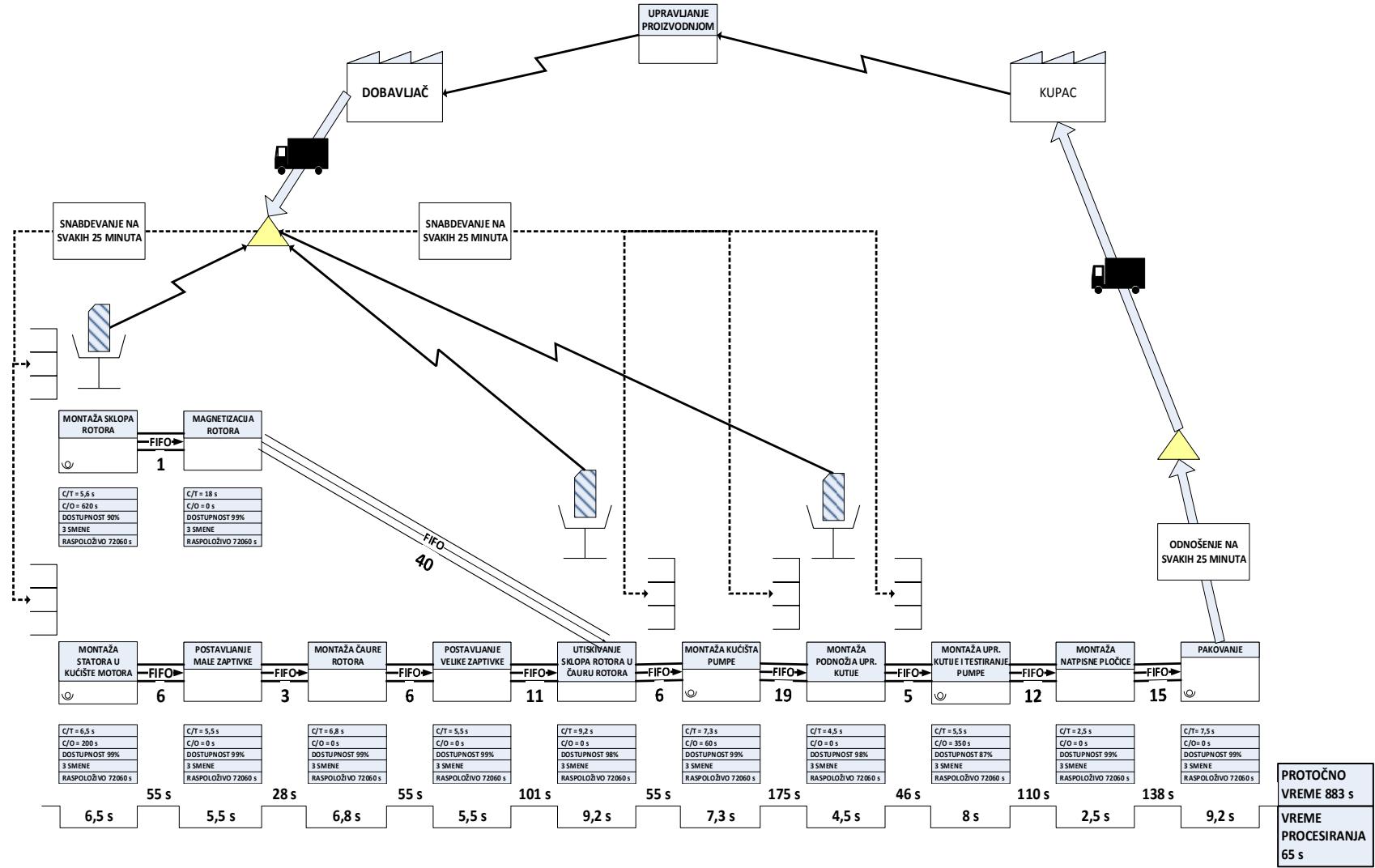
Proračunato protočno vreme je višestruko kraće u poređenju sa protočnim vremenom postojećeg sistema za montažu. Pored navedenog, broj proizvoda u procesu je značajno smanjen.

Snabdevanje lokalnih skladišta potrebnim materijalom bazira se na sistemu kanban kartica, koji je primenjen i kod postojećeg sistema. Osim toga, uvedena je i heijunka zajedno sa „milkrun“ metodom gde rukovalac materijalom opslužuje sistem u intervalu od 25 minuta. Na ovaj način obezbeđeno je stabilno snabdevanje radnih celija potrebnim materijalom uz blagovremeno odnošenje gotovih proizvoda u centralno skladište.

Slika 5.12.1 Mapa toka vrednosti sistema za montažu UPM2



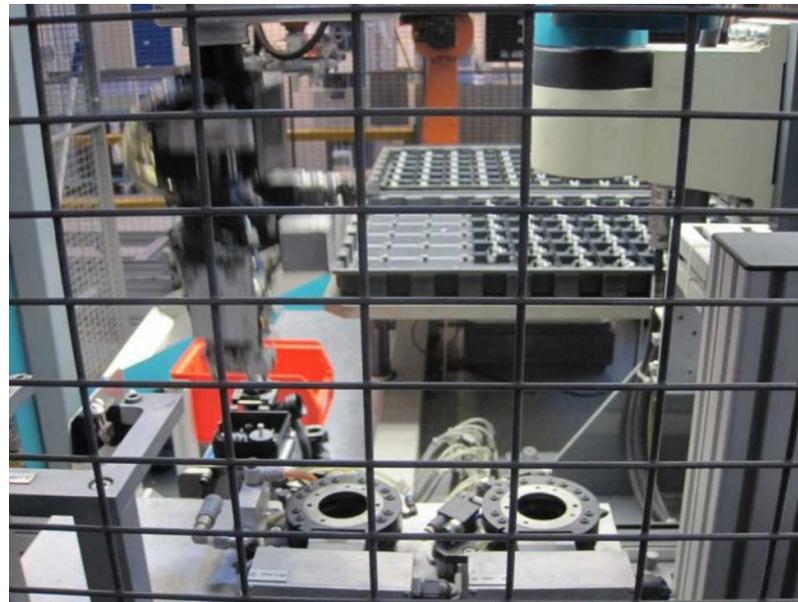
Slika 5.12.2 Mapa toka vrednosti novog sistema za montažu



### 5.13 Analiza sistema i detekcija gubitaka

U trećem poglavlju, definisano je sedam vrsta gubitaka koji se mogu pojaviti u proizvodnom sistemu. Mapa toka vrednosti daje osnovnu podlogu za analizu i uočavanje navedenih gubitaka. Detaljno proučavanje svih aktivnosti i zahvata koje one obuhvataju daje relevantne informacije o tome gde se dodaje vrednost proizvodu, a gde se generišu gubici. Gemba šetnja, jedan od osnovnih elemenata kaizen-a, predstavlja polaznu osnovu za izvršenje aktivnosti ovog koraka metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu. U nastavku će biti predstavljena analiza uočenih gubitaka uz davanje predloga za njihovu eliminaciju.

Posmatranjem aktivnosti koje se odvijaju u okviru radne ćelije za montažu podnožja upravljačke kutije uočava se niz zahvata koji utiču na povećano angažovanje operatera, a koji obesmišljavaju upotrebu automatizovanog sistema za montažu podnožja upravljačke kutije (*slika 5.13.1*). S obzirom da se podnožja upravljačke kutije dopremaju do radnog mesta u grupnom pakovanju u rasutom stanju, operater mora svaki deo posebno vizuelno da proveri i utvrdi da li je u pitanju odgovarajući tip podnožja i da li ima oštećenja, a potom da ga pravilno orijentiše i postavi na paletu (*slika 5.13.2*). Sa druge strane, robotizovani manipulator izvodi niz zahvata kako bi izvršio predmontažu podnožja na kućište motora. Kao što je prikazano u mapi toka vrednosti, ciklusno vreme radne ćelije za predmontažu podnožja upravljačke kutije iznosi 4,5 s/kom. Navedeno ciklusno vreme je znatno kraće od definisanog radnog takta (9,6 s/kom.) iz čega proizilazi da radna ćelija za predmontažu upravljačke kutije značajnu količinu vremena provede u čekanju. Pored navedenog, robotizovani manipulatori za predmontažu podnožja upravljačke kutije i izuzimanje paleta, zajedno sa FIFO skladишtem za palete, zauzimaju značajan prostor. Ako se uzmu u obzir sve pomenute činjenice, jasno je da ovakvo rešenje nije u skladu sa principima lean filozofije. Za prevazilaženje navedenih problema moguće je primeniti dva rešenja. Imajući u vidu da se proizvodnja podnožja upravljačke kutije vrši na automatizovanoj mašini koja je opremljena robotizovanim manipulatorom, moguće je obezbediti da dobavljač isporučuje delove pravilno postavljene na paletu. U navedenom slučaju, operater bi bio oslobođen aktivnosti vezanih za vizuelnu kontrolu i postavljanje upravljačkih kutija na paletu. Drugo rešenje podrazumeva ručnu predmontažu podnožja upravljačke kutije. U navedenoj situaciji, delovi se dopremaju do radnog mesta u rasutom stanju gde operater uzima jedan deo, vrši vizuelnu kontrolu i potom predmontažu. Vreme trajanja svih pomenutih aktivnosti je oko osam sekundi što je kraće od definisanog radnog takta.



Slika 5.13.1 Automatizovana montaža upravljačke kutije



Slika 5.13.2 Paleta sa proverenim i pravilno orijentisanim podnožjima upravljačke kutije

Posebno su uočljivi gubici u zoni između stanice za montažu podnožja upravljačke kutije i radne ćelije za montažu upravljačke kutije i električno testiranje. Veliki kapacitet FIFO skladišta u kombinaciji sa dugim ciklusnim vremenom radne ćelije za montažu upravljačke kutije i električno testiranje uzrokuju duga vremena čekanja nedovršenih proizvoda. Posmatranjem rada ćelije za montažu upravljačke kutije i električno testiranje, ustanovljeno je da dugo ciklusno vreme uzrokuju dodatna vremena koja se pojavljuju kao posledica lošeg

izvršenja pojedinih zahvata. Nakon ručne montaže upravljačke kutije i kabla za električno testiranje, cirkulaciona pumpa se uvodi u uređaj za električno testiranje. Zahvate dovođenja, pozicioniranja i stezanja većinom izvršavaju mehanizmi pogonjeni pneumatskim aktuatorima. Tokom normalnog rada dešava se da neki od automatizovanih zahvata nije pravilno izvršen što uzrokuje zaglavljivanje proizvoda i prekid procesa. Tada operater mora ručno da koriguje poziciju palete ili proizvoda što generiše dodatna vremena. U navedenoj situaciji, između ostalog, pogodno je koristiti „5 zašto“ metodu kako bi se otkrio uzrok nastanka problema. U nastavku, dat je primer primene „5 zašto metode“ na navedenom problemu:

- **Zašto** je došlo do produženja ciklusnog vremena u radnoj ćeliji za montažu upravljačke kutije i električno testiranje? Zato što se produžilo ciklusno vreme uređaja za električno testiranje.
- **Zašto** je došlo do produženja ciklusnog vremena uređaja za električno testiranje? Zato što se zaglavio mehanizam za uvođenje pumpe u uređaj za električno testiranje.
- **Zašto** se zaglavio mehanizam za uvođenje pumpe u uređaj za električno testiranje? Zbog loše pozicije adaptera sa električnim priključcima.
- **Zašto** je pozicija adaptera sa električnim priključcima loša? Zbog lošeg prihvata adaptera sa električnim priključcima.
- **Zašto** je prihvatz adaptera sa električnim priključcima loš? Zato što u osnovi nije predviđen za prihvatz te vrste adaptera sa električnim priključcima.

Primenom „5 zašto“ metode, zaključuje se da nestabilan rad uređaja za električno testiranje, pre svega, uzrokuje velika varijantnost cirkulacionih pumpi. U originalnoj verziji, uređaj je bio predviđen za električno testiranje svega nekoliko varijanti cirkulacionih pumpi. Kako je rasla varijantnost proizvoda, tako se javljala potreba za modifikacijom uređaja za električno testiranje. Osnovni uzrok pojave problema je tehničko rešenje uređaja za električno testiranje koje nije pogodno za postojeći broj varijanti cirkulacionih pumpi. Veliki broj varijanti zahteva mnoštvo različitih električnih adaptera. Na *slici 5.13.3* prikazana je polica sa električnim adapterima koji se trenutno koriste.

Prevazilaženje problema uređaja za električno testiranje zahteva korenite promene postojećeg rešenja (kaikaku). Na osnovu stečenog iskustva sa postojećim uređajima, poželjno je organizovati kaizen radionicu gde bi se sakupile sve ideje i sugestije vezane za modernizaciju procesa električnog testiranja. Očekivani krajnji rezultat je projektovanje nove stanice za električno testiranje koja će biti u stanju da podrži testiranje potrebnog broja varijanti cirkulacionih pumpi.



Slika 5.13.3 Polica sa električnim adapterima

Sumiranjem svih napred pomenutih gubitaka, kao i problema uočenih u prethodnim koracima metode za projektovanje i optimizaciju (radne ćelije, transport, međuskladišta, itd.), kreirana je mapa toka vrednosti sa obeleženim zonama u kojima je potrebno što pre primeniti kaizen (*slika 5.13.3*). Poboljšanja se odnose na sledeće:

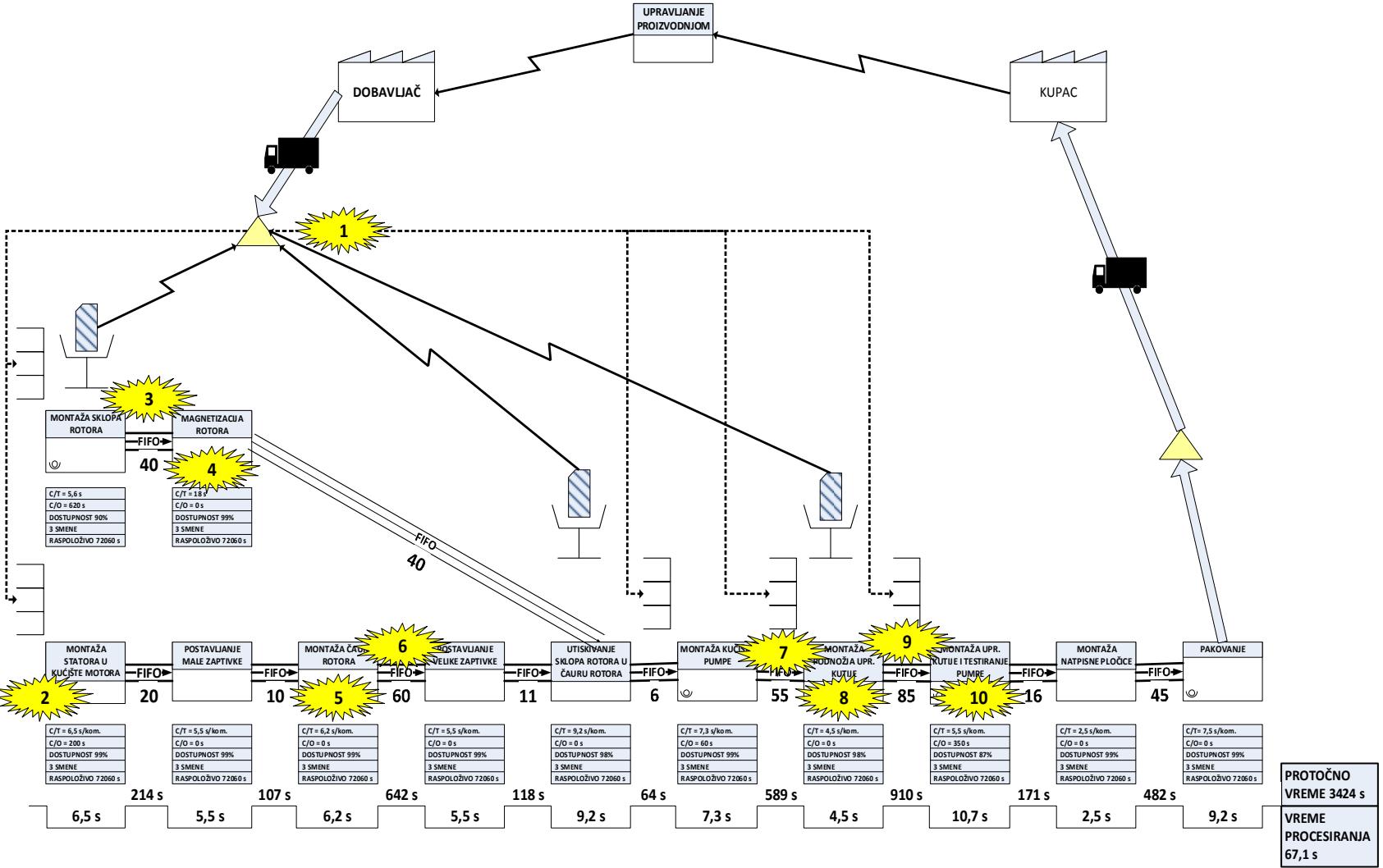
- 1) **Uvođenje procedure za snabdevanje radnih mesta.** Uzimajući u obzir postojeće procedure proizvodnog sistema i preporuke date primenom metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu.
- 2) **Optimizacija stanice za postavljanje kućišta motora na paletu.** Moguće je ostvariti značajne prostorne uštede i ujedno smanjiti međuskladište. Takođe, jednostavnije rešenje će povoljno uticati i na smanjenje aktivnosti vezanih za održavanje sistema.
- 3) **Redukcija FIFO skladišta između stanice za montažu sklopa rotora i uređaja za magnetizaciju.** Optimizacijom sistema pokretnih traka moguće je značajno smanjiti kapacitet FIFO međuskladišta i skratiti transportno vreme ka narednom radnom mestu.
- 4) **Optimizacija broja uređaja za magnetizaciju jezgra rotora.** S obzirom da proces magnetizacije traje kraće od definisanog radnog takta, moguće je redukovati broj uređaja za magnetizaciju i na taj način smanjiti površinu radne stanice i kapacitet FIFO skladišta. U idealnom slučaju, primenom jednog uređaja za magnetizaciju moguće je potpuno eliminisati FIFO skladište, kao i postojeći sistem manipulatora.

- 5) **Optimizacija stanice za postavljanje čaure rotora.** Modifikacijom navedene radne stanice, moguće je značajno uprostiti sistem postavljanja čaure rotora na kućište motora. Pored navedenog, znatno bi se smanjila i zauzeta površina čime bi se otvorio prostor za redukciju kapaciteta FIFO međuskladišta.
- 6) **Redukcija FIFO međuskladišta između stanice za montažu čaure rotora i postavljanje velike zaptivke.** Redukcijom kapaciteta pomenutog međuskladišta značajno bi se smanjilo protočno vreme što je jedan od ključnih parametara sistema za montažu.
- 7) **Redukcija FIFO međuskladišta između stanice za montažu kućišta pumpe i podnožja upravljačke kutije.** Kao i u prethodnom slučaju, ostvario bi se pozitivan uticaj na protočno vreme i broj proizvoda na čekanju.
- 8) **Montaža podnožja upravljačke kutije.** Potrebno je razmotriti mogućnosti za prevazilaženje gubitaka koji se generišu. Dopremanje unapred složenih podnožja oslobađa operatera nepotrebnih aktivnosti. Sa druge strane, ručna montaža podnožja upravljačke kutije oslobađa značajnu površinu i pozitivno utiče na redukciju kapaciteta FIFO međuskladišta.
- 9) **Redukcija FIFO međuskladišta između stanice za montažu podnožja i stanice za montažu upravljačke kutije.** S obzirom da je u pitanju međuskladište sa najvećim kapacitetom, njegova optimizacija može dati i najznačajnije rezultate u pogledu smanjenja broja proizvoda na čekanju i redukciji protočnog vremena.
- 10) **Poboljšanje uređaja za električno testiranje cirkulacione pumpe.** Kako je u pitanju proces koji traje duže od definisanog radnog takta, od ključne je važnosti izvršiti njegovo poboljšanje kako bi se dodatna vremena svela na minimum. Optimizacijom procesa električnog testiranja prevazišao bi se problem uskog grla koji se javlja na navedenoj poziciji.

Sve kaizen zone prikazane na mapi toka vrednosti (*slika 5.13.4*) potrebno je temeljno i postupno proanalizirati. Kako bi se izvršila transformacija sistema za montažu, iz trenutnog u projektovano buduće stanje, potrebno je isplanirati niz pojedinačnih akcija koje će uticati na poboljšanje sistema. Tokom planiranja, važno je obratiti pažnju na svaki korak, a akcije koncipirati tako da odgovaraju realnim ciljevima i vremenskim okvirima za njihovo ostvarivanje. Pre primene bilo kakvog unapređenja, važno je izvršiti testiranja i eventualne korekcije predloženog rešenja, kao što to nalaže PDCA metoda.

Novi sistem za montažu, koji je projektovan paralelno sa analizom postojećeg, može poslužiti kao primer koji prikazuje buduće stanje posmatranog sistema za montažu. Imajući u vidu da je novi sistem projektovan u saglasnosti sa lean principima, njegova mapa toka vrednosti može se iskoristiti kao mapa budućeg stanja sistema za montažu UPM2.

Slika 5.13.4 Mapa toka vrednosti sistema za montažu UPM2 sa kaizen obeležjima



## 6 Zaključak

U okviru disertacije, analizirani su postojeći instrumenti lean koncepta i njihov uticaj na razvoj i optimizaciju sistema za montažu. Na osnovu pomenute analize i istraživanja aktuelnog stanja u oblasti, izvršena je selekcija instrumenata lean-a koji su implementirani u okviru metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu zasnovanih na lean konceptu. Verifikacija razvijene metode realizovana je na studiji slučaja optimizacije sistema za montažu cirkulacionih pumpi. Pored optimizacije postojećeg sistema, paralelno je izvršeno i projektovanje potpuno novih segmenata (radna mesta, radne ćelije, skladišta, međuskladišta, itd.) na osnovu kojih je projektovan novi sistem za montažu cirkulacionih pumpi.

Tokom projektovanja novog ili optimizacije postojećeg sistema za montažu, važno je obezbediti sistematičan pristup rešenju problema. Samo jasno definisana vrednost (proizvod) može dati dobru polaznu osnovu za razvoj i unapređenje sistema. Predložena metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu, u svojim prvim koracima, zahteva detaljnu analizu proizvoda odnosno jasno definisanje vrednosti. Ovakvim pristupom, već na samom početku projektovanja ili optimizacije sistema za montažu, kreira se potrebna osnova na kojoj se temelje svi ostali koraci predložene metode. Postoji mogućnost da QFD analiza pokaže da postoji potreba za unapređenjem proizvoda odnosno redefinisanjem vrednosti. U navedenom slučaju, struktura predložene metode ne dozvoljava projektovanje odnosno unapređenje sistema za montažu čiji krajnji proizvod ne zadovoljava potrebe kupca. Na ovaj način je moguće u ranoj fazi uočiti nedostatke proizvoda i blagovremeno reagovati. Pored navedenog, izbegava se trošenje resursa na unapređenje segmenata sistema za montažu za kojima može prestati potreba nakon modifikacije proizvoda. Upravo ova osobina predloženu metodu za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu čini jedinstvenom.

Analiza, projektovanje i optimizacija elemenata sistema, iziskuju primenu adekvatnih instrumenata lean-a. Metodologija primene i implementacije instrumenata lean-a direktno utiče na njihovu efektivnost. Svaki korak projektovanja i optimizacije sistema za montažu oslanja se na skup odgovarajućih instrumenata lean-a. Bez obzira na fazu projektovanja, odnosno optimizacije sistema za montažu, važno je uočiti da se svi instrumenti lean-a uvek fokusiraju na vrednost. Ovakav pristup rezultuje kreiranjem elemenata sistema koji pre svega teže dodavanju vrednosti, a ne prostom izvršenju određene funkcije. Istraživanje aktuelnog stanja u oblasti pokazalo je da se mnogi predloži za implementaciju lean koncepta fokusiraju na davaoce funkcija (maštine, alate, itd.). Na ovaj način moguće je ostvariti lokalna poboljšanja, ali se veoma često dešava da su uloženi resursi u funkciju koja u suštini ne dodaje vrednost proizvodu. Razvijena metoda za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu svoje korake temelji na vrednosti, a sve funkcije i davaoci funkcija, potrebni za kreiranje vrednosti, detaljno se analiziraju i projektuju primenom adekvatnih instrumenata lean-a.

Praktična primena razvijene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu pokazala je da postoji dobra struktura koja adekvatno grupiše

odgovarajuće instrumente lean koncepta. Svaki korak predložene metode čini jedinstvenu celinu koja se fokusira na određene elemente sistema za montažu pri čemu se uvek vodi računa o kreiranju vrednosti. U svakom koraku, sadržan je jasno definisan skup instrumenata lean-a čime se u potpunosti otklanjaju nedoumice vezane za primenu adekvatnih alata i metoda u različitim segmentima sistema za montažu. U odnosu na postojeće metode za implementaciju lean-a, koje se uglavnom oslanjaju na poznate instrumente lean-a, predložena metoda obuhvata elementarnu analizu proizvoda i zahvata montaže (mrežni dijagram, struktura sastavnica i karta toka montaže). Na ovaj način stvorena je dobra podloga za implementaciju lean filozofije u najniže nivoe sistema za montažu što u velikom broju slučajeva izostaje.

Studija slučaja pokazuje da je primenom razvijene metode moguće veoma efikasno locirati izvore gubitaka. Pored navedenog, svaki korak obuhvata set odgovarajućih instrumenata lean-a koje je potrebno primeniti kako bi se gubici eliminisali. Poređenjem segmenata postojećeg sistema za montažu, sa segmentima projektovanim pomoću razvijene metode, uočavaju se značajna poboljšanja (jednostavnije radne stanice, kraći transportni putevi, optimizovana međuskladišta, itd.). Projektovanje novih radnih stanica ukazuje na mogućnost postizanja višestrukih poboljšanja. Adekvatna kombinacija pomoćnih i osnovnih zahvata montaže kreira kompaktnu celinu tako da nove radne stanice imaju kraća ciklusna vremena, zauzimaju manje prostora i predstavljaju jednostavnija rešenja od postojećih. Sve navedene osobine su u skladu sa principima lean filozofije. Mapa toka vrednosti novog sistema za montažu pokazuje višestruko bolje performanse u odnosu na postojeći sistem što dodatno potvrđuje valjanost predložene metode.

Važno je napomenuti da razvijena metoda zahteva stalnu analizu sistema i detekciju gubitaka koje je potrebno eliminisati kroz kaizen događaje i kaikaku. Ovakav pristup obezbeđuje održavanje maksimalnih performansi sistema odnosno efikasno kreiranje vrednosti.

Prethodno istraživanje, realizovano u okviru doktorske disertacije, potvrđuje hipotezu o potrebi razvoja jedinstvene metode za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu zasnovanih na lean konceptu. Postojeće metode obuhvaćene analizom aktuelnog stanja u oblasti fokusiraju se samo na pojedine instrumente lean filozofije pri čemu ni jedna nije suštinski prilagođena optimizaciji sistema za montažu. U prilog postavljenoj hipotezi ide i činjenica da ni jedno predloženo rešenje ne daje mogućnost projektovanja potpuno novog sistema za montažu koji bi bio zasnovan na postulatima lean filozofije.

Realizacijom studije slučaja potvrđena je druga hipoteza koja kaže da je primenom razvijene metode moguće optimizovati postojeći, odnosno projektovati novi sistem za montažu tako da se aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu, potrebne površine i angažovanje potrebnih resursa (tehničkih i ljudskih) svedu na najmanju meru. Postupnim prolaskom kroz sve korake razvijene metode analiziraju se svi činioци sistema za montažu. Predložena rešenja jasno ukazuju na mogućnost eliminacije značajnih gubitaka u okviru: pojedinačnih radnih mesta,

potrebnog prostora, sistema snabdevanja, količine proizvoda u procesu, itd. Značajno je naglasiti da je pomoću predložene metode moguće projektovati i potpuno novi sistem za montažu poštujući najvažnije postulate lean koncepta. Rezultati studije slučaja pokazuju značajne razlike između postojećeg i novog sistema za montažu, projektovanog pomoću razvijene metode. Kod novog sistema za montažu uočljiva je značajna ušteda u prostoru pri čemu je ostvarena mnogo bolja preglednost u odnosu na postojeći sistem. Nova rešenja pojedinih radnih stanica su znatno jednostavnija od postojećih, pri čemu su ostvarena kraća ciklusna vremena kao i značajna ušteda prostora. Optimalni transportni putevi i redukcija međuskladišta, u novom sistemu za montažu, drastično umanjuju gubitke nastale usled dugih transportnih vremena i gomilanja proizvoda u procesu. Primena vizuelnog menadžmenta u svim segmentima novog sistema za montažu (andon semafori, informacioni displeji, kanban table, itd.) obezbeđuje dostupnost i efikasnu razmenu potrebnih informacija.

U nastavku istraživanja planirana je primena razvijene metode na više različitih sistema za montažu gde bi se na osnovu dobijenih rezultata izvršilo njeno dalje usavršavanje (kaizen), što je u duhu lean filozofije. Posebno je važno projektovanje i realizacija potpuno novih sistema za montažu gde bi bilo moguće sagledati sve probleme koji se mogu pojaviti i izvršiti analizu ovakvih sistema na osnovu realnih parametara.

Značajan doprinos ovoj oblasti istraživanja bio bi razvoj softvera utemeljenog na predloženoj metodi za projektovanje i optimizaciju sistema za montažu. Softversko rešenje bi obezbedilo lakšu i bržu razmenu podataka između članova tima koji radi na implementaciji lean koncepta. Pored navedenog, objedinjeni podaci bi mogli brzo i efikasno da se grupišu i filtriraju po raznim kriterijumima što bi obezbedilo jednostavniju analizu i detekciju gubitaka. Kompjuterska simulacija pomoćnih i osnovnih zahvata montaže može olakšati projektovanje i optimizaciju pojedinih segmenata sistema (radne stanice, maštine, alati, itd.). Dodatno poboljšanje softvera postiglo bi se implemenacijom veštačkih neuronskih mreža čija bi funkcija bila analiza određenih parametara sistema, pronađenje izvora gubitaka i davanje predloga za njihovu eliminaciju. Lean filozofija zahteva konstantnu analizu i implementaciju poboljšanja što predstavlja neiscrpan izvor daljeg istraživanja.

## 7 Literatura

- [1] M. Houshmand and B. Jamshidnezhad, "An extended model of design process of lean production systems by means of process variables," *Robot. Comput. Integrat. Manuf.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–16, 2006.
- [2] D. Zelenović and I. Ćosić, *Montažni Sistemi*, Prvo izdan. Beograd: IP Nauka, Beograd, 1991.
- [3] K. D. Lee, N. P. Suh, and J.-H. Oh, "Axiomatic Design of Machine Control System," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 1, pp. 109–114, 2001.
- [4] F. Engelhardt, "Improving Systems by Combining Axiomatic Design, Quality Control Tools and Designed Experiments," *Res. Eng. Des.*, vol. 12, no. 4, pp. 204–219, 2000.
- [5] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 1988.
- [6] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy, and I. Minkarah, "Lean Construction: From Theory to Implementation," *J. Manag. Eng.*, vol. 22, no. 4, pp. 168–175, 2006.
- [7] T. K. Acharya, "Material handling and process improvement using lean manufacturing principles," *Int. J. Ind. Eng. Theory Appl. Pract.*, vol. 18, no. 7, pp. 357–368, 2011.
- [8] K. Demeter and Z. Matyusz, "The impact of lean practices on inventory turnover," *Intern. J. Prod. Econ.*, vol. 133, pp. 154–163, 2011.
- [9] D. Vid Losonci, K. Demeter, and I. N. Jenei, "Factors influencing employee perceptions in lean transformations," *Intern. J. Prod. Econ.*, vol. 131, pp. 30–43, 2011.
- [10] R. Stratton and R. D. H. Warburton, "The strategic integration of agile and lean supply," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 85, pp. 183–198, 2003.
- [11] P. Åhlström, "Sequences in the implementation of lean production," *Eur. Manag. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 327–334, 1998.
- [12] J. Black†, "Design rules for implementing the Toyota Production System," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 16, pp. 3639–3664, 2007.
- [13] M. Holweg, "The genealogy of lean production," 2006.
- [14] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. 1990.
- [15] M. Poppendieck and P. Llc, "Principles of Lean Thinking Origins of Lean Thinking," *System*, vol. D, no. July, pp. 1–7, 2002.
- [16] F. A. Abdulmalek and J. Rajgopal, "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 107, no. 1, pp. 223–236, 2007.
- [17] M. Rother and J. Shook, "Learning to See Value Stream Mapping to Create

- Value and Eliminate Muda," *Lean Enterp. Inst. Brookline*, p. 102, 2003.
- [18] L. Cuatrecasas-Arbos, J. Fortuny-Santos, and C. Vintro-Sánchez, "The Operations-Time Chart: A graphical tool to evaluate the performance of production systems – From batch-and-queue to lean manufacturing," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 61, pp. 663–675, 2011.
  - [19] R. Álvarez, R. Calvo, M. M. Peña, and R. Domingo, "Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 43, no. 9–10, pp. 949–958, 2009.
  - [20] S. Aguado, R. Alvarez, and R. Domingo, "Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation," *J. Clean. Prod.*, 2012.
  - [21] D. T. Matt and E. Rauch, "Implementation of Lean Production in Small Sized Enterprises," *Procedia CIRP*, vol. 12, pp. 420–425, 2013.
  - [22] T. A. Saurin, J. Luis, D. Ribeiro, and G. Vidor, "A framework for assessing poka-yoke devices," *J. Manuf. Syst.*, vol. 31, pp. 358–366, 2012.
  - [23] G. Estrada and J. Lloveras, "Prioritization of Product Requirements to Design for a Poka-Yoke Assembly-DFPYA," in *Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, Stanford, CA, August 24–27, 2009*, vol. 7: Design, 2009, pp. 333–344.
  - [24] S. S. Kumar and M. P. Kumar, "Cycle Time Reduction of a Truck Body Assembly in an Automobile Industry by Lean Principles," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 5, pp. 1853–1862, 2014.
  - [25] M. Eswaramoorthi, M. John, C. A. Rajagopal, P. S. S. Prasad, and P. V. Mohanram, "Redesigning assembly stations using ergonomic methods as a lean tool," *Work*, vol. 35, no. 2, pp. 231–240, 2010.
  - [26] M. N. Nguyen and N. H. Do, "Re-engineering Assembly Line with Lean Techniques," in *Procedia CIRP*, 2016, vol. 40, pp. 591–596.
  - [27] R. Domingo, R. Álvarez, M. M. Peña, and R. Calvo, "Materials flow improvement in a lean assembly line: A case study," *Assem. Autom.*, vol. 27, no. 2, pp. 141–147, 2007.
  - [28] A. Smith, *The Wealth of Nations*, vol. 23. 1776.
  - [29] F. W. Taylor, "The principles of scientific management," in *Management*, vol. 6, 1911, p. 45,64.
  - [30] R. Gapp, R. Fisher, and K. Kobayashi, "Implementing 5S within a japanese context: An integrated management system," *Manag. Decis.*, vol. 46, no. 4, pp. 565–579, 2008.
  - [31] L. E. Institute, *Lean Lexicon*, Fourth edi. Cambridge, MA, USA: The Lean Enterprise Institute, 2008.
  - [32] P. G. Ferradás and K. Salonitis, "Improving changeover time: A tailored SMED approach for welding cells," in *Procedia CIRP*, 2013, vol. 7, pp. 598–

603.

- [33] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Massachusetts: Productivity Press, 1985.
- [34] S. Shingo, *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*, 1st ed. New York: Productivity Press, 1986.
- [35] A. P. Puvanasvaran, N. Jamibollah, and N. Norazlin, "Integration of poka yoke into process failure mode and effect analysis: A case study," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 8, pp. 1332–1342, 2014.
- [36] Y. Sugimori, K. Kusunoki, F. Cho, and S. Uchikawa, "Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 15, no. 6, pp. 553–564, 1977.
- [37] H. Hirano, *JIT Implementation Manual Vol5*, vol. 5. 2009.
- [38] T. Whitmore, "Standardized WORK," *Manuf. Eng.*, vol. 140, no. 5, pp. 171–172-179, 2008.
- [39] S. Shingo, *Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press, 1989.
- [40] M. M. Savino and A. Mazza, "Kanban-driven parts feeding within a semi-automated O-shaped assembly line: a case study in the automotive industry," *Assem. Autom.*, vol. 35, no. 1, pp. 3–15, 2015.
- [41] V. Tardif and L. Maaseidvaag, "An adaptive approach to controlling kanban systems," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 132, no. 2, pp. 411–424, 2001.
- [42] A. Naufal, A. Jaffar, N. Yusoff, and N. Hayati, "Development of kanban system at local manufacturing company in Malaysia-Case study," in *Procedia Engineering*, 2012, vol. 41, pp. 1721–1726.
- [43] D. t. Jones, "Heijunka: leveling production," *Manuf. Eng.*, vol. 137, no. 2, pp. 29–36, 2006.
- [44] D. Jones and J. Womack, "Seeing the Whole Value Stream," in *lean Enterprise Institute*, 2011, 1st ed., p. 64.
- [45] K. Martin and M. Osterling, *The Kaizen Event Planner - Achieving Rapid Improvement in Office, Service and Technical Environments*, vol. 74, no. 10. 2007.
- [46] C. A. Ortiz, *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. 2006.
- [47] M. Imai, *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*. McGraw-Hill Professional, 1977.
- [48] M. Imai, *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*, 1st ed. McGraw-Hill Education, 1986.
- [49] H. Hu, J. Kandampully, and T. D. Juwaheer, "Relationships and impacts of service quality, perceived value, customer satisfaction, and image: an empirical study," *Serv. Ind. J.*, vol. 29, no. 2, pp. 111–125, 2009.

- [50] M. S. Khan, A. Al-Ashaab, and E. Shehab, "Define value: applying the first lean principle to product development," *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–28, 2015.
- [51] J. C. Anderson, J. A. Narus, and W. Van Rossum, "Customer value propositions in business markets," *Harvard Business Review*, vol. 84, no. 3. pp. 1–8, 2006.
- [52] B. Busacca, M. Costabile, and F. Ancarani, "Customer value metrics," *Advances in Business Marketing and Purchasing*, vol. 14. pp. 149–204, 2008.
- [53] P. A. Cauchick Miguel, "Evidence of QFD best practices for product development:a multiple case study," *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 22, no. 1, pp. 72–82, 2005.
- [54] V. Bouchereau and H. Rowlands, "Methods and techniques to help quality function deployment (QFD)," *Benchmarking An Int. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–20, 2000.
- [55] H. T. Liu, "Product design and selection using fuzzy QFD and fuzzy MCDM approaches," *Appl. Math. Model.*, vol. 35, no. 1, pp. 482–496, 2011.
- [56] G. Estrada and J. Lloveras, "Application of Moka Methodology To Capture Knowledge in Design for Poka-," *Int. Conf. Eng. Des. ICED11*, no. August, pp. 1–10, 2011.
- [57] I. Ćosić, Z. Anišić, and M. Lazarevć, *Tehnološki sistemi u montaži*, Tehničke n. Novi Sad: Grafički centar GRID, 2012.
- [58] C. Miralles, R. Holt, J. A. Marin-Garcia, and L. Canos-Daros, "Universal design of workplaces through the use of Poka-Yokes: Case study and implications," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 3, pp. 436–452, 2011.
- [59] A. R. Xambre, L. Teixeira, and P. Vilarinho, "A Decision Support System for the Design of Cellular Manufacturing Systems: Database Conceptualization," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 100, pp. 164–170, 2016.
- [60] D. Kruger, "Implementing cellular manufacturing in a make-to-order manufacturing system: A South African case study," *2012 Proc. PICMET'12*, pp. 3297–3303, 2012.
- [61] J. P. Womack, "Value stream mapping," *Manuf. Eng.*, vol. 136, pp. 145–154, 2006.
- [62] I. S. Lasa, C. O. Laburu, and R. D. C. Vila, "An evaluation of the value stream mapping tool," *Bus. Process Manag. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 39–52, 2008.
- [63] B. Stoffel, "Chapter 8 - The Concept of the Energy Efficiency Index (EEI) for Circulators and Pump Units," in *Assessing the Energy Efficiency of Pumps and Pump Units*, 2015, pp. 95–127.