

Optimizacija procesa okrupnjavanja malih elektroničkih sklopova

Barišić, Martin

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:175915>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-03**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Martin Barišić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Nataša Tošanović

student:

Martin Barišić

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad napravio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru doc. dr. sc. Miri Hegediću za vodstvo i uloženi trud kao i svojim bližnjima što su me pratili 7 godina na ovom 3,5 godišnjem programu.



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Martin Barišić** JMBAG: 0035215062

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Optimizacija procesa okrupnjavanja malih elektroničkih sklopova**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Optimization of the assembly process of small electronic circuits**

Opis zadatka:

Proces okrupnjavanja karakterističan je za veliki broj proizvodnih procesa (autoindustrija, brodogradnja, industrija bijele tehnike, i dr.), te može uključivati značajan broj tehnoloških postupaka kojima se postepeno utječe na uporabnu vrijednost konačnog proizvoda. Imajući u vidu značajan broj čimbenika koji sinergijski utječu na ključne značajke linija okrupnjavanja neophodno je provesti optimizaciju takvih procesa smanjujući pritom udio praznih hodova pojedinih radnih stanica. Pritom se za planiranje projekta i upravljanje vremenom uobičajeno koriste programski alati poput Excela, SolidWorksa i Jira-e.

U ovom radu je, koristeći navedene alate, potrebno:

1. Analizirati probleme koji su se javljaju u proizvodnji signalizacijskih kutija, uključujući prazne hodove, neoptimizirani tijek rada i raspored radnih stanica.
2. Također, potrebno je prikazati dijagram toka procesa proizvodnje i pregled novog rasporeda tvorničkog prostora, uključujući 3D modele i tlocrte.
3. Na kraju, potrebno je istražiti alate i radne stanice unutar tvorničkog prostora, prezentirati gantogram za raspored rada i ocijeniti unapređenje proizvodnje nakon implementacije novog sustava.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

11. 9. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Nataša Tošanović

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Čatipović

SADRŽAJ

POPIS DIJAGRAMA	4
POPIS SLIKA	5
POPIS TABLICA.....	6
SAŽETAK.....	7
SUMMARY	8
1. UVOD	9
2. <i>Lean</i> Proizvodnja.....	10
2.1. Osnovno o <i>Lean</i> proizvodnji	10
2.1.1. Otpor promjenama.....	10
2.1.2. Razvoj i obuka.....	10
2.1.3. Postojeći procesi i sustavi	11
2.1.4. Financije	11
2.1.5. Komunikacija i koordinacija	11
2.1.6. Definirani ciljevi i uspjesi projekta	11
2.2. Povijest i razvoj <i>Lean</i> sustava	12
2.2.1. Frederick Winslow Taylor.....	12
2.2.2. Henry Ford	13
2.2.3. Kiichiro Toyoda i Taichi Ohno	14
2.3. Osnovni principi <i>Lean</i> sustava	15
2.3.1. Definiranje vrijednosti.....	16
2.3.2. Lanac vrijednosti	16
2.3.3. Ujednačenost toka proizvodnje	17
2.3.4. Povlačenje proizvodnje „Pull“	18
2.3.5. Težnja za savršenstvom.....	19
2.4. Razrada metoda <i>Lean</i> proizvodnje.....	20
2.4.1. Just in Time	21

2.4.2. Jidoka	21
2.4.3. 5S.....	22
2.4.4. Vizualni alati i metode	23
2.4.4.1. Kanban	23
2.4.4.2. Andon	23
2.4.5. Sustavi za rješavanje problema i prevenciju grešaka	24
2.4.5.1. 5 x Zašto	24
2.4.5.1. Poka-yoke.....	25
2.4.6. Metode za poboljšanje efikasnosti i standardizaciju	26
2.4.6.1. SMED.....	26
2.4.6.2. Standardizacija	27
2.4.7. Organizacija proizvodnog procesa	28
2.4.7.1. Jednokomadni tok (engl. one-piece flow)	28
2.4.7.2. Čelijski raspored (engl. cellular manufacturing).....	28
3. Uvod u praktični dio rada.....	30
3.1. Početno stanje.....	31
3.1.1. Proizvod	31
3.1.2. Proizvodni proces (tok proizvodnje)	31
3.1.3. Početni raspored stolova.....	32
3.1.4. Opis i trajanje operacija predmontažnog i montažnog procesa.....	33
3.1.4.1. Opis i trajanje operacija predmontaže	33
3.1.4.2. Opis i trajanje operacija montažnog procesa.....	34
3.1.5. Analiza procesa	35
3.1.6. Mikro analiza.....	36
3.1.6.1. Snimanje montaže	36
3.1.6.2. Zaključak analize.....	38
3.2. Reorganizacija procesa i izrada alata i prototipa.....	39

3.2.1. Izrada novog rasporeda stolova.....	39
3.2.1.1. Prikaz toka proizvodnje predmontaže	41
3.2.1.2. Prikaz toka proizvodnje konačne montaže	42
3.2.2. Izrada novog alata i prototipova	43
3.2.2.1. Izrada alata za OP100.....	43
3.2.2.2.. Izrada alata za OP 200.....	44
3.2.2.3.. Izrada alata za OP 300.....	44
3.2.2.4.. Izrada alata za OP 400 i OP 500.....	46
3.2.2.5.. Međuskladišta.....	46
3.2.2.6. Dodatni alati	49
3.3. 0.Serijska i Auditivna	50
3.3.1. Prikaz mjerenja.....	50
4. Zaključak.....	53
5. Literatura	54

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 2.1, Prikaz kružnog procesa Lean principa.....	16
Dijagram 2.2, Prikaz metoda Lean sustava.....	20
Dijagram 3.1, Tok Proizvodnje.....	31

POPIS SLIKA

Slika 2.1, Frederick W. Taylor.....	9
Slika 2.2, Henry Ford.....	10
Slika 2.3, Model A montažna linija.....	10
Slika.2.4, Kiichiro Toyoda.....	11
Slika 2.5, Tok vrijednosti.....	17
Slika 2.6, Vizualni prikaz „push“ i „pull“ sustava proizvodnje.....	19
Slika 3.1, Početni raspored stolova.....	32
Slika 3.2, 3D model tlocrta proizvodne linije.....	40
Slika 3.3. Tok proizvodnje predmontaže.....	41
Slika 3.4, Tok proizvodnje montaže.....	42
Slika 3.5, OP:100 Stol.....	43
Slika 3.6, OP:100 Postolje.....	44
Slika 3.7, OP:300 Držac LED „čokolade“.....	44
Slika 3.8, OP:300 Poluga za trganje „čokolade“.....	45
Slika 3.9, OP300 Stalak za termo kabel.....	45
Slika 3.10, OP 400 / OP 500 Polica za funkcijski test.....	46
Slika 3.11, Stolni držač.....	46
Slika 3.12, Pokretni držač.....	47
Slika 3.13, Držač za LED lance.....	48
Slika 3.14, Kolica za sitni materijal.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 2.1, Usporedba „push“ i „pull“ sustava proizvodnje.....	18
Tablica 3.1, Stanice predmontaže.....	34
Tablica 3.2, Stanice montaže.....	34
Tablica 3.3, OP 100: Montiranje leća.....	37
Tablica 3.4, OP 200: Montiranje grla.....	37
Tablica 3.5, OP 300: Izrada LED lanaca.....	37
Tablica 3.6, OP 400: Montaža LED lanaca.....	37
Tablica 3.7, OP500A: Montiranje preforirane ploče.....	37
Tablica 3.8, OP 500B: Montiranje preforirane ploče: Matrix.....	37
Tablica 3.9 OP 600: Konačna montaža i pakiranje.....	37
Tablica 3.10, Legenda toka proizvodnje predmontaže.....	41
Tablica 3.11, Legenda toka proizvodnje montaže.....	42
Tablica 3.12, OP 100: Montaža leća.....	50
Tablica 3.13, OP 200: Montaža grla.....	50
Tablica 3.14, OP 300: Montaža LED lanaca.....	51
Tablica 3.15, OP 400: Postavljanje konektora.....	51
Tablica 3.16, Konačna usporedba radnih stanica i operacija.....	52

SAŽETAK

Optimizacija proizvodnog procesa nužan je korak u postizanju maksimalne iskoristivosti procesa. Taj postupak se najbolje može provesti kroz primjenu principa, metoda i načela Vitke (*Lean*) proizvodnje, koja povećava dobitak uz smanjenje gubitaka. Ove metode će se provoditi na proizvodnoj liniji sklapanja elektroničkih sklopova, te će se pokazati usporedba prije optimizacije i nakon optimizacije.

Ključne riječi: *Optimizacija, proizvodni proces, proizvodna linija, Lean sustav, analiza procesa, ABC analiza, reorganizacija*

SUMMARY

The necessary steps in achieving maximum output out of a production process is its optimisation. Optimisation is best implemented through principles and methods of *Lean* production, which in itself is founded on maximizing profits while downsizing losses. These methods will be implemented on a production line of electronic set assembly, where it will be shown a before and after optimisation has taken place.

Keywords: *Optimisation, production process, production line, Lean system, process analysis, ABC analysis, reorganisation*

1. UVOD

Optimizacija proizvodnje, kamen temeljac svake uspješne firme koja želi postići zaradu i napredovanje, bez žrtvovanja brzine izvođenja rada ili njegove kvalitete. Zvana *Lean*, *Lean Thinking* ili *Toyota Production System*, metoda koju je stvorio Taiichi Ohno, između 1948. i 1975. , u poslijeratnom Japanu.

Svrha tog sustava je bila prilagodba tržištu tadašnjeg Japana, koje se sa malim tržištem, oskudicom dobavljača i ulagača, nije moglo podržati masovnu proizvodnju.

U 21.stoljeću je *Lean thinking* zaživio naveliko, pojavljujući se u svakoj sferi zbog svojeg jedinstvenog i univerzalnog principa: povećanje dobitaka kroz smanjenje nepotrebnih gubitaka. Što se tiče proizvodne industrije, Toyota je postavila standarde koji se primjenjuju sve do danas iako zadnjih par godina nije prošlo bez nedostataka.

Pandemijsko razdoblje je vidjelo razne prepreke u industriji i propitivanje isplativosti *Lean* metodologije proizvodnje zbog globalne nestašice materijala i smanjenih radnih sati. Usprkos vrijeme zdravstvene krize, uz balansiranje *Lean* upravljanja i JIT sistema skladišta i *buffer* sistema skladišta pokazalo veoma efektivno [1].

Post pandemijsko razdoblje, naime, je vidjelo veliki porast integracije digitalnih tehnologija, pretežito u sferi AI-a, koji je unazad 3 godine doživio procvat, te se polako počinje prisvajati u prostorima proizvodnje. Također, industrijski internet stvari (engl. *Industrial internet of things* (IIoT)), koji se služi pametnim sensorima, aktuatorima i sličnim napravama, koje se već podosta primjenjuje, će osjetiti znatni porast usuprot vječno nestalnom i kaotičnom tržištu rada i lancu proizvodnje, te se promiče trend izvještaja u stvarnom vremenu (engl. *Real time reporting*) koji važnost stavlja precizno praćenje proizvoda i upravljanja unutar proizvodnog okruženja [2].

S ovim inovacijama i ostalim idejama, vide se znatni pomaci unutar proizvodnih procesa u 21.stoljeću.

U današnjem svijetu, koji se mijenja brže nego ikada dosad, sa novim trendovima i dovodom informacija, ključno je proizvodna industrija ne gubi korak sa vremenom i njenim potražnjama.

2. Lean Proizvodnja

2.1. Osnovno o *Lean* proizvodnji

Lean (vitka) proizvodnja je metoda koja se implementira u sustav organiziranja i upravljanja i razvojem proizvoda, vezama s kupcima i potrošačima, optimizacijom operacija i općim poboljšanjem procesa. *Lean* kao takav je veoma primjenjiv i u drugim sferama izvan industrije, na jednostavnome principu maksimizacije vrijednosti za kupca uz istovremeno smanjenje nepotrebnih procesa i otpada. Prilikom postizanja tih ciljeva, smatra se metoda uspješnom ukoliko se [3]:

- Utroši manje kapitala
- Umanji se potrebni prostor proizvodnje
- Ušteda na vremenu potrebno za izvođenje procesa naspram glomaznih tvornica
- Smanji se količina ljudskog rada,

Da bi *lean* sustav kao takav funkcionirao, mora obuhvatiti sustav na koji se implementira u cijelini, od proizvodnje (skladište, predmotnaža, montaža, pakiranje, ...) do uprave (financije, marketing, odnos sa kupcima, odnos sa zaposlenicima, ...) tako da nijedan dio poduzeća ne zaostaje za drugim. Implementacijom i prihvaćanjem principa *lean* sustava kao sveobuhvatne cjeline koja služi za unapređenje već postojećeg sustava, možemo računati na pozitivan rast i napredovanje [3].

Problem koji se može javiti sa implementacijom *lean* sustava na već postojeće sustave unutar poduzeća se može podijeliti na par glavnih točaka:

2.1.1. Otpor promjenama

Sa već postojećim poduzećima, postoji problem uhodanosti i navika radnika i menadžera na određeni način rada, te samo uvođenje *lean* filozofije bi zahtijevalo promjenu unutar same organizacije između radnika na najnižoj razini, do menadžera i uprave na najvišoj.

Veliki dio implementacije bi se prebacio i na menadžere koji možda sa nedostatkom motiviranosti bi mogli usporiti/spriječiti provođenje tih promjena [4].

2.1.2. Razvoj i obuka

Lean sustav zahtjeva specijalizaciju i znanje o samoj filozofiji, kao i vještine za provođenje koju mnogi zaposlenici, kao i poslodavci, nemaju. U takvom slučaju, potrebno je

organizirati edukacije i obuke za zaposlenike, a i vanjsku pomoć (u slučaju neosposobljenih po pitanju novog sustava), što kao takvo može i staviti napor na kapital poduzeća, koja neka ne mogu pokriti ili jednostavno nemaju dovoljno za obuke i edukacije [4].

2.1.3. Postojeći procesi i sustavi

Kao što je već prije napomenuto, postoji određena uhodanost i navika radnika na način rada, te samim time postoje i zadani procesi koji mogu varirati u svojoj kompleksnosti i vremenu provođenja. Uvođenjem *leana*, bi zahtijevalo preispitivanje i analizu tih procesa, kao i izmjene koje bi uslijedile nakon same analize.

Može se utvrditi da su neki procesi, kao i njihovi strojevi višak u samom procesu, a može se utvrditi da su neki novi ili stari procesi neophodni za sustav, te bi bilo u najboljem interesu kupnja novih strojeva [4].

2.1.4. Financije

Financije i financijski ciljevi uvelike određuju mogućnost izvođenja i provođenja novih planova, tako da i projekt kao što je implementacija *lean* sustava se ne može provesti bez znatnih početnih ulaganja.

Samo uvođenje sustava se smatra dugoročnim ciljem koji u početku neće izgledati isplativo, ali sa duljom obradom i održavanjem se pokazuje puno isplativijim [4].

2.1.5. Komunikacija i koordinacija

Promjena komunikacije isto igra veliku ulogu u uspješnoj implementaciji, jer sustav zahtijeva detaljniju i učinkovitiju komunikaciju, u suprotnome dolazi do nesporazuma i neuspješne implementacije.

Može doći i do pojave Silo mentaliteta, gdje odjeli koji rade izolirano, mogu otežati suradnju jer *lean* sustav zahtijeva integrirani pristup, tj. Potpunu uključenost svakog dijela procesa [4].

2.1.6. Definirani ciljevi i uspjesi projekta

Moraju postojati jasno definirani ciljevi i željeni uspjesi za implementaciju sustava, inače je teško pratiti napredak i rezultate koji su dobiveni sa provođenjem *lean* sustava [4].

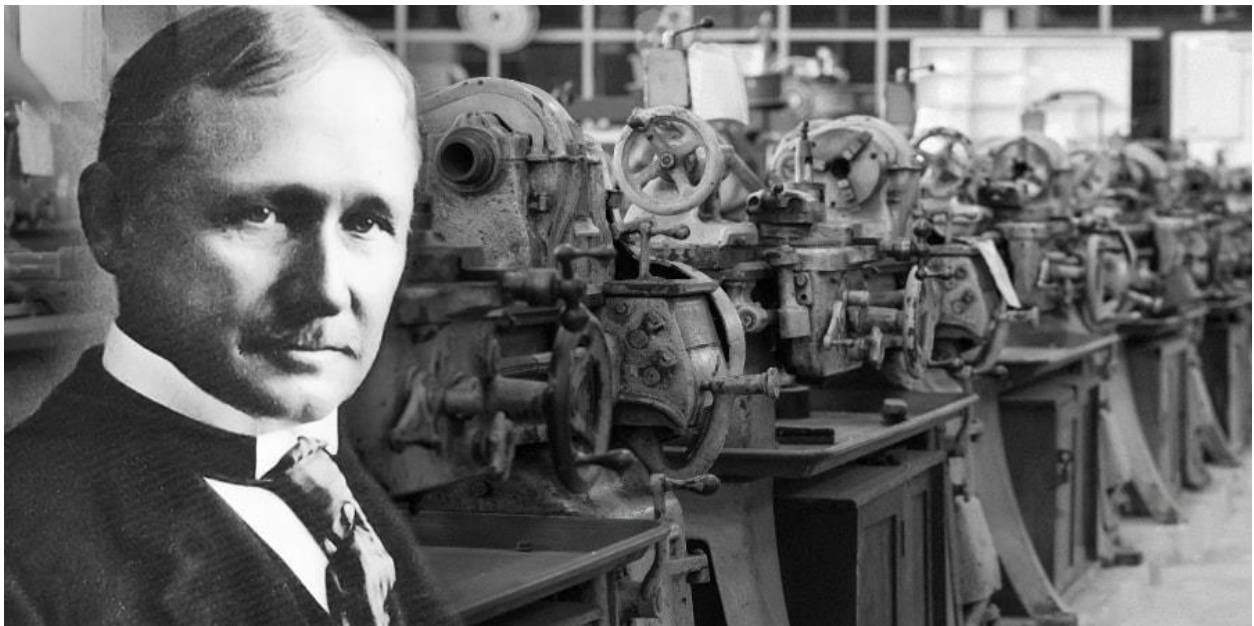
2.2. Povijest i razvoj *Lean* sustava

Začetak, temelji i razvoj *lean* sustava se može podijeliti na tri etape:

- Frederick Winslow Taylor „*The Principles of Scientific Management*“ (1911.)
- Henry Ford „Pokretna proizvodnja (*Conveyor System*)“ (1913.)
- Kiichiro Toyoda i Taiichi Ohno „*Toyota Production System (TPS)*“ (1950. – 1980.)

2.2.1. Frederick Winslow Taylor

F.W. Taylor u svojoj knjizi „*The Principle of Scientific Management*“ postavlja prve temelje za metode upravljanja proizvodnjom. Na temelju „uzajamnog interesa“, znanstveno upravljanje (engl. *scientific management*) osigurava usklađenost između radnika (motiviranog plaćom) i poslodavca (motiviranog profitom) na način da se da maksimizira učinkovitost i produktivnost rada. Zaposlenik, kao takav, svoju maksimalnu učinkovitost postiže kroz rad na mjestu gdje najviše odgovaraju njegove prirodne sposobnosti, tj. Da vještine svakog zaposlenika moraju biti prilagođene njegovom poslu, te kroz kontinuiranu obuku će njegove vještine postati sve bolje, te mu je uprava dužna to osigurati, jer je u njenom interesu izvrsnost i učinkovitost njenih zaposlenika. Taylor je uvidio nedostatke u industrijskim sustava svojeg vremena, primarno se odnoseći na inertnost uprave, koja nije najbolje poznavala svoje interese, te se to prenosilo na radnike koji se, radi neujednačenih i beskorisnih metoda rada bili neučinkoviti te preiscrpljeni sa čime se trud koji je zahtijevan nije isplatio [5].



Slika 2.1, Frederick Winslow Taylor, [6]

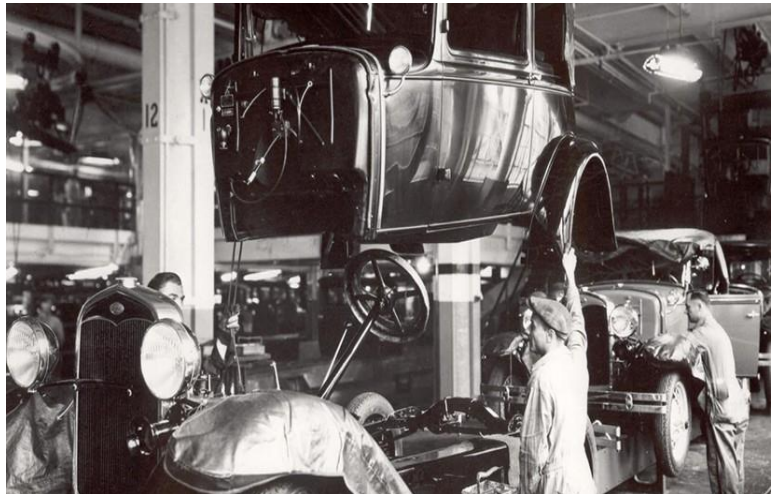
2.2.2. Henry Ford

H.Ford sa svojom pokretnom proizvodnjom (engl. *Conveyor System*), uvedenom u *Ford Motor Company* tvornicu 1913., započeo prve korake pri modernizaciji proizvodnje. Proizvodnja jednog automobila prije uvođenja pokretne trake je iznosila 12 sati, nakon je to vrijeme skraćeno za 1.5 sat uvođenjem 4 principa [7]:

- 1) Standardizacija – dijelovi i procesi standardizirani kako bi se povećala učinkovitost (brža i jeftinija proizvodnja
- 2) Kontinuirani protok – sa pokretnom trakom omogućen je konstantan protok proizvodnje, te su radnici bili preodređeni za specifične zadatke, smanjujući vrijeme obuke i potrebnih vještina
- 3) Podjela posla – kao što je već spomenuto, specijalizacija radnika za određene zadatke, što je povećalo produktivnost i smanjilo vrijeme potrebno za proizvodnju
- 4) Smanjenje otpada – uvođenjem trake u proizvodni proces, smanjio se otpad micanjem nepotrebnih pokreta i vremena čekanja



Slika 2.2. Henry Ford, [7]

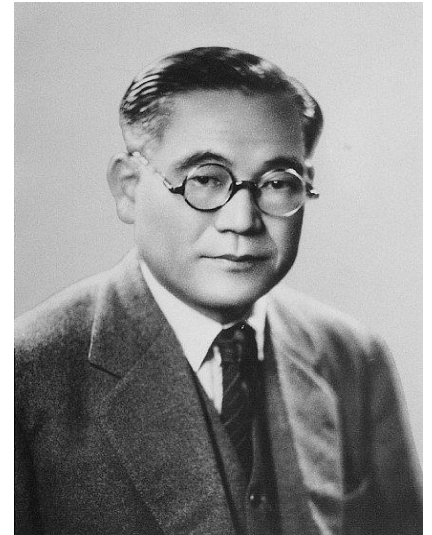


Slika 2.3. Model A montažna linija, [8]

2.2.3. Kiichiro Toyoda i Taiichi Ohno

Poslije razdoblja 2.svjetskog rata, Japanska ekonomija je bila u rasulu, te je bila potrebna velika prilagodba na uvjete unutar zemlje (malo tržište, oskudica ulagača, dobavljača, nemogućnost izgradnje velikih tvornica). K.Toyoda (osnovao je *Toyota Motor Company* 1930.), Taiichi Ohno su se ugledali na Ford, ali su shvatili da na temelju njihove situacije, potrebne su preinake u njihovom modelu da bi se u potpunosti prilagodili stanju u Japanu.

Potrebno je bilo osigurati brz protok i kontinuitet, a usto održavati varijantnost i raznolikost proizvoda. Na temelju tih ideja, osnovan je Toyotin Proizvodni Sustav (engl. *Toyota Production System – TPS*), [3].



Slika 2.4. Kiichiro Toyoda, [9]

Osnovna značajka tog proizvodnog sustava je preusmjeravanje težišta djelovanja proizvodnih inženjera sa pojedinačnih strojeva i njihovog korištenja, na cjelokupni proces proizvodnje i protok proizvoda kroz tu proizvodnju.

Na temelju tržišta u Japanu, potrebno je bilo [3]:

- Smanjiti vrijeme od narudžbe do isporuke
- Visoka kvaliteta ali niski troškovi
- Visoka varijantnost proizvoda,.

Te na temelju tih prohtijeva, smislili su sljedeća rješenja [3]:

- Prilagodba obujmu kroz oblikovanje opreme i strojeva za potrebnu proizvodnju
- Precizan raspored strojeva i opreme prema tehnološkim procesa obrade (u svrhu kontinuiteta proizvodnje)
- Implementacija strojeva sa vizualnim upozorenjima za nepravilnosti u procesu radi osiguravanja proizvodnje bez škarta
- „Pull“ sustav proizvodnje – ovaj sustav je implementiran sa svrhom obavještanja o potrebi materijala ili dijelova, tj. Svaki korak procesa obavještava prethodni o potrebi, te se sa time zna točan broj potrebnih dijelova, bez stvaranja gomila nepotrebnog materijala

2.3. Osnovni principi *Lean* sustava

Sustavi kao takvi, bili proizvodni ili uslužni, će u sebi sadržavati nepravilnosti koje uzrokuju nepotrebne troškove („*muda*“ na japanskom).

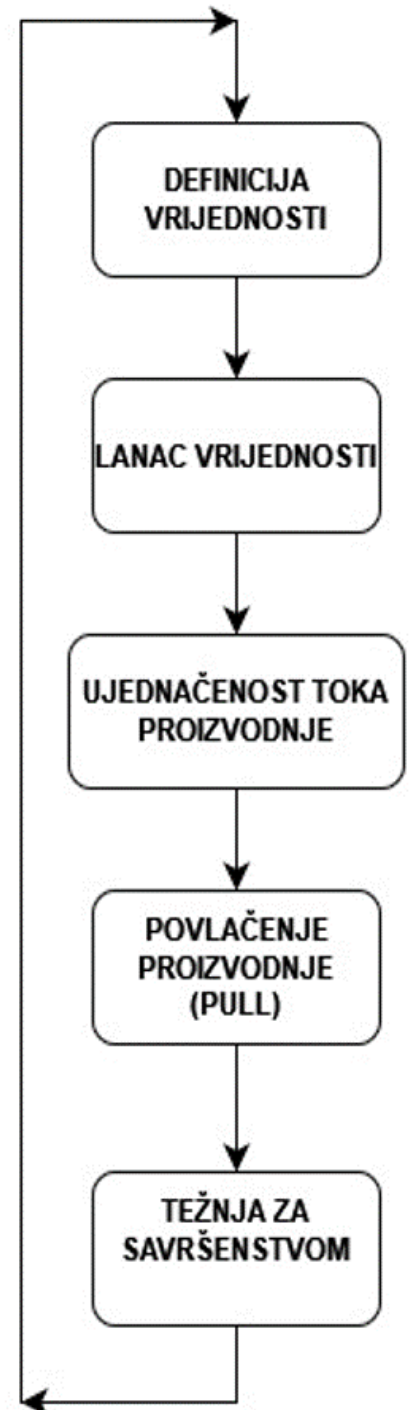
Gubici su definirani kao aktivnosti koje troše resurse ali ne dodaju vrijednost, pošto se vrijednost dodaje proizvodu, dok se po uslugama vrijednost dodaje usluzi, stoga kupac nije spreman plaćati aktivnosti koje ne dodaju vrijednost.

Primjeri gubitaka su:

- Pogreške koje zahtijevaju ispravljanje
- Proizvodi koji završavaju na skladištu zbog nedostatka potražnje
- Nepotrebne aktivnosti u procesu
- Nepotrebna kretnja zaposlenika i transport unutar sustava

Lean sustav pomaže na način da uočava i eliminira sve vrste gubitaka te pomaže u vođenju poslovanja i organizaciji. *Lean* nije jednostavan za implementirati te se njegova implementacija opisuje kroz 5 principa koji čine bazu razumijevanja [3]:

- 1) Definiranje vrijednosti
- 2) Lanac vrijednosti
- 3) Ujednačenost toka proizvodnje
- 4) Povlačenje proizvodnje (engl. „*pull*“)
- 5) Težnja za savršenstvom,



Dijagram 2.1. Prikaz kružnog procesa *Lean* principa, [3]

2.3.1. Definiranje vrijednosti

Definicija vrijednosti se smatra jednom od bitnijih točaka *lean* sustava, te se njenom intenzitetu pridodaje važnost isključivo iz perspektive klijenta, tj. Kako klijent uslugu ili proizvod koji mu mi prezentiramo smatra bitnim te sa tog položaja, određuje vrijednost usluge ili proizvoda. Vrijednost kao takvu, mjerimo kao zadovoljenje potrebe klijenta, te tako definirana vrijednost se smatra temeljem uspješnog poslovanja.

U stvarnosti, slučaj nije takav. U stvarnosti, poslovanja stavljaju sebe u prvi plan, te se želje i potrebe klijenta zanemare u svrhu brže isporuke uz maksimalni profit. Takav pristup je dugoročno neisplativ, jer direktno utječe na zadovoljstvo tj. Nezadovoljstvo klijenta te kvalitetom isporučenog proizvoda, što u konačnici tjera naše klijente prema boljoj kvaliteti i poslovnoj etici kod konkurentnih kompanija koje se više prilagođavaju klijentu i njegovim potrebama.

Zbog takvih situacija, *lean* sustav, kao što je već prije spomenuto, definira vrijednost proizvoda sa strane kupca, te kroz tako određenu vrijednost, može se stvoriti plan koji je skrojen za kupca tako da se pojedini dijelovi procesa, kao i proces u globalu, može biti naglašen i odrađen po mjeri. Bitno je naglasiti da kompanija, prilikom izrade plana proizvodnje, mora sastaviti takav plan koji ne sadrži gubitke, što se postiže kroz oblikovanje i definiranje lanca vrijednosti [3].

2.3.2. Lanac vrijednosti

Lanac vrijednosti je definiran kao skup procesa u proizvodnji koji svojim izvođenjem sudjeluju na bilo koji način u dodavanju vrijednosti usluzi ili proizvodu koji nudimo. Taj skup procesa se može podijeliti na 3 skupine kroz koji usluge ili određeni proizvodi mogu proći:

- Prosesi rješavanja problema (obrada tehnoloških procesa, izrada idejnog projekta, konstruiranje, ...)
- Prosesi informacijskog menadžmenta (obrada narudžbi, procesiranje proizvodnje, organizacija poslovanja, ...)
- Prosesi transformacije sirovina (Iz sirovine u gotov proizvod)



Slika 2.5. Tok Vrijednosti, [9]

Kroz definiciju lanaca vrijednosti, možemo uočiti gubitke u proizvodnji, te tako ih nastojati u potpunosti eliminirati. Kroz analizu procesa, pri dodavanju vrijednosti, jasno je da postoje 3 tipa aktivnosti [3]:

- Aktivnosti koje stvaraju vrijednost te su neophodne za proces (proces oblikovanja, obrade, ...)
- Aktivnosti koje ne stvaraju direktno vrijednost ali su neophodne za proces (skladištenje, transport, kontrola kvalitete, ...)
- Aktivnosti koje niti stvaraju vrijednost niti su neophodne

Iz ovoga se vidi da je zadnji tip aktivnosti nužan za potpuno eliminirati pri izradi procesa.

2.3.3. Ujednačenost toka proizvodnje

Kada se provedu prva dva principa (Definiranje vrijednosti proizvoda i Lanac vrijednosti), na temelju definirane usluge i proizvoda, te eliminiranih nepotrebnih aktivnosti, cilj je osigurati nesmetani tok proizvodnje.

To postizemo kroz edukaciju / re-edukaciju ljudi, organizaciji samih procesa i proizvodnje te opreme i strojeva. Bitno je postupno razraditi postupke proizvodnje proizvoda te u svakom dijelu procesa podijeliti vrijednosti za operacije i podoperacije unutar procesa, od transporta, skladištenja, kroz obradu i montažu do provjere kvalitete, pakiranja i konačne isporuke klijentu, te u svakom dijelu ovih operacija moramo biti svjesni u kojoj fazi se nalazi proizvod te vršiti kontrolu nad njim [3].

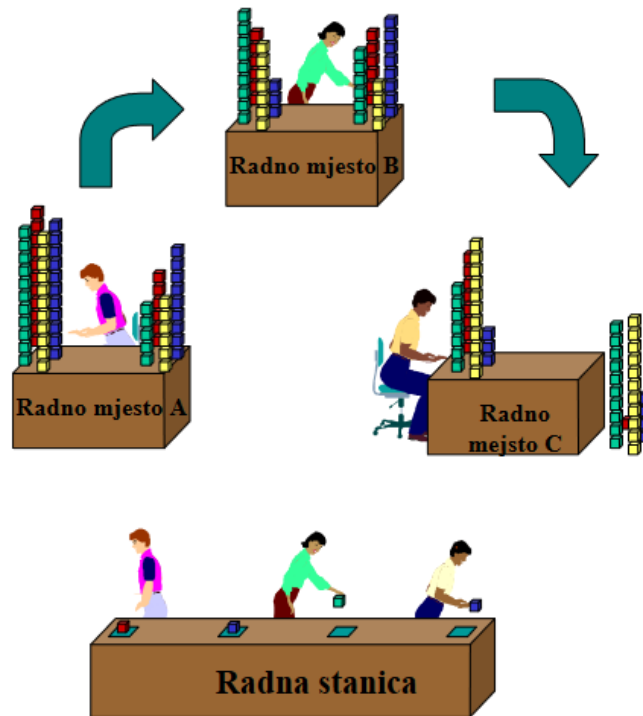
2.3.4. Povlačenje proizvodnje „Pull“

Temeljni princip *lean* sustava koji se temelji na stvarnoj potražnji klijenta a ne na temelju predviđene ili procijenjene potražnje u svrhu smanjenja zaliha i eliminaciji nepotrebnih troškova. Takav „on demand“ sustav započinje kada klijent postavi konkretnu narudžbu, pokreće se niz naredbi kroz lanac vrijednosti di svaka operacija izražava potrebu za određenom količinom materijala.

Na ovaj način izbjegavamo suvišne zalihe materijala jer sve operacije imaju dovoljno materijala za stvarnu potrebu / narudžbu od klijenta. Ovaj princip je usko vezan sa JIT (eng. *just in time*) skladištem, o kojemu će se više pisati u daljnjem dijelu rada [3].

Tablica 2.1. Usporedba push i pull sustava proizvodnje

„Guranje“ (engl. „push“)	Povlačenje (engl. „pull“)
<ul style="list-style-type: none"> • Tradicionalan pristup proizvodnji koji se temelji na predviđenoj potražnji, stoga se proizvodnja planira unaprijed (zvana tako jer se proizvod „gura“ niz proizvodni proces) 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderniji pristup u sastavu <i>Lean</i> sustava, utemeljen na potrebi klijenta • Proizvodnja počinje tek kada postoji konkretna narudžba
Prednosti	Prednosti
<ul style="list-style-type: none"> • Visoka količina zaliha – osiguranje u slučaju nagle i visoke potražnje • Predvidljivost procesa i lakša organizacija 	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjeni troškovi pohrane – skladišti se onoliko koliko je naručeno • Prilagodljivost tržištu – zbog manjih narudžbi, lako se izmjeni proizvodnja
Nedostatci	Nedostatci
<ul style="list-style-type: none"> • Visoki troškovi skladištenja – više zaliha, više prostora, više resursa za skladištenje • Mogućnost zastarijevanja – proizvod koji dugo stoji na skladištu bez prodavanja 	<ul style="list-style-type: none"> • Kašnjenja u isporuci – u slučaju loše opskrbljenog skladišta, dolazi do kašnjenja u proizvodnji • Ovisnost o dobavljačima – sama učinkovitost sustava ovisi o pravovremenoj isporuci



Slika 2.6. Vizualni prikaz „Pull“ naspram „Push“ sustava proizvodnje, [9]

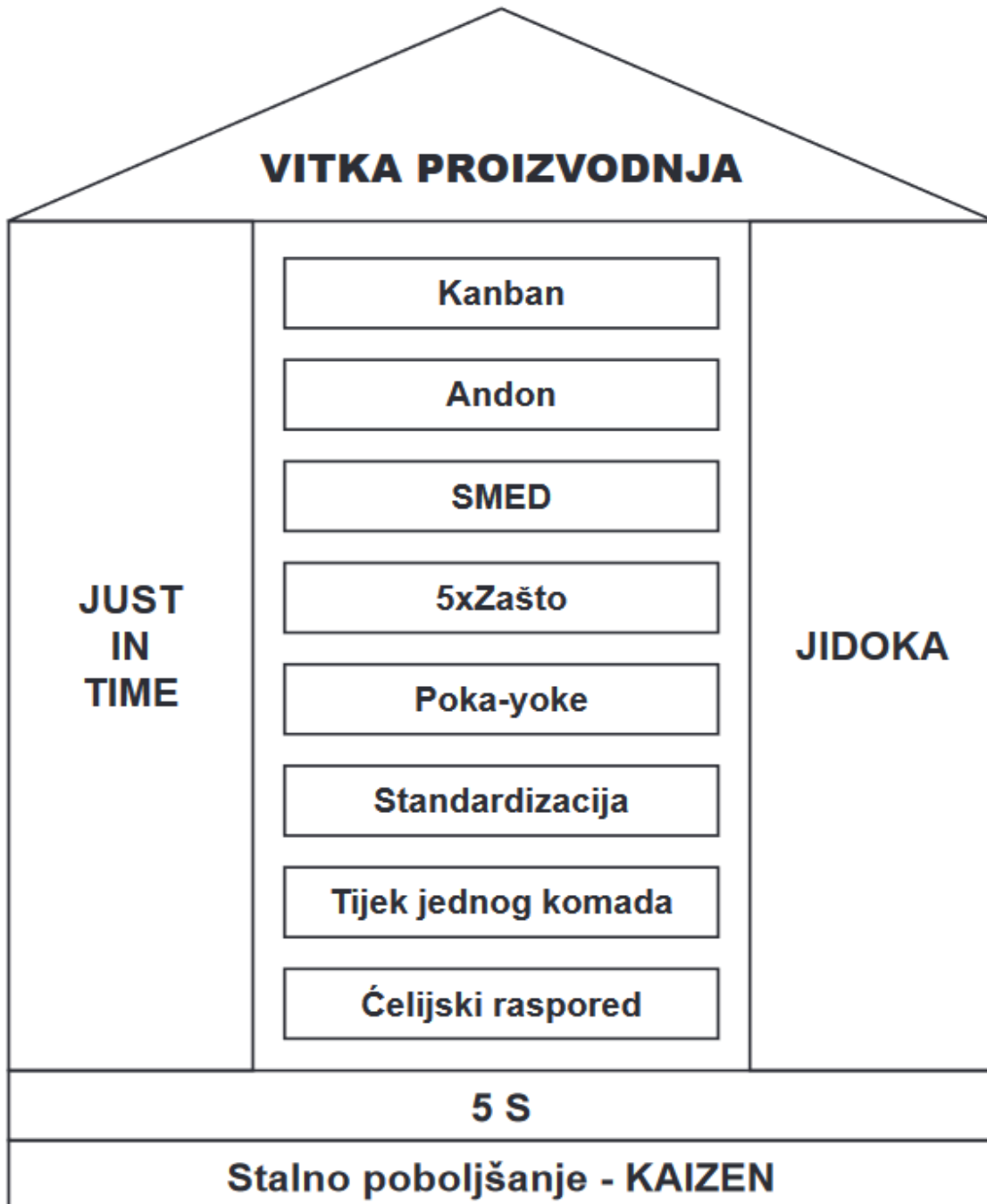
2.3.5. Težnja za savršenstvom

Zadnji od *Lean* principa, predstavlja kontinuirano usavršavanje i nadograđivanje procesa i aktivnosti, ne samo unutar procesa, već i same tvrtke. Ovo je proces koji nikada ne prestaje jer osigurava gotovo konstantna poboljšanja.

Japanski izraz „*Kaizen*“ koji predstavlja kontinuirano usavršavanje te „*Kaizen*“ radionice koje se održavaju u svrhu neprestanih usavršavanja i poboljšavanja tvrtke i radnika [3].

2.4. Razrada metoda *Lean* proizvodnje

Iz prijašnjeg poglavlja, opisano je 5 osnovnih principa *lean* proizvodnje (Definiranje vrijednosti, lanac vrijednosti, ujednačenost toka proizvodnje, povlačenje proizvodnje, težnja za savršenstvom). Ovi principi su poduprti kroz niz metoda unutar same *lean* proizvodnje koji se mogu prikazati ovako:



Dijagram 2.2. Prikaz metoda *Lean* sustava, [9]

2.4.1. *Just in Time*

Točno-na-vrijeme (engl. *Just in Time*, nadalje JIT) predstavlja japansku filozofiju koja se odnosi na proizvodnju prema odgovarajućim sredstvima, kvaliteti i količini na pravo mjestu i u pravo vrijeme [9]. Samim time postizemo smanjenje troškova skladištenja i optimizaciju proizvodnog procesa.

Usko povezano sa „pull“ metodom, radi se na minimizaciji zaliha tako da se materijali naručuju kada je potrebno i kada to proizvodni proces zahtijeva, tako postižući puno manje zastoja i vremena čekanja, te se isto tako izbacuju nepotrebni procesi proizvodnje da bi se proizvod skrojio za klijenta.

Veliki naglasak se stavlja i na kvalitetu koja se postiže sa minimizacijom, pošto se svaki defekt i škart odmah uoči za razliku od masovne proizvodnje, zato što se svaki dio procesa dodatno kontrolira kako bi se isporuke desile na vrijeme.

Dosta je važno imati dobar i pouzdan izvor dobave materijala, jer JIT uvelike ovisi o pouzdanosti dobavljača, nepravovremena dostava ili kašnjenje usporava proizvodnju.

2.4.2. *Jidoka*

„Automatizacija“ ili „inteligentna automatizacija“ riječi su koje opisuju *Jidoku*. Kroz automatizaciju, omogućeno je stroju i radniku da uoči pojavu defekata i anomalija, zaustavi proces te ispravi tu pojavu u svrhu sprečavanja defektnih proizvoda. Na taj način, radnicima je omogućeno u istome trenutku kada se uhvati problem, zaustaviti proizvodnu liniju te istražiti uzrok nastajanja defekta i tako osigurati da se taj defekt ili problem više ne stvore, postižući stalno unapređenje tog procesa (*Kaizen*) kroz implementaciju nove zakrpe za taj problem [11].

Bitna značajka *Jidoke* je mogućnost odvajanja radnika od stroja, tj. Nadziranje više strojeva istovremeno, gdje stroj automatski prepoznaje problem i zaustavlja se. To omogućuje radnicima da pridodaju više procesu dok strojevi rade i interveniraju po potrebi.

Kroz implementaciju *Jidoke* osiguravamo:

- Povećanu učinkovitost (radnici se fokusiraju na unapređenje drugih dijelova procesa dok strojevi rade)
- Sigurnost radnika (u slučaju defekta ili naglih zaustavljanja strojeva, linija staje te se smanjuje mogućnost nesreća)
- Kontinuirano poboljšanje i poboljšana kvaliteta (Rješavanje problema čim se pojave, osiguravajući veću kvalitetu proizvoda)

2.4.3. 5S

5S je metodologija unutar *Lean* procesa sa primarnim fokusom na organizaciju radnog prostora u svrhu povećanja kvalitete rada, sigurnosti i učinkovitosti.

5S dolazi od naziva koje opisuju korake procesa, a to su:

1) *Seiri* (Sortiranje)

- Opisuje sortiranje i uklanjanje nepotrebnih predmeta s radne stanice sa ciljem zadržavanja samo stvari za trenutne radne aktivnosti

2) *Seiton* (Postavljanje u red)

- Opisuje organizaciju preostalih predmeta na lako dostupna mjesta tako da poboljšavaju učinkovitost radnog toka

3) *Seiso* (Čišćenje)

- Opisuje čišćenje radne stanice radi održavanja higijene, kroz redovito čišćenje održava se oprema te dolazi do mogućnosti otkrivanja nekih problema koji se mogu spriječiti

4) *Seiketsu* (Standardiziraj)

- Opisuje održavanje prva tri koraka kroz standardizaciju, tj. Postavljanje standardnih operativnih procesa koji kroz održavanje osiguravaju dosljednost i postignute rezultate

5) *Shitsuke* (Održi)

- Opisuje korak koji uključuje održavanje i poboljšavanje sustava, cilj je stvoriti kulturu discipline i stalnog održavanja

Sa 5S metodologijom stavljamo dio fokusa na radnike tako da povećavamo njihovu sigurnost uklanjanjem nepotrebnih predmeta i održavanjem radnih stanica i strojeva što rezultira i povećanom produktivnošću i poboljšanom kvalitetom (npr. manje vremena potrošeno na traženje alata) [12].

2.4.4. Vizualni alati i metode

To su sustavi koji pomažu pri optimizaciji i upravljanju protoka rada. Značajke ovih metoda jest naglasak na kvalitetu, povećanje sigurnosti i učinkovitosti kao i veća vidljivost rada. Ti sustavi su *Kanban* i *Andon*.

2.4.4.1. Kanban

Funkcija *Kanbana* je signalizacija potrebe za proizvodnjom i dopunom materijala u stvarnom vremenu, pritom smanjujući otpad i povećavajući učinkovitost

Kanban funkcionira na principu vizualizacije rada: *Kanban* se koristi karticama ili pločama za prikazivanje stanja zadatka, gdje se kartica koja predstavlja zadatak, pomiče od početka do kraja kroz različite faze (promatramo 3 faze – za napraviti (engl. „*To Do*“), u izradi (engl. „*In Progress*“), gotovo (engl. „*Done*“))

U *Kanbanu* također možemo definirati najveći mogući broj zadataka po fazi, da bi spriječili zagušenje i održali ravnotežu rada. To pomaže pri upravljanju protokom i izbjegavanja uskog grla (engl. *Bottle Neck*). Usko grlo je točka proizvodnje gdje se protok usporava zbog ograničenih kapaciteta, sporijeg tempa stanice ili prethodne stanice, te tako usporava cijeli tijek proizvodnje. U slučaju uskog grla, tim radnika prepoznaje problem i ubrzo ga rješava. Procesi se redovito pregledavaju kako bi se poboljšali procesi i implementirali promjene (*Kaizen*).

Prednosti *Kanbana* se vide kroz poboljšane vidljivosti rada tako da se status zadatka kroz kartice može istog trena prepoznati, kao i greške u samom dijelu tog zadatka, što nam daje povećanu učinkovitost tako da se zadaci rješavaju kako dolaze sa fokusom smanjenja vremena ciklusa i povećanja produktivnosti [13].

2.4.4.2. Andon

Sustav za vizualno i zvučno signaliziranje problema u proizvodnom procesu, njegova funkcija je omogućiti radnicima signalizaciju u slučaju pojave problema kako bih se on odmah riješio.

Andon funkcionira kroz sustav svjetla, ekrana i zvučnih signala da bi radnici bili obavješteni o problemima (crveno može biti problem, žuto mogući problem, a zeleno normalno odvijanje procesa). U slučaju otkrivanja problema, zaustavlja se proizvodna linija u istom trenutku otkrivanja pritiskom na gumb ili povlačenjem konopca. Tada se skuplja tim koji radi u proizvodnom procesu, problem se rješava, sprečava se ponavljanje i nastavlja se rad. Na taj način, izbjegava se pojava toga problema, traka se unapređuje te se ciklus ponavlja sa pojavom novog problema (*Kaizen*).

Prednost Andona što načinom signalizacije se može brzo reagirati na pojavu problema, traka se zaustavlja da se pogreške ne nastavljaju i da se osigurava sigurnost radnika [14].

2.4.5. Sustavi za rješavanje problema i prevenciju grešaka

Ovi sustavi se implementiraju sa svrhom analize pogrešaka, indentifikacijom uzroka te spriječavanju pojavljivanja u proizvodnji. Zaduženi su kroz svoju analizu poboljšati kvalitetu i povećati učinkovitost. Ti sustavi su 5 x Zašto i *Poka-Yoke*.

2.4.5.1. 5 x Zašto

Sustav za temeljitu analizu, korištena za identifikaciju izvora problema kroz postavljanje 5 uzastopnih pitanja kako bi se otkrio uzrok. Metoda je jednostavna za primjenu te ne zahtijeva stručnu obuku ni posebne alate, samo su potrebna pitanja sa kojim dolazimo do uzroka problema kako bi osigurali trajno rješenje. Pitanja se postavljaju iterativno, te svaki odgovor vodi do sljedećeg pitanja.

Proces postavljanja pitanja (kroz primjer) [15]:

- 1) Definicija problema
 - Problem se definira. „Stroj se zaustavio“
- 2) Postavljanje prvog pitanja
 - Pitanje: „Zašto se stroj zaustavio?“
 - Odgovor: „Zbog preopterećenja“
- 3) Nastavljanje s pitanjima
 - Drugo „zašto“ : „Zašto je došlo do preopterećenja?“
 - Treće „zašto“ : „Zašto nije bilo upozorenja o preopterećenju?“
 - Četvrto „zašto“ : „Zašto sustav za upozorenje nije radio?“
 - Peto „zašto“ : „Zašto sustav za upozorenje nije bio redovno održavan“
- 4) Identifikacija korijenskog izvora
 - Kroz postavljena serijal pitanja dolazimo do uzroka problema te možemo početi raditi na rješenju

2.4.5.1. Poka-yoke

Metodologija sa ciljem sprečavanja pogreški u proizvodnim procesima, *Poka-yoke* uređaji ili postupci osiguravaju automatsku detekciju grešaka i sprečavanje prije nego dođe do defekta u proizvodu.

Sustav je dizajniran da spriječi pogrešku prije nego se ona dogodi te su sami sustavi jednostavni, jeftini i veoma učinkoviti, te značajno smanjuju mogućnost ljudske pogreške. Postavljeni su na način da automatski prepoznaju anomalije ili odstupanja te odmah signaliziraju i zaustavljaju proces. Automatsko prepoznavanje se postiže kroz seriju senzora postavljenih na mjestima gdje prolaze dijelovi ili gdje postoji potreba za poravnanjem, potreba za poklapanjem pri sklapanju i sl. Senzori osiguravaju da se taj dio može sklopiti na samo ispravan način. U slučaju neispravnog sklapanja, nedoravnatog dijela, sustav se oglašava, linija se zaustavlja, te se problem rješava [16].

2.4.6. Metode za poboljšanje efikasnosti i standardizaciju

Ove metode su dizajnirane sa svrhom poboljšanja efikasnosti, fleksibilnosti, produktivnosti i kvalitete proizvodnih procesa. Njihovom primjenom, postižu se značajna poboljšanja u operativnim procesima. Te metode su SMED i Standardizacija.

2.4.6.1. SMED

SMED ili *Single Minute Exchange of Dies* je metoda stvorena za smanjenje vremena potrebnog za promjenu alata ili postavki stroja u proizvodnji. Sa ciljem smanjenja vremena promjene alata na jednoznamenasti broj, povećava se produktivnost sustava kao i fleksibilnost. Temelji se na principu odvajanja unutarnjih aktivnosti (aktivnost kada je stroj zaustavljen) i vanjskih aktivnosti (aktivnosti dok stroj radi, npr. Priprema alata). Na temelju odvajanja ovih aktivnosti, potrebno je u njima identificirati i optimizirati nepotrebne korake kako bi smanjili vrijeme čekanja i prazan hod stroja (vrijeme kada stroj ne radi, ali se odvijaju aktivnosti koje su mogle biti odrađene da ne postoji vrijeme čekanja rada stroja) [17].

Koraci u provođenju SMED metode:

- 1) Analiza procesa
 - proučavanje trenutnog procesa kako bi se identificirale sve aktivnosti i trajanje
- 2) Identifikacija unutarnjih i vanjskih aktivnosti
 - Razvrstavanje aktivnosti na unutarnje ili vanjske aktivnosti
- 3) Pretvaranje unutarnjih aktivnosti u vanjske
 - Identifikacija aktivnosti koje se mogu obaviti dok stroj radi i prebaciti ih u vanjske aktivnosti
- 4) Racionalizacija i optimizacija
 - Poboljšanje unutarnjih aktivnosti kako bi se smanjilo njihovo trajanje
- 5) Standardizacija procesa
 - Dokumentacija novih i poboljšanih metoda, sa svrhom održavanja poboljšanja i dosljednosti

2.4.6.2. Standardizacija

Standardizacija je proces postavljanja novih procesa rada i postupaka koji povećavaju učinkovitost i kvalitetu te pomaže podići to dvoje na visoki standard.

Temelji se na identifikaciji najboljih izvedbi zadatka te najučinkovitije izvođenje. Tako osigurava dosljednost, smanjuje varijabilnost te poboljšava kvalitetu. Standardizirani postupci moraju biti laki za razumijevanje te jasno dokumentirani kako bi ga svi radnici mogli sljediti. Kroz dosljednost postavljenu standardizacijom, postoji i prostor za kontinuirano poboljšanje zato što se standardi preispituju kako bi uvijek izvedba zadatka bila izvrsna.

Standardizacija se provodi tako da se odrede procesi koji su nužni za poslovanje te nužni za standardiziranje. Izrađuju se detaljne upute koje opisuju svaki korak u procesu, mogu biti tekstualne, vizualne, fotografije, videozapisi i sl. Kada su upute sastavljene, svi radnici moraju biti obučeni kako bi se te upute slijedile i razumjele. Na kraju, povratne informacije i rezultati praćenja novih procesa, mora se dešavati redovno ažuriranje kako bi se moglo očekivati kontinuirano poboljšanje samih procesa [18].

2.4.7. Organizacija proizvodnog procesa

Sustavi koji su dizajnirani za potpomaganje u optimizaciji proizvodnih procesa, smanjenju otpada i povećanju učinkovitosti. Ti sustavi su Tijek jednog komada i ćelijski raspored.

2.4.7.1. Jednkomadni tok (engl. one-piece flow)

Jednkomadni tok je proizvodna metoda koji se fokusira na proizvodnju jednog komada u isto vrijeme, kroz sve faze proizvodnog procesa, prije početka proizvodnje sljedećeg komada.

Proizvod se kreće kontinuirano, kroz sve faze proizvodnog procesa bez zastoja. Da bi postigli što glađi prijelaz sa radne stanicu na radnu stanicu, radi se reorganizacija te se oprema postavlja u blizini stanice te su i same radne stanice na relativno maloj udaljenosti. Ova metoda ima veliki utjecaj na smanjenje zaliha, jer je metoda povezana usko sa JIT sustavom, tako da je količina materijala na postaji dovoljna za izradu tog jednog komada, za razliku od masovne proizvodnje, gdje se proizvodi velika količina dijelova prije prijelaza u drugu fazu. Zbog smanjene količine materijala koje teče kroz proizvodni proces, brzina prilagodbe promjenama u potražnji znači da se sam proizvodni proces može preusmjeriti na različite proizvode. Ova metoda nam također omogućava veću kontrolu nad kvalitetom, stoga je svaki defektni komad uočen gotovo odmah, te se na taj način kvaliteta drastično povećava [19].

2.4.7.2. Ćelijski raspored (engl. cellular manufacturing)

Ćelijski raspored je metoda organizacije radnih stanica u „ćelije“ gdje sve što je potrebno za izradu dijela ili proizvoda je grupirano u blizini radne stanice.

Radne stanice se grupiraju prema specifičnim proizvodima ili dijelovima, za proizvodnju s minimalnim prekidima, što radnicima smanjuje kretanje u potražnji za materijalima ili alatima, povećavajući produktivnost [20].

Metoda Ćelijskog rasporeda i metoda tijeka jednog materijala usko su povezane i funkcioniraju međusobno, tako da:

1) Povećavaju učinkovitost i smanjuju zastoje

- Ćelijski raspored blisko grupira proizvodne stanice koje uključuju sve potrebne operacije za izradu proizvoda, tako smanjujući nepotrebna kretanja materijala i radnika između različitih stanica, smanjujući vrijeme ciklusa i povećavajući učinkovitost, dok tijek jednog komada osigurava prolaz jednog komada kroz sve faze bez zastoja, tako eliminirajući nakupljanje zaliha između faza

2) Poboljšavaju kvalitetu

- Ćelijski raspored omogućava lakšu komunikaciju radnika unutar ćelije, te potiče suradnju, što rezultira bržim otkrivanjem i rješavanjem problema, dok tijekom jednog komada omogućava radnicima da se odmah prepozna i izbací defektan proizvod.

3) Veoma su fleksibilni i prilagodljivi

- Ćelijski raspored je lagan za reorganizirati prema potrebi proizvodnje te je lako i brzo prilagodljiv, dok tijekom jednog komada nam omogućava brzu izmjenu pošto nema velikih zaliha koje bi se trebale izmijeniti

4) Smanjuju zalihe i troškove

- Ćelijski raspored smanjuje udaljenost koju materijali moraju prijeći između razliĉitih operacija, smanjujući potrebu za skladištenjem velikih koliĉina materijala, dok tijekom jednog materijala drastiĉno smanjuje zalihe poluproizvoda, jer se samo jedan komad kreće kroz proizvodni proces,

3. Uvod u praktični dio rada

Praktički dio rada je odrađen u sklopu firme Look.ing Engineering d.o.o. pod nadzorom i mentorstvom glavnog inženjera / direktora Luke Barišića.

Look.ing d.o.o. je *start-up* firma za sve vrste inženjering, sa specijalizacijom u proizvodnom inženjering i optimizaciji proizvodnje.

Svrha projekta je optimizacija proizvodnog procesa elektroničkih sklopova korištenjem alata *Lean* sustava, te implementacije tog sustava na samu proizvodnju.

Projekt i implementacija se mogu podijeliti u 3 faze:

1. Analiza procesa –JIT , VSM *mapping*, *kanban*
2. Reorganizacija procesa, izrada alata i prototipa – 5S, PDCA, ćelijski raspored
3. Izrada 0.te serije i audit

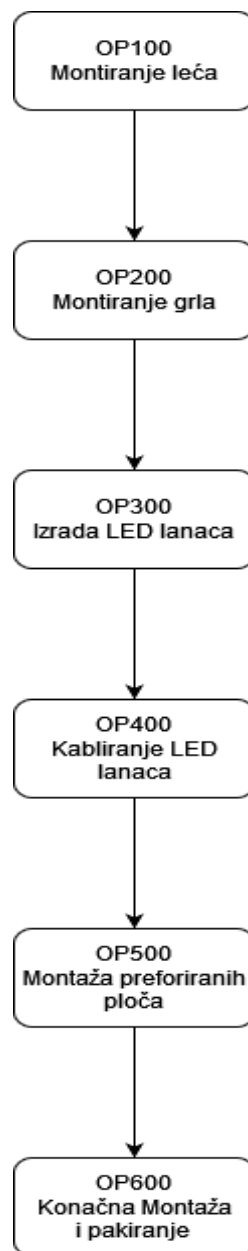
3.1. Početno stanje

3.1.1. Proizvod

Proizvod je signalizacijska kutija koja se sastoji od kućišta, elektroničkih sklopova i matrix ploče sa montiranim LED svjetlima. S obzirom na kompleksnost proizvoda, proizvodnja je podijeljena na dva dijela: predmontažni i montažni dio. Operacije u proizvodnji će se prikazati kroz tok procesa (engl. *Process flow*), vizualni prikaz samog tijeka proizvodnje kroz dijagrame.

3.1.2. Proizvodni proces (tok proizvodnje)

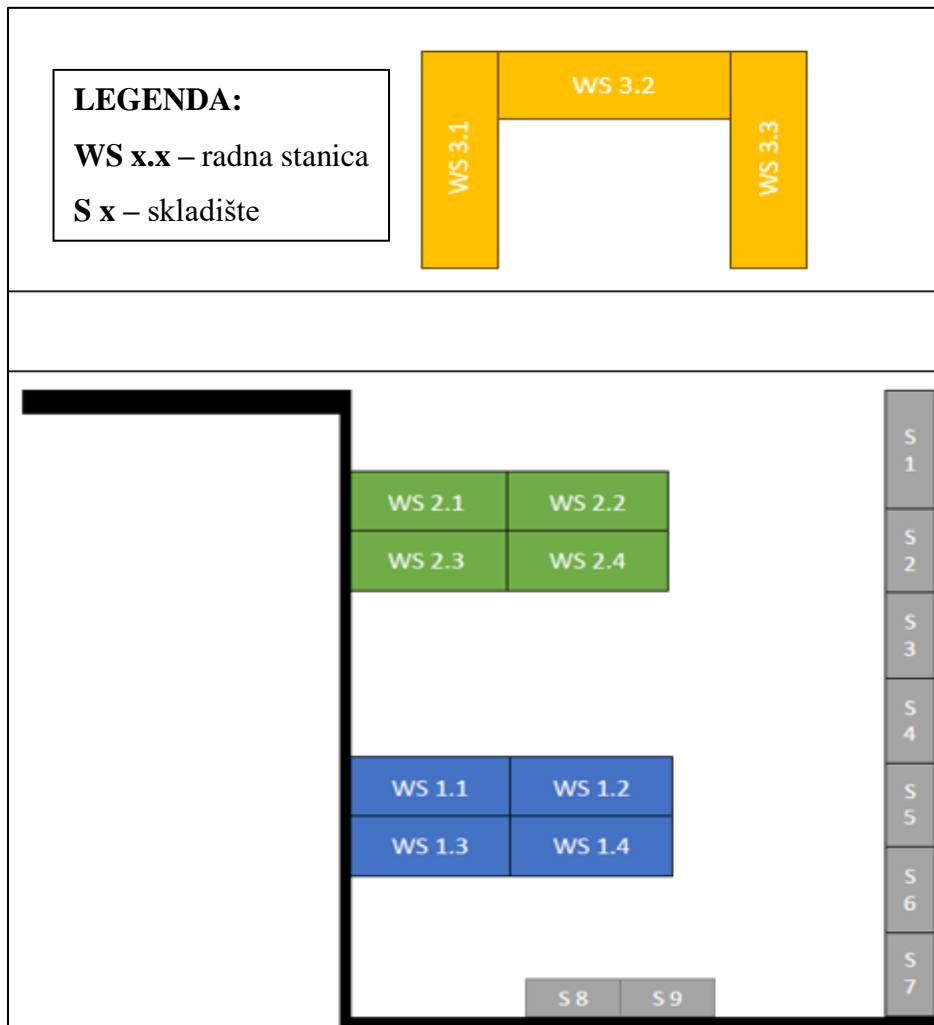
Tok proizvodnje je najbolje prikazan sljedećim dijagramom:



Tok proizvodnje je podjeljen u 6 različitih operacija, svaka sa svojim brojem podoperacija, koje će se za sada ovako grupirati radi lakšeg snalaženja i izrade ABC analize i usporedba starih i novih sustava.

Dijagram 3.1. Tok proizvodnje

3.1.3. Početni raspored stolova



Slika 3.1. Početni raspored stolova

WS1.1 – WS1.4 – Višenamjenski stolovi

WS2.1 – WS2.4 - stolovi za montažu leća igla, izradu i montiranje LED lanaca i postavljanje preforiranih ploča

WS3.1 – WS3.3 – stolovi za konačnu montažu i pakiranje

Iako raspored stolova odgovara ćelijskom rasporedu i sustavu, postojao je problem needukacije radnika, koji su stolove koristili kao univerzalne stanice na kojima se radilo što je tog dana bilo potrebno, a ne preodređene stanice za specifičnu radnju. Isto tako, u ormare/skladišta S8/S9 se na kraju dana spremao sav alat korišten taj dan, a u skladišta S1-S7 se spremao sav materijal koji nije iskorišten tog dana, da bi se idući dan i materijal i alat vadio i vraćao nazad na radne stanice. Nadalje će stolovi i operacije biti označeni sa OP xxx oznakom radi lakšeg razaznavanja operacije i stola.

3.1.4. Opis i trajanje operacija predmontažnog i montažnog procesa

3.1.4.1. Opis i trajanje operacija predmontaže

OP 100: Operacija započinje sa provjeravanjem naloga. Na stol se postavlja i pričvršćuje matrix ploča koja odgovara nalogu te se laganim udarcima čekića leće montiraju u ploču. Nakon slijedi vizualna inspekcija jesu li sve leće postavljene pravilnom orijentacijom te se ploča šalje na OP200

OP 200: Ploča se postavlja na stol, te se grla montiraju u ovisnosti na orijentaciju leća. Ploča sa grlima i lećama se šalje na OP300

OP 300: Za zadani nalog, priprema se materijal, tzv. „LED čokolada“ koja se zalijepi trakom za površinu i njeni kablovi se raspetljaju i režu se na konačnu duljinu. Provjerava se količina LED-ica potrebnih za lanac te se „čokolada“ trga i izrađuju se parovi žica uvijanjem bušilicom.

Pošto sve LED-ice u lancu neće svijetliti, potrebno je zadani broj staviti u termo crijevo. Dok se LED-ice ubacuju u termo crijevo, grije se indukcijsko puhalo, te se termo crijevo zagrijava, skuplja se oko LED-ica i zatvara sa kliještima.

Gotovi LED lanci se stavljaju na nosač sa kojeg se preuzimaju kada su spremni za postavljanje na ploču. LED-ice se postavljaju na ploču u ovisnosti o orijentaciji grla, krajevi lanaca se još jednom provjeravaju i pripremaju za kabliranje, te se ploča šalje na OP400

OP 400: Na pripremljene krajeve lanaca, postavljaju se konektori. Konektor se postavi u stegu, otvori se odvijačem te se kablovi postave u konektor i označe se pripadajućim naljepnicama. Ploča se potom šalje na funkcijski test sa stolnim izvorom, te po pozitivnom testu se šalje na OP 500

OP 500: Ova operacija je podijeljena na dva dijela, OP 500A i OP 500B, u ovisnosti o tome da li se pri postavljanju perforirane ploče za nju električarskim vezicama povezuju kablovi (matrix – OP500A) ili se ostavljaju ne zavezani (prazno – OP500B)

Tablica 3.1. Stanice predmontaže

Operacije na matrix ploči	Radna stanica	Trajanje operacije [s]	Operator / stanica	Ciklus stanice [s]
OP100: Montaža leća	WS2.4	1600	1	2190
OP200: Montaža grla		590	1	
OP300: Montaža led dioda	WS2.2	2007	1	2007
OP400: Kabliranje led dioda	WS2.1	2656	1	2656
OP500A: Montaža preforirane ploče: matrix	WS2.3	1289	1	1722
OP 500B: Montaža preforirane ploče: prazno		433	1	

3.1.4.2. Opis i trajanje operacija montažnog procesa

OP 600: Prije postavljanja gotovih ploča na kutiju, kutija se prvo gumira u svrhu izolacije te se postavljaju odvođi za vodu u slučaju nepogodnih uvjeta. Po završenom gumiranju, postavljaju se šarke za vrata i unutarnja elektronika na koju će se povezati ploča.

Dok jedna osoba priprema kutiju, druga sastavlja vrata i ključanice za vrata. Kada se završi posao kutije, postavljaju se ploče sa LED-icama koje se povezuju na unutarnju elektroniku. Na kraju se postavljaju vrata na koje se naljepljuju naljepnice sa električnom shemom sklopa te se kutija šalje na posljednji funkcijski test. Gotova kutija se stavlja sa strane radi provjere kvalitete, te se na kraju provjere pere i pakira.

Tablica 3.2. Stanice montaže

Operacije	Radna stanica	Trajanje operacije [s]	Operator / stanica	Ciklus stanice [s]
OP 600:Konačna montaža	WS3.1-3.3	7343	Var.	7343

3.1.5. Analiza procesa

U ovom koraku procesa se provodi detaljna analiza na mikro razini (detalji pojedinačnih koraka) sve do makro razine (cijeli proizvodni proces i okolina samog procesa). Ovaj korak je bitan jer nam približe daje do znanja postoji li mogućnost implementacije JIT sustava koji bi nam omogućio smanjenje zaliha na samo ono što je potrebno za proizvodnju te povećanje učinkovitosti i smanjenje otpada.

Kroz mikro analizu su ispitani pojedinačni čimbenici unutar procesa montaže sklopova što uključuje:

- Ispitivanje vremenskih ciklusa
- Kretanja radnika te korištenje alata
- Analiza specifičnih zadataka
- Prepoznavanje potencijalnih gubitaka ili zastoja

Mikro analiza proizvodnih procesa će se ovdje provesti kroz analizu pokreta kroz snimanje montaže, definiciju otpada uz pomoć ABC analize koja će ukazati postoji li mogućnost implementacije JIT sustava u ovaj proizvodni proces.

Kroz makro analizu, pregledava se šira slika procesa. U ovome dijelu, promatra se kako promjene na mikro razini mogu utjecati na cijeli sustav te kako njihova optimizacija može poboljšati učinkovitost cijele proizvodnje. Promatra se i tok materijala kroz cijeli sustav te kako on utječe na interakciju između različitih stanica rada te učinkovitost dobavljača, logistike i ostalih uvjeta koji utječu na proizvodnju.

3.1.6. Mikro analiza

3.1.6.1. Snimanje montaže

Provodi se na temelju izrade jednog proizvoda. Snimaju se svi koraci, stanice i kretanja radnika u procesu izrade jednog proizvoda te se sve kretnje radnika rastavljaju na pojedinačne radnje čija su vremena zapisana u pregledavanju snimka na kraju.

Vrijednosti tih vremena su potrebna za daljnju procjenu kroz ABC analizu.

ABC ANALIZA

ABC analiza je metoda sistematizacije koraka na temelju njihovih vrijednosti te njihovom utjecaju na proces. Ti koraci se dijele na:

- A vrijednost – vrijednost sa najvećom vrijednošću i najvećim utjecajem na proces, najnužniji za provođenje procesa te se ne eliminiraju
- B vrijednost – vrijednost sa srednjom vrijednošću i srednjim utjecajem na proces, nastoje se smanjiti ili ubrzati pošto i dalje dodaju vrijednost procesu
- C vrijednost – vrijednost sa najmanjom vrijednošću i najmanjim utjecajem na proces, ovi koraci se pokušavaju u potpunosti eliminirati kako bi se proces što više ubrzao i učinio učinkovitijim

ABC analiza se koristi kao derivat VSM-a (*Value Stream Mappinga*) koji kao alat vizualizira sve korake unutar proizvodnog procesa sa ciljem eliminacije aktivnosti koje ne dodaju vrijednost i poboljšanju učinkovitosti.

Tablica 3.3. OP 100: montaža leća

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	1487	92.9%
B	41	2.6%
C	72	4.5%

Tablica 3.4. OP 200: Montaža grla

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	560	95%
B	0	0%
C	30	5%

Tablica 3.5. OP 300: Izrada LED lanaca

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	1130	43%
B	1196	75%
C	330	56%

Tablica 3.6. OP 400: Montaža LED lanaca

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	1172	58%
B	293	15%
C	542	27%

Tablica 3.7. OP 500A: Montaža

preforirane ploče

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	165	38%
B	0	0%
C	268	62%

Tablica 3.8. OP 500B: Montaža

preforirane ploče: Matrix

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	658	51%
B	226	11%
C	405	20%

Tablica 3.9. OP 600: konačna montaža i

pakiranje

Radnja	Trajanje [s]	[%]
A	4054	63%
B	720	19%
C	311	18%

Iz sljedećih vrijednosti ABC analize možemo primijetiti da :

OP100 – vrlo stabilan proces sa vrlo niskim vrijednostima bezvrijednih operacija, iako će biti potrebno urediti radnu postaju

OP200 – stabilan proces sa vrlo niskim vrijednostima bezvrijednih operacija, proces neće biti nužno daljnje optimizirati

OP300 / OP400 – ova dva procesa će biti grupirana radi neposredne blizine njihovih stolova. Ova dva procesa traju gotovo 54% ukupne duljine trajanja predmontažnog procesa, te je razlog visokim vrijednostima B i C uzrokovan primarno neredom koji nastaje kada se kablovi stavljaju u matrix ploče.

OP 500A /OP 500B – proces relativno stabilan, iako najveći utrošak vremena koji se javlja kroz B i C je posljedica ne dodijeljene radne stanice za ove radnje

OP 600 – proces relativno stabilan, najveći potencijal za optimizaciju procesa montaže se nalazi u reorganizaciji koraka u kojima se sklapa konačan proizvod i optimizacija skladištenja materijala koji se koristi prilikom montaže

3.1.6.2. Zaključak analize

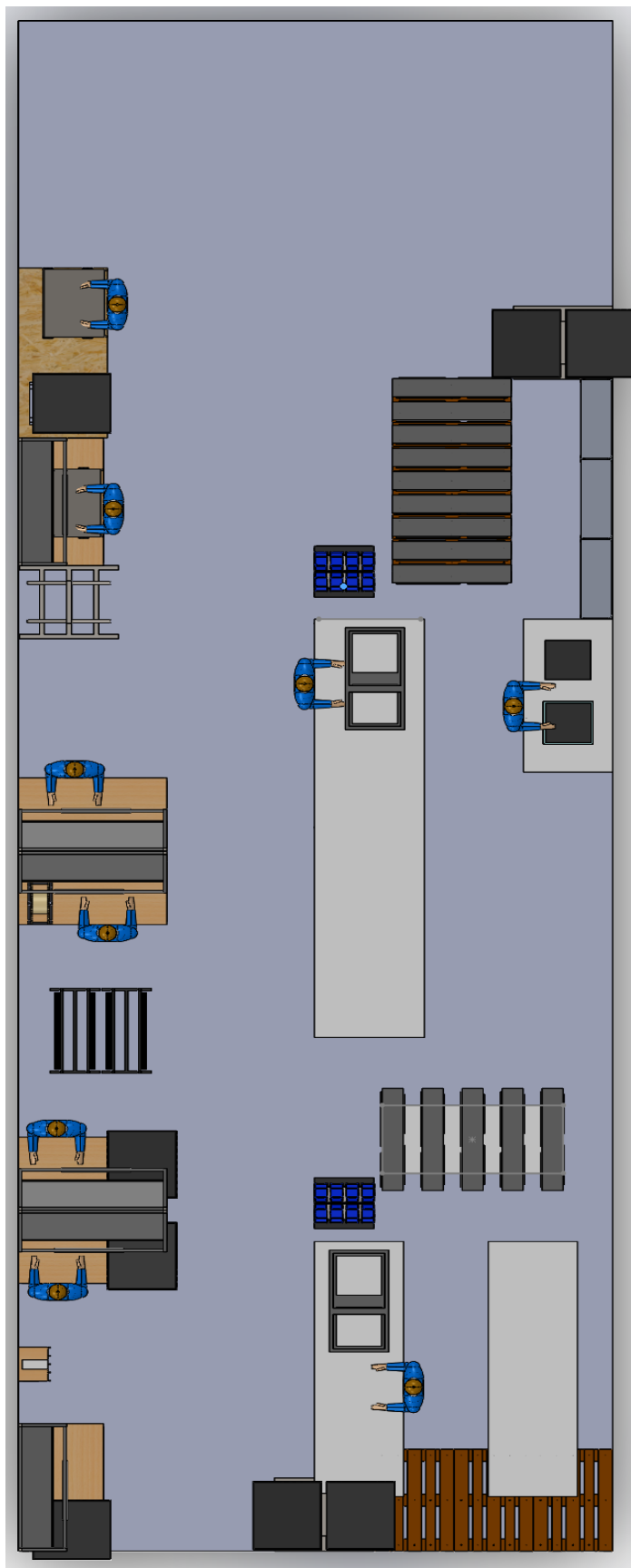
Na temelju „Pull“ sistema *Kaban* proizvodnje, uspostaviti će se JIT unutar procesa tako da se stanice organiziraju i tempiraju. Zbog nemogućnosti izolacije samog procesa od negativnih utjecaja SCM-a (eng. *supply chain management*) i procesa provjere kvalitete dobavljača, biti će implementirani *buffer* sistemi koji su efektivno rješenje za borbu s kašnjenjem unutar JIT sustava.

3.2. Reorganizacija procesa i izrada alata i prototipa

3.2.1. Izrada novog rasporeda stolova

U izradu novog rasporeda stolova se ulazi sa idejom ćelijskog rasporeda stolova sa brzim i efektivnim prijelazima između operacija i radnih stanica. U zaključku analize smo zaključili da će biti potrebne *buffer* zone koje se bore sa kašnjenjem unutar JIT sustava, stoga će biti implementirana međuskladišta u obliku držača i nosača ploča.

Nadalje bilo je potrebno osigurati dovoljnu širinu neometanog prolaza za paletar kao i dovoljan prostor na jednom kraju hale radi prolaza u drugi dio tvornice (nalazi se na gornjem dijelu slike):

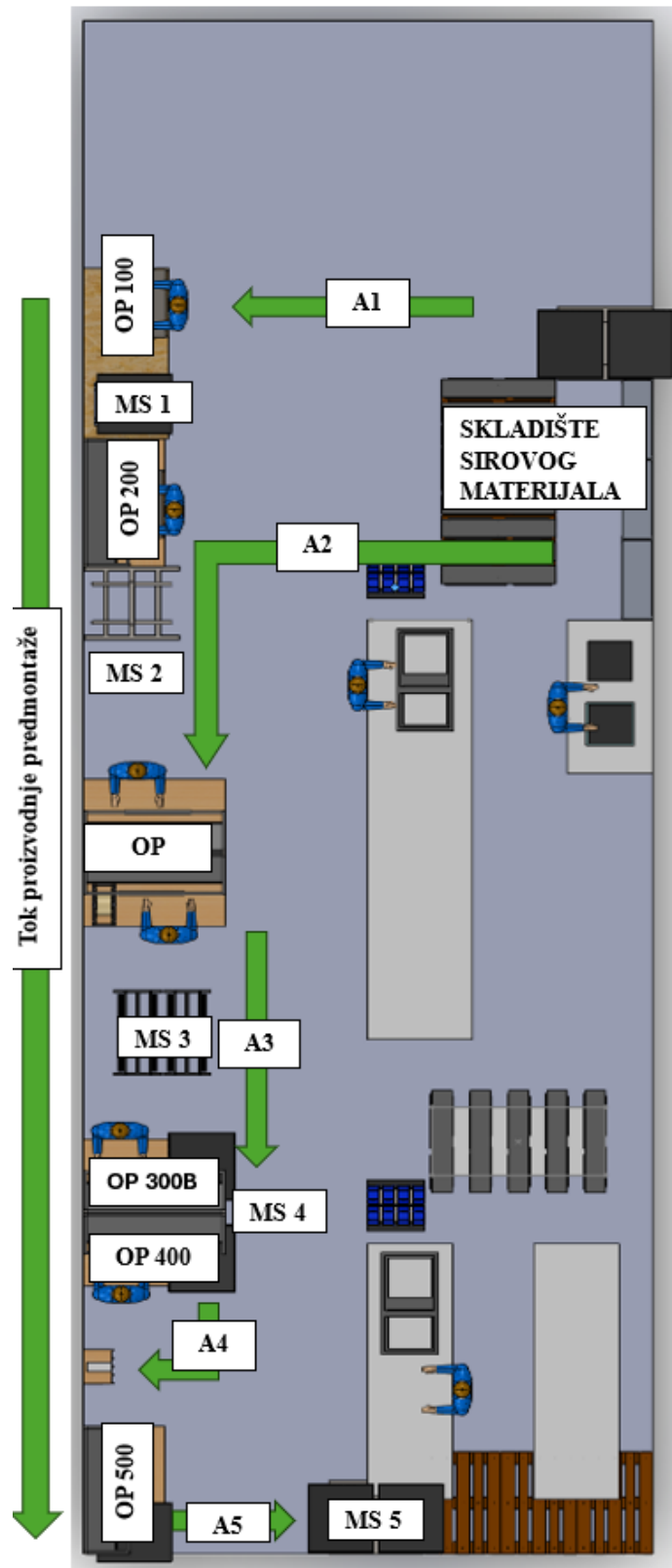


Slika 3.2 3D model tlocrta proizvodne linije

3.2.1.1. Prikaz toka proizvodnje predmontaže

Tablica 3.10. Legenda toka proizvodnje predmontaže

Radnja	Opis
OP 100	Montaža leća
OP 200	Montaža grla
OP 300A	Izrada LED lanaca
OP 300B	Montaža LED lanaca
OP 400	Montaža konektora
OP 500	Montaža perforiranih ploča
A1	Uzimanje sirove ploče
A2	Uzimanje LED „čokolada“
A3	Gotovi LED lanci
A4	Funkcijski test
A5	Gotove ploče
MS	Međuskладиšte



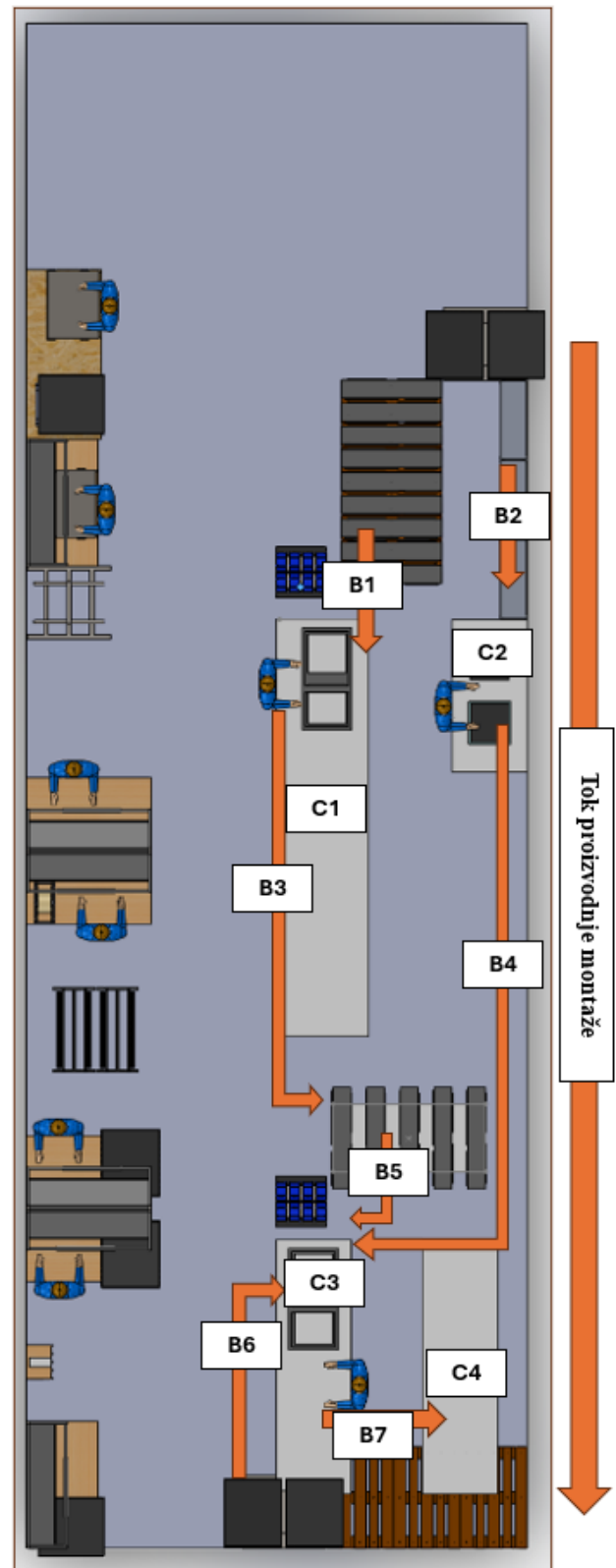
Slika 3.3, Tok proizvodnje predmontaže

3.2.1.2. Prikaz toka proizvodnje konačne montaže

U ovom dijelu će se rasčlaniti OP 600 na više dijelova kako je opisana ranije u radu:

Tablica 3.11. Legenda toka proizvodnje montaže

Operacija	Radnja
B1	Uzimanje kutije
B2	Uzimanje vrata
C1	Montaža unutarnje elektronike
C2	Predmontaža vrata
B3	Spremanje poluproizvoda u MS
B4	Gotova vrata se šalju na
B5	Uzimanje poluproizvoda iz MS
B6	Uzimanje gotovih ploča iz MS
C3	Završno sastavljanje kutije
B7	Priprema kutije za provjeru kvalitete
C4	Provjera kvalitete / pakiranje
MS	Međuskладиšte



Slika 3.4, Tok proizvodnje montaže

3.2.2. Izrada novog alata i prototipova

Izrada novog alata i prototipova se temelji na odrađenim simulacijama protoka materijala te se definira okvirna pozicija radnih stanica.

GAP analizom se utvrđuje procesi za koje je poboljšanje nužno te se prilikom izrade prototipova i samih alata primjenjuje princip 6S.

U sklopu 5S dodaje se „Šesti“ S koji stoji za sigurnost u radu, primjenjuje se kako bi se izradile ergonomske radne stanice, alati i okruženje u kojem su radnici tokom obavljanja operacija što manje zdravstveno ugroženi. Ostatak S-ova se primjenjuje kroz upute za rad, standarda radnih stanica i oznaka na radnim stanicama.

3.2.2.1. Izrada alata za OP100

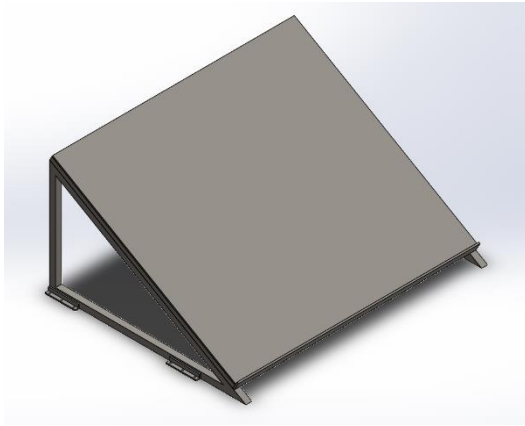
Stol



Slika 3.5. OP 100: stol

Stol izrađen sa svrhom da se teške aluminijske šablone spremaju u utore ispod stola, smanjujući naprezanje radnika te nošenje šablona iz skladišta

Postolje



Slika 3.6, OP 100: postolje

Postolje se postavlja na stol, učvršćuje se da se prilikom ukucavanja leća što manje tresse. Postolje je napravljeno sa nagibom da se radnik ne mora nadviti nad stol i pritom naprezati vrat.

3.2.2.2.. Izrada alata za OP 200

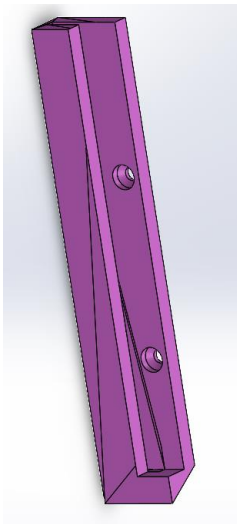
Postolje obloženo mekom podlogom

Prilikom postavljanja grla u ploču, ona se okreće na stranu gdje su leće. Zbog zaštite ploče od oštećivanja, na postolje se stavlja meka podloga da bi se zaštitila od oštećenja leća ili grebanja same ploče

3.2.2.3.. Izrada alata za OP 300

Trganje i uparivanje LED lanaca

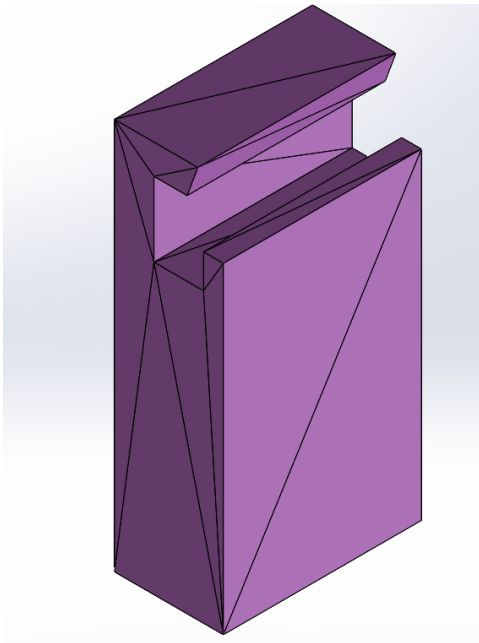
Držać LED „čokolade“



Držać LED „čokolade“ se pričvršćuje za stol te se u njega stavlja LED „čokolada“. Pritom se žice raspetljavaju, rastežu i režu na zadanu duljinu, prije nego se uparuju u pletenicu.

Slika 3.7. OP 300: Držać
LED „čokolade“

Poluga za trganje „čokolade“

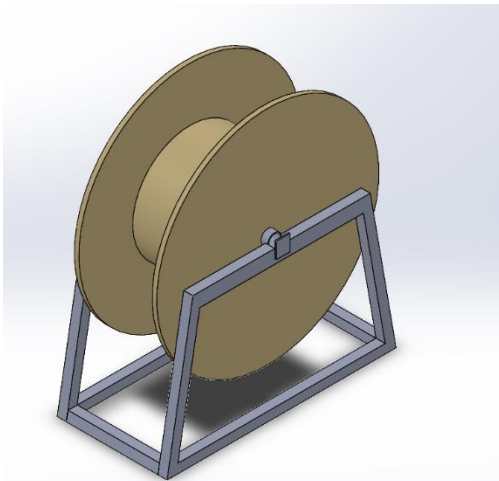


Poluga je izrađena sa svrhom trganja redova „čokolade“ da se LED-ice ne moraju sa kliještima trgati jedna po jedna. Tako dobivamo cijeli red koji ulazi u lanac puno brže.

Slika 3.8. OP 300: Poluga za trganje „čokolade“

Umetanje / zagrijavanje termokabela

Stalak za termo kabel



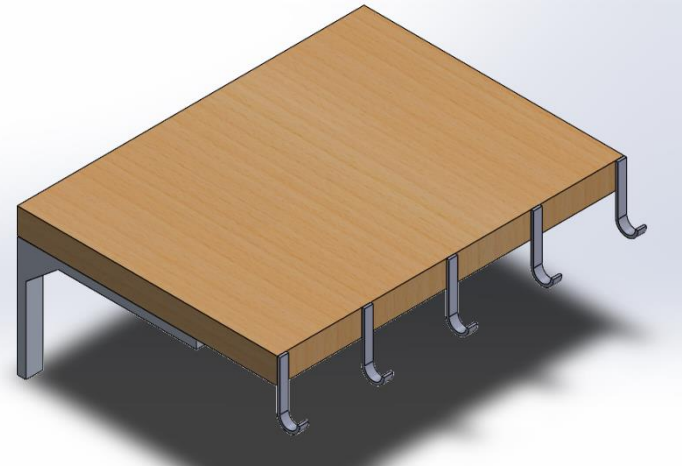
Termokabel dolazi u kolutu bez zadanog stalka te se kutija mora svaki puta otvarati da bi se kabel rezao na duljine potrebne za LED-ice.

Stalak ima funkciju stavljanja tog koluta na pokretnu os, gdje se kolut može lakše izvlačiti, izmjeriti i rezati.

Slika 3.9. OP 300: Stalak za termokabel

3.2.2.4.. Izrada alata za OP 400 i OP 500

Polica za funkcijski test



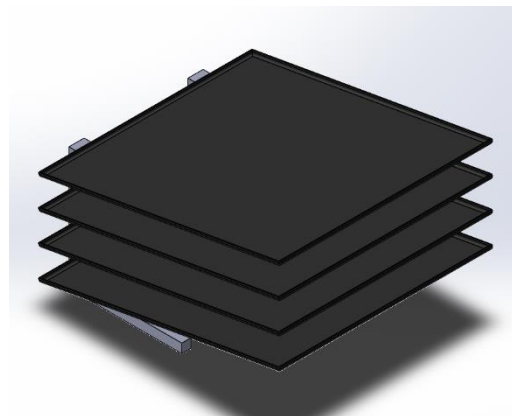
Za ove stanice nije bilo nužno izraditi nikakve posebne alate osim police za funkcijski tester koji služi za testiranje rada LED-ica u ploči. Postavljeno je na pristupačno mjesto tako da se može testirati sama ploča te cijela kutija kada se postavi unutarnja elektronika u cijeli sklop.

Slika 3.10. OP 400 / OP 500: Polica za funkcijski test

3.2.2.5.. Međuskladišta

Kako bi stvorili *buffer* zone na stanicama i između stanica, dodajemo tri varijacije među skladišta: stolni držač, pokretni držač i držač za LED lance.

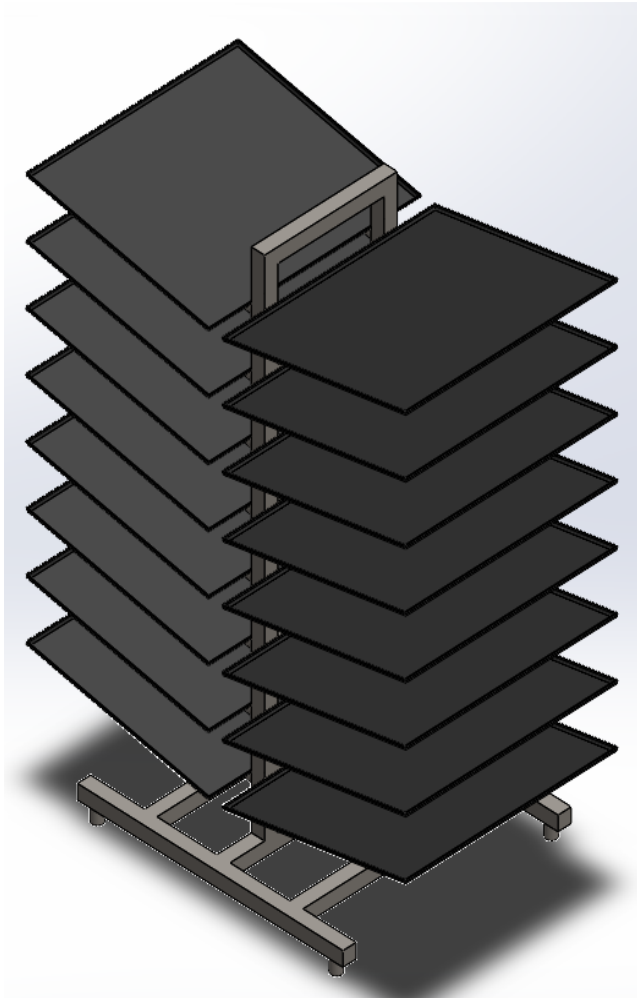
Stolni držač



Stolni držač obložen spužvom radi zaštite ploča od oštećenja.

Slika 3.11. Stolni držač

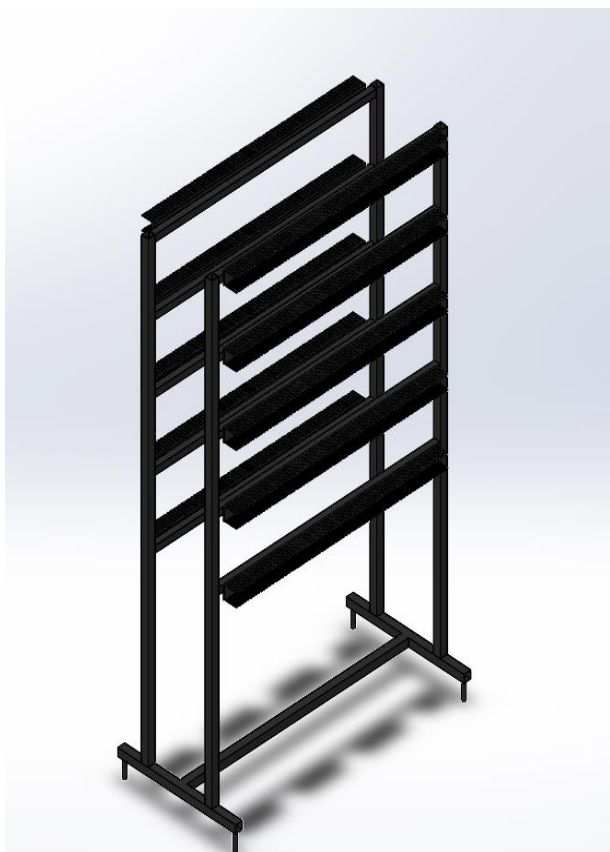
Pokretni držač



Slika 3.12. Pokretni držač

Pokretni držač obložen spužvom radi zaštite ploča od oštećenja. Ovisno o poziciji i punoći držača, može biti pomican po cijelom prostoru. Obično se drži blizu skladišta za punjenje sirovih ploča spremnih za obradu ili kod konačne montaže sa već obrađenim pločama spremnim za postavljanje u kutije.

Držać za led lance

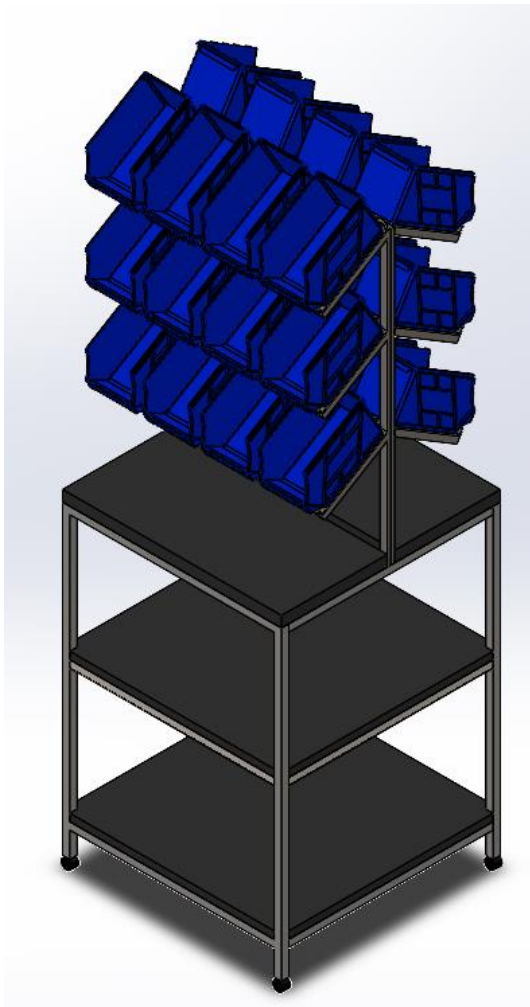


Slika 3.13. Držać za LED lance

Držać napravljen sa svrhom sortiranja i organizacije gotovih LED lanaca. Svaka polica je označena sa količinom LED-ica koje se nalaze u termo kabelu tako da osoba koja ih preuzima za postavljanje na ploču lakše može razaznati koji lanac treba uzeti

3.2.2.6. Dodatni alati

Kolica za sitni materijal



Slika 3.14. Kolica za sitni materijal

Kolica za sitni materijal su pomična kolica koja se koriste pri konačnoj montaži. Sadrže matice, vijke, gumice te slične sitne materijale potrebne za sastavljanje kutije.

Kutijice se nalaze na policama te ih je moguće skinuti i staviti na stol po potrebi

Donje police služe za držanje unutarnjih sklopova koji će biti umetnuti u samu kutiju.

3.3. 0.Serijski i Auditni

0.serijski se provodi kao pokus prilikom implementacije svih promjena unutar proizvodnje te služi za re-edukaciju u ponovo upoznavanje radnika sa procesom i novom izvedbom procesa.

Prilikom toga pišu se nove upute za rad za nove standardizirane stanice te za nove dodatne procese.

Nakon izrade 0.serijske, proizvodnja se pušta u pogon te se izvodi ponovno mjerenje procesa.

Tablica koja slijedi će biti podijeljena na operacije koje su već opisane kao i podoperacije kako bi bolje približili podjelu vremena.

Mjerenja koja su izvedena su usporedba predmontaže dana 22/03/2023 i predmontaže 10/11/2023.

3.3.1. Prikaz mjerenja

Tablica 3.12. OP 100: Montaža leća

	Predmonaža 22/03/2023	Predmontaža 10/11/2023	
Opis podoperacije	Ukupno vrijeme t [min]	Ukupno vrijeme t [min]	Poboljšanje
Ubacivanje leće	29,6	0,0	100%
Čekićanje leće	10,2	30	-194%
Σ	39,8	30	24,62%

Tablica 3.13. OP 200: Montaža grla

	Predmonaža 22/03/2023	Predmontaža 10/11/2023	
Opis podoperacije	Ukupno vrijeme t [min]	Ukupno vrijeme t [min]	Poboljšanje
Pozicioniranje grla	16,9	0,0	100%
Montaža grla	23,0	33,0	-43%
Σ	39,9	33,0	17,3%

Tablica 3.14. OP 300: Montaža LED lanaca

	Predmonaža 22/03/2023	Predmontaža 10/11/2023	
Opis podoperacije	Ukupno vrijeme t [min]	Ukupno vrijeme t [min]	Poboljšanje
Priprema kablova	24,0	29,3	-22,1%
Ubacivanje LED-ova	75,2	68,1	9,4%
Grijanje termo-kabela	75,2	49,0	34,8%
Σ	174,4	146,4	16,1%

Tablica 3.15. OP 400: Postavljanje konektora

	Predmonaža 22/03/2023	Predmontaža 10/11/2023	
Opis podoperacije	Ukupno vrijeme t [min]	Ukupno vrijeme t [min]	Poboljšanje
Rezanje kablova	10,0	0,0	100%
Priprema kraja kablova	9,1	4,0	56%
Postavljanje konektora	34,4	28,0	18,6%
Funkcijski test	10	2	80%
Σ	63,5	34	46,5%

Tablica 3.16. Konačna usporedba radnih stanica i operacija

	Predmonaža 22/03/2023	Predmontaža 10/11/2023	
Operacija	Ukupno vrijeme t [min]	Ukupno vrijeme t [min]	Poboljšanje
OP 100	39,8	30	24,62%
OP 200	39,9	33,0	17,3%
OP 300	174,4	146,4	16,1%
OP 400	63,5	34	46,5%
Σ	317,6	243,4	23,4%

4. Zaključak

Cilj ovog završnog rada je bila implementacija *Lean* sustava i njegovih podsustava sa svrhom optimizacije proizvodnje i sklapanja elektroničkih sklopova.

Uspješnost implementacije *lean* sustava ovisi o mnogo faktora, počevši od radnika pa sve do uprave jedne tvrtke, implementacija nije moguća bez sinergije svih dijelova koje čine cjelinu. Kraja implementaciji, naravno, nikad nema jer je uvijek potrebno kontinuirano usavršavanje koje se postiže kroz praćenje načela *Kaizena* koja uvijek drži sve uključene odgovorne da čine taj proizvodni proces boljim.

Pri prvom uvidu u ovaj proizvodni proces koji je u svojoj suštini funkcionirao, vidjele su se potencijalne preinake koje su mogle učiniti velike razlike, kako za poboljšanje proizvodnje i boljitak tvrtke, tako i za radnike koji sudjeluju u proizvodnji.

Glavni faktori na kojima je trebalo poraditi su bili organizacija alata i radnih stanica, re-educaciji radnika i izrada standarda postaji kao i novih uputa za rad te smanjenje praznog hoda koji je bio posljedica svih navedenih faktora.

Implementacija, kao što je napisano je podijeljena u tri dijela, u svakom dijelu je korišten jedan ili više bitnih bitnih sustava *Leana* kako bi iz koraka u korak se približili cilju.

Taj cilj je postignut kao što je dokazano jer promjena u predmontaži koja je mjerena 22/03/2023 prije implementacija iznosila je 317,4 minute, i mjerenju nakon implementacija 10/11/2023 iznosi 243,3 minute.

Iz ovoga se vidi da je implementacijom *lean* sustava na vremenu predmontaže uštedeno 74,1 min što iznosi poboljšanje od 23,46%

To dakako nije kraj optimizaciji, te je ovo bio prikaz optimizacije predmontažnog procesa. Konačna montaža je spomenuta ali ona nije trebala veće preinake od sređivanja ladica na stolovima. Danas je taj proces u potpunosti implementiran i održava se sa povremenim provjerama i razgovorima sa radnicima.

5. Literatura

- [1] S.Tissir i S. El Fezazi : *Lean management and Industry 4.0 impact in COVID19 Pandemic era*, Detroit, 2020.
- [2] *Future trends for process manufacturing*, <https://precog.co/blog/future-trends-for-process-manufacturing-in-2024/>, 21.7.2024.
- [3] I.Šmit : *Implementacija Lean sustava u proizvodnim poduzećima*, Zagreb, 2008.
- [4] *Challenges n implementing Lean Principles and how to overcome them*, <https://mechanitec.ca/challenges-implementing-lean-principles-how-overcome-them/>, 21.7.2024.
- [5] M. Burić : *Taylor i načela znanstvenog upravljanja*, Zagreb, 2023.
- [6] *Frederick Winslow Taylor: Hero of Scientific Management*, <https://www.qad.com/blog/2018/04/frederick-winslow-taylor-scientific-management>, 21.7..2024.
- [7] *A Brief History of Lean*, <https://www.lean.org/explore-lean/a-brief-history-of-lean/>, 10.4.2024.
- [8] *The moving assembly line and the five-dollar workday*, <https://corporate.ford.com/articles/history/moving-assembly-line.html>, 21.7.2024.
- [9] Prezentacija: Prof. Dr. sc. N.Štefanić i Nataša Tošanović, dipl.ing. : *Lean proizvodnja*, Zagreb, 2011.
- [10] Š. Čubrić, *Upravljanje zalihama i Just in Time metoda*, Šibenik, 2021.
- [11] *Toyota Production System*, <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>, 25.7.2024.
- [12] *5S*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/five-s/>, 25.7.2024.
- [13] *Kanban*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/kanban/>, 25.7.2024.
- [14] *Andon*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/andon/>, 25.7.2024.
- [15] *5 Whys*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/5-whys/>, 25.7.2024.
- [16] *Poka Yoke*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/poka-yoke/>, 26.7.2024.
- [17] *Single Minute Exchange of Die (SMED)*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/single-minute-exchange-of-die/>, 26.7.2024.
- [18] *Standardized Work*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/standardized-work/>, 27.7.2024.
- [19] *Continuous flow*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/continuous-flow/>27.7.2024.
- [20] *Cell*, <https://www.lean.org/lexicon-terms/cell/> 27.7.2024.