

# Idejni projekt poboljšanja sustava za montažu

---

**Stojanović, Saša**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:361147>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU**

Rijeka, studeni 2024.

Saša Stojanović

0069059275

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Stručni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU**

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sandro Doboviček

Rijeka, studeni 2024.

Saša Stojanović

0069059275

Rijeka, 16. listopada 2024.

Zavod: **Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment**  
Predmet: **Proizvodni sustavi**  
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Saša Stojanović (0069059275)**  
Studij: **Stručni prijediplomski studij strojarstva**

Zadatak: **Idejni projekt poboljšanja sustava za montažu / Conceptual project to improve the assembly system**

### Opis zadatka:

Izraditi idejni projekt poboljšanja sustava za montažu - obradu grupe proizvoda definiranih u prilogu zadatka. Opisati ključne procese u proizvodnim organizacijama. Objasniti osnovne proizvodne paradigme. Objasniti osnovna načela i alate Vitke proizvodnje. Analizirati zatečeno stanje sustava za montažu u proizvodnoj tvrtki te odrediti ključne pokazatelje izvođenja procesa. Kreirati graf prethodnosti zatečenog sustava za montažu te opisati raspodjelu rada i razinu automatizacije takvog sustava. Konkretizirati ciljeve projekta poboljšanja sustava. Definirati glavne aktivnosti projekta poboljšanja. Opisati i komentirati rezultate implementacije projekta poboljšanja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Sandro Doboviček

---

izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Sukladno Pravilniku o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Rijeka, Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno napravio završni rad prema zadatku Povjerenstva za završne ispite preddiplomskog stručnog studija strojarstva pod vodstvom mentora izv.prof.dr.sc. Sandra Dobovičeka.

Rijeka, studeni 2024.

---

Saša Stojanović



## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Pozadina problema.....	1
1.2. Ciljevi.....	2
2. TEORIJSKE OSNOVE I PREGLED LITERATURE.....	3
2.1. Vitka proizvodnja .....	3
2.2. Povijest i razvoj Vitke proizvodnje.....	3
2.3. Osnovnih 5 principa Vitke proizvodnje.....	4
2.4. Sedam vrsta gubitaka .....	5
2.5. Sastavni dijelovi Vitke proizvodnje.....	6
2.5.1. Metoda „5S“ .....	6
2.5.2. Balansiranje proizvodnih procesa.....	7
2.5.3. SMED metoda .....	10
2.5.4. JIT proizvodnja .....	11
2.5.5. Jidoka .....	12
2.5.6. Kanban sustav.....	13
2.5.7. Sastanci u proizvodnom pogonu .....	14
2.6. Vrste organizacije proizvodnje .....	15
2.6.1. Radionička proizvodnja.....	15
2.6.2. Linijska proizvodnja .....	17
2.6.3. Proizvodnja u proizvodnoj ćeliji.....	17
2.7. VSM dijagram .....	19
2.8. Graf prethodnosti procesa .....	20
3. ZATEČENO STANJE SUSTAVA ZA MONTAŽU .....	21
3.1. Opis proizvodnje tvrtke u kojoj promatrani sustav djeluje .....	21
3.2. Opis proizvoda i dijagram procesa .....	23
3.3. Prikaz zatečenog stanja i proračun učinkovitosti .....	26
3.3.1. Početno stanje opskrbljenosti proizvodne linije materijalom.....	26
3.3.2. Zatečeno stanje na proizvodnoj liniji i proračun učinkovitosti.....	26
3.3.3. Analiza vremena operacija po tipu ventilatora .....	29
4. UVOĐENJE VITKE PROIZVODNJE I REZULTATI .....	33
4.1. Metoda 5S.....	34

4.2.	Optimizacija opskrbe stanica materijalom .....	40
4.3.	SMED metoda .....	42
4.3.1.	Analiza koraka razmjene.....	42
4.3.2.	Identifikacija unutarnjih i vanjskih operacija.....	43
4.3.3.	Promjena unutarnjih operacija promjena serije izvan vremena smjene 44	
4.3.4.	Skraćivanje unutarnjih koraka .....	44
4.3.5.	Rezultat implementacije SMED metode.....	45
4.4.	Balansiranje proizvodne linije.....	45
4.4.1.	Planiranje ciklusa .....	46
4.4.2.	Rezultat izvođenja operacija balansiranja.....	48
4.5.	Rezime rezultata primijenjenih metoda .....	51
5.	ZAKLJUČAK .....	52
6.	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	53
7.	ABSTRACT AND KEY WORDS .....	54
8.	POPIS TABLICA .....	55
9.	LITERATURA .....	58
10.	POPIS PRILOGA.....	59



## 1. UVOD

U ovom završnom radu bit će prikazan idejni projekt poboljšanja sustava za montažu. Idejni projekt će se odnositi na poboljšanje proizvodnje ventilatora i isti treba omogućiti kvalitetu, racionalnu obradu i montažu zadanih dijelova iz proizvodnog programa. U tablici 1.1. prikazani su proizvodi koje je potrebno proizvesti, te zadani godišnji cilj proizvodnje.

Tablica 1.1. Podaci definirani prilogom zadatka

Proizvod			Godišnja Količina (kom.)
Red. br.	Oznaka	Naziv	
1.	AF-1	Ventilator tip 1	80 000
2.	AF-2	Ventilator tip 2	80 000

Idejni projekt će poslužiti kao rješenje unutar tvrtke Ebm-papst d.o.o. za boljim poslovanjem i unapređenjem postojećih proizvodnih linija. U prilogu A nalazi se sklopni nacrti ventilatora AF-1 i ventilatora AF-2.

### 1.1. Pozadina problema

Proizvodne tvrtke upravljaju različitim procesima, poput proizvodnje, logistike, skladištenja i drugo. Isto tako proizvodne tvrtke kontinuirano nastoje poboljšati procese i smanjiti gubitke. To su dva ključna čimbenika uspješnog poslovanja poduzeća. Poboljšanjem procesa i smanjenjem gubitaka poduzeća postižu bolju učinkovitost te posljedično veću dobit. Kako bi se eliminirali gubici u procesu potrebno je prepoznati gdje i kako nastaju. Svi gubici su nepotrebni troškovi za poduzeće i negativno utječu na konkurentnost tržišta.

Smanjenje gubitaka i optimizacija procesa moguća je različitim postupcima i metodama. Vitka proizvodnja (*eng. Lean Manufacturing*) kombinira mnoge od ovih procesa ili metoda. Uvođenjem Vitke proizvodnje ne samo da se smanjuju gubici u proizvodnji, već i količina otpada, poboljšava se kvaliteta proizvoda i skraćuje se rok isporuke. [1]

Promatrana tvrtka se nakon preuzimanja nove proizvodne linije za proizvodnju ventilatora susreće s mnogim izazovima i problemima koji utječu na njen učinak proizvodnje. Neki od njih su nedostatak koordinacije operatera na proizvodnoj liniji, slaba učinkovitost i produktivnost, neorganizirana proizvodna linija i preduga vremena izmjene alata. Kako bi uklonili sve te probleme tvrtka planira uvesti Vitku proizvodnju.

## **1.2. Ciljevi**

S obzirom kako se u promatranom trenutku nisu postizali željeni ciljevi proizvodnje cilj ovog završnog rada će biti poboljšati učinkovitost i produktivnost proizvodnog procesa te smanjiti gubitke u poduzeću. U tu svrhu koristit će se alati Vitke proizvodnje, kao što su operacije balansiranja, SMED metoda i 5S metoda. Svi ovi alati koristit će se na određenom proizvodnom procesu. Cilj neće biti samo optimizacija i smanjenje gubitaka, već naši postupci i rezultati također će poslužiti kao model za uvođenje Vitke proizvodnje drugim proizvodnim sustavima. Potrebno je naglasiti kako tvrtka planira izgraditi nekoliko identičnih proizvodnih sustava.

U sklopu zadatka provodit će se mjerenja i promatranja proizvodnog procesa iz kojih se prvenstveno može očekivati jasna slika stanja proizvodnje. Na temelju opažanja će se definirati mjesta mjerenja gdje su potrebna poboljšanja te će se ista mjesta poboljšati uz pomoć alata za uvođenje Vitke proizvodnje.

## **2. TEORIJSKE OSNOVE I PREGLED LITERATURE**

### **2.1. Vitka proizvodnja**

Vitka proizvodnja je pristup upravljanju organizacijom koji ima za cilj poboljšati kvalitetu rada smanjenjem gubitaka. Ovaj pristup se odnosi na sve aspekte poslovanja od dizajna do marketinga proizvoda. Vitke principe razvile su japanske tvrtke kasnih 1980-ih i ranih 1990-ih. Cilj pristupa sustava Vitke proizvodnje je smanjiti aktivnosti koje ne pridonose vrijednost proizvodu tijekom njegovog životnog ciklusa.

Kao i većina japanskih pristupa upravljanju, Vitka proizvodnja može se promatrati kao filozofija, sustav i skup alata. Načela Vitkih sustava podrazumijevaju kontinuiran i dugoročan rad na poboljšanju, kvaliteti i smanjenju škarta. Za postizanje postavljenih ciljeva koristi se skup kvalitetnih alata. Implementacija načela Vitke proizvodnje odvija se na temelju razvijenih metoda [1].

### **2.2. Povijest i razvoj Vitke proizvodnje**

Iako se naziv Vitka proizvodnja (*eng. Lean Manufacturing*), prvi put spominje 1988. godine ona nije osobito nova, budući da grubi počeci Vitke proizvodnje počinju mnogo ranije. Prvi veliki korak prema uvođenju Vitke proizvodnje napravio je Henry Ford.

Henry Ford je bio američki poduzetnik i inovator s idejom uspostavljanja jeftine masovne proizvodnje. Godine 1908. u tvrtki Ford Motor Company započeo je proizvodnju poznatog Forda Model T koji je zbog niske cijene postigao iznimnu prodaju. Najvažnija prekretnica u smislu Vitke proizvodnje dogodila se 1913. godine uvođenjem proizvodne trake, što je povećalo proizvodni kapacitet i dodatno pojeftinilo sam automobil. Proizvodnja jednog automobila tako je skraćena sa 12 sati na samo 90 minuta. Slabost Ford-ovog sustava bila je fleksibilnost.

Vitka proizvodnja, kakvu je danas poznata, razvijena je u drugoj polovici 20. stoljeća u tvrtki Toyota. Zbog krize u poduzeću nakon rata, Taiichi Ohno i Eiji Toyoda željeli su unaprijediti proizvodni sustav. Tako su raznim mjerama i strategijama došli do potpuno novog načina proizvodnje koji se naziva Toyotin proizvodni sustav. Toyotin proizvodni sustav stoga se temelji na smanjenju škarta, stvaranju kvalitetnih proizvoda i poboljšanju produktivnosti. Za razliku od Fordove proizvodnje, Toyotina je bila puno fleksibilnija jer su mogli proizvoditi različite modele automobila [1].

### 2.3. Osnovnih 5 principa Vitke proizvodnje

Za implementaciju i lakše razumijevanje same strategije Vitke proizvodnje potrebno je slijediti pet osnovnih principa Vitke proizvodnje [1]:

#### 1. princip - prepoznati vrijednost proizvoda

U ovom principu potrebno je promatrati proizvod iz aspekta kupca. To znači prepoznati značajke našeg proizvoda koje su dodana vrijednost za kupca. Svaka faza proizvodnje zahtijeva primjenu određenih resursa (materijal, radnike, strojeve itd.) koji utječu na konačnu cijenu proizvoda. Dakle u očima kupca opravdani su samo izvori koji povećavaju vrijednost proizvoda. Nužno je smanjiti korištenje svih resursa koji kupcu ne predstavljaju dodatnu vrijednost, jer oni za poslovni sustav predstavljaju gubitak.

#### 2. princip - identificiranje toka vrijednosti

Kako bi se utvrdili i otklonili gubici, potrebno je točno opisati tijek materijala, informacija i operacija u proizvodnom sustavu. Na taj način može se brzo vidjeti što pridonosi povećanju vrijednosti proizvoda te gdje i u kojoj mjeri nastaju gubici. Na temelju toga priprema se plan poboljšanja za uklanjanje gubitaka.

#### 3. princip - stvaranje kontinuiranog protoka materijala

U ovom principu teži se kontinuiranom tijeku operacija koje dodaju vrijednost proizvodu. To znači da treba izbjegavati prekide, preskakanja i zastoje tijekom rada.

#### 4. princip - transportni sustav

Jedno od najvažnijih načela Vitke proizvodnje je sustav transporta materijala kroz proizvodni proces. Sustav povlačenja materijala je suprotan potisnom sustavu guranja materijala (*eng. Push system*) kroz proizvodnju. To znači da kada je materijal dostupan, on prolazi ili se gura kroz faze u proizvodnji prema raspoloživosti kapaciteta i zatim čeka na skladištu na narudžbu kupca. Na taj način se stvaraju zalihe u proizvodnji i skladištu što predstavlja gubitke. Sustav povlačenja materijala (*eng. Pull system*) pokreće klijent u određenoj količini i vremenu. Količina materijala koja prolazi između pojedinih faza proizvodnje određena je *Kanban* sistemom. Prednosti sustava vuče su:

- pravovremenu isporuku proizvoda,
- visoka kvaliteta proizvoda,
- minimalne zalihe,
- visoka fleksibilnost.

## 5. princip - težiti stalnom unapređenju

Posljednji princip nalaže težnju za savršenstvom procesa. To uključuje stalno ispravljanje gubitaka i pogrešaka, kao i suradnju i predlaganje poboljšanja. U tome sudjeluju ljudi sa svih razina. Budući da proces nikada nije savršen i uvijek ima mjesta za poboljšanje, ovih 5 principa se moraju ponavljati.

### 2.4. Sedam vrsta gubitaka

Svaka organizacija može imati veliki broj gubitaka koji dovode do smanjenja učinkovitosti rada. Ti gubici predstavljaju radnje koje ne donose vrijednost krajnjem potrošaču. Ako organizacija prepozna i otkloni takve gubitke, to će joj omogućiti povećanje učinkovitosti i time smanjenje troškova proizvoda za krajnjeg korisnika [1].

Vitka proizvodnja definira sedam vrsta gubitaka [2]:

**Prekomjerna proizvodnja** – predstavlja najčešći gubitak u masovnoj proizvodnji. Prekomjerna proizvodnja nastaje kada proizvođač i kupac nisu usklađeni. Proizvođač proizvodi veću količinu proizvoda nego što je kupcu stvarno potrebno ili se proizvodi bez prethodne narudžbe. To dovodi do problema u skladištenju gotovih proizvoda.

**Viškovi zaliha** - predstavljaju izvor gubitaka koji proizlaze iz skladištenja prekomjernih količina materijala i gotovih proizvoda. To je rezultat naručivanja previše materijala ili prevelike proizvodnje. Prevelike zalihe materijala i gotovih proizvoda zauzimaju prostor u skladištu.

**Čekanje** - gubici zbog čekanja nastaju zbog neravnomjerne vremenske opterećenosti proizvodnih procesa ili zbog nedostupnosti alata, opreme i materijala koji se koriste u procesu.

**Transport** – je izvor gubitaka, jer svako kretanje gotovog proizvoda ili materijala predstavlja aktivnost koja ne daje dodatnu vrijednost proizvodu. Ovi gubici nastaju zbog neadekvatne organizacije rada.

**Kretanje** - gubici zbog kretanja obuhvaćaju sva kretanja radnika koja su nepotrebna za obavljanje određene radne operacije. Ti gubici nastaju kao posljedica neadekvatno oblikovanog radnog mjesta (neadekvatan smještaj alata i ergonomija). Nedostatak materijala ili komponenti tijekom rada također može dovesti do gubitaka kretanja.

**Škart** - gubici škarta predstavljaju nepravilnosti na proizvodu koje se naknadno otklanjaju. To rezultira dodatnim troškovima u pogledu materijala i izgubljenog vremena.

**Suvišne procesne operacije** - ovdje su uključene sve radne operacije koje ne dodaju vrijednost proizvodu. Gubici najčešće nastaju zbog neadekvatno planiranih tehničkih procesa, neadekvatnih tolerancijskih zona i neadekvatnog materijala.

## 2.5. Sastavni dijelovi Vitke proizvodnje

Vitka proizvodnja sastoji se od nekoliko sastavnih dijelova koji se međusobno nadopunjuju i osiguravaju učinkovitost procesa. Ti sastavni dijelovi uključuju razumijevanje i prepoznavanje vrijednosti za kupca, pronalaženje i uklanjanje gubitaka, kontinuirano poboljšanje, fleksibilnost procesa, kvalitetu proizvoda ili usluge i aktivno sudjelovanje zaposlenika u integraciji procesa. Alati Vitke proizvodnje su: metoda 5S, balansiranje proizvodnih procesa, SMED metoda, metoda Upravo na vrijeme (*eng. just-in-time*) (JIT) metoda, „*Jidoka*“ metoda, *Kanban* metoda, sastanci u proizvodnom pogonu itd. [1]

### 2.5.1. Metoda „5S“

Metoda „5S“ izvedena je iz Toyotinog proizvodnog sustava. Ime dolazi od pet japanskih riječi koje počinju slovom *s*: *seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke*. Oni znače ili definiraju 5 koraka: razvrstati, rasporediti, očistiti, standardizirati i disciplinirati. Metoda se dakle odnosi na organizaciju radnog mjesta. Cilj je osigurati čist, siguran i organiziran radni prostor bez ometajućih čimbenika [1].

Koristi koje tvrtka ili organizacija ima uvođenjem 5S metode su [1]:

- poboljšanje kvalitete,
- promicanje sigurnosti,
- povećanje povjerenja u očima kupaca,
- smanjenje smetnji,
- smanjenje troškova,
- stvaranje dodatnog prostora,
- bolja samodisciplina.

**Razvrstavanje:** S vremenom se na radnom mjestu pojavljuju razni alati, pripreme, nacrti ili poluproizvodi koji nisu potrebni i smetaju. Zato se na radnom mjestu odvajaju ono što je potrebno za obavljanje pojedine operacije od nepotrebnog. S radnog mjesta uklanjaju se stvari koje nisu potrebne. Na taj način postiže se bolja transparentnost i stvara se puno više prostora.

**Raspoređivanje:** Nakon uklanjanja svih nepotrebnih alata i materijala s radnog mjesta nastavlja se s uređivanjem preostalih stvari. Slika 2.1 prikazuje primjer dobro organiziranog alata.



Slika 2.1: Primjer dobre organizacije alata [1]

Na slici 2.1 se vidi kako se svakom alatu, odnosno stvari, dodjeljuje njegovo mjesto. Usredotočenost je na optimalno korištenje prostora. Potrebno je voditi računa o učestalosti korištenja pojedinog alata (što se češće koristi to se bliže sprema) i ergonomiji radnog mjesta (teži predmeti se postavljaju na višu razinu kako se ne bi morali podizati s poda).

**Čišćenje:** U ovom koraku čiste se radna mjesta (strojevi, radni stolovi, pod...) i alati. Također traži se mogući izvor prljavštine i on se sanira ili uklanja. Također određuje se interval čišćenja. Time se postiže bolja kvaliteta, lakše otkrivanje grešaka i na kraju, ali ne manje važno, očišćeno radno mjesto koje je ugodnije za rad.

**Standardizacija:** Nakon što je radno mjesto organizirano i očišćeno, postavljaju se standardi. Dakle, uvode se pravila, pišu se upute i dodaju se razne napomene koje služe za osiguranje prva tri koraka. Što se bolje izvede ovaj korak, to će se lakše i dulje pratiti i održavati red i čistoća.

**Discipliniranje:** Posljednji korak metode diktira očuvanje prva četiri koraka. Stalno je potrebno održavati postignuto stanje i držati se discipline na radnom mjestu. Stare loše navike je potrebno ukloniti i slijediti standarde. Ovdje je također uključena potraga za poboljšanjima [1].

### ***2.5.2. Balansiranje proizvodnih procesa***

Uravnoteženje proizvodnje ključno je za optimizaciju proizvodnih procesa u tvrtkama. Loše uravnotežene proizvodne linije mogu uzrokovati niz problema, uključujući gubitke zbog viška zaliha, čekanja i neiskorištenosti strojeva, uređaja ili alata. Kako bi se razumjelo i postiglo

učinkovito balansiranje proizvodnje, moraju se uzeti u obzir dva ključna koncepta: vrijeme isporuke i vrijeme ciklusa.

Vrijeme isporuke je vremenski interval u kojem proizvod mora biti proizveden da bi zadovoljio potrebe kupca. To znači da se vrijeme ciklusa određuje prema zahtjevima tržišta i preferencijama kupaca. Ovo je bitan parametar koji utječe na planiranje proizvodnje.

$$t_{isp} = \frac{\text{neto raspoloživo vrijeme u smjeni}}{\text{tržišna potražnja u smjeni}} \quad (2.1)$$

Vrijeme ciklusa predstavlja vrijeme potrebno za obavljanje jedne radne operacije na radnom mjestu. Najduže vrijeme ciklusa radne operacije u procesu proizvodnje predstavlja vrijeme u kojem će linija proizvesti jedan proizvod. Ako vrijeme ciklusa premašuje vrijeme operacije, potrebno je balansiranje proizvodnje kako bi se osiguralo da se proizvodi proizvode prema potrebama tržišta [3].

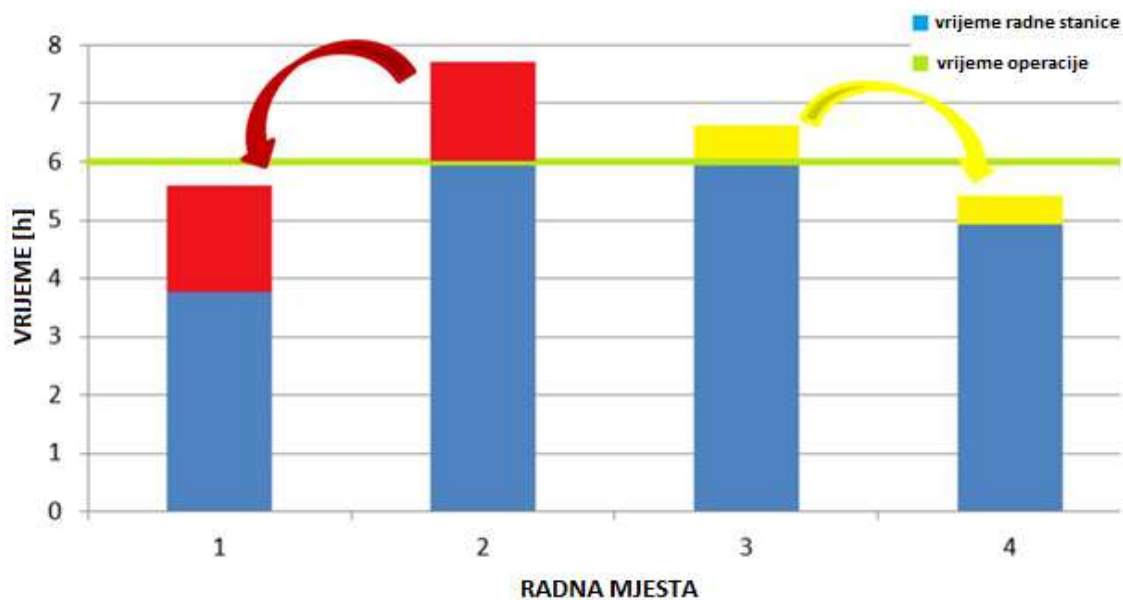
Postoje dva osnovna modela za balansiranje montažnih traka [3]:

Model za određivanje minimalne radne snage za postizanje željene količine proizvoda: Ovaj model se fokusira na određivanju minimalnog broja operatera potrebnih za postizanje željenog proizvodnog kapaciteta. To omogućuje učinkovitije korištenje radne snage.

Model za određivanje maksimalne produktivnosti s danim brojem operatera na liniji: Ovaj model razmatra kako postići maksimalnu produktivnost s danim brojem operatera na liniji. To znači da je potrebno potražiti načine kako povećati učinkovitost postojećeg broja radnika.

Pri provedbi balansiranja proizvodnog procesa često se koristi standardizirani oblik prikaza radnih operacija nazvan OBC (eng. Operator Balance Chart), odnosno Grafikon balansiranja operatera, dijagram balansiranja procesa je prikazan na slici 2.2.





Slika 2.2: Dijagram balansiranja procesa [4]

OBC omogućuje transparentan prikaz svih poslova i gubitaka koji nastaju u procesu proizvodnje. Uz pomoć OBC-a moguće je brzo identificirati uska grla u proizvodnom procesu i razmotriti mogućnosti preraspodjele radnih operacija ili operatera unutar procesa. Proces balansiranja proizvodnog procesa obično uključuje sljedeće korake [3]:

### 1. Analiza proizvodnog procesa:

Analiza je prvi ključni korak u balansiranju proizvodnog procesa. U ovoj fazi provodi se temeljita analiza proizvodnog procesa kako bi se identificirale sve operacije i odredili njihovi vremenski ciklusi.

**Identifikacija operacija:** Identifikacija svih operacija koje su dio proizvodnog procesa. To uključuje sve korake potrebne za proizvodnju konačnog proizvoda, uključujući sastavljanje, obradu i testiranje.

**Određivanje vremena operacija:** Za svaku operaciju određen je vremenski period, što znači koliko je vremena potrebno za izvođenje te operacije. Ovo je ključna informacija za razumijevanje koliko brzo se proizvod može proizvesti.

### 2. Raspodjela alata po operacijama:

Nakon analize proizvodnog procesa, sljedeći korak je raspodjela operacija različitim radnim ćelijama (*eng. Cell*). Cilj je postići što ravnomjerniju raspodjelu rada i vremena između operacija na svim radnim ćelijama. Operacije se dodjeljuju radnim ćelijama na temelju njihovih

vremena. To znači da su operacije raspoređene tako da je vremensko opterećenje što ravnomjernije po radnim ćelijama.

### **3. Optimizacija vremena operacija:**

Treći korak u procesu posvećen je optimizaciji vremena operacija. Cilj je smanjiti vrijeme potrebno za implementaciju. To se izvrši istraživanjem procesa da bi se vidjelo kako se vrijeme operacije može smanjiti. To može uključivati korištenje učinkovitije opreme, drugačije postavljanje opreme ili promjene u radnim postupcima.

### **4. Prilagodba performansi:**

U slučaju da se tijekom balansiranja procesa utvrdi da su određene radne ćelije preopterećene ili podopterećene, potrebno je prilagoditi kapacitet kako bi se postigao uravnotežen proces. To se čini reorganizacijom radnih ćelija. Moguće je premjestiti operacije ili dodijeliti više resursa određenim radnim ćelijama kako bi se osigurala bolja ravnoteža proizvodne linije.

### **5. Praćenje i kontrola:**

Nakon uvođenja promjena, ključno je sustavno pratiti i kontrolirati proces kako bi se osiguralo da sam proces ostane uravnotežen. Ovo uključuje:

Pažljivo i redovito praćenje rada proizvodnog procesa, uključujući kontrolu vremena operacija, performansi radne ćelije i potencijalnih problema ili odstupanja.

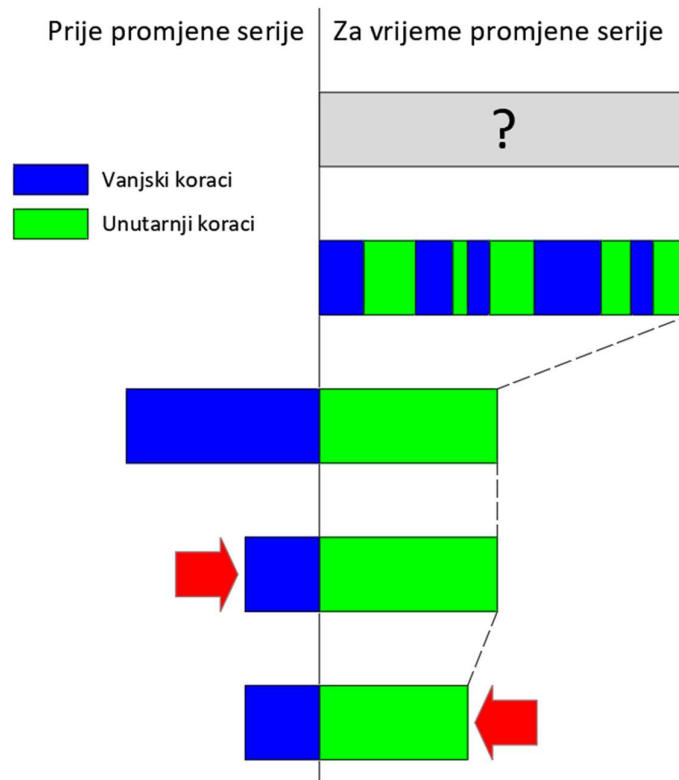
Adaptacija po potrebi. Ako dođe do odstupanja ili problema, potrebno je brzo djelovati i napraviti daljnje prilagodbe kako bi se održala ravnoteža proizvodnog procesa.

Uravnoteženje proizvodnje ključno je za poboljšanje učinkovitosti, kvalitete proizvoda i zadovoljstva kupaca. Pravilnim balansiranjem proizvodnog procesa poduzeća mogu postići prednost na tržištu i bolje iskoristiti svoje proizvodne resurse [3].

#### ***2.5.3. SMED metoda***

SMED metoda je jedna od metoda kojom se smanjuje gubitak vremena za pripremu alata. Metodom se brzo i učinkovito mijenjaju alati i time se skraćuje vrijeme same promjene serije na proizvodnoj liniji. Metoda je važna jer promjena alata ne stvara nikakvu dodatnu vrijednost proizvodu, a kao rezultat toga potrebno je promjenu alata skratiti što je više moguće. To također povećava proizvodnu fleksibilnost, jer je moguće postići kraće vrijeme promjene vrste proizvoda na liniji, a time manje zalihe i serije. Metoda ima posebno velik utjecaj na proizvode malih serija gdje su potrebne česte izmjene alata. Kod implementacije SMED metode vrlo je

važno razlikovati unutarnje od vanjskih koraka. Unutarnji koraci su oni koje moramo napraviti dok stroj ne radi, kao što je izmjena alata. Vanjski koraci su oni koji se mogu izvesti dok stroj radi, kao što su priprema alata, priprema materijala, odlaganje izradaka i slično [5]. Slika 2.3 prikazuje implementaciju SMED metode korak po korak.



Slika 2.3: Implementacija SMED metode [5]

Koraci SMED metode su:

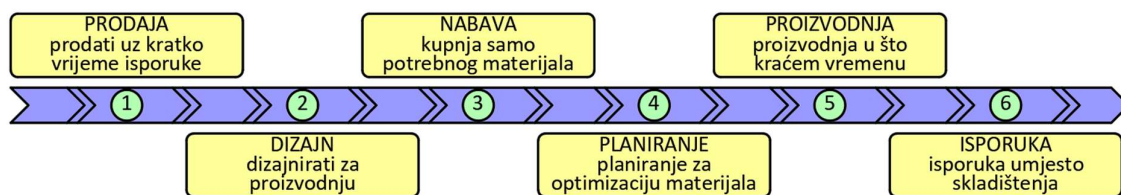
- Mjerenje ukupnog vremena smjene.
- Identifikacija unutarnjih i vanjskih koraka.
- Preraspodjela vanjskih koraka prije početka smjene.
- Smanjivanje unutarnjih koraka.
- Smanjivanje vanjskih koraka.
- Standardizirati novu organizaciju smjene.

#### **2.5.4. JIT proizvodnja**

JIT proizvodnja, odnosno skraćenica od „baš na vrijeme“ (*eng. Just in time*), je filozofija upravljanja i kontrole zaliha, čiji je glavni cilj smanjiti višak zaliha u skladištu i unutar proizvodnog

procesa. JIT se ne koristi kao metoda, već se mora uspostaviti unutar poduzeća kao filozofija koja smanjuje gubitke [4].

S JIT-om eliminiraju se gubitci na čekanju, jer se u proizvodnji radi točna količina proizvoda koja je u danom trenutku potrebna. Planiranje proizvodnje stoga je podređeno zahtjevima kupca, a kontrolira se i provodi po principu povlačenja (eng. pull). Za uspješan rad JIT-a moramo ispuniti dva uvjeta: sav materijal mora stići na vrijeme, na pravo mjesto, u pravim količinama i sav materijal mora biti besprijekoran (bez grašaka i deformacija). Na slici 2.4 je prikazana logika poslovanja JIT proizvodnje.



Slika 2.4: Logika poslovanja JIT proizvodnje

Tvrtka može imati problema s JIT sustavom kada protok informacija između dobavljača, proizvođača i kupca nije koordiniran. Zbog toga može doći do kašnjenja u isporuci ili isporuke neodgovarajućeg materijala i njegove količine proizvođaču. Za bolju fleksibilnost opskrbe proizvodnje unutar JIT sustava je bolje ako tvrtka ima više od jednog dobavljača materijala i komponenti [6].

### 2.5.5. Jidoka

Kao i JIT, *Jidoka* predstavlja jedan od temeljnih stupova Vitke proizvodnje. *Jidoka* metodom osigurava se da konačni proizvod bude bez grešaka. Svrha metode je tzv. inteligentna automatizacija. To znači da se proces zaustavlja nakon što se otkrije greška i radnik se upozorava radnika ili alarmom. Metoda nam omogućuje kontrolu proizvoda u svakom koraku proizvodnog procesa. Otkrivanje i ispravljanje grešaka provodi se tijekom samog procesa. *Jidoka* metoda se temelji na ugrađivanju kontrole kvalitete u sam proces umjesto provjere kvalitete proizvoda na kraju proizvodnje [7].

Ključni alati Jidoke su:

- *Andon*,
- *poka-yoke*,
- *jidoka* ploča,
- *kaizen*,

- autonomno održavanje.

**Andon** je sustav vizualne kontrole koji se koristi za prikaz informacija o radu proizvodne linije. Sustav koristi audio ili tekstualne signale i druge oblike vizualnog signaliziranja. Cilj je što brže informirati o problemu i minimalizirati gubitak vremena.

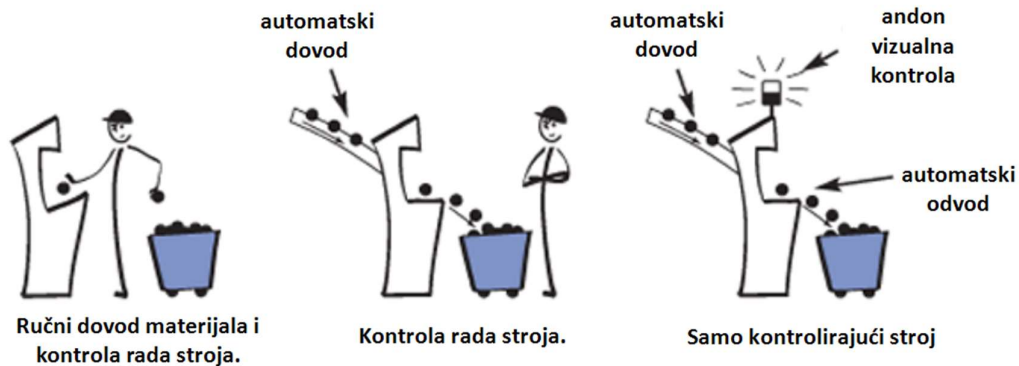
**Poka-yoke** je tehnika koja se koristi za sprječavanje grešaka tijekom procesa proizvodnje. Uz pomoć posebnih uređaja, senzora i osmišljenih postupaka odmah se primjećuju greške ili, ako postoji mogućnost, greška se unaprijed spriječi.

**Jidoka ploča** se koristi za praćenje i bilježenje grešaka i problema u procesu proizvodnje. Cilj je da pogreške i problemi budu jasno vidljivi, jer to omogućuje brzo djelovanje i poboljšanje procesa.

**Kaizen** je koncept stalnog poboljšanja. Temelji se na stalnom traženju i provođenju poboljšanja u čemu sudjeluju svi zaposlenici. Male, postupne promjene mogu donijeti velika poboljšanja.

**Autonomno održavanje** je pristup gdje su zaposlenici uključeni u održavanje strojeva i opreme koju koriste. To uključuje održavanje i čišćenje, kao i prepoznavanje potencijalnih grešaka ili problema [1].

### Ideja Jidoka metode



Slika 2.5: Prikaz ideje iz Jidoka metode [13]

### 2.5.6. Kanban sustav

**Kanban** predstavlja signalni sustav koji omogućuje postizanje JIT proizvodnje. Riječ dolazi iz japanskog. "Kan" znači vizualno, a "ban" je karta. Izvorno je sustav bio osmišljen na

principu dvostrukih sustava dojava, no danas se koriste drugi indikatori (npr. svjetla, *kanban* kvadrati).

*Kanban* sustavom se postiže:

- manje zalihe,
- veća transparentnost protoka materijala,
- veća produktivnost,
- poboljšana predvidljivost,
- usklađenost između ciljeva i provedbe,
- otklanjanje prekomjerne proizvodnje.

Dizajn *kanban* metode temelji se na pretpostavci da se proizvodi ili premješta proizvod samo kada je dobiven signal da se to učini. U proizvodnji se najčešće koristi proizvodno-prijemni tip *kanban* kartice. Proizvodnom karticom definira se vrsta i količina proizvoda koje prethodna radna operacija mora proizvesti. Kartica preuzimanja određuje vrstu i količinu proizvoda koje sljedeći proces mora preuzeti iz skladišta prethodnog [8].

#### **2.5.7. Sastanci u proizvodnom pogonu**

Svakodnevno se održavaju sastanci na određenoj lokaciji u proizvodnji, čiji je cilj otklanjanje eventualnih smetnji ili odstupanja u procesima. Glavna karakteristika sastanka je da se odvija na mjestu proizvodnje kako bi se lakše došlo do što više informacija o stanju proizvodnje. Sastanci na razini proizvodnje odvijaju se na način da radnici predaju informacije osobi koja vodi sastanak. Također, sastanci se održavaju na razini tehnologije i kvalitete, a povremeno i na razini menadžmenta. Radionice na svim razinama odnose se na stanje i rad proizvodnje.

Teme sastanka su razgovori o svemu vezanom uz proizvodnju. To su podaci o zalihama materijala, stanju strojeva, opreme i alata, o tehnologiji, kvaliteti, logistici i zaposlenicima.

Pozitivne značajke vođenja sastanaka na mjestu proizvodnje:

- smanjenje grešaka u proizvodnji,
- lakše otkrivanje grešaka u proizvodnji,
- povećana produktivnost osoblja,
- pozitivan utjecaj na prihode tvrtke

Na mjestu gdje se održavaju sastanci nalaze se ploče prikazane na slici 2.6.



Slika 2.6: Oglasna ploča u proizvodnji

Ploča sadrži obavijesti i informacije o tekućim temama i stvarima koje treba učiniti ili poboljšati. Također sadrži tjedna izvješća o učinkovitosti proizvodnje, zastojsima, ozljedama na radu i pridržavanju metoda Vitke proizvodnje.

## 2.6. Vrste organizacije proizvodnje

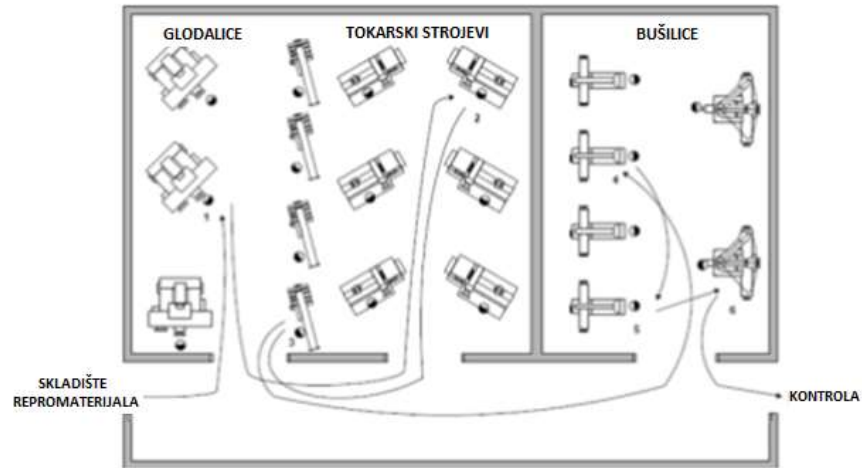
Postoje nekoliko vrsta organizacije proizvodnje koje se dijele prema obujmu proizvedenih proizvoda ili prema prostornom rasporedu strojeva i drugih uređaja za rad. Kod podjele proizvodnje prema rasporedu strojeva postoje:

- radionička proizvodnja,
- linijska proizvodnja i
- proizvodnja u proizvodnoj ćeliji (*eng. Cell Manufacturing*).

### 2.6.1. Radionička proizvodnja

Radionički tip proizvodnje karakterizira to što su strojevi i alati koji obavljaju iste ili slične funkcije okupljeni na jednom mjestu (strojevi za zavarivanje na jednom mjestu, tokarski strojevi na drugom mjestu, itd.). Ovakav raspored proizvodnje uglavnom se koristi za unikatne proizvode

i proizvodnju malih serija. Radionički raspored proizvodnje prikazan je na slici 2.7 [7]. Na slici 2.7 vidi se da su glodalice postavljene zajedno, isto vrijedi i za tokarske strojeve i bušilice.



Slika 2.7: Radionički raspored proizvodnje [8]

Prednosti [8]:

- brzo prilagođavanje proizvodnom programu,
- sposobnost uvođenja novih proizvoda,
- manji početni troškovi ulaganja,
- visoka vremenska iskorištenost radnih resursa,
- dobar pregled radnika i mogućnost zamjene,
- kvar jednog stroja ne utječe na proizvodnju.

Nedostaci [8]:

- duge transportne rute,
- duža vremena protoka,
- potreba za među skladištima,
- niska produktivnost,
- potreba za obrazovanom radnom snagom,
- potreba za prostorom,
- zahtjevno planiranje i upravljanje proizvodnjom.



### **2.6.2. Linijska proizvodnja**

Linijski tip proizvodnje karakterizira izrada velikog broja proizvoda koji su međusobno slični ili zahtijevaju iste operacije za njihovu proizvodnju. Proizvod putuje kroz niz proizvodnih ćelija ili operacija koje su međusobno povezane i organizirane tako da se svaka operacija izvodi uz minimalno čekanje. Operacije su podijeljene na radne stanice koje se sastoje od jednog ili više radnika te potrebnih strojeva, uređaja i alata. Svaka radna ćelija ima specifičnu funkciju i zadatak potreban za dovršetak proizvodnog procesa.

Prednosti:

- visoka produktivnost,
- učinkovito korištenje resursa,
- visoka razina kvalitete,
- brzo osposobljavanje radne snage.

Nedostaci:

- nefleksibilnost,
- visoki početni troškovi,
- kvar jednog stroja utječe na cijelu liniju.

### **2.6.3. Proizvodnja u proizvodnoj ćeliji**

Proizvodna ćelija predstavlja prostorni raspored radnih resursa, pri čemu se proizvodi proizvode na toj lokaciji. Proizvodna ćelija je veća od pojedinačnog stroja ili radne stanice i manja od proizvodne linije. U proizvodnim ćelijama najčešće radi od tri do dvanaest operativnih radnika na najviše petnaest radnih operacija. Na slici 2.8 prikazan je tip proizvodnje u proizvodnoj ćeliji [7].



Slika 2.8: Proizvodna ćelija [7]

Za proizvodnu ćeliju karakteristično je da materijal putuje između radnih proizvodnih ćelija uz minimalno potreban transport. Materijal ili poluproizvodi putuju između pojedinačnih radnih stanica bez velikih među zaliha. To nam omogućuje vrlo brz protok materijala. Na taj način se postiže bolja komunikacija između operatera unutar proizvodne linije koji su u neposrednoj blizini, a ujedno se pomaže i poboljšanju odnosa između operatera unutar proizvodne linije.

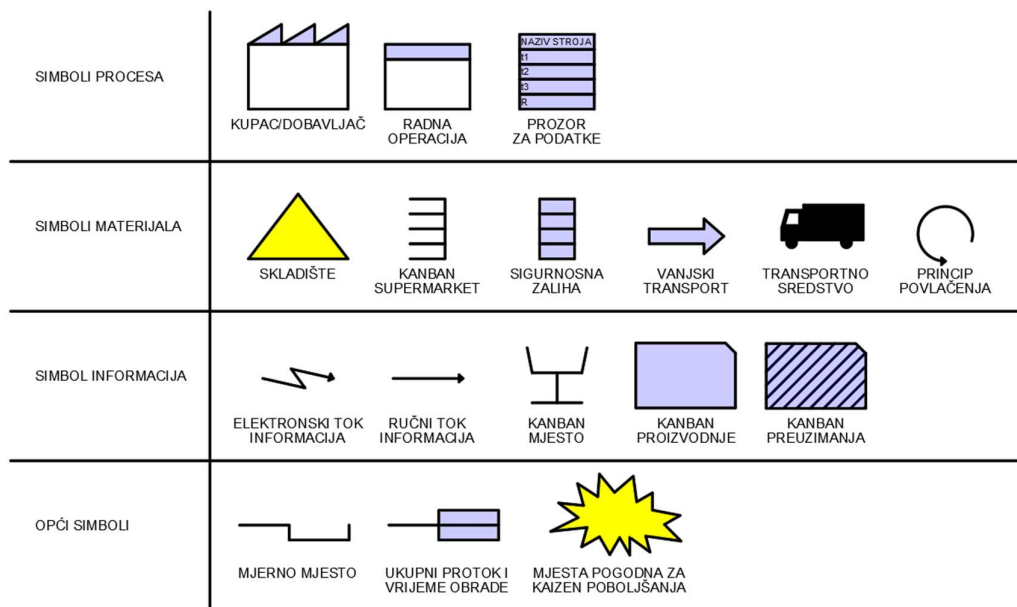
Prednosti proizvodne ćelije:

- visoka fleksibilnost procesa,
- brzo reagiranje na pogreške,
- manji gubici uslijed transporta,
- kratko vrijeme protoka,
- mala potrošnja prostora,
- laka vizualna kontrola procesa,
- manje zalihe materijala između radnih mjesta.

Stanična proizvodnja koristi se tamo gdje bi automatizacija cjelokupnog procesa bila teško izvediva i vrlo skupa. Koristi se za proizvodnju manjeg broja različitih proizvoda koji su međusobno slični, odnosno za njihovu proizvodnju su nam potrebne iste radne stanice. Pojedinačne radne ćelije unutar proizvodne linije obavljaju svoje operacije neovisno o drugim stanicama. Sat ćelije predstavlja vrijeme radne stanice, koje je najdulje među svim radnim stanicama [13].

## 2.7. VSM dijagram

VSM dijagram ili popis toka vrijednosti proizvoda je grafički prikaz toka materijala i informacija. Pokriva informacije od dobavljača materijala do kupca gotovog proizvoda. Uz pomoć dijagrama dobije se pregled nastanka proizvoda. Svrha popisa toka vrijednosti proizvoda je identificirati i eliminirati ili smanjiti gubitke. Slika 2.9 prikazuje simbole korištene u VSM dijagramu [14].



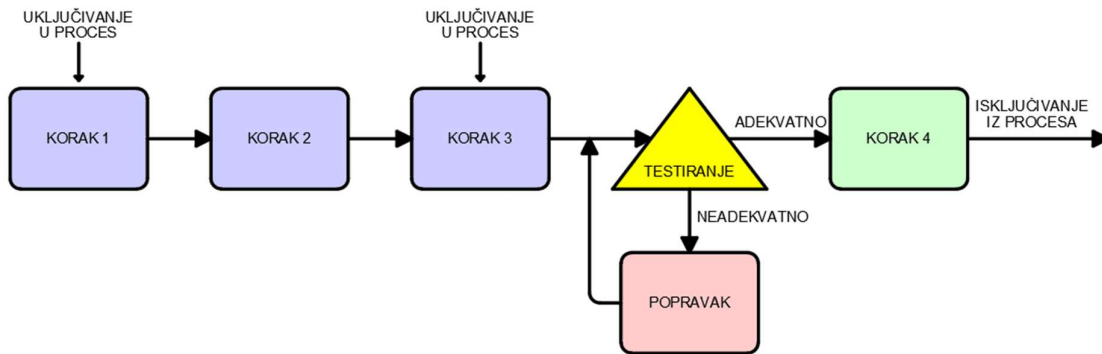
Slika 2.9: Simboli VSM dijagrama [3]

Izrada VSM skice ili mape provodi se u pet koraka [15]:

- prikupljanje informacija o zahtjevima kupca za pojedini proizvod (količina narudžbe, učestalost isporuke, način pakiranja),
- opis protoka informacija kroz proces (kako i kojim kanalima informacije putuju između kupca i poduzeća te između poduzeća i dobavljača),
- popis toka materijala kroz proces (utvrđivanje količine zaliha materijala, utvrđivanje količine zaliha gotovih proizvoda, određivanje vremena operacija i broja radnika za svaku operaciju i dužine čekanja na prelazak proizvoda u sljedeću operaciju),
- povezivanje protoka informacija s protokom materijala,
- uključivanje vremenske trake u mapu u kojoj su navedena sva vremena protoka i vremena dodavanja vrijednosti proizvodu.

## 2.8. Graf prethodnosti procesa

Graf prethodnosti procesa je grafički alat koji se koristi za prikaz cijelog procesa ili određenog dijela procesa koji se razmatra. Uključuje sve ključne aktivnosti koje utječu na proces. Zadatak dijagrama procesa je prikazati složene akcije na logičan i jednostavan način. Graf ima vrlo široku primjenu jer se može uključiti u različite faze, sve od planiranja i razvoja do kvalitete i prikaza i razumijevanja procesa. [10] Primjer dijagrama procesa prikazan je na slici 2.10.



Slika 2.10: Primjer grafa prethodnosti procesa [10]

Dijagram procesa sastoji se od samog procesa i ulaza i izlaza iz procesa. Ulazi i izlazi obično su označeni strelicama koje pokazuju na koju operaciju (korak) su povezani. Operacije predstavljaju polja pod nazivom radne operacije ili ćelije. Prilikom izrade dijagrama procesa potrebno je obratiti pozornost da dijagram ne sadrži nebitne informacije koje bi mogle otežati razumijevanje procesa. Za detaljniju analizu pojedinog rada, dijagram se može podijeliti na podprocese. Postoje različiti standardni dijagrami procesa, kao što je dijagram odozgo prema dolje (za složene procese), dijagram tijekom rada (prepoznavanje kritičnih faza i ključnih veza unutar procesa) i mapa procesa (detaljan prikaz cijelog procesa).

Cilj je stvoriti grafički razumljiv prikaz procesa koji olakšava raspravu. Tijekom rasprave analizira se smisao za red, traže se pojednostavljenja i moguće uzroke grešaka, suvišnih ili ponovljenih operacija te onih s dodanom vrijednošću [16].

### **3. ZATEČENO STANJE SUSTAVA ZA MONTAŽU**

Tvrtka je usmjerena na proizvodnju novih proizvoda koji su dugoročno zanimljiviji tržištu. Također je usmjerena na proizvodnju različitih vrsta ventilatora koji se koriste za različite namjene. U tu svrhu tvrtka je preuzela nekoliko proizvodnih linija u kojima se proizvode ventilatori. Budući da je ovo potpuno novo područje za zaposlenike, potrebno je usvojiti nove vještine, upoznati rad same proizvodne linije i cijeli koncept oko nje te na kraju, ali ne manje važno, uvesti i Vitku proizvodnju.

Cilj implementacije Vitke proizvodnje, odnosno korištenja Vitkih alata, je optimizirati proizvodnu ćeliju do te mjere da se postigne zacrtana stopa proizvodnje ventilatora, koja je određena planom tehnološkog procesa.

U nastavku će najprije biti predstavljena tvrtka, a potom i uvođenje Vitke proizvodnje koja je provedena prema sljedećim koracima:

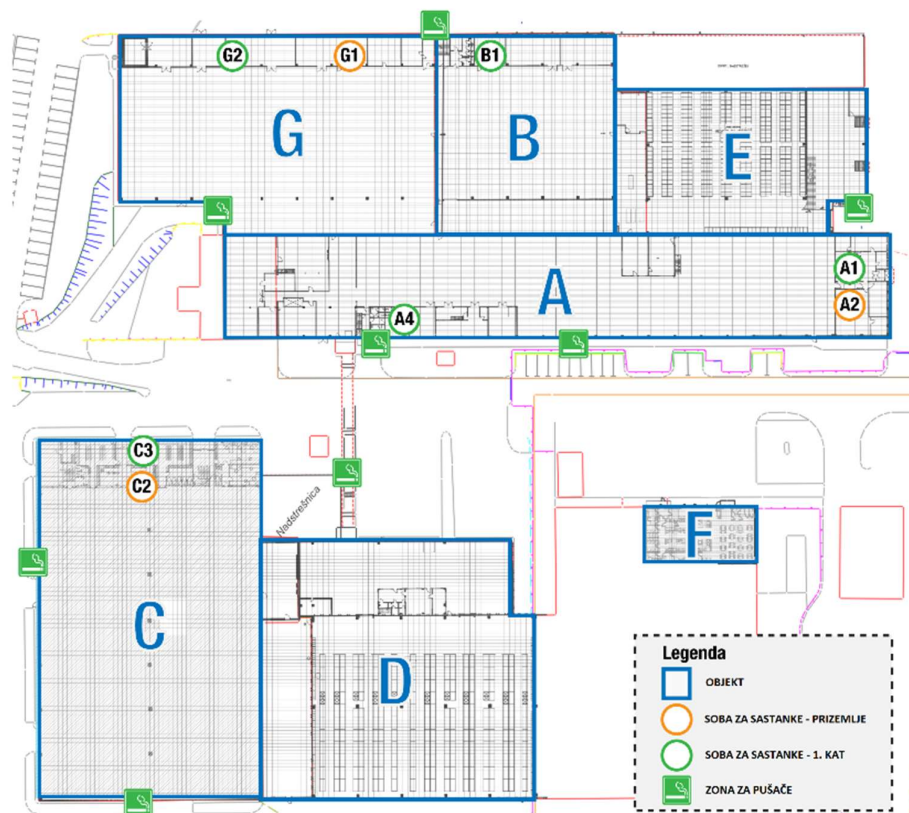
- opis proizvoda i izrada dijagrama procesa,
- pregled zatečenog stanja i ponovni izračun učinkovitosti,
- uvođenje Vitkih metoda,
- preračunavanje učinkovitosti nakon uvođenja Vitkih metoda.

#### **3.1. Opis proizvodnje tvrtke u kojoj promatrani sustav djeluje**

Tvrtka Ebm-papst Slovenija započela je svoju proizvodnju s proizvodnjom malih motora i ventilatora pod tadašnjim imenom Ydria Motors. U to vrijeme tvrtka je bila u vlasništvu Alcatel SEL-a i Rotomatike d.o.o. Ubrzo su te dvije tvrtke prodale svoje udjele njemačkoj tvrtki Ebm iz Mulfingena i Mvl iz Landshuta. Zbog proširenja djelatnosti i potrebe za većim prostorom, 2002. godine tvrtka seli u Cerknicu, gdje i danas posluje. U tom razdoblju tvrtka je proširila svoju proizvodnju, izgradila dvije nove proizvodne hale i pokrenula proizvodnju nekoliko novih proizvoda (EM42, K42, EM30, EC veliki ventilatori) iz područja bijele tehnike. 2016. godine tvrtka je preimenovana u Ebm-papst Slovenija d.o.o. Posljednjih godina tvrtka je proširila svoju proizvodnju na plinske ventile i veće ventilatore za dizalice topline i ventilaciju. Slika 3.1 prikazuje tvrtku, dok slika 3.2 prikazuje tlocrtni plan tvrtke.



Slika 3.1: Tvrtna Ebm-papst [5]



Slika 3.2: Tlocrt tvrtke

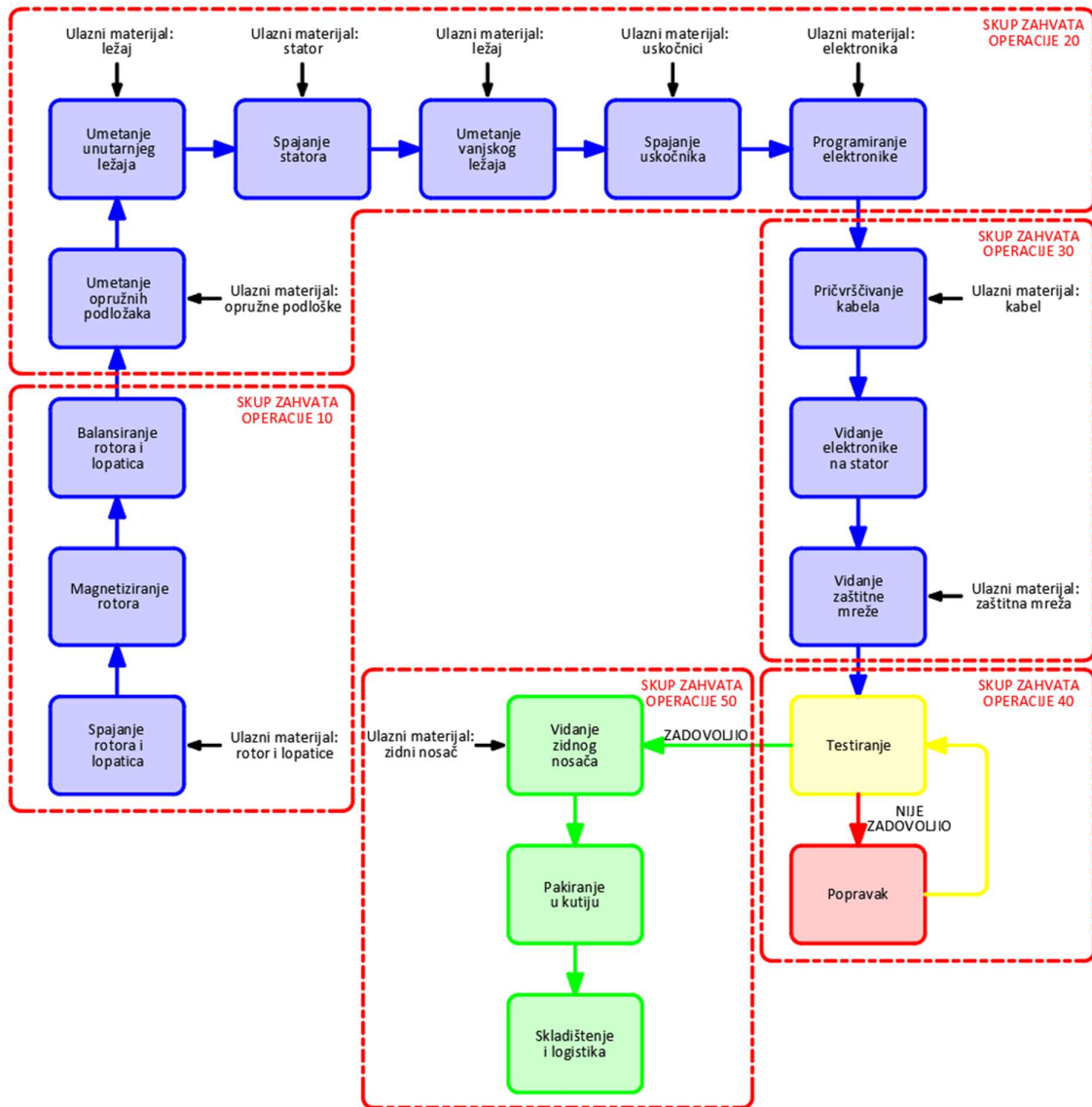
Na slici 3.2 prikazan je tlocrt tvrtke u kojoj se vidi raspored proizvodnih hala, ureda, skladišta i ostalih pomoćnih objekata. Prostor „C“ je proizvodna hala za izradu ventilatora, također se sastoji od prostora „C2“ koji je u službi dopreme robe dok su prostori označeni sa „C3“ uredi. Također na slici se vidi prostor „D“ koji otpada na skladište za proizvodnju ventilatora.

### 3.2. Opis proizvoda i dijagram procesa

Za lakše razumijevanje i bolju predodžbu, u nastavku će biti prikazan procesni dijagrami sklopa ventilatora. Tip ventilatora za koji se izvode operacije balansiranja i SMED metoda sastoji se od šest odnosno sedam glavnih komponenti:

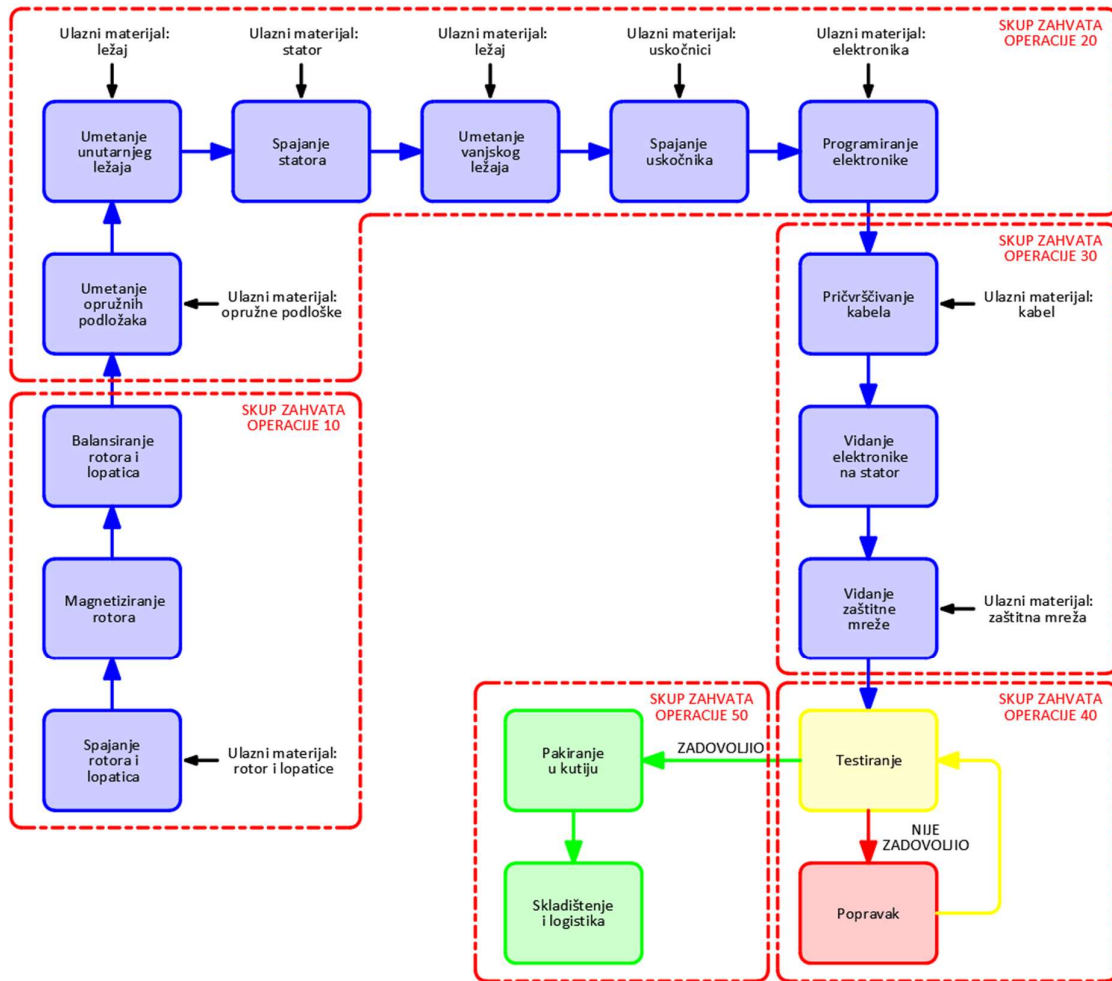
- rotor,
- puhalo,
- stator,
- elektronika,
- električni kabel,
- zaštitna mreža,
- zidni nosač (samo tip AF-1).

Slika 3.3 i slika 3.4 prikazuju dijagram procesa koji prikazuje sastavljanje glavnih komponenti i ugradnju sitnog materijala kao što su ležajevi i uskočnici.



Slika 3.3: Dijagram odvijanja proizvodnog procesa ventilatora AF-1





Slika 3.4: Dijagram odvijanja proizvodnog procesa ventilatora AF-2

Proces izrade ventilatora AF-1 počinje utiskivanjem rotora u lopatice. Nakon toga slijedi magnetiziranje i balansiranje ventilatora. Nakon balansiranja lopatica s rotorom poluproizvod prelazi na pokretnu traku. Opružne podloške i stator postavljaju se na osovinu rotora na pokretnoj traci. Da bi se spriječilo aksijalno pomicanje statora montira se uskočnik. Slijedi programiranje i montaža elektronike na stator. Kabel se zatim pričvrsti na kućište elektronike i uvije. Sljedeći korak je vidanje zaštitne mreže. Na kraju montažne trake, ventilator se testira na pravilan rad. Nakon testa, ventilator se pričvrsti vijcima na zidni nosač i zapakira. Proces izrade ventilatora AF-2 je isti kao i ventilatora AF-1 do faze testiranja na pravilan rad. Nakon testa na ventilatoru AF-2 ne izvodi se montaža zidnog nosača već on ide direktno na pakiranje.

### **3.3. Prikaz zatečenog stanja i proračun učinkovitosti**

#### ***3.3.1. Početno stanje opskrbljenosti proizvodne linije materijalom***

U skladištu je priprema materijala započeta nalogom za materijal voditelja grupe u proizvodnji. Materijal je zatim pripreman u skladištu i dopremljen na proizvodnu liniju viličarom čim je bio spreman. Ako je voditelj tima prekasno naručio materijal, dolazilo je do prekida rada na proizvodnoj liniji. Materijal je bilo potrebno naručiti minimalno 1 sat prije početka proizvodnog procesa.

Materijal je na liniju dovezen u cijeloj naručenoj količini, pa se mogao pojaviti manjak prostora. Također, skladišni spremnici za materijal nisu bili posebno dimenzionirani ili ih uopće nije bilo, pa je pristup materijalu bio otežan. Bilo je potrebno naručiti sitan materijal poput vijaka i podložnih pločica, koji se potom dostavljao u regal za sitni materijal. Često su se isporučivale netočne količine materijala, što je značilo da se do kraja proizvodnog posla nije moglo znati hoće li biti dovoljno ili previše materijala. U takvim slučajevima tražio se povrat materijala u skladište.

Ukratko, stari koncept nabave materijala imao je mnoge loše osobine, a to su:

- čekanje materijala u slučaju nepravovremenog naručivanja materijala,
- prostorna ograničenost zbog dostave cjelokupne količine materijala,
- oštećen materijal i otežano rukovanje zbog neadekvatnih skladišta,
- naručivanje sitnog materijala (nepotreban dodatni rad),
- isporuka nedovoljne količine materijala (čekanje materijala ili vraćanje viška materijala).

#### ***3.3.2. Zatečeno stanje na proizvodnoj liniji i proračun učinkovitosti***

Proizvodnja ventilatora je za tvrtku novo područje, stoga se tvrtka suočava s novim izazovima kao što su:

- zastoji na proizvodnoj liniji,
- sporo otklanjanje problema i zastoja,
- nekvalificirani radnici,
- neadekvatna odlagališta i spremišta materijala,
- trajanje smjena (puno prekovremenog rada),
- neravnomjerna opterećenost poslova.

Zbog svih navedenih nepravilnosti dolazi do gubitaka te posljedično nije moguće ostvariti željenu stopu proizvodnje.

Kako bi se utvrdilo potrebno vrijeme ciklusa proizvodnje odnosno potrebni takt proizvodnog sustava, potrebno je odrediti neto raspoloživo vrijeme u smjeni, danu odnosno godini. Raspoloživ kapacitet pojedinačne opreme računa se izrazom [11]:

$$K_i = h \cdot s \cdot d \cdot \eta_t \text{ [h/god]}$$

Gdje je:

$K_i$  – raspoloživ vremenski kapaciteti i-te proizvodne opreme

$h$  – broj radnih sati smjene

$s$  – broj smjena u danu

$d$  – broj radnih dana u godini

$\eta_t$  – stupanj iskorištenja vremena

Može se pojaviti:

$K_{gi}$  – godišnji kapacitet [h/god]

$K_{ti}$  – tjedni kapacitet [h/tjedno]

$K_{di}$  – dnevni kapacitet [h/dan]

Stupanj iskorištenja vremena:

$$\eta_t = k_t \cdot \frac{p}{100}$$

Gdje je:

$k_t$  – koeficijent korištenja raspoloživog vremena (0,7÷0,9) ovisan o proizvodnom modelu (udjelu  $t_{pz}$ )

$p$  – postotak (%) ostvarenja norme (100÷110) zavisno o modelu

U pravilu se uzima:

$h = 8$  sati;  $d_g = 260$  dana;  $\eta_t = 0,85$  prosječno;  $s = 2$ ;  $d_t = 5$  dana

Neto raspoloživo vrijeme za proizvodnju u jednoj kalendarskoj godini jednako je:

$$K_{gi} = h \cdot s \cdot d \cdot \eta_{tg} \cdot \eta_{ts} = 8 \cdot 2 \cdot 260 \cdot 0,815 \cdot 0,916 = 3105,61 \text{ sati}$$

Gdje je:

$\eta_{tg}$  – godišnji stupanj iskoristivosti smjena uslijed zaustavljanja proizvodnje (u ovaj stupanj iskoristivosti uzimaju se u obzir neradni dani, spajanje blagdanskih praznika i slično)

$\eta_{ts}$  – stupanj iskoristivosti jedne smjene

Na jednak je način moguće izračunati i neto raspoloživo vrijeme za proizvodnju u danu, ali u ovom slučaju ne uzimamo godišnji faktor iskoristivosti smjena ( $d=1$ ):

$$K_{di} = h \cdot s \cdot d \cdot \eta_{ts} = 8 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,916 = 14,656 \text{ sati}$$

Te na isti način neto raspoloživo vrijeme za proizvodnju u smjeni ( $s=1$ ):

$$K_{si} = h \cdot s \cdot d \cdot \eta_{ts} = 8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,916 = 7,328 \text{ sati} = 26380,8 \text{ sekundi}$$

Analizom trenutne proizvodnje i mjerenjima izvršenim po smjeni dolazi se do trenutno mogućnosti proizvodnje proizvodne linije za svaki od proizvoda po smjeni. Trenutna mogućnost proizvodne linije za izradom prvog proizvoda (ventilator AF-1) jednaka je 320 komada po smjeni, a trenutna mogućnost proizvodne linije za izradom drugog proizvoda jednaka je 400 komada po smjeni. Stoga se zaključuje kako trajanja ciklusa na bilo kojem segmentu procesa iznosi:

$$t_{isp\ AF-1}^T = \frac{K_{si}}{q_{T\ AF-1}} = \frac{26380,8 \text{ s}}{320 \text{ kom}} = 82,5 \text{ s/kom}$$

$$t_{isp\ AF-2}^T = \frac{K_{si}}{q_{T\ AF-2}} = \frac{26380,8 \text{ s}}{400 \text{ kom}} = 66 \text{ s/kom}$$

Gdje je:

$t_{isp\ X}^T$  – trenutno najduže vrijeme ciklusa kod isporuke jednog ventilatora po tipu X

$q_{TX}$  – trenutna mogućnost proizvodnje u smjeni jednog ventilatora po tipu X

Prema trenutnim podacima iz proizvodnje po smjeni svakog tipa ventilatora moguće je ustanoviti koliko godišnjeg vremena u postotku troši pojedini proizvod:

$$\eta_{go\ AF-1} = \frac{t_{isp\ AF-1}^T}{t_{isp\ AF-1}^T + t_{isp\ AF-2}^T} = \frac{82,5}{82,5 + 66} = 0,554 = 55,4\%$$

$$\eta_{go\ AF-2} = 100\% - \eta_{go\ AF-1} = 100\% - 55,4\% = 44,6\%$$

Gdje je:

$\eta_{go\ X}$  – stupanj godišnjeg opterećenja proizvodne linije za proizvod tipa X

Temeljem tržišne potražnje godišnjih količina oba proizvoda potrebno je izračunati tržišnu potražnju za svaki proizvod po smjeni, tu količinu dobijemo izrazom:

$$q_{min,s\ AF-1} = \frac{Q_{AF-1}}{s \cdot d \cdot \eta_{tg} \cdot \eta_{ts} \cdot \eta_{go\ AF-1}} = \frac{80000 \text{ kom}}{2 \cdot 260 \cdot 0,815 \cdot 0,916 \cdot 0,554} = 372 \text{ kom}$$

$$q_{min,s\ AF-2} = \frac{Q_{AF-2}}{s \cdot d \cdot \eta_{tg} \cdot \eta_{ts} \cdot \eta_{go\ AF-2}} = \frac{80000 \text{ kom}}{2 \cdot 260 \cdot 0,815 \cdot 0,916 \cdot 0,446} = 462 \text{ kom}$$

Gdje je:

$q_{min,s\ X}$  – tržišna potražnja u smjeni jednog ventilatora po tipu X

Ukoliko je tržišna potražnja za prvim proizvodnom (ventilator AF-1) jednaka 372 komada po smjeni, a potražnja za drugim proizvodom 462 komada po smjeni (ventilator AF-2), najdulje dozvoljeno trajanje ciklusa na bilo kojem segmentu procesa iznosi:

$$t_{isp\ AF-1}^{max} = \frac{K_{si}}{q_{min,S\ AF-1}} = \frac{26380,8\ s}{372\ kom} = 71\ s/kom$$

$$t_{isp\ AF-2}^{max} = \frac{K_{si}}{q_{min,S\ AF-2}} = \frac{26380,8\ s}{462\ kom} = 57\ s/kom$$

Gdje je:

$t_{isp\ X}^{max}$  – najduže vrijeme ciklusa kod isporuke jednog ventilatora po tipu X

$K_{si}$  – neto raspoloživo vrijeme za proizvodnju u smjeni jednog ventilatora po tipu X

### **3.3.3. Analiza vremena operacija po tipu ventilatora**

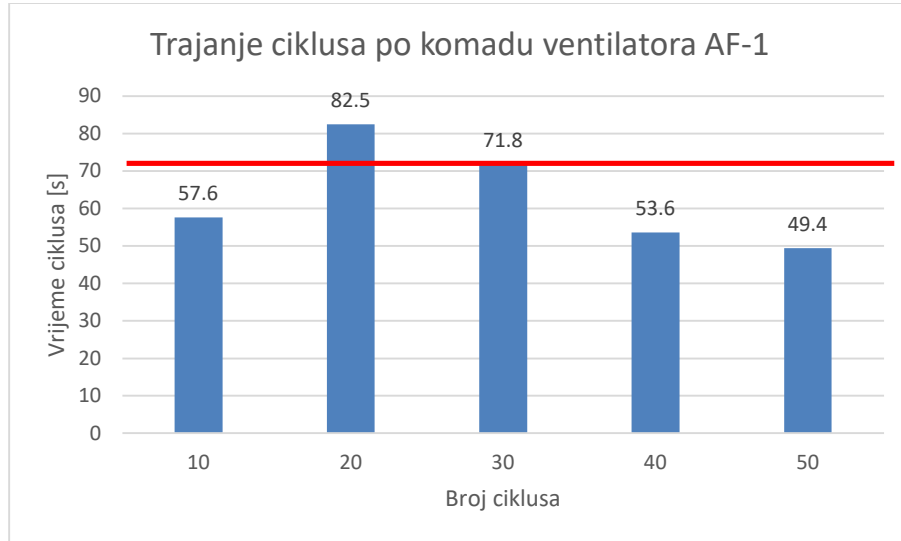
Mjerenjem operacija i zahvata na ventilatorima dolazimo do zaključka koliko vremena otpada na pojedine operacije i zahvate po komadu ventilatora. Operacije koje se vrše na ventilatoru AF-1 su:

- Operacija 10 - Utiskivanje, magnetizacija i balansiranje
- Operacija 20 - Umetanje statora, montaža elektronike
- Operacija 30 - Montaža kabela i zaštitne mreže
- Operacija 40 - Testiranje
- Operacija 50 - Montaža zidnog nosača i pakiranje

Operacije koje se vrše na ventilatoru AF-2 su:

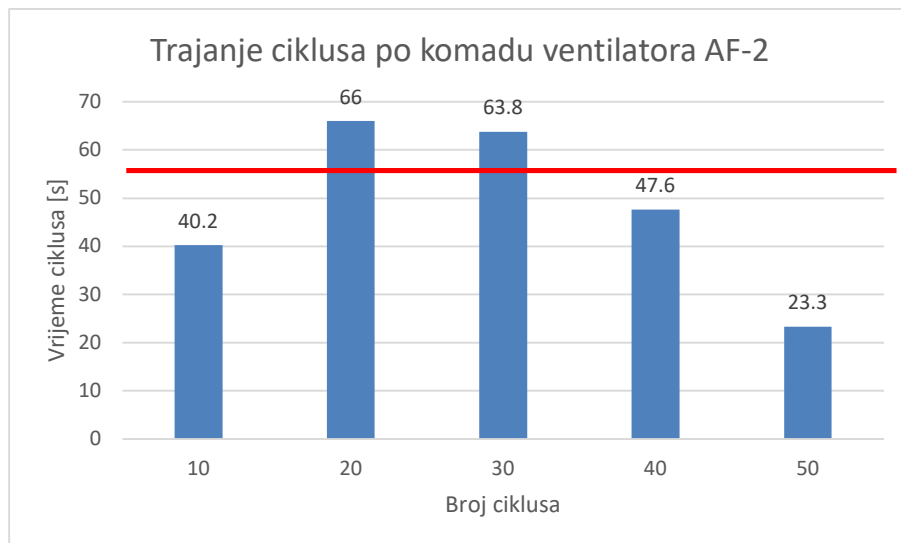
- Operacija 10 - Utiskivanje, magnetizacija i balansiranje
- Operacija 20 - Umetanje statora, montaža elektronike
- Operacija 30 - Montaža kabela i zaštitne mreže
- Operacija 40 - Testiranje
- Operacija 50 - Pakiranje

Na slici 3.5 prikazan je dijagram vremena operacija po komadu ventilatora AF-1:



Slika 3.5: Dijagram ciklusa sa vremenima po komadu ventilatora AF-1

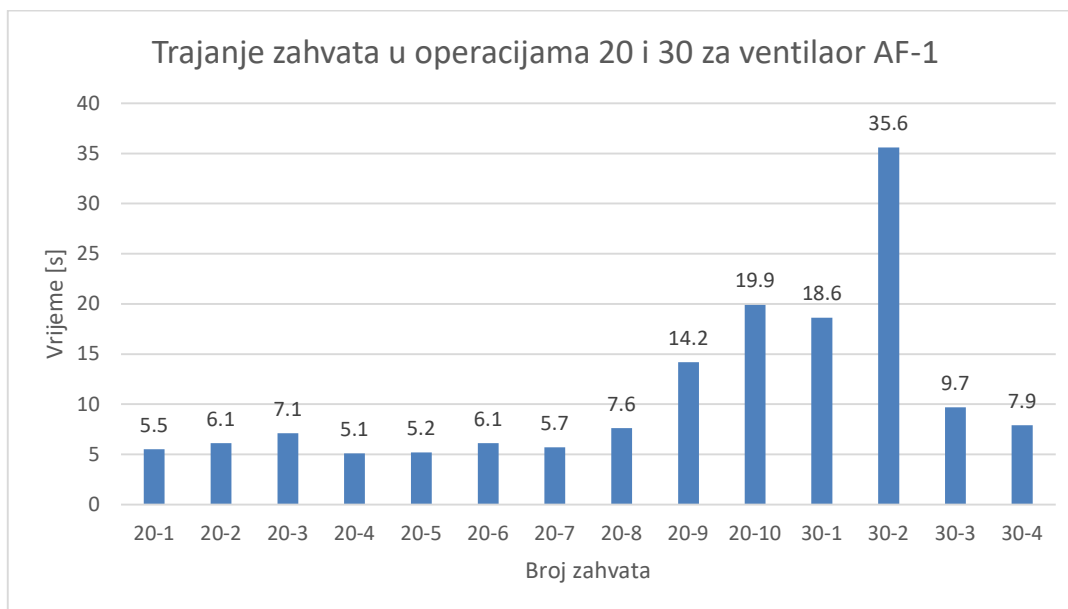
Na slici 3.6 prikazan je isti dijagram po komadu ventilatora AF-2:



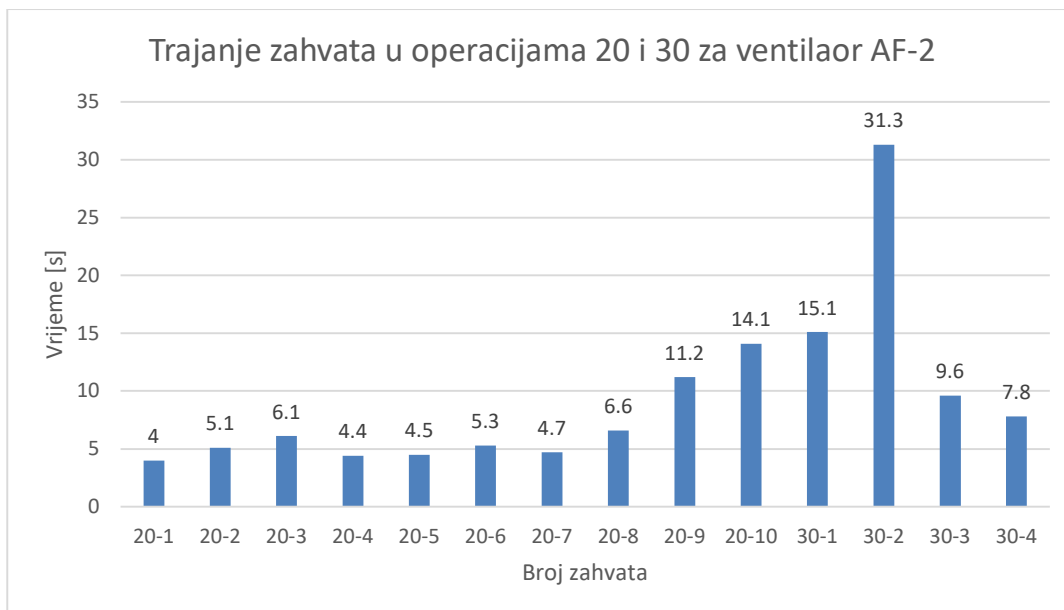
Slika 3.6: Dijagram ciklusa sa vremenima po komadu ventilatora AF-2

Sa trenutnim stanjem na proizvodnoj liniji nije moguće realizirati proizvodnju po tržišnoj potražnji. Na slikama 3.5 i 3.6 prikazano je crvenom linijom dozvoljeno trajanje ciklusa po tipu proizvoda. Kod prvog proizvoda, odnosno ventilatora AF-1, primjećujemo kako ciklusi 20 i 30 prelaze dozvoljeno trajanje ciklusa ventilatora AF-1 koji iznosi 71s. Kod drugog proizvoda, odnosno ventilatora AF-2 također ciklusi 20 i 30 prelaze dozvoljeno trajanje ciklusa ventilatora AF-2 koji iznosi 57s. Razlika između ta dva tipa ventilatora je u tome što ventilator AF-1 izveden sa 5 lopatica dok je ventilator AF-2 izveden sa 3 lopatice, ventilator AF-1 se izrađuje sa zidnim nosačem dok ventilator AF-2 nema zidni nosač. Zbog tih razlika u izvedbi ventilatora postoji

razlika u vremenima ciklusa. Kako bi mogli provesti balansiranje linije potrebno je izvršiti dodatna mjerenja svih zahvata unutar operacija 20 i 30 na oba proizvoda. Na slici 3.7 prikazana su mjerenja vremena svih zahvata operacija 20 i 30 na ventilatoru AF-1, dok na slici 3.8. su prikazana mjerenja vremena svih zahvata operacija 20 i 30 na ventilatoru AF-2.



Slika 3.7: Rezultati mjerenja zahvata unutar operacija 20 i 30 za ventilator AF-1



Slika 3.8: Rezultati mjerenja zahvata unutar operacija 20 i 30 za ventilator AF-2

Gdje brojevi zahvata na oba ventilatora predstavljaju:

- 20-1. Lijepljenje naljepnice na lopatice, odlaganje na transportna kolica
- 20-2. Postavljanje ležaja u stator
- 20-3. Utiskivanje ležaja (strojno vrijeme)
- 20-4. Montaža uskočnika
- 20-5. Montaža statora
- 20-6. Montaža opružne podloške
- 20-7. Montaža kućišta
- 20-8. Postavljanje PCB-a u programator
- 20-9. Programiranje
- 20-10. Vidanje PCB-a
- 30-1. Montaža kabela
- 30-2. Montaža zaštitne rešetke
- 30-3. Sklapanje veza
- 30-4. Lijepljenje naljepnice na rotor

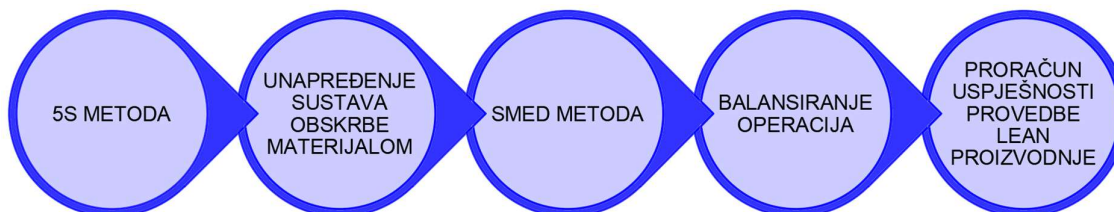
Na temelju nepravilnosti i izazova na koje proizvodnja linija nailazi, odlučeno je implementirati sljedeće metode i mjere Vitke proizvodnje:

- 5S metoda,
- sastanci na mjestu proizvodnje,
- optimizacija opskrbe stanica materijalom,
- SMED metoda,
- operacije balansiranja.



#### 4. UVOĐENJE VITKE PROIZVODNJE I REZULTATI

U ovom poglavlju bit će prikazana implementacija metoda na Vitku proizvodnju. Slika 4.1 prikazuje proces implementacije.



Slika 4.1: Redoslijed implementacije metoda na Vitku proizvodnju

Prije svega, potrebno je posvetiti se implementaciji 5S metode, jer je to radno okruženje učinilo transparentnijim i organiziranijim, a samim time lakše je implementirati ostale metode.









Zatim je potrebno unapređenje sustava opskrbe radnih stanica materijalom. To je uključivalo novi sustav naručivanja materijala, novi način isporuke materijala i korištenje nekih novih spremnika za materijal. Ovaj korak je utjecao na izvršenje razmjene, stoga je važno da je proveden prije SMED metode.

Slijedila je implementacija SMED metode za koju je prethodno provedeno mjerenje i za koju su prikazani koraci promjene serije. Analizom postojeće metode saznaje se gdje je moguće napraviti poboljšanja te ih implementirali prilikom promjena serije.

Konačno, implementirana je metoda balansiranja operacija. Metoda je uključila preraspodjelu radnih zahvata između operacija na pojedinim radnim ćelijama i ponovna mjerenja trajanja operacija.

## 4.1. Metoda 5S

Implementacija Vitke proizvodnje na proizvodnoj liniji započinje implementacijom poboljšanja vezanih uz 5S metodu. Najprije se uvedi standard boja za podne oznake i definiraju se zone gdje će se postavljati svaka podna oznaka. Standard je prikazan na slici 4.2.

GLAVNO PODRUČJE (prometne rute)		NEDOVRŠENA PROIZVODNJA (ulazni nedovršeni poluproizvodi, nedovršeni sklopovi)	
ŠKART (loši komadi, reklamacije)		GOTOVI PROIZVODI, ISPORUKA (gotovi poluproizvodi, motori, materijali)	
RAZNE POZICIJE (za transportna kolica, košare, pripreme, povrati...)		POVRATNA AMBALAŽA (povratne kutije)	
ULAZNI MATERIJALI (ulazne sirovine, ulazni poluproizvodi)		SIGURNOSNA NALJEPNICA UPOZORENJA (opasno područje, zaštitni profili)	

Slika 4.2: Standardne podne oznake

To je prije svega poboljšalo organizaciju i preglednost proizvodnog okruženja. Logistika je postala znatno lakša jer su definirana područja dostave za svaki poluproizvod posebno kao i područja za praznu ambalažu i gotove proizvode. Obilježavanje opasnih područja također je važno jer se time prvenstveno povećava sigurnost zaposlenika. Primjer opasnog područja prikazan je na slici 4.3.



Slika 4.3: Primjer podne oznake gdje je potrebna upotreba antistatičke zaštite

Opasna područja uključuju područja u kojima je potrebna antistatička zaštita zaposlenika, budući da se elektroničke komponente mogu oštetiti ako se ne koristi antistatička odjeća.

Na području nabave poluproizvoda definirana su i izrađena razna skladišta (mali kontejneri, regali). Pravilnim (standardiziranim) skladištima poluproizvoda postignuta je

optimalna iskoristivost prostora i osigurano je da se poluproizvodi ne oštete. Nepravilno i pravilno skladištenje materijala prikazano je na slici 4.4.



Slika 4.4: Nepravilno i pravilno skladištenje poluproizvoda

Također je važno da poluproizvodi i ambalaža za gotove proizvode budu na označenim mjestima te da se nalaze na mjestu gdje operateru ne smetaju niti su mu pre daleko. Vrlo je bitno da operateri imaju dovoljno prostora za rad. Postupanje s otpadnim materijalom (karton, folija, oštećeni poluproizvodi, škart) mora biti primjereno jer na taj se način uvelike utječe na organizaciju proizvodne linije.

Za dodatnu transparentnost i održavanje urednog radnog okruženja postavljaju se vertikalna rolo skladišta prikazana na slici 4.5. Rolo skladište omogućuje sustavno skladištenje raznih predmeta, alata i materijala, a istovremeno nudi učinkovito korištenje dragocjenog prostora.



Slika 4.5: Vertikalno rolo skladište

Alati koji se nalaze u rolo skladištu unutar proizvodne linije su potrebni za rad. Ovakav način pohranjivanja alata omogućuje brži pristup alatima i bržu promjenu. Sitni materijal se također skladišti u rolo skladištu. Materijal je na taj način pravilno organiziran i lakše je upravljati njegovom zalihom.

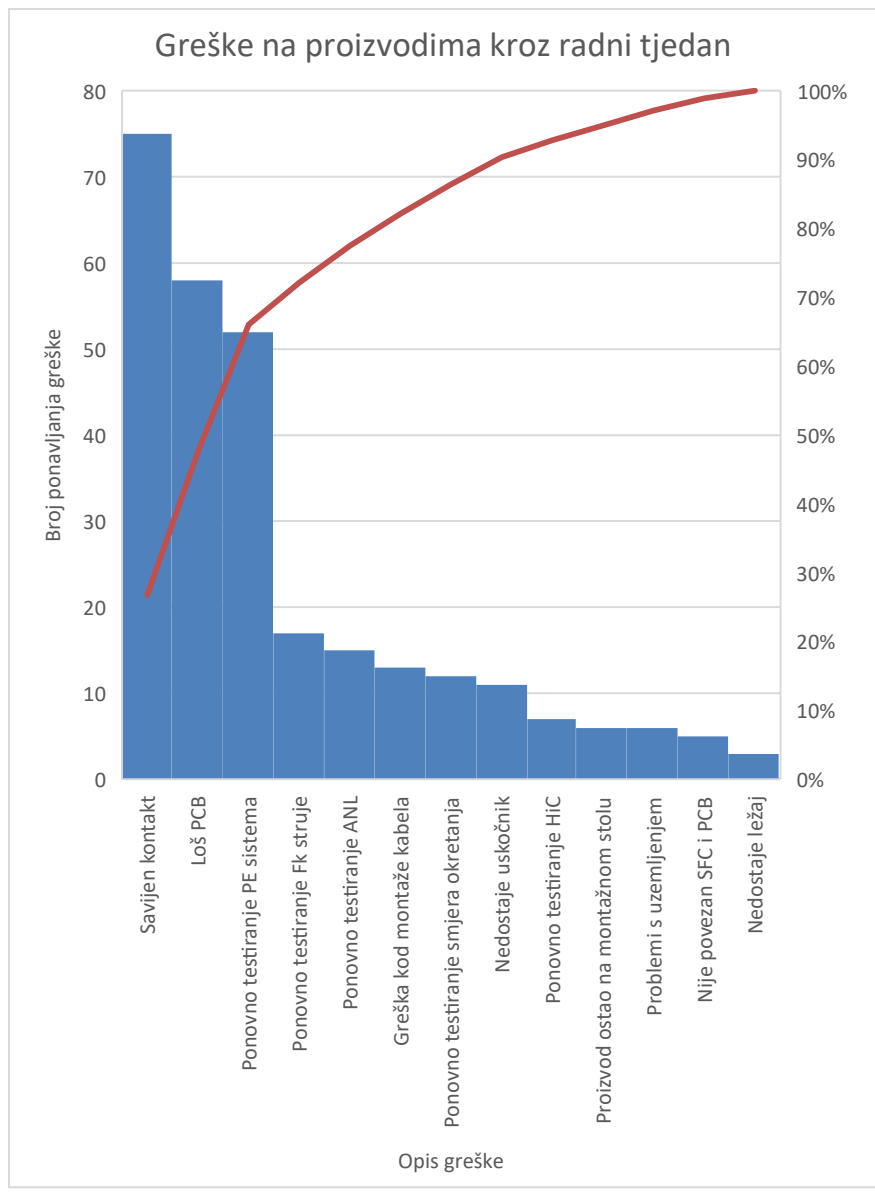
Kao i u svakom proizvodnom procesu, svakodnevno susretanje s raznim problemima utječu na učinkovitost i kvalitetu proizvodnje. Kako bi se što bolje proizvodna linija nosila s ovim izazovima, donesena je odluka o uvođenju dnevnih sastanaka u proizvodnom pogonu. Sastanci omogućuju svakodnevno okupljanje tima, razmjenu informacija o aktualnim problemima i brzo zajedničko pronalaženje rješenja. Dnevne teme susreta su:

- podaci o ozljedama na radu,
- podaci o broju proizvedenih proizvoda,
- podaci o zagušenju na proizvodnoj liniji,

- komentari odjela za kvalitetu,
- komentari tehnološke službe,
- logistički komentari,
- inspekcija organizacije proizvodne linije i drugih srodnih procesa od strane odjela Vitke proizvodnje.

Na sastancima se prvo pregleda zagušenost proizvodne linije za prethodni dan. Voditelj daje podatke o broju proizvedenih proizvoda, a potom i uspješnost proizvodnje u postocima. Za zastoje je potrebno definirati zašto su nastali te potom poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se u budućnosti što uspješnije spriječili. Analiza opterećenosti i uspješnosti proizvodnje također se prati na kraju mjeseca.

Odjel za kvalitetu daje informacije o broju proizvoda koji nisu prošli završni test i zahtijevaju popravke. Za sve te proizvode također se vodi evidencija o pogreškama zbog kojih nisu zadovoljili na završnom testu. Slika 4.6 prikazuje grafikon grešaka.



Slika 4.6: Grafikon tjednih grešaka

Na temelju pogrešaka utvrđuju se mjere za njihovo smanjenje, jer kod proizvoda predstavljaju nezanemarive gubitke u samoj proizvodnji.

Slijedi pregled organizacije ćelije koja je definirano odnosno uvedena metodom 5S. Koristi se standardni obrazac prikazan na slici 4.7 koji pomaže u provjeri urednosti.

## 5S Standard

<p><b>01</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- dostava prazne ambalaže - kolica u tračnici</p>	<p><b>02</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- paleta s gotovim proizvodima</p>	<p><b>03</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- paleta s otpadnom folijom - paleta s zidnim nosačima u tračnici</p>	<p><b>04</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- paleta sa zaštitnom mrežom u tračnici</p>
<p><b>08</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- prazna transportna kolica u tračnici</p>	<p><b>09</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- pjena u spremniku - 1 transportna kolica 600x400mm - maksimalno 8 K4 kutija</p>	<p><b>10</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- otpadni materijal na predviđenoj poziciji</p>	<p><b>11</b></p>  <p>OK n. OK</p> <p>- kartice koje se trenutno koriste na svim stanicama</p>

Slika 4.7: Obrazac za provjeru sukladnosti 5S

Prilikom pregleda rasporeda proizvodne linije provjerava se:

- ako je izvršena dostava poluproizvoda na točno (označeno) mjesto,
- ako je isporuka poluproizvoda u ispravnom pakiranju,
- ako je kutija za gotove proizvode na pravom mjestu,
- ako je otpadni materijal odbačen na predviđenom mjestu,
- ako se vršilo ispravno korištenje *kanban* kartica.

## 4.2. Optimizacija opskrbe stanica materijalom

Najveća promjena u novom sustavu nabave materijala je uvođenje marketa materijala (Bruto market), što je prikazano na slici 4.8. Rezultat uvođenja marketa materijala je posredna veza između skladišta gdje se priprema materijal i proizvodnje gdje se materijal koristi.



Slika 4.8: Market materijala

O pripremi materijala na marketu brine grupa radnika koja ga unaprijed priprema za proizvodnu liniju. U ovoj fazi vrši se pregled materijala (odgovarajuća šifra materijala) i prebrojavanje. Na taj način više nema dostave neadekvatne količine materijala niti čekanja na materijal. Pripremljeni materijal se zatim vozi u transportnim kolicima, gdje čeka daljnju isporuku na proizvodnu liniju. Transportna kolica pomažu da se materijal pripremi ispravnim redoslijedom. Ukoliko postoji netočan podatak o zalihama materijala na skladištu, odnosno ako se utvrdi da odgovarajućeg materijala nema na zalihama u dovoljnoj količini, ovaj koncept nam omogućuje promjenu plana proizvodnje bez posljedica za proizvodnju. Sa starim konceptom nabave materijal bi se čekao i nastao bi zastoј u proizvodnji.



Druga velika promjena je dostava materijala s marketa na proizvodnu liniju. Viljuškari su zamijenjeni vučnim vozilom Toyota Tracto koje je prikazano na slici 4.9.

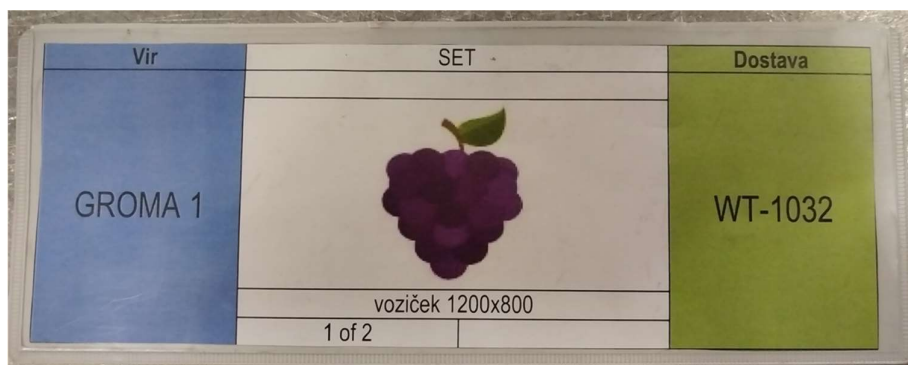


Slika 4.9: Vučno vozilo Toyota Tracto

Vučno vozilo opremljeno je s nekoliko vagona, što omogućuje transport više paleta materijala odjednom. Kao rezultat ove promjene, bilo je potrebno izgraditi neke nove spremnike materijala kako bi ih vučno vozilo moglo učinkovito transportirati.

Prelaskom na vučno vozilo omogućena je brža nabava materijala, jer je vučno vozilo u mogućnosti prevesti više materijala odjednom, što je doprinijelo smanjenju vremenskih zastoja i povećanju učinkovitosti proizvodnje. Istodobno, poboljšana je i sigurnost zaposlenika jer vozilo ima manje putovanja, čime se smanjuje rizik od potencijalnih nesreća.

Usljedilo je uvođenje metode *kanban* kartice koja se temelji na vizualnoj signalizaciji i predstavlja ključni alat za vezu između tržišta, vučnog vozila i proizvodne ćelije. Slika 4.10 prikazuje primjer *kanban* kartice iz tvrtke.



Slika 4.10: Kanban kartica koja se koristi u tvrtki

U proizvodnji *Kanban* kartica služi kao signal za isporuku materijala. Kada proizvodna linija ostane bez materijala, operater stavlja karticu na namjenski stalak. Karticu zatim preuzima operater na vučnom vozilu i dostavlja u skladište na market. Na marketu zatim skupljaju sve *kanban* kartice i pripremaju vučno vozilo za ponovnu isporuku.

Važna prednost *kanban* kartica je što rade po principu povlačenja (eng. pull), što znači da se materijal naručuje samo kada je stvarno potreban. Time je osigurano da u proizvodnom pogonu više nema prevelike količine materijala.

Novi sustav nabave materijala donio nam je brojne prednosti:

- isporuku točnih količina materijala,
- dostava odgovarajućeg materijala,
- brža dostava materijala,
- sigurnije radno okruženje,
- manje gužve i čekanja na materijal,
- minimalne zalihe materijala u prostoru proizvodne linije.

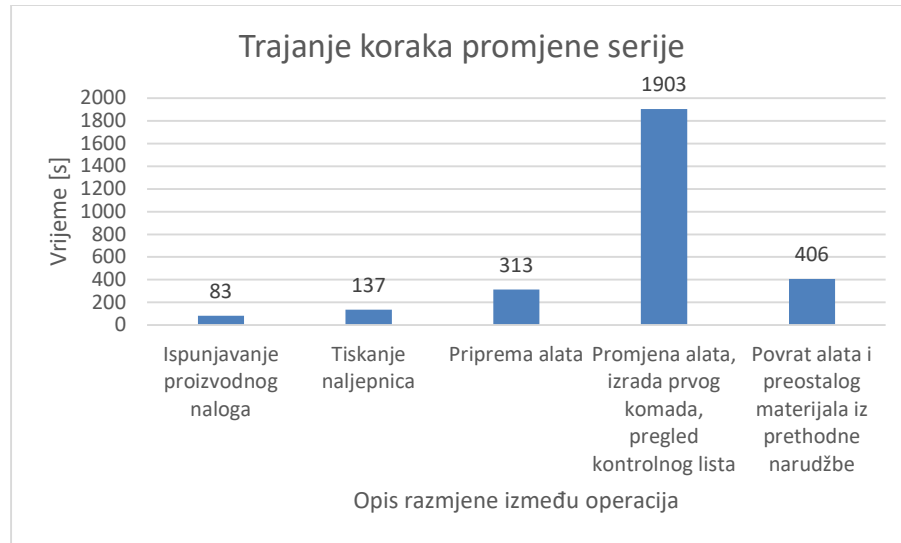
### **4.3. SMED metoda**

#### ***4.3.1. Analiza koraka razmjene***

Prije implementacije SMED metode prvo je promatran proces promjene serija između operacija. Na temelju toga cijela promjena serije podijeljena je na pojedinačne korake promjene serije, nakon mjerenja podijeljeni su koraci na vanjske i unutarnje. Koraci koji čine cijelu promjene serije između operacija su:

1. Ispunjavanje proizvodnog naloga.
2. Tiskanje naljepnica.
3. Priprema alata.
4. Promjena alata, izrada prvog komada, pregled kontrolnog lista.
5. Povrat alata i preostalog materijala iz prethodne narudžbe.

Nakon što su definirani pojedinačni koraci unutar promjene između serija, moguće je krenuti s mjerenjem. Mjereno je trajanje pojedinih promjena serija. Razmjenu je izvršio jedan operater tijekom mjerenja. Rezultati mjerenja prikazani su na slici 4.11.



Slika 4.11: Trajanje koraka promjene serije

Prema rezultatima mjerenja primjećuje se da najviše vremena oduzima dio promjene serije koji uključuje izmjene alata, izradu prvog komada i provjera kontrolnog lista. Sva ova 3 zahvata imaju zajedničko vrijeme, jer je njihovo izvršenje isprepletano i stoga se ne mogu rastaviti na 3 zasebna zahvata.

#### **4.3.2. Identifikacija unutarnjih i vanjskih operacija**

U sljedećem koraku razvrstani su pojedini zahvati u promjeni serije između operacija na vanjske i unutarnje operacije.

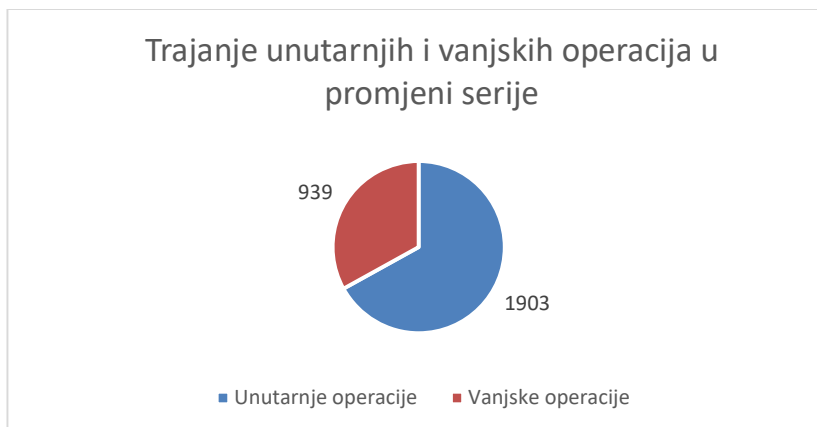
##### **Vanjske operacije:**

- ispis proizvodnog naloga,
- tiskanje naljepnica,
- priprema alata,
- povrat alata i materijala.

##### **Unutarnje operacije:**

- Promjena alata, izrada prvog komada, pregled kontrolnog lista.

Trajanje vanjskih i unutarnjih operacija promjene serije mogu se vidjeti na grafu koji je prikazan na slici 4.12.



Slika 4.12: Trajanje unutarnjih i vanjskih operacija

Vidi se da unutarnje operacije promjene serije predstavljaju oko dvije trećine svih zahvata u smjeni. S obzirom da se ovi koraci odvijaju kada proizvodna linija nije u pogonu, jako je važno skratiti ih što je više moguće.

#### **4.3.3. Promjena unutarnjih operacija promjena serije izvan vremena smjene**

Odlučeno je koji od koraka unutarnjih operacija je moguće prebaciti pod vanjske operacije. Dakle, unutarnje operacije su promjena alata, izrada prvog komada i provjera kontrolnog lista. Od navedenih koraka samo se neki mogu premjestiti pod korake pregleda kontrolnog popisa. Pregled popisa za provjeru sastoji se od sljedećih podkoraka:

- pregled prikladnosti materijala,
- pregled dubine utiska rotora u lopatice,
- provjera ispravnosti spajanja ispitnih alata,
- pregled rada ventilatora,
- unos podataka o ležaju.

Svi ovi podkoraci se mogu premjestiti ispod vanjske operacije jer su namijenjene provjeri rada alata. Ovi koraci su provjera dubine utiska rotora, provjera ispravnog spajanja ispitnih alata i provjera rada ventilatora u završnom testu. Stoga je moguće premjestiti provjeru prikladnosti materijala i unos podataka o ležaju ispod vanjskih koraka.

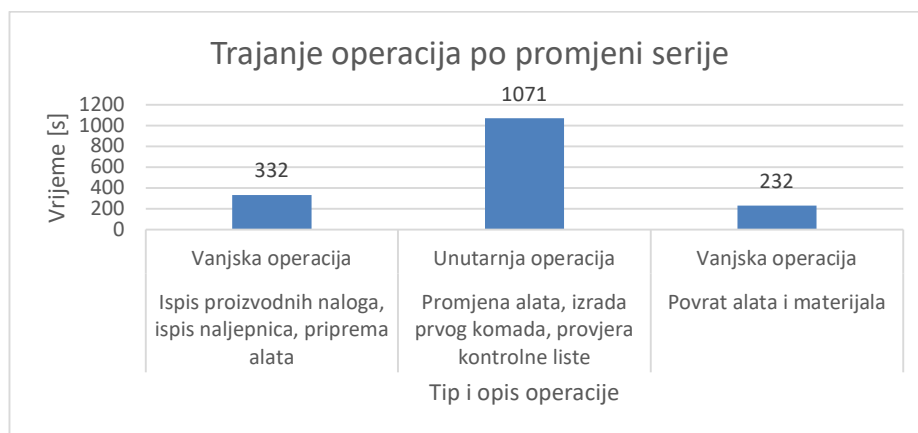
#### **4.3.4. Skraćivanje unutarnjih koraka**

S obzirom da unutarnje operacije predstavljaju tako velik dio razmjene, imalo je smisla uvesti druga poboljšanja. Premještanje unutarnjih operacija na vanjske je obavljeno, tako da se može krenuti sa skraćivanjem unutarnjih operacija. Najlakši mogući način je podijeliti korake ili rad tijekom smjene između nekoliko postavljča ili voditelja grupa. Svako proizvodno mjesto ima

svog regulatora, a osim njih, na proizvodnom mjestu su još najmanje dva voditelja grupe. Dakle, u većini slučajeva u smjeni mogu sudjelovati najmanje dva djelatnika (ili dva izvršitelja ili izvršitelj i voditelj) koji su kvalificirani za obavljanje promjene serije. Ovom mjerom treba značajno smanjiti vrijeme unutarnjih koraka.

#### 4.3.5. Rezultat implementacije SMED metode

Za uspješnost implementacije SMED metode provedeno je ponovljeno mjerenje. Ovaj put zamjenu su izvršila dva operatera. Promjena serije je izvršena kako je definirana implementacijom SMED metode. Rezultati mjerenja prikazani su na slici 4.13.



Slika 4.13: Rezultati SMED metode

Očekivano, vrijeme unutarnjih operacija značajno je smanjeno. Prije i nakon implementacije metode vrijeme izvršenja je smanjeno za 43,7%.

$$\Delta t = 1903 \text{ s} - 1071 \text{ s} = 832 \text{ s}$$

$$\Delta t = \frac{832 \text{ s} \cdot 100 \%}{1903 \text{ s}} = 43,7 \%$$

Ukupno vrijeme razmjene također je puno kraće. i nakon implementacije metode vrijeme izvršenja je smanjeno za 42,5%.

$$\Delta t = 2842 \text{ s} - 1635 \text{ s} = 1207 \text{ s}$$

$$\Delta t = \frac{1207 \text{ s} \cdot 100 \%}{2842 \text{ s}} = 42,5 \%$$

#### 4.4. Balansiranje proizvodne linije

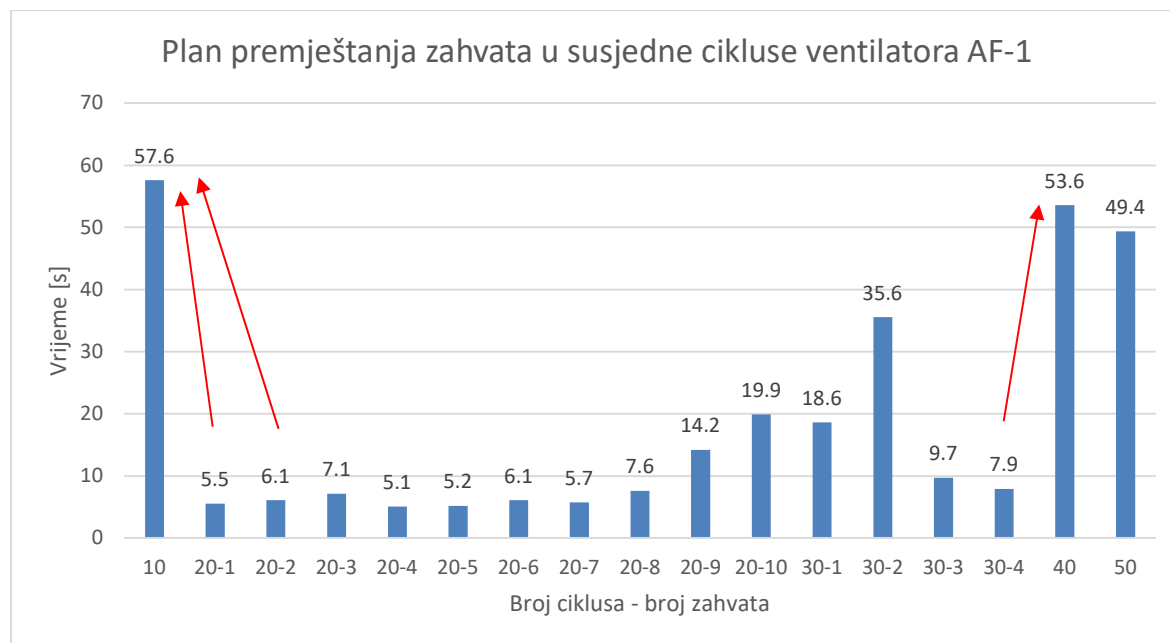
Jedna od najvažnijih stvari u proizvodnoj liniji je operacija balansiranja proizvodne linije. Balansiranjem se žele eliminirati gužve na pojedinim proizvodnim ćelijama, a u isto vrijeme ravnomjerno podijeliti posao između operatera. U proizvodnoj liniji se proizvode različite vrste

proizvoda s različitim dijelovima, tako da osim osnovnih operacija koje svaki proizvod ima postoje i neke dodatne operacije kao što su montaža zaštitne mreže ili montaža zidnog nosača. U nastavku će biti prikazani postupci balansiranja oba tipa ventilatora.

Prethodnim mjerenjima ustanovljeno je koliko vremena uzimaju pojedine operacije odnosno pojedini zahvati unutar operacija. Zaključak je kako najveći vremenski period otpada na operacije 20 i 30. Te operacije je potrebno maksimalno skratiti kako bi rasteretili operatere na tim proizvodnim ćelijama. Maksimalni vremenski period operacija kod ventilatora AF-1 iznosi 71 sekundu, dok kod ventilatora AF-2 iznosi 57 sekundi. Od pet promatranih operacija kod oba ventilatora samo operacije 20 i 30 premašuju to vrijeme.

#### 4.4.1. Planiranje ciklusa

Svaka ciklus na proizvodnoj liniji se izvodi na svojoj proizvodnoj ćeliji. Jedan od načina da se smanji vrijeme ciklusa je da se određeni zahvati pojedinih ciklusa prebace u susjedne cikluse. Na slici 4.14 prikazani su zahvati koji se premještaju u susjedne cikluse kod ventilatora AF-1.

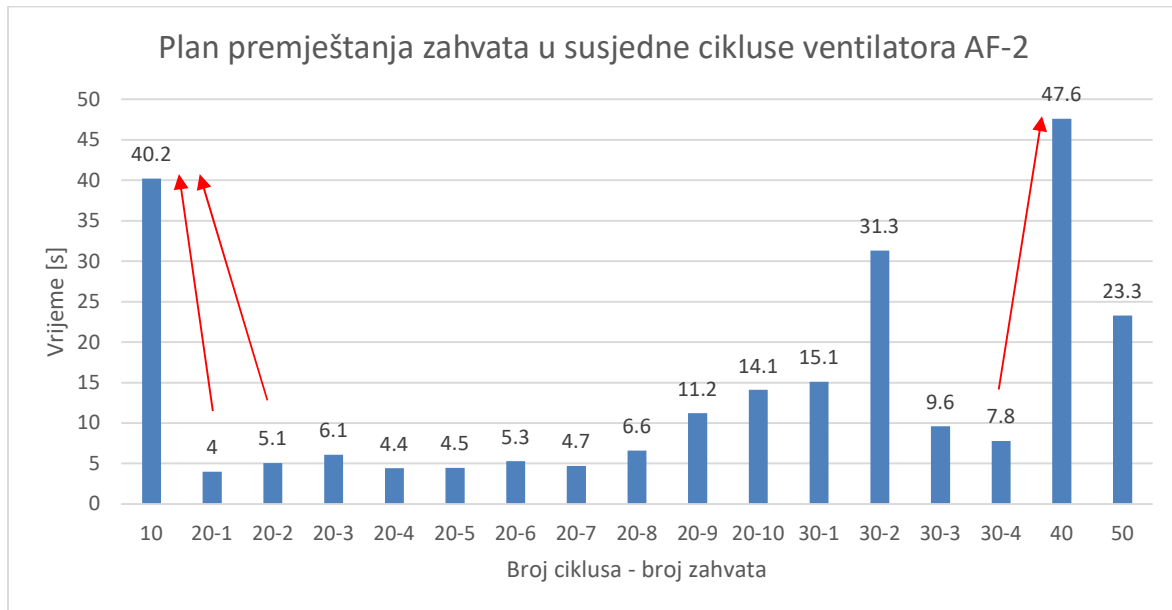


Slika 4.14: Plan premještanja zahvata u susjedne cikluse ventilatora AF-1

Na slici 4.14 vidi se kako su prebačeni zahvati 20-1 (Lijepljenje naljepnice na lopatice, odlaganje na transportna kolica) i 20-2 (Postavljanje ležaja u stator) u operaciju 10 kao i zahvat 30-4 (Lijepljenje naljepnice na rotor) u operaciju 40.

Na slici 4.15 prikazani su zahvati koji se premještaju u susjedne operacije kod ventilatora

AF-2.

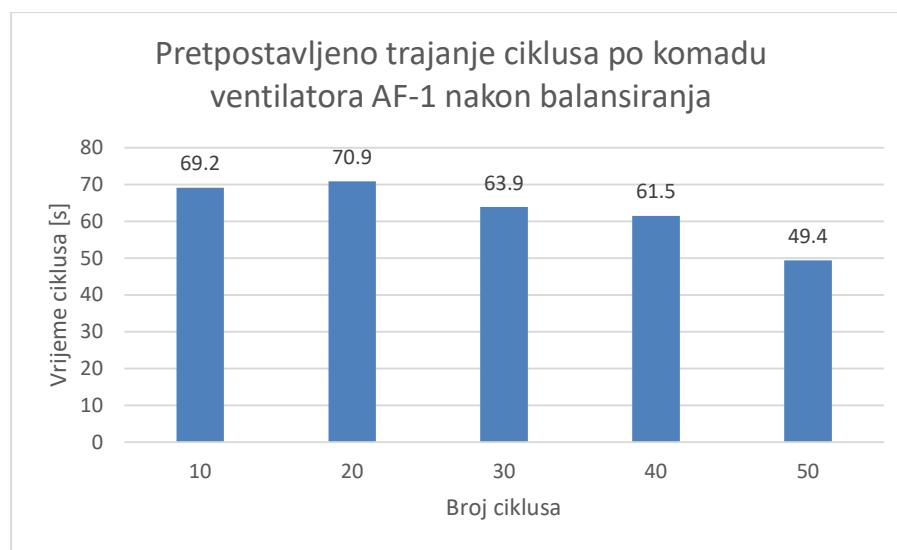


Slika 4.15: Plan premještanja zahvata u susjedne cikluse ventilatora AF-2

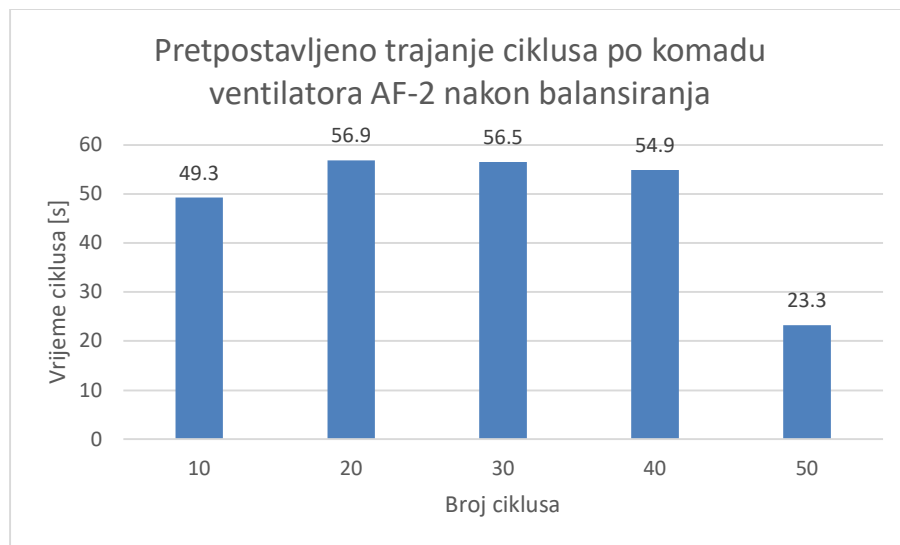
Na slici 4.15 vidi se kako su napravljene iste preinake kao kod prethodnog ventilatora

AF-1.

Ovim mjerama je razumno provedeno uravnoteženje poslovanja. Nakon balansiranja, opterećenje na radnim stanicama trebalo bi izgledati kao što prikazuju slike 4.17 i 4.18. Međutim, ovi rezultati se temelje na pretpostavkama, još uvijek je potrebno izvršiti testiranja na proizvodnim ćelijama.



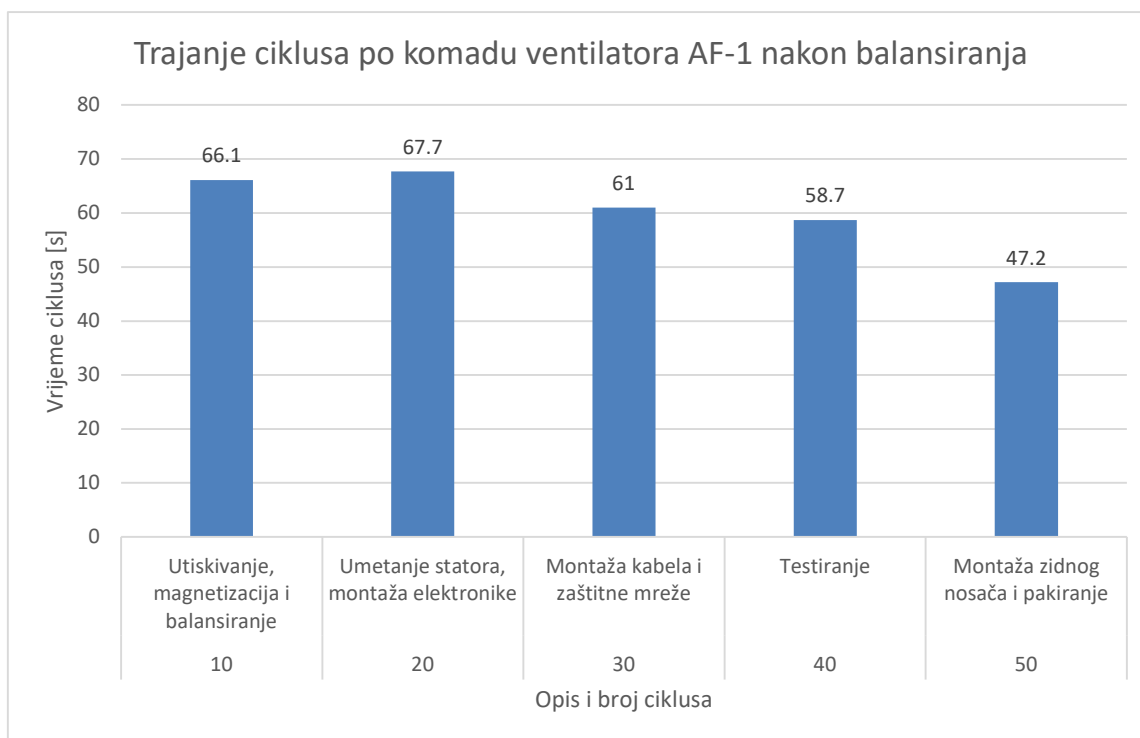
Slika 4.17: Pretpostavljeno trajanje ciklusa po komadu ventilatora AF-1 nakon balansiranja



Slika 4.18: Pretpostavljeno trajanje ciklusa po komadu ventilatora AF-2 nakon balansiranja

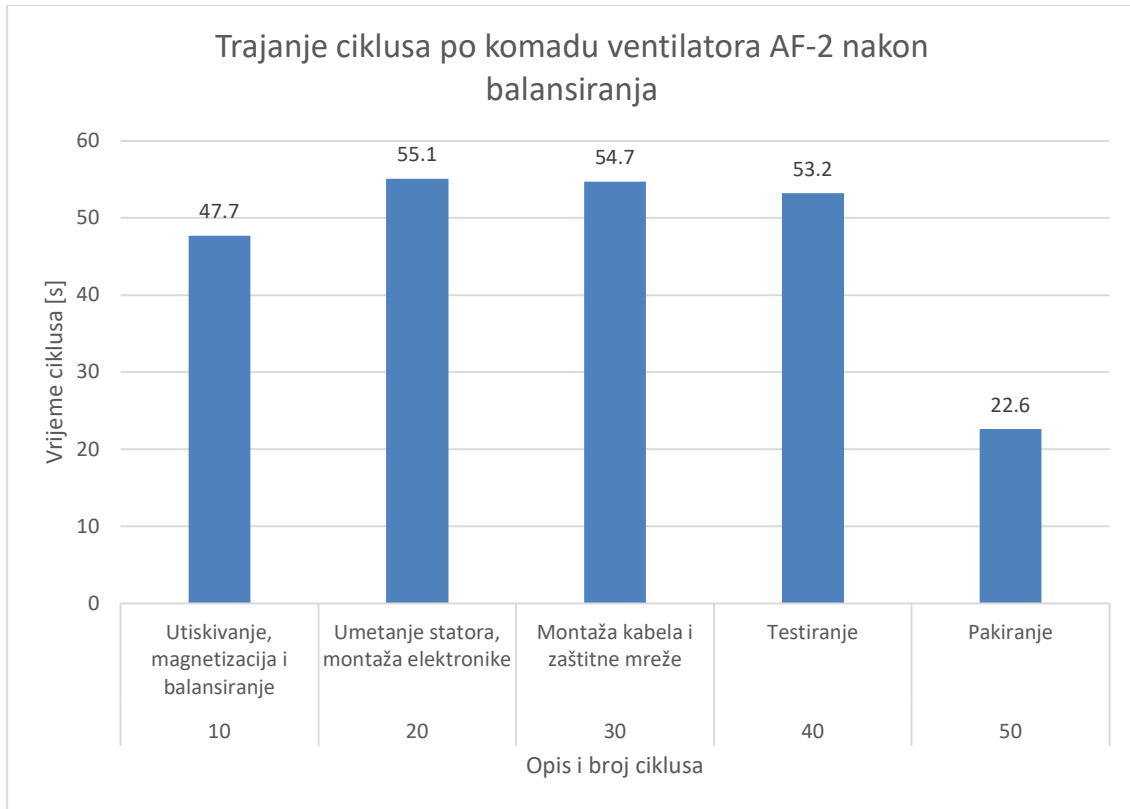
#### 4.4.2. Rezultat izvođenja operacija balansiranja

Balansiranje procesa prezentirano je operaterima i implementirano na proizvodnoj liniji. Kako bi se potvrdila uspješnost balansiranja, izvršena su ponovljena mjerenja opterećenja proizvodnih ćelija. Slike 4.19 i 4.20 prikazuju rezultate nakon balansiranja.



Slika 4.19: Trajanje operacija po komadu ventilatora AF-1 nakon balansiranja





Slika 4.20: Trajanje operacija po komadu ventilatora AF-2 nakon balansiranja

Na slikama 4.19 i 4.20 vidi se da su rezultati mjerenja uvelike niži od onih koje su predviđeni izvođenjem operacija balansiranja. Dolazi se do zaključka kako su puno utjecale preostale metode uz samo balansiranje. Niti jedna operacija ne prelazi željeni vremenski period. Za još točnije i mjerodavnije podatke, postiže li proizvodnja željeni radni takt, provjeravaju se brojevi proizvedenih ventilatora u jednoj smjeni. Izračun je prikazan u narednim jednadžbama.




























$$t_{isp\ AF-1}^N = 67,7\ s/kom$$

$$t_{isp\ AF-2}^N = 55,1\ s/kom$$

Gdje je:

$t_{isp\ X}^N$  – novo vrijeme isporuke jednog ventilatora po tipu X

Postignuta je željena stopa proizvodnje ventilatora, što znači da je uspješno izbalansirano poslovanje uz korištenje svih ostalih Vitkih alata. S obzirom na rezultate prikazan je plan operacija za pojedini ventilator. Na slici 4.21 prikazan je plan proizvodnje sa vremenima za svaki proizvod proizveden na proizvodnoj liniji.

Redni broj	Aktivnost	Simbol	OPREMA		PROIZVOD		VRIJEME [min]	
			Oznaka	Naziv	AF-1	AF-2	tAF-1	tAF-2
1.	Uskladištenje		SPP	Skladištenje poluproizvoda			-	-
2.	Ulazni transport		VV	Ulazni transportni sustav Vučno vozilo			0,250	0,250
3.	Operacija		PL	Proizvodna linija			1,118	0,795
4.	Operacija		PL	Proizvodna linija			1,128	0,918
5.	Operacija		PL	Proizvodna linija			1,058	0,912
6.	Operacija		PL	Proizvodna linija			1,018	0,887
7.	Operacija		PL	Proizvodna linija			0,818	0,377
8.	Izlazni transport		VV	Izlazni transportni sustav Vučno vozilo			0,250	0,250
9.	Uskladištenje		SGP	Skladištenje gotovog proizvoda			-	-

Slika 4.21: Plan proizvodnje ventilatora na proizvodnoj liniji

#### **4.5. Rezime rezultata primijenjenih metoda**

Na temelju rezultata i postignute željene produktivnosti može se zaključiti da su metode 5S, SMED, operacija balansiranja i novi koncept nabave materijala uspješno pomogli u ostvarenju cilja. Zadani obim proizvodnje postignut je ne samo balansnim operacijama, već su tome izravno pridonijeli i svi drugi načini i poboljšanja. Metoda 5S omogućila je čisto i organizirano radno okruženje, što pomaže smanjiti gubitak vremena za traženje alata i materijala te koncentraciju operatera. SMED metodom skraćeno je vrijeme izmjene serija, što znači više vremena za izradu proizvoda. Operacije balansiranja omogućile su ravnomjernu raspodjelu rada i skratile su proizvodni ciklus. Unaprijeđenim sustavom dobave materijala osiguran je nesmetan dotok materijala u proizvodnu ćeliju i rasterećeni su operateri i voditelji timova koji su ključni u otklanjanju eventualnih problema i zastoja na proizvodnoj liniji. Ostvarenju cilja su pridonijeli i sastanci na mjestu proizvodnje.

Mnoge od mjera koje su prikazane tijekom završnog rada na prvi pogled mogu izgledati nedostatne, ali uz ovako masovnu proizvodnju i veliki broj operatera još je važnije da su procesi precizno definirani i optimizirani. Uz veću količinu proizvedenih proizvoda, čak i mala poboljšanja donose nam veliki napredak. Uvedenim metodama i točno definiranim procesom lakše će se održati sadašnja razina produktivnosti. Kako bi bolje predočili okruženje u kojem se proizvode ventilatori u prilogu B je prikazan prostorni plan proizvodne linije za proizvodnju ventilatora. Također u prilogu C je prikazan hodogram obrade ventilatora AF-1 i AF-2 na istom prostornom planu. Te za lakše i bolje viđenje u prilogu D prikazan je gantogram za oba ventilatora.

## 5. ZAKLJUČAK

Uz pomoć uvođenja Vitke proizvodnje, koja je prikazana u završnom radu, smanjeni su gubitci i povećana je produktivnost. Zaključak završnog rada, čiji je glavni cilj bio uvođenje Vitke proizvodnje i optimizacija procesa rada do te mjere da je moguće ostvariti propisanu stopu proizvodnje, je da je uvođenje izvedeno uspješno.

Predstavljene su osnove Vitke proizvodnje i važnost Vitkih alata. Korištenjem 5S metode osigurana je uredna i organizirana proizvodna ćelija kao i ostali procesi vezani uz njezin rad. Uveden je novi, brži, sigurniji i bolje definirani sustav opskrbe proizvodne ćelije materijalom. Uz pomoć SMED metode utvrđeno je na kojim koracima su moguća poboljšanja u izvođenju smjena te je definirano pravilno i optimalno izvođenje smjena. Također je skraćeno vrijeme izmjene alata kod promjene serije. Metodom balansiranja rada ravnomjerno je raspoređen rad po proizvodnim ćelijama. Ovom metodom izravno je skraćen proizvodni ciklus proizvoda, što je bio primarni cilj. Povećana je produktivnost proizvodne ćelije. Radi boljeg protoka informacija i bržeg rješavanja problema uvedeni su svakodnevni sastanci u proizvodnom pogonu.

## 6. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

### Osnovne informacije:

Završni rad: IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU

Student: Saša Stojanović

JMBAG: 0069059275

Mentor: izv.prof.dr.sc. Sandro Doboviček

### Sažetak:

Završni rad se sastoji od optimizacije montaže proizvoda s ciljem povećanja proizvodnog kapaciteta i smanjenja gubitaka za dvije vrste proizvoda koji se proizvode na promatranj proizvodnoj liniji. Proizvodi su dva različita tipa ventilatora za koje je cilj godišnja proizvodnja od svake vrste ventilatora u količini od 80 000 komada. U tu svrhu korišteni su alati i metode vitke proizvodnje. U procesu implementacije fokus je bio skratiti vrijeme proizvodnog ciklusa svakog ventilatora. Započeta je implementacija 5S metode koja je omogućila učinkovitu organizaciju radnog okruženja. Zatim je unaprijeđen sustav opskrbe radnih ćelija materijalom, što je pridonijelo sigurnijem radnom okruženju i smanjenju čekanja na materijal. Važan dio optimizacije bila je SMED metoda. Skraćeno je vrijeme izmjene alata kod promjena serija i povećali raspoloživo vrijeme izrade. Za kraj provedena je metoda balansiranja rada u proizvodnoj ćeliji, kojom je izravno skraćeno vrijeme proizvodnih ciklusa ventilatora. Korištenjem svih alata značajno je povećana produktivnost proizvodne ćelije i postignuta je željena stopa proizvodnje, što je dovelo do poboljšanja konkurentnosti i boljeg iskorištenja proizvodnih resursa.

### Ključne riječi:

vitka proizvodnja

operacije balansiranja

SMED metoda

5S metoda

otklanjanje gubitaka

proizvodna ćelija

## 7. ABSTRACT AND KEY WORDS

### **Basic information:**

Work: CONCEPTUAL PROJECT TO IMPROVE THE ASSEMBLY SYSTEM

Student: Saša Stojanović

JMBAG: 0069059275

Mentor: associate professor, Ph.D. Sandro Doboviček

### **Abstract:**

This work consists of optimizing product assembly with the aim of increasing production capacity and reducing losses for two types of products produced on the observed production line. The products are two different types of fans for which the goal is the annual production of each type of fan in the amount of 80,000 pieces. For this purpose, lean production tools and methods were used. In the implementation process, the focus was to shorten the production cycle time of each fan. The implementation of the 5S method was started, which enabled the efficient organization of the work environment. Then, the system of supplying work cells with material was improved, which contributed to a safer working environment and reduced waiting for material. An important part of the optimization was the SMED method. The tool change time when changing series was shortened and the available production time was increased. Finally, a work balancing method was implemented in the production cell, which directly shortened the time of fan production cycles. By using all tools, the productivity of the production cell was significantly increased and the desired production rate was achieved, which led to improved competitiveness and better utilization of production resources.

### **Keywords:**

lean manufacturing

balancing operations

SMED method

5S method

elimination of losses

cell production

## **8. POPIS TABLICA**

Tablica 1.1. Podaci definirani prilogom zadatka.....	1
--	---

## POPIS SLIKA

Slika 2.1: Primjer dobre organizacije alata [1] .....	7
Slika 2.2: Dijagram balansiranja procesa [4] .....	9
Slika 2.3: Implementacija SMED metode [5] .....	11
Slika 2.4: Logika poslovanja JIT proizvodnje .....	12
Slika 2.5: Prikaz ideje iza <i>Jidoka</i> metode [13] .....	13
Slika 2.6: Oglasna ploča u proizvodnji.....	15
Slika 2.7: Radionički raspored proizvodnje [8].....	16
Slika 2.8: Proizvodna ćelija [7].....	18
Slika 2.9: Simboli VSM dijagrama [3] .....	19
Slika 2.10: Primjer grafa prethodnosti procesa [10] .....	20
Slika 3.1: Tvrtka Ebm-papst [5] .....	22
Slika 3.2: Tlocrt tvrtke .....	22
Slika 3.3: Dijagram odvijanja proizvodnog procesa ventilatora AF-1 .....	24
Slika 3.5: Dijagram ciklusa sa vremenima po komadu ventilatora AF-1 .....	30
Slika 3.6: Dijagram ciklusa sa vremenima po komadu ventilatora AF-2 .....	30
Slika 3.7: Rezultati mjerenja zahvata unutar operacija 20 i 30 za ventilator AF-1 .....	31
Slika 3.8: Rezultati mjerenja zahvata unutar operacija 20 i 30 za ventilator AF-2 .....	31
Slika 4.2: Standardne podne oznake .....	34
Slika 4.3: Primjer podne oznake gdje je potrebna upotreba antistatičke zaštite .....	34
Slika 4.4: Nepravilno i pravilno skladištenje poluproizvoda .....	35
Slika 4.5: Vertikalno rolo skladište .....	36
Slika 4.6: Grafikon tjednih grešaka.....	38
Slika 4.7: Obrazac za provjeru sukladnosti 5S.....	39
Slika 4.8: Market materijala .....	40
Slika 4.9: Vučno vozilo Toyota Tracto .....	41
Slika 4.10: <i>Kanban</i> kartica koja se koristi u tvrtki .....	41
Slika 4.11: Trajanje koraka promjene serije.....	43
Slika 4.12: Trajanje unutarnjih i vanjskih operacija .....	44
Slika 4.13: Rezultati SMED metode.....	45
Slika 4.14: Plan premještanja zahvata u susjedne cikluse ventilatora AF-1 .....	46



Slika 4.15: Plan premještanja zahvata u susjedne cikluse ventilatora AF-2 .....	47
Slika 4.17: Pretpostavljeno trajanje ciklusa po komadu ventilatora AF-1 nakon balansiranja .....	47
Slika 4.18: Pretpostavljeno trajanje ciklusa po komadu ventilatora AF-2 nakon balansiranja .....	48
Slika 4.19: Trajanje operacija po komadu ventilatora AF-1 nakon balansiranja .....	48
Slika 4.20: Trajanje operacija po komadu ventilatora AF-2 nakon balansiranja .....	49
Slika 4.21: Plan proizvodnje ventilatora na proizvodnoj liniji .....	50

## 9. LITERATURA

[1] Organizacija upravljanja vitke proizvodnje. Dostupno na: <https://volkki.ru/sl/beauty/organizaciya-berezhlivogo-proizvodstva-upravlenie-lean-tehnologiyami-lean-tehnologii-v-upravljenii-pred/> datum: 07.09.2024.

[2] J. K. Liker: The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw – Hill, New York, 2004.

[3] Line Balancing, Cycle Time, Takt Time, Assembly / Workload Balance & Man – Machine – Setup – Time. Dostupno na: <http://www.sixleansigma.com/index.php/wiki/lean/line-balancing-cycle-time-takt-time-assembly-workload-balance-man-machine-setup-time/> datum: 12.10.2024.

[4] Brahim Rekiek and Alain Delchambre: Assembly Line Design - The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms; Springer January 2006

[5] Interna literatura Ebm-papst

[6] A. Polajnar, B. Buchmeister, M. Leber: Proizvodni menedžment. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2005.

[7] *Jidoka*. Dostopno na: <http://leanmanufacturingtools.org/489/jidoka/>, datum: 10.10.2024

[8] B. Kotnik: Simulacija prehoda iz delavniške v celično proizvodnjo: zaključno delo. Ljubljana 2022

[9] *Jidoka* slika dostupno na: <https://www.lean.org/lexicon-terms/jidoka/> datum: 18.10.2024.

[10] Graf prethodnosti procesa, dostupno na: [https://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/VI\\_PT\\_M/VI%20Proizvodne%20tehnologije%20Montaza3.pdf](https://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/VI_PT_M/VI%20Proizvodne%20tehnologije%20Montaza3.pdf) datum: 24.10.2024.

[11] Skripta Planiranje i upravljanje proizvodnjom; Tonči Mikac, Dalibor Blažević; Tehnički fakultet u Rijeci, Rijeka, 2007.

## **10. POPIS PRILOGA**

### **PRILOG A:**

- Sklopni nacrt ventilatora AF-1 (1 stranica)
- Sklopni nacrt ventilatora AF-2 (1 stranica)

### **PRILOG B:**

- Prostorni plan (1 stranica)

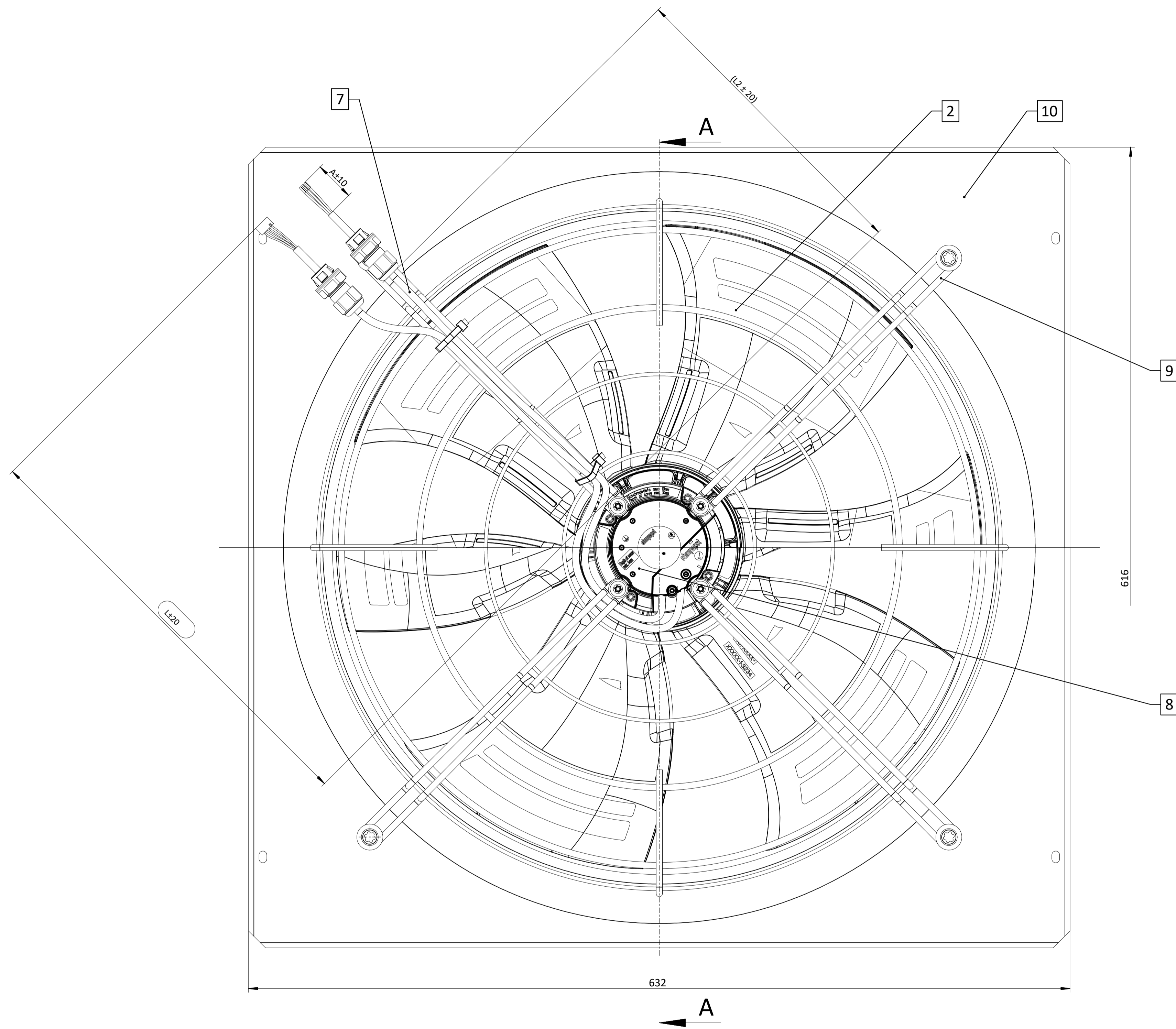
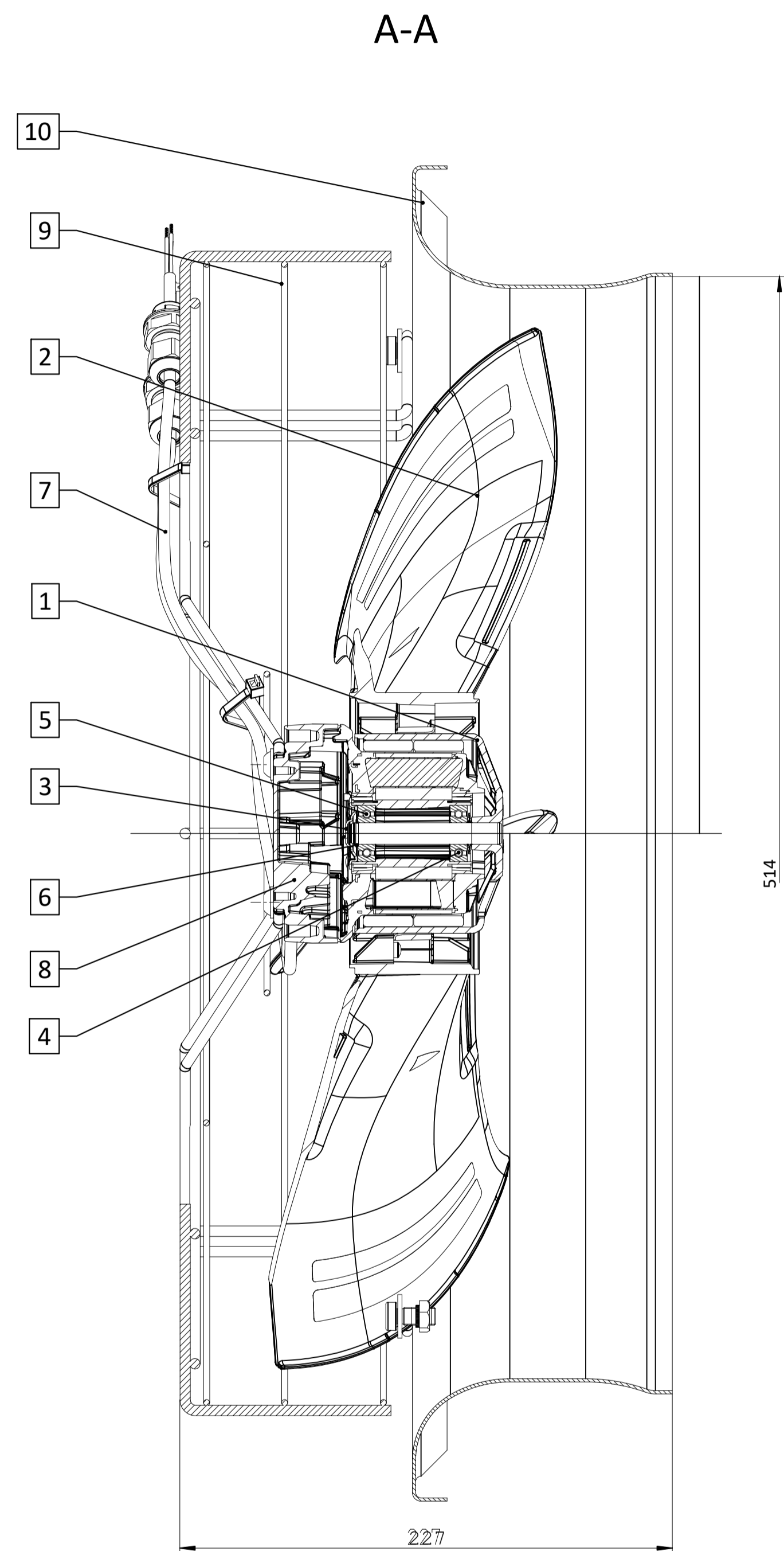
### **PRILOG C:**

- Hodogram operacija proizvoda AF-1 (1 stranica)
- Hodogram operacija proizvoda AF-2 (1 stranica)

### **PRILOG D:**

- Ganogram ventilatora AF-1 (1 stranica)
- Ganogram ventilatora AF-2 (1 stranica)

## **PRILOG A**



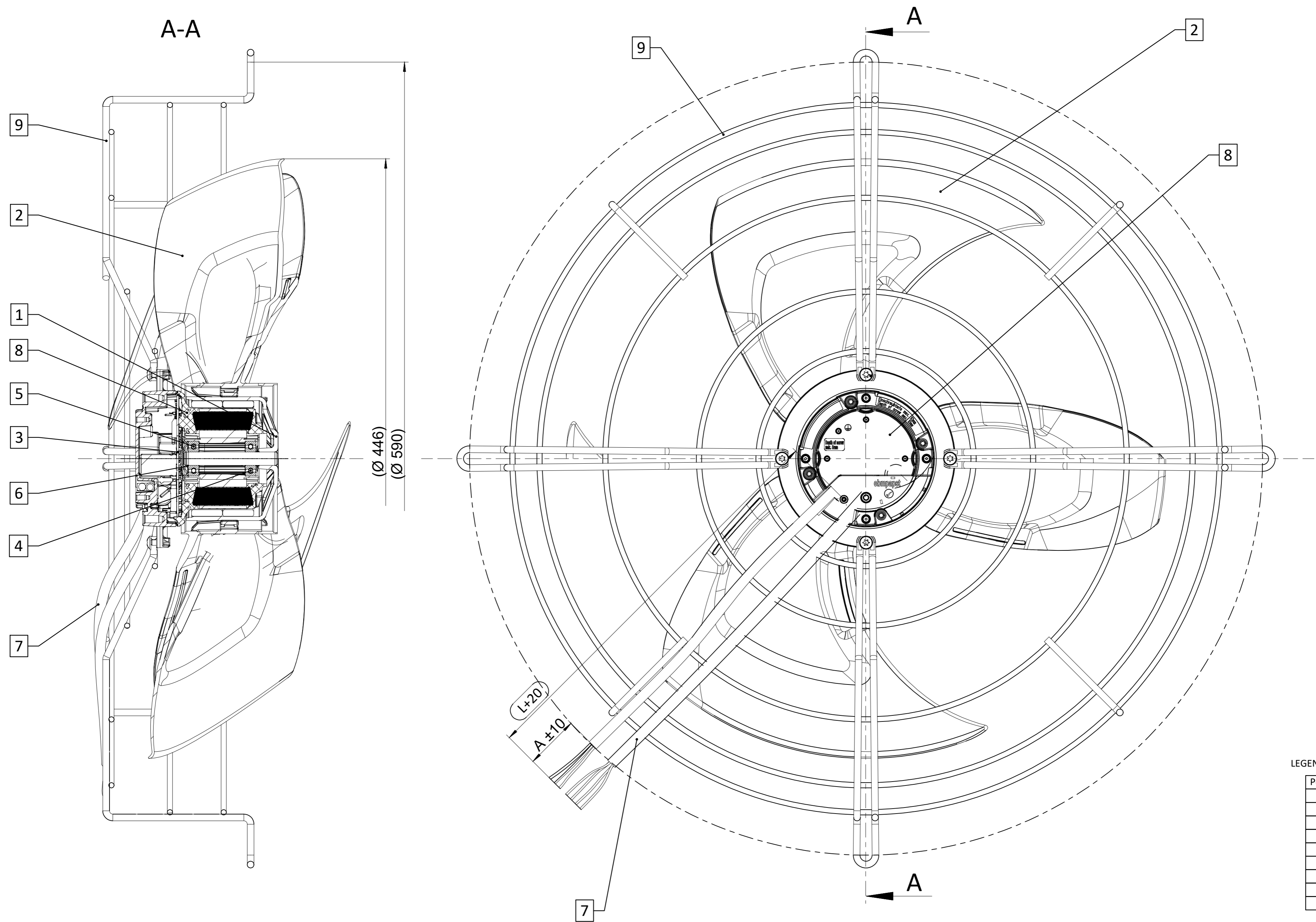
LEGENDA:

Poz.	Naziv	Kom
1	Rotor	1
2	Lopatice	5
3	Opružne podloške	2
4	Unutarnji ležaj	1
5	Vanjski ležaj	1
6	Uskočnik	1
7	Kabel	2
8	Stator	1
9	Zaštitna mreža	1
10	Zidni nosač	1

NAPOMENA:

1. Zatezni momenti za vijke su u skladu s uputama za montažu.

TEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U RIJECI					
ZAVRŠNI RAD - IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU					
MJERILO	Komada	NAZIV PREDMETA	OZNAKA	STUDENT	JMBAG
1:2	80 000 kom/god	Ventilator Tip 1	AF-1	Saša Stojanović	0069059275



LEGENDA:

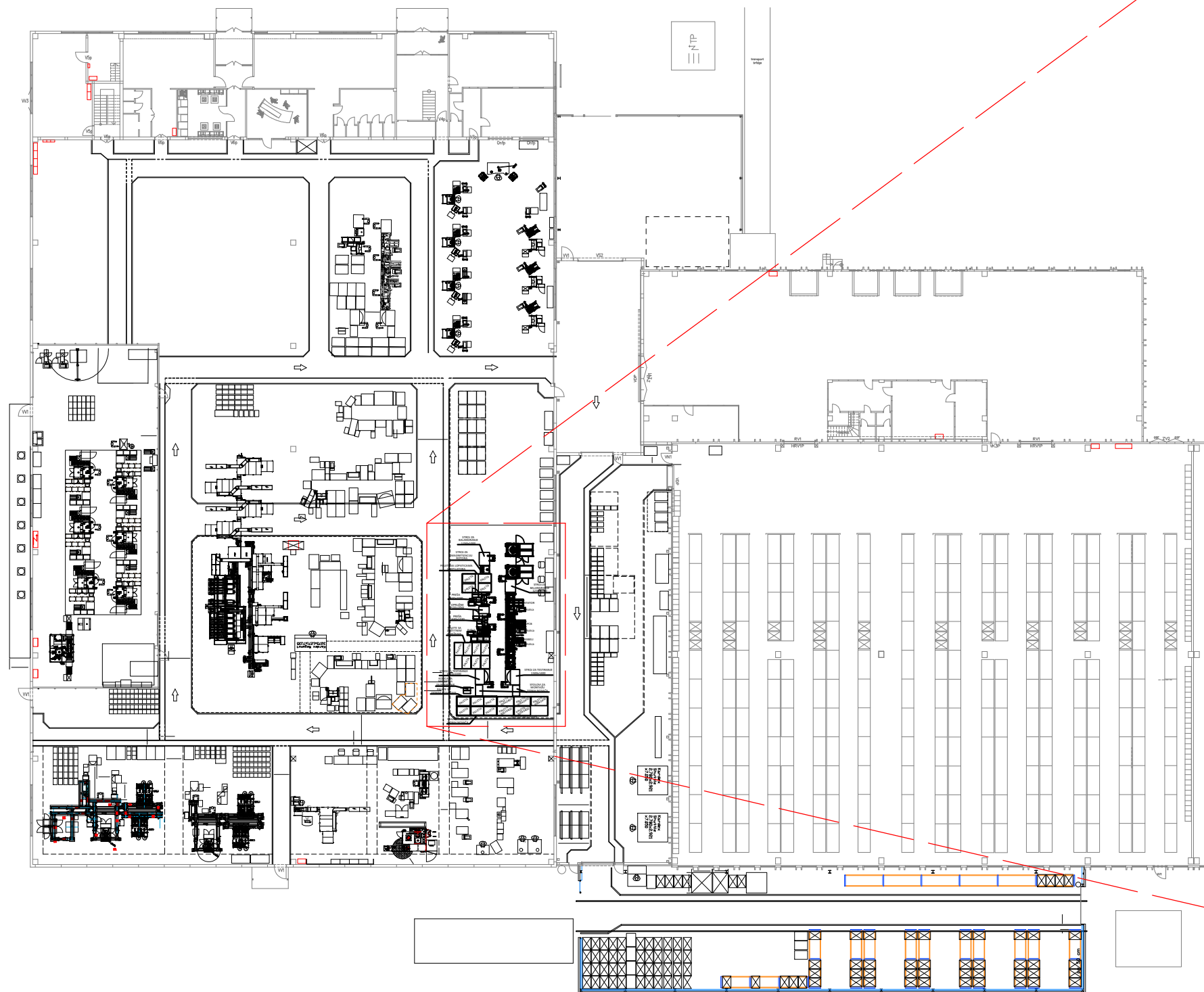
Poz.	Naziv	Kom
1	Rotor	1
2	Lopaticice	3
3	Opružne podloške	2
4	Unutarnji ležaj	1
5	Vanjski ležaj	1
6	Uskočnik	1
7	Kabel	2
8	Stator	1
9	Zaštitna mreža	1

NAPOMENA:

1. Zatezni momenti za vijke su u skladu s uputama za montažu.

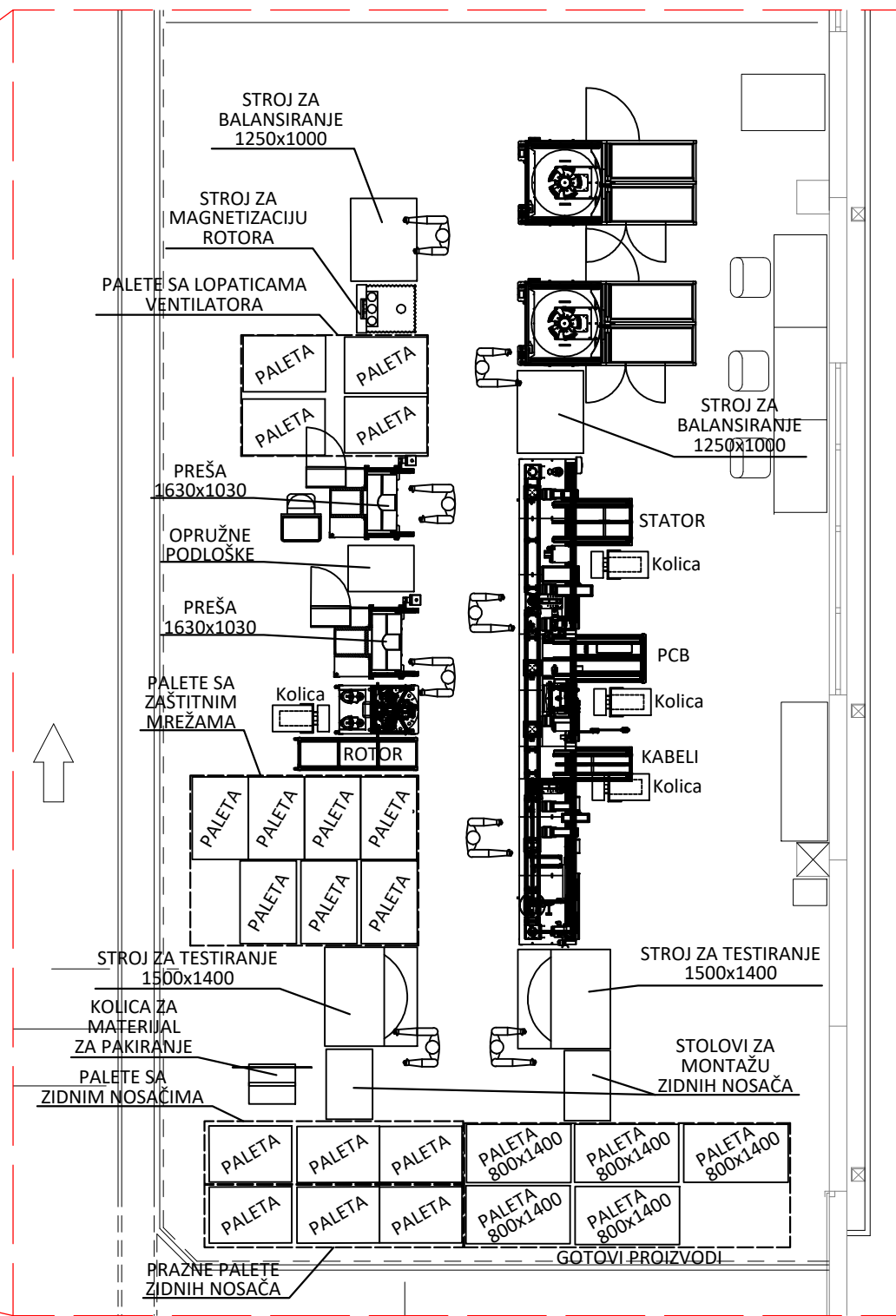
TEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U RIJECI					
ZAVRŠNI RAD - IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU					
MJERILO	Komada	NAZIV PREDMETA	OZNAKA	STUDENT	JMBAG
1:2	80 000 kom/god	Ventilator Tip 2	AF-2	Saša Stojanović	0069059275

## **PRILOG B**



PROSTORNI PLAN HALA C i D

M 1:500



PROSTORNI PLAN PROIZVODNE LINIJE VENTILATORA

M 1:100

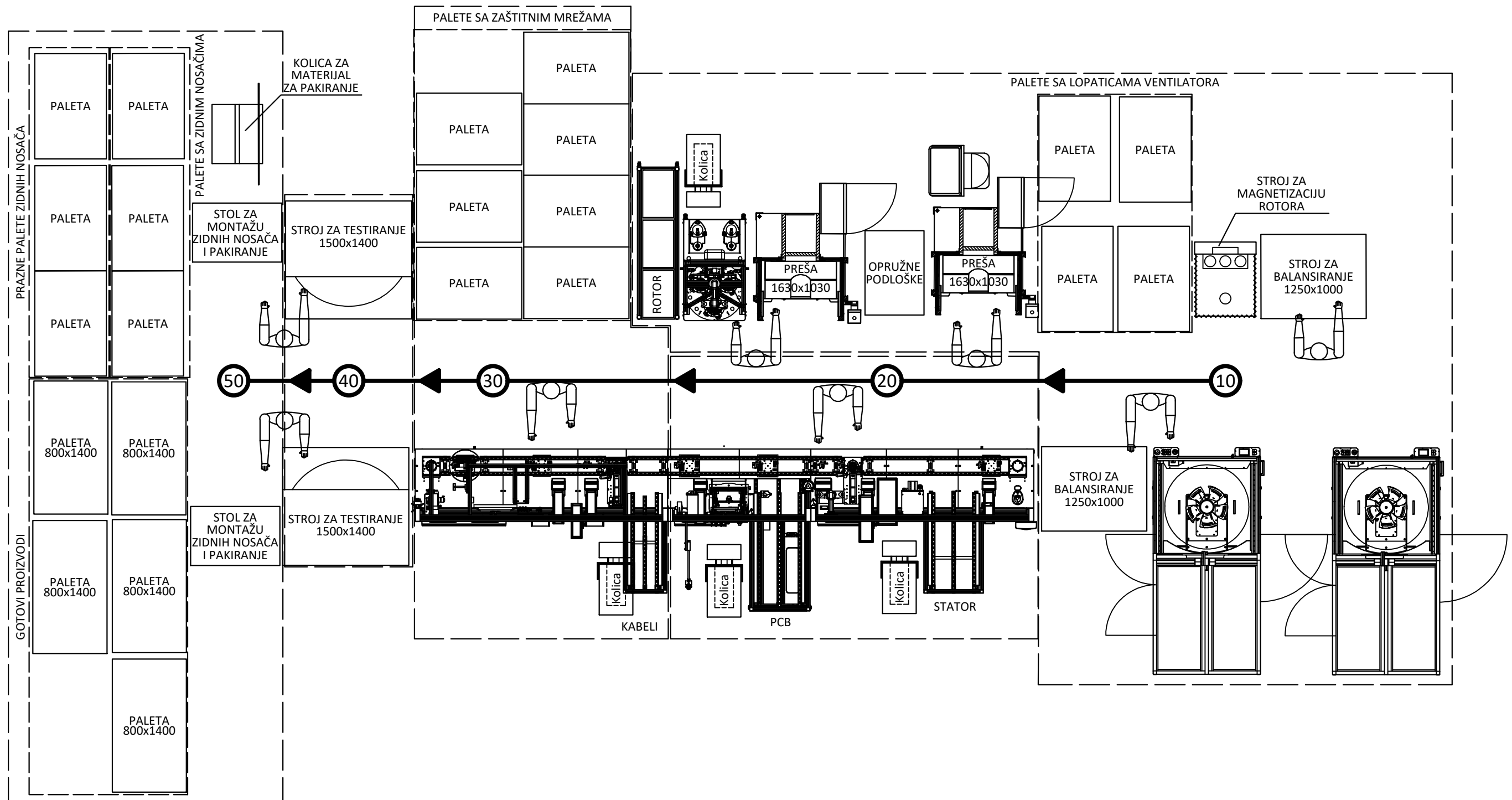
TEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U RIJECI

ZAVRŠNI RAD - IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU

MJERILO	NAZIV	GRUPA	STUDENT	JMBAG
1:500	PROSTORNI PLAN	A	Saša Stojanović	0069059275



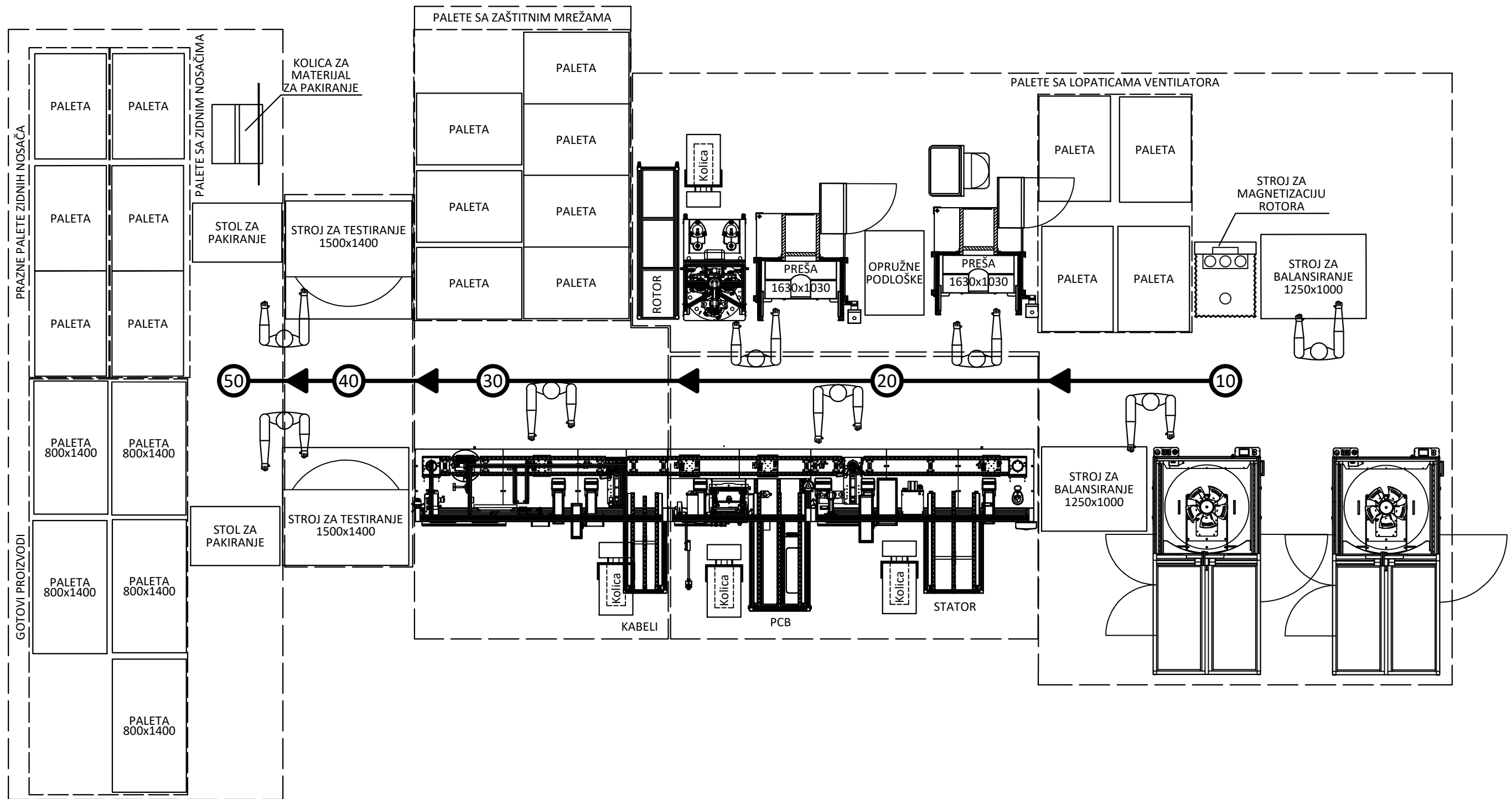
## **PRILOG C**



TEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U RIJECI

ZAVRŠNI RAD - IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU

MJERILO	NAZIV	GRUPA	STUDENT	JMBAG
1:75	HODOGRAM OPERACIJA PROIZVODA AF-1	AF-1	Saša Stojanović	0069059275

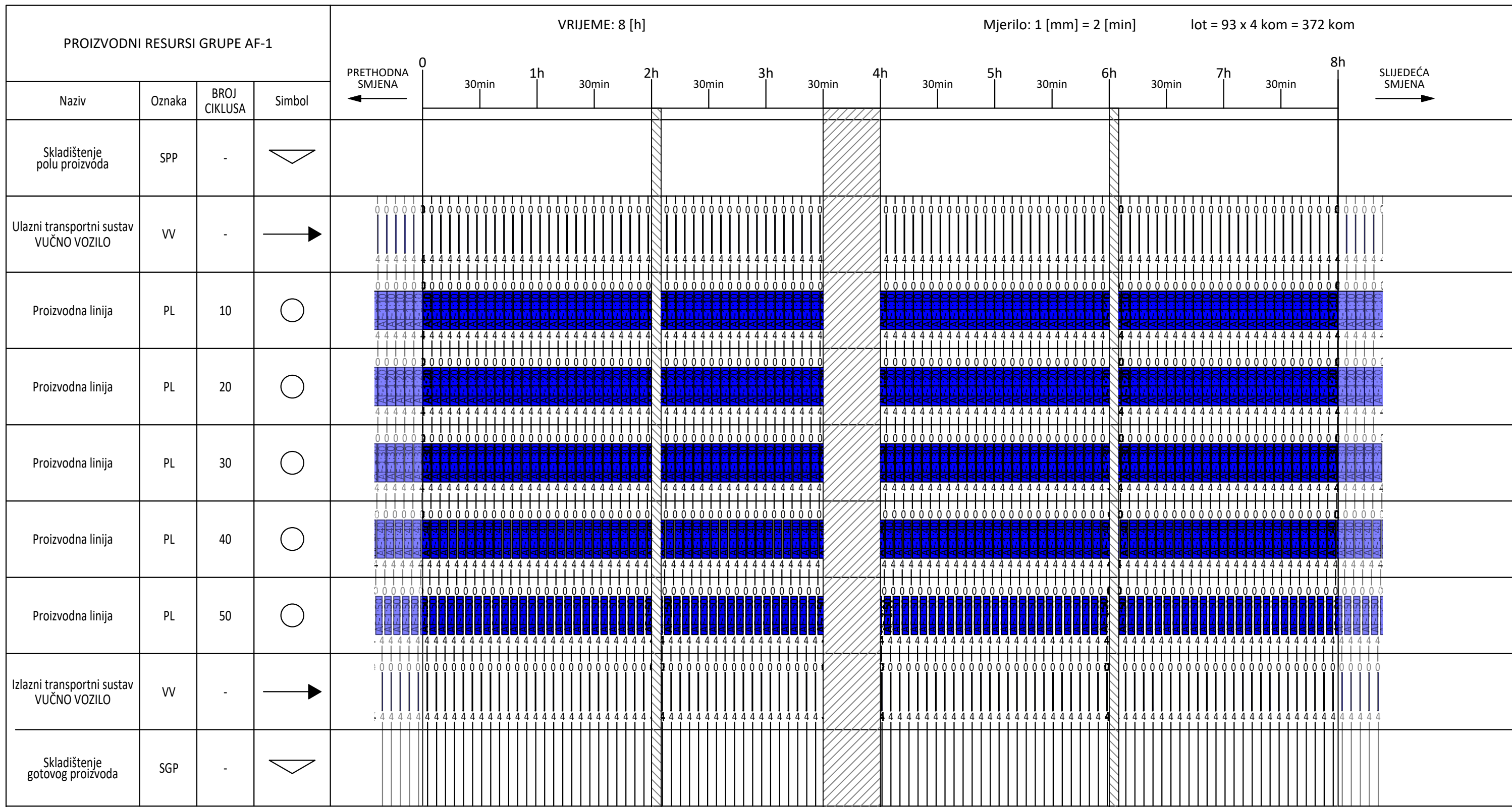


## TEHNIČKI FAKULTET - SVEUČILIŠTE U RIJECI

ZAVRŠNI RAD - IDEJNI PROJEKT POBOLJŠANJA SUSTAVA ZA MONTAŽU

MJERILO	NAZIV	GRUPA	STUDENT	JMBAG
1:75	HODOGRAM OPERACIJA PROIZVODA AF-2	AF-2	Saša Stojanović	0069059275

## **PRILOG D**



Pauza - 5min
Marenda - 30min
Pauza - 5min

$T_{cjAF-1} = 7,99h$

