

# Simulacijski model procesa proizvodnje radiatora

---

Šimpović, Ilija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:317346>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ilija Šimpović**

Zagreb, 2016. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Ilija Šimpović

Zagreb, 2016. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru profesoru Goranu Đukiću na uloženom vremenu i trudu te što je svojim savjetima pomogao pri izradi ovog diplomskog rada.

Također zahvaljujem gospodinu Aljoši Vujnoviću iz Lipovice d.o.o. koji je odvojio dosta svog vremena kako bi pružio sve potrebne informacije te na taj način omogućio izradu ovog diplomskog rada.

Ilija Šimpović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ilija Šimpović** Mat. br.: 0035185952

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacijski model procesa proizvodnje radijatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation model of radiator manufacturing process**

Opis zadatka:

Za analizu procesa proizvodnje aluminijskih lijevanih radijatora, a pogotovo mogućih preinaka procesa i sustava, vrlo pogodan alat su simulacijski paketi namijenjeni simulacijama proizvodnih sustava. U radu je potrebno primijeniti dostupan simulacijski paket za izradu simulacijskog modela odabranog proizvodnog sustava za proizvodnju lijevanih radijatora.

U radu je potrebno:

- Dati prikaz odabranog poduzeća (djelatnost, lokacija, organizacijska i kadrovska struktura, proizvodni program).
- Detaljno opisati proizvodni sustav i proces proizvodnje aluminijskih lijevanih radijatora, uz prikaz svih podataka potrebnih za izradu simulacijskog modela.
- Napraviti simulacijski model postojećeg proizvodnog sustava i procesa u dostupnom simulacijskom paketu, uz detaljan opis modela i provedenu verifikaciju i validaciju modela.
- Korištenjem simulacijskog modela (uključujući i preinake) analizirati:
  - pojave redova čekanja između pojedinih faza procesa, iskoristivosti strojeva i ljudi, transportni učin transportnog sustava i sl.,
  - maksimalni mogući obim proizvodnje i uska grla,
  - mogućnost rada u dvije smjene cijelog pogona,
  - utjecaj smanjenja postotka škartova u pojedinim fazama procesa proizvodnje,
  - utjecaj učestalosti pojave kvarova strojeva na proizvodnju, i dr.

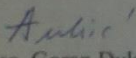
Zadatak zadan:  
5. svibnja 2016.

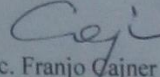
Rok predaje rada:  
7. srpnja 2016.

Predvideni datum obrane:  
13., 14. i 15. srpnja 2016.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

  
Izv.prof. dr.sc. Goran Đukić

  
Prof. dr. sc. Franjo Čajner

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY .....	V
1. UVOD.....	1
2. TVRTKA LIPOVICA D.O.O.....	2
2.1. Geografski položaj i povezanost .....	2
2.2. Proizvodi kroz povijest .....	2
2.3. Proizvodnja danas .....	4
2.4. Misija i vizija [3].....	6
2.5. Organizacijska i kadrovska struktura .....	6
2.6. Povezanost s kaznionicom .....	7
3. OPIS PROIZVODNOG SUSTAVA .....	8
3.1. Raspored proizvodnih hala.....	8
3.2. Proizvodnja kokilnih i tlačnih ljevova .....	9
3.3. Raspored strojeva.....	10
3.3.1. Nova ljevaonica .....	12
3.3.2. Montaža.....	13
3.3.3. Lakirnica .....	14
3.4. Kontrola u proizvodnji .....	15
3.5. Maksimalni kapacitet proizvodnje .....	17
4. SIMULACIJA PROIZVODNOG PROCESA.....	20
4.1. Rad u smjenama .....	22
4.2. Prikaz simulacije po halama .....	23
4.3. Vremena vezana uz simulaciju .....	25
4.4. Iskoristivost strojeva .....	28
4.5. Pojava neispravnih dijelova .....	31
4.6. Verifikacija i validacija simulacije .....	32
4.7. 3D izgled simulacije.....	33
5. ANALIZA MOGUĆIH UNAPRJEĐENJA .....	36
5.1. Smanjenje škarta .....	36
5.2. Nabava ultrazvučnog mjernog uređaja .....	40
5.3. Rad u 2 smjene.....	41
5.4. Povećanje stupnja automatizacije proizvodnih pogona .....	48
6. ZAKLJUČAK.....	50
7. LITERATURA .....	51
8. PRILOZI.....	52

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Prometni položaj Lipovice .....	2
Slika 2.	Radijator Ekonomik .....	3
Slika 3.	Radijator Solar.....	3
Slika 4.	Lijevani stupići .....	4
Slika 5.	Radijator Orion.....	5
Slika 6.	Proizvedeni tipovi radijatora .....	5
Slika 7.	Shema kadrovske strukture .....	7
Slika 8.	Tlocrt tvornice .....	8
Slika 9.	Kućište za optiku snajperske puške.....	9
Slika 10.	Dio lijevanog kućišta.....	10
Slika 11.	Peć Botta.....	11
Slika 12.	Raspored strojeva .....	11
Slika 13.	Odljevak .....	12
Slika 14.	Nova ljevaonica.....	13
Slika 15.	Skidanje obojanih baterija s ovjesnog konvejera .....	15
Slika 16.	Ispitna kada.....	17
Slika 17.	Polovica kalupa za lijevanje .....	19
Slika 18.	Grafička definicija modela [8] .....	21
Slika 19.	Skup atoma za vremensko ograničenje rada hale.....	22
Slika 20.	Izgled simulacije proizvodnje u novoj ljevaonici.....	23
Slika 21.	Izgled simulacije proizvodnje u montaži.....	24
Slika 22.	Izgled simulacije proizvodnje u lakirnici .....	25
Slika 23.	Iskoristivost preše broj 2 .....	28
Slika 24.	Iskoristivost linija u montaži .....	29
Slika 25.	Iskoristivost radnog mjesta za doradu .....	29
Slika 26.	Radno mjesto za doradu .....	30
Slika 27.	Iskoristivost lakirnice .....	31
Slika 28.	3D prikaz nove ljevaonice .....	34
Slika 29.	3D prikaz montaže.....	34
Slika 30.	3D prikaz lakirnice .....	35
Slika 31.	Mjerač debljine stjenke PT-UTG-Std [10].....	41
Slika 32.	Usporedba tlocrta nove ljevaonice .....	44
Slika 33.	Iskoristivost radnih mjesta za trganje.....	46
Slika 34.	Iskoristivost montažnih linija L1 i L2 .....	47
Slika 35.	Robotska ruka.....	48

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Dnevni kapacitet proizvodnje.....	18
Tablica 2. Vremena obrade na prešama .....	26
Tablica 3. Vremena obrade na ostalim strojevima .....	27
Tablica 4. Prosječna količina neispravnih dijelova .....	32
Tablica 5. Prosječne količine neispravnih obradaka .....	37
Tablica 6. Cijena jednog članka .....	37
Tablica 7. Broj neispravnih dijelova prema simulaciji.....	38
Tablica 8. Novčani gubitak .....	38



## **SAŽETAK**

Simulacija proizvodnog sustava je oponašanje realnog sustava korištenjem raznih modela kojima se opisuje rad promatranog sustava. Na temelju simulacijskog modela detaljno se analizira proizvodni sustav, otkrivaju nedostaci i moguća unaprjeđenja bez utjecaja na realni sustav. Simulacija proizvodnog sustava tvornice radijatora i kokilnih i tlačnih ljevova Lipovica d.o.o. izrađena je u simulacijskom softveru Enterprise Dynamics 7. Na temelju simulacijskog modela proizvodnog sustava Lipovice d.o.o. doneseni su određeni zaključci o pojavi neispravnih dijelova i izrađena je simulacija s drugačijom organizacijom smjenskog rada.

Ključne riječi:

Simulacijski model

Proizvodni sustav

Lipovica d.o.o.

Enterprise Dynamics 7

Reorganizacija rada

## **SUMMARY**

Simulation of a production system is a description of real production system by using different models which describe an environment of observed system. Based on a simulation model, the production system is analyzed in order to find disadvantages and possible improvements without impacting the real operational environment. Simulation of a production system of Lipovica d.o.o. – factory of cast aluminum radiators and gravity die and pressure casting is made by using an Enterprise Dynamics 7 simulation software platform. Based on the simulation model of a production system of Lipovica d.o.o., some conclusion about defective part were made and simulation with different organization of shift work is designed.

Key words:

Simulation model

Production system

Lipovica d.o.o.

Enterprise Dynamics 7

The reorganization of work

## **1. UVOD**

Simulacija proizvodnog sustava je oponašanje realnog sustava korištenjem raznih modela kojima se opisuje rad promatranog sustava, a modeliranju se samo oni elementi sustava koji su bitni za istraživanje ponašanja realnog sustava. Za simulaciju je potrebno definirati i izgraditi model, prikupiti i analizirati dobivene podatke, provjeriti funkcionalnost i ispitati valjanost modela. Na temelju modela detaljno se analizira proizvodni sustav, traže se uska grla, analizira se pojava redova čekanja, procjenjuje se utjecaj varijabilnih vremena obrade na performanse sustava te se radi optimizacija i unaprjeđenje proizvodnje i organizacija rada.

U ovom radu opisana je tvornica aluminijskih lijevanih radijatora i tlačnih i kokilnih ljevova Lipovica d.o.o., njen proizvodni sustav i izrađena je simulacija proizvodnje aluminijskih radijatora u programu Enterprise Dynamics 7. Na temelju simulacije analizirana su moguća unaprjeđenja proizvodnje kako bi se smanjila pojava neispravnih dijelova i simuliran je rad u dvije smjene koji je uspoređen sa stvarnom organizacijom proizvodnje u tri smjene.

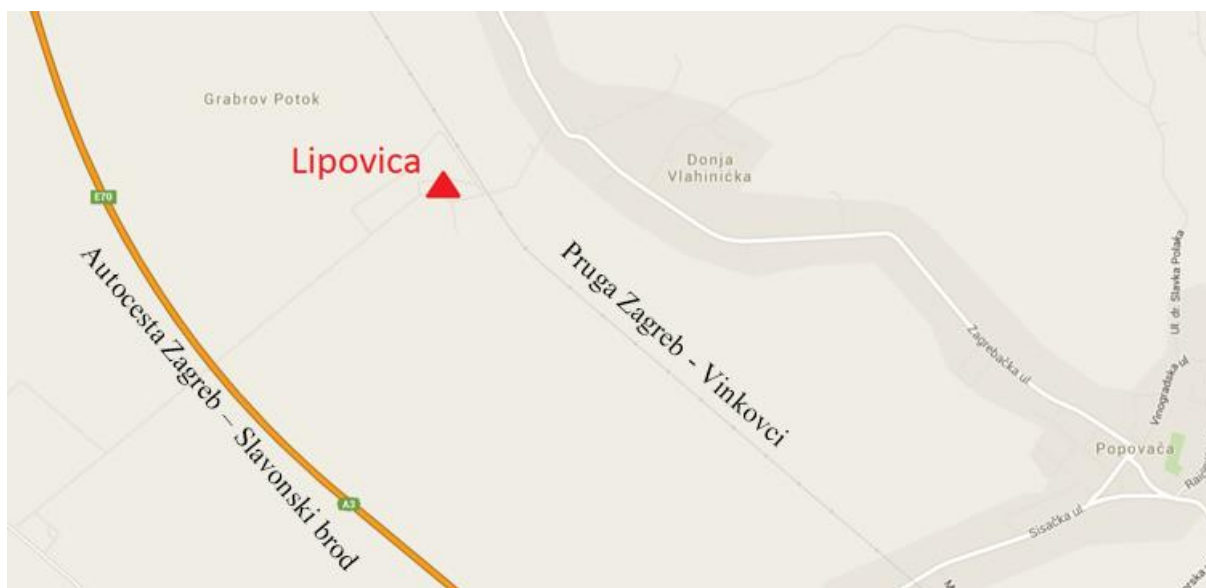
U simulaciju su uključeni svi strojevi, radnici, roboti, konvejeri, transportni putevi, ali i ostali dijelovi proizvodnog sustava potrebni za vjeran prikaz realnog sustava kao što su međuskladišta, mjesta za punjenje paleta i mjesta za odlaganje neispravnih dijelova. Proizvodnja aluminijskih radijatora je raspoređena u tri pogona – ljevaonica, montaža i lakirnica. Prolaskom kroz pogone, obradak mijenja svoj oblik, od aluminijskih šipki koje se tale u peći, preko odljevka koji se sastoji od dva članka radijatora pa sve do takozvane baterije koja se sastoji od 10 članaka povezanih spojnicama. Proces obrade od aluminijskih šipki pa sve do pakiranja obojanih baterija u kutije i slanja u skladište gotovih proizvoda detaljno je opisan u nastavku, a na temelju toga je izrađena simulacija cijelog procesa proizvodnje i analiza mogućih unaprjeđenja.

## 2. TVRTKA LIPOVICA D.O.O.

Tvornica Lipovica je osnovana 1968. godine u Popovači, gradu koji je smješten 60-tak kilometara zapadno od Zagreba. Osnovna djelatnost tvornice je lijevanje, tako da se bave izradom odljevaka u tlačnom i kokilnom lijevu, a najveći dio proizvodnje baziran je na izradi aluminijskih lijevanih radijatora visoke kvalitete i estetskog dizajna.

### 2.1. Geografski položaj i povezanost

Tvornica Lipovica je izgrađena u sklopu kaznionice u gradu Popovači. Relativna blizina glavnog grada Zagreba im je velika prednost prilikom nabave materijala, alata, rezervnih dijelova i stručne pomoći. Uz dobar geografski položaj, Lipovica se može pohvaliti i odličnom prometnom povezanošću kako cestovnom tako i željezničkom. Nedaleko tvornice prolazi autocesta A3 Zagreb – Slavonski Brod koja omogućuje jednostavan prijevoz materijala i gotovih proizvoda cestovnim putem u bilo koji dio Hrvatske. Velika prednost je neposredna blizina pruge Zagreb – Vinkovci koja prolazi 50 metara od same tvornice, kao što je to vidljivo na sljedećoj slici (Slika 1.).

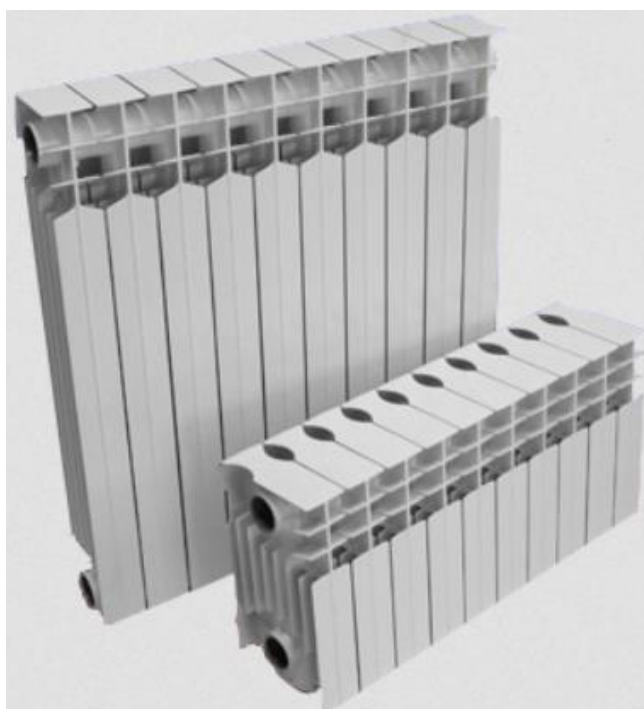


Slika 1. Prometni položaj Lipovice

### 2.2. Proizvodi kroz povijest

Počeci razvoja Lipovice sežu u davnu 1968. godinu. 1972. godine započela je proizvodnja prve familije radijatora pod imenom Ekonomik (Slika 2.). Ne zaustavljajući se na dosegnutim uspjesima, od 1994. do 2004. godine intenzivno se razvijala nova familija radijatora. Prvi članci

estetski oblikovane linije radijatora Solar (Slika 3.) na tržištu su se pojavili 1994. godine, kao rezultat pažljivog istraživanja želja kupaca. 2005. godine razvijena je treća generacija radijatora pod nazivom Orion. Rezultat kontinuiranog usavršavanja proizvoda su poboljšane verzije pod nazivom Solar plus i Orion plus. U novije vrijeme proizvode za drugu kompaniju i odljevke za električne radijatore. [1]



**Slika 2. Radijator Ekonomik**



**Slika 3. Radijator Solar**

### 2.3. Proizvodnja danas

Danas se proizvodnja Lipovice temelji na proizvodnji aluminijskih radijatora, ali i kokilnih i tlačnih ljevova. Kokilni i tlačni ljevovi se najčešće koriste u autoindustriji, brodogradnji, građevinarstvu, elektroindustriji, industriji namještaja i cijelom nizu drugih djelatnosti. Također se proizvode i stupići (Slika 4.) koji omogućuju elegantno i estetski nenametljivo rješenje za potrebe odvajanja pješačkih zona od kolnika ili za neku sličnu namjenu sa premazom otpornim na UV zrake i ostale atmosferske utjecaje [2].



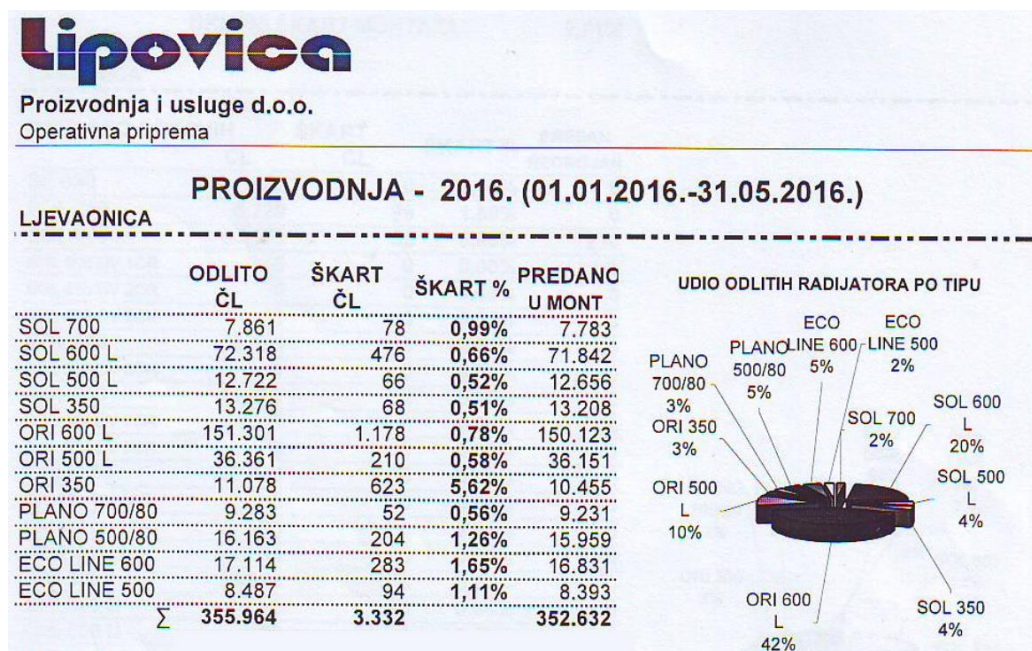
Slika 4. Lijevani stupići

Proizvodnja radijatora je fizički odvojena od ostalih ljevova i upravo je ona glavna tema ovog diplomskog rada. Raspoređena je u četiri hale i započinje s taljenjem legure aluminija u peći, preko prešanja članaka radijatora, montaže članaka u baterije te završava bojanjem i skladištenjem u skladištu gotovih proizvoda. Proizvodnja radijatora se odvija u tri smjene te je trenutno zaposleno 150 radnika. U drugoj polovici 2015. godine se smanjio broj zaposlenih za 10, tako da je broj od nekad zaposlenih 230 osoba pao za 30%, na današnjih 150. Zadnji oblik radijatora razvijen je 2005. godine pod nazivom Orion koji zahvaljujući većoj dubini daje veći efekt grijanja, a prikazan je na sljedećoj slici (Slika 5.).



Slika 5. Radijator Orion

Danas se prema narudžbama proizvodi nekoliko tipova radijatora. Najviše se proizvodi tip radijatora Orion 600 L, a sljedeći najčešći tip je Solar 600 L. Preslika izvještaja o tipovima radijatora i njihovim proizvodnim količinama za prvih 6 mjeseci 2016. godine dana je na sljedećoj slici (Slika 6.).



Slika 6. Proizvedeni tipovi radijatora

## 2.4. Misija i vizija [3]

Vizija Lipovice je ono što svi smatraju nemogućim učiniti mogućim. To uspješno rade već 40 godina kao vodeće poduzeće u regiji po pitanju proizvodnje aluminijskih lijevanih radijatora. Cilj im je postati proizvođač najboljih aluminijskih radijatora na svijetu uz najbolju uslugu, ali na ekološki prihvatljiv način tako da ostanu što neprimjetniji u okolišu.

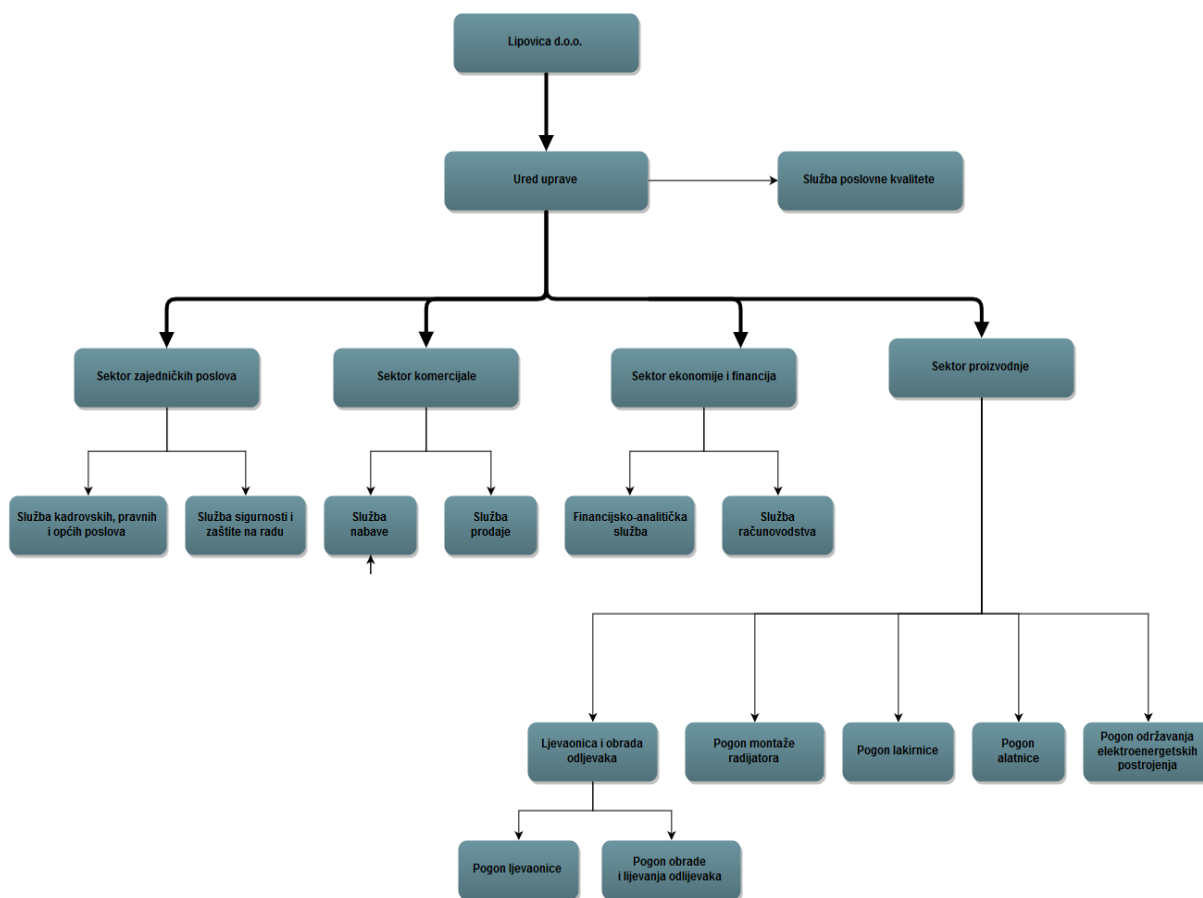
Misija Lipovice je proizvodnja visokokvalitetnih radijatora i proizvoda uz poštivanje ekoloških normi koji osvajaju povjerenje klijenata i potrošača. Također brinu o potrebama kupaca koje proizlaze iz najnovijih trendova u korištenju obnovljivih izvora energije uz poštivanje održivog razvoja društvene zajednice. Pažnja se pridodaje i razvoju dugoročnih odnosa s klijentima i potrošačima, kako na domaćem tako i na stranom tržištu, kako bi im što brže i kvalitetnije udovoljili svim zahtjevima i potrebama. Tvrtka stvara nove vrijednosti stalnim ulaganjem u nove tehnologije, prepoznavanjem novih poslovnih mogućnosti i postavljanjem tržišnih trendova. Kvaliteta i entuzijazam zaposlenika je temelj uspjeha cijelog poduzeća.

## 2.5. Organizacijska i kadrovska struktura

Lipovica je društvo s ograničenom odgovornošću što znači da je to trgovačko društvo u koje jedna ili više pravnih ili fizičkih osoba ulažu temeljne uloge s kojima sudjeluju u unaprijed dogovorenom temeljnom kapitalu, a članovi ne odgovaraju za obveze društva [4].

Kadrovska struktura Lipovice se mijenjala 6 puta od osnivanja, a zadnja revizija je bila 06.06.2015. godine. Prema toj reviziji ured uprave je najvažniji organ kojeg nadzire služba poslovne kvalitete. Cijelo poduzeće je podijeljeno na četiri glavna sektora – sektor zajedničkih poslova, sektor komercijale, sektor ekonomsko-financijskih poslova i sektor proizvodnje. Sektor proizvodnje je podijeljen na 5 pogona – lijevaonica i obrada odljevaka, pogon montaže radijatora, pogon lakirnice, pogon alatnice i pogon održavanja elektroenergetskih postrojenja. Pogon lijevaonice, montaže i lakirnice detaljno su istraženi i objašnjeni u nastavku ovog rada. Shema kadrovske strukture prikazana na sljedećoj slici (Slika 7.).





Slika 7. Shema kadrovske strukture

## 2.6. Povezanost s kaznionicom

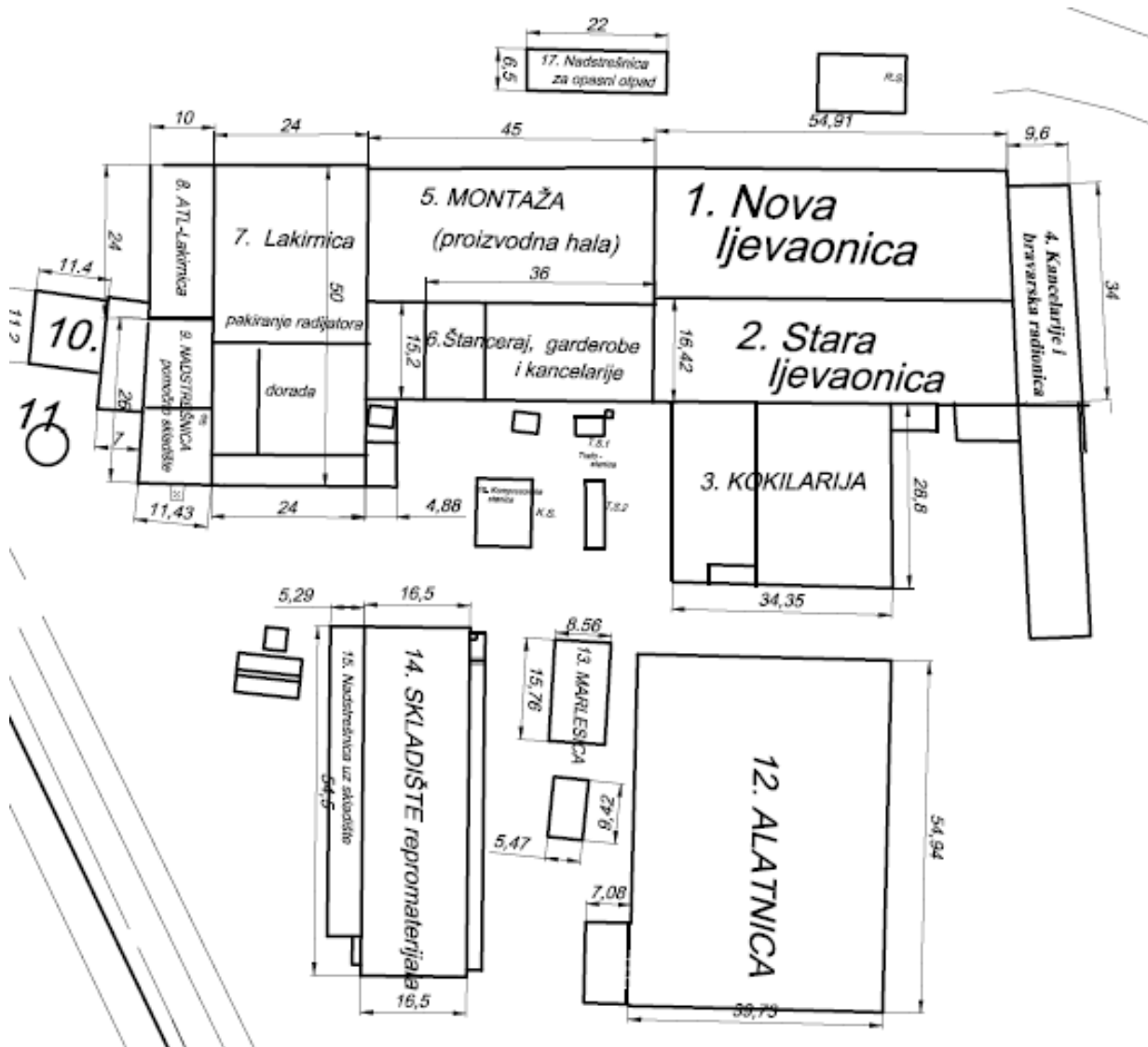
Zanimljiva povijesna činjenica je da je tvornica nekada zapošljavala većinom ljude iz kaznionice koja se nalazi u neposrednoj blizini kako bi im omogućili aktivno odsluživanje kazne. Valja napomenuti da ta kaznionica nije zatvor za ljude koji su počinili teža kaznena djela, nego kaznionica otvorenog tipa. Praksa zapošljavanja ljudi iz kaznionice se nije održala do danas jer je bio problem konstantna izmjena radne snage i ponovo podučavanje novih zaposlenika. Također znalo je dolaziti i do manjih sukoba koji su utjecali na poslovanje, tako da je danas zaposleno manje od 5 ljudi iz kaznionice.

### 3. OPIS PROIZVODNOG SUSTAVA

Lipovica proizvodi odljevke u tlačnom i kokilnom lijevu, ali veći dio proizvodnje temelji se na izradi aluminijskih lijevanih radijatora.

#### 3.1. Raspored proizvodnih hala

Proizvodni pogon sastoji se od više hala, a to su skladište repromaterijala, nova ljevaonica, stara ljevaonica, montaža, lakirnica, dorada, pomoćno skladište, alatnica, kokilarija, štanceraj te skladište gotovih proizvoda. Raspored hala, osim skladišta gotovih proizvoda je prikazan na sljedećoj slici (Slika 8.).

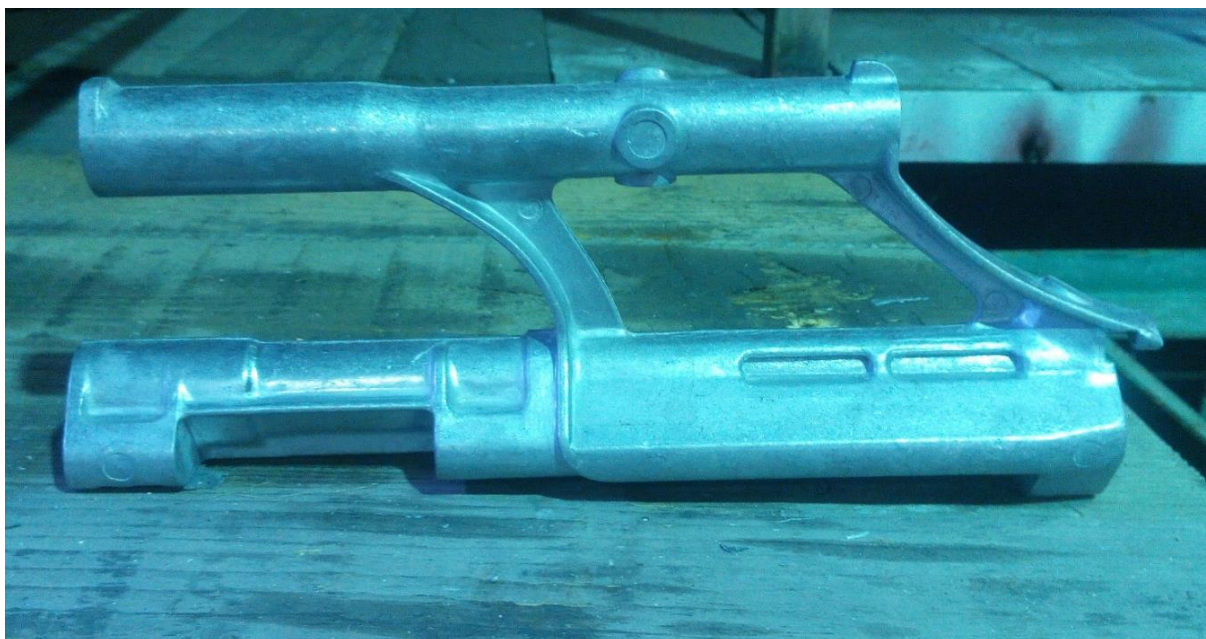


Slika 8. Tlocrt tvornice

Ovakav raspored proizvodnih pogona naziva se nekompaktan raspored i karakterističan je za strojogradnju, metalurgiju i kemijsku industriju. Izdvajanjem pojedinih proizvodnih pogona u zasebne objekte želi se izbjeći nepoželjan međusoban utjecaj. Kako bi se zaštitili ljudi i transportni tokovi, objekti se povezuju hodnicima i raznim nadstrešnicama gdje je to moguće. Naravno, takav način gradnje ima svoje prednosti i nedostatke. Najveća prednost je to što je izbjegnuta međusobni utjecaj zona te lako proširenje proizvodnih zona bez većih ometanja proizvodnje. Najveći nedostaci su duži transportni putevi te otežano upravljanje i kontrola. [5]

### 3.2. Proizvodnja kokilnih i tlačnih ljevova

Kao što je to već prije spomenuto u poglavlju 2.3., uz aluminijske radijatore proizvode se i kokilni i tlačni ljevovi. U zadnje vrijeme potražnja za aluminijskim radijatorima se smanjila, pa se tvornica Lipovica oslanja na kokilne i tlačne ljevove koji se većinom koriste u autoindustriji i građevinarstvu, ali i ostalim granama industrije. Uz prije navedene stupiće proizvode se i razni zanimljivi ljevovi kao što je kućište za optiku snajperske puške prikazano na sljedećoj slici (Slika 9.) te dio kućišta lampe koje se ugrađuje u kamione (Slika 10.).



**Slika 9.** Kućište za optiku snajperske puške



**Slika 10. Dio lijevanog kućišta**

Proizvodnja kokilnih i tlačnih ljevova neće biti dodatno obrađivana u ovom radu jer ona direktno ovisi o narudžbama kupaca i nije konstanta. Proizvode se različiti oblici u različitim serijama, a neki proizvodi se lijevaju samo u jednoj seriji. Takva diskontinuirana i varijabilna proizvodnja ima puno parametara i teško ju je predvidjeti i opisati, te neće biti uvrštena kasnije u simulaciju. Simulirat će se samo odvojena proizvodnja aluminijskih radijatora, a strojevi i proizvodni pogoni koji su vezani za tlačne i kokilne ljevove neće biti dodatno opisani niti će imati utjecaj na simulaciju.

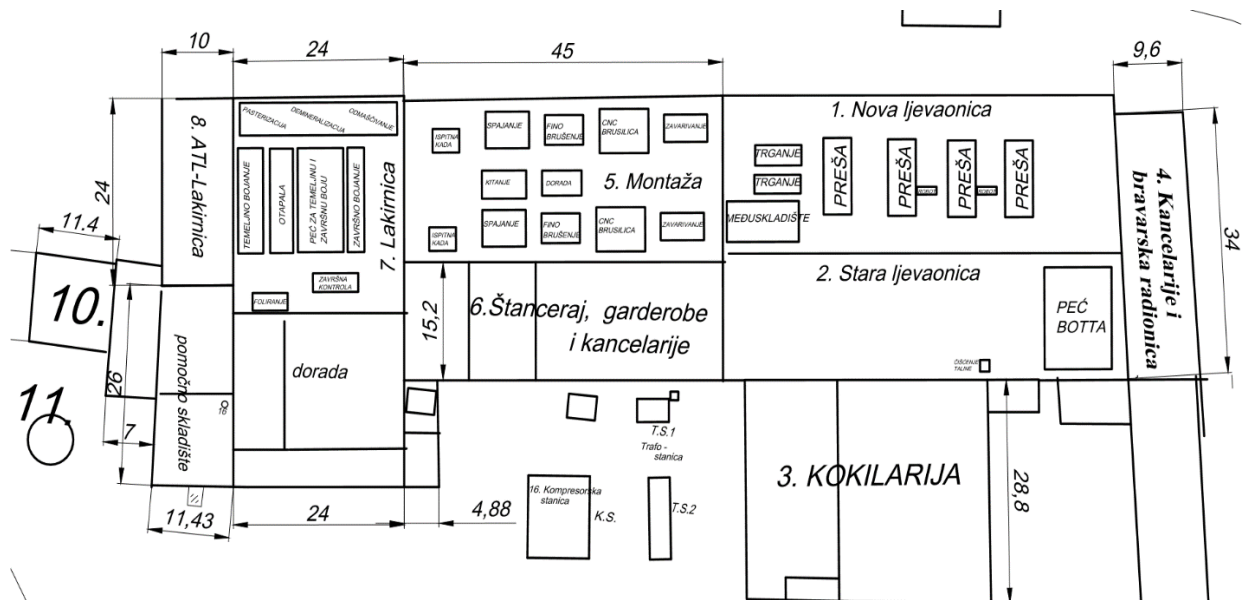
### **3.3. Raspored strojeva**

Proizvodnja tlačnih i kokilnih ljevova se odvija odvojeno od proizvodne linije za aluminijske radijatore, a jedini zajednički stoj je peć Botta koja služi za taljenje aluminijske legure te je prikazana na sljedećoj slici (Slika 11.). Taljenje legure odvija se u automatiziranoj kadnoj prekretnoj plinskoj peći kapaciteta 10t rastaljene legure. Talina se obrađuje i kontrolira prije početka lijevanja radijatora. Prije svakog izlijevanja taline iz rastalne peći kontrolira se kemijski sastav legure, a po potrebi i metalografska struktura [2]. Za posebne legure koriste se dvije peći manjeg kapaciteta koje su smještene zajedno s glavnom peći Botta u hali broj 2, odnosno staroj ljevaonici.



Slika 11. Peć Botta

Na sljedećoj slici (Slika 12.) je prikaz rasporeda strojeva na kojima se odvija proizvodnja aluminijskih radijatora.



Slika 12. Raspored strojeva

### 3.3.1. Nova ljevaonica

U hali broj 1, odnosno novoj ljevaonici nalaze se 4 preše za izradu članaka radijatora. Lijevanje radijatora vrši se na visokotlačnim strojevima sile zatvaranja od 7000kN do 13500 kN. Strojevi su opremljeni elektrootpornim pećima za automatsko održavanje temperature taline. Svaki stroj opremljen je automatskim doziranjem taline, automatskim podmazivanjem ljevačkog alata, sustavom usisavanja i filtriranja čestica i para iz procesa lijevanja te automatskim održavanjem tehnoloških temperatura alata i hidrauličkih medija u željenim granicama [2]. Jedan odljevak ima masu približno 5 kilograma, a svaki odljevak sastoji se od dva članka koji se razdvoje nakon trganja i dijelova uljavnog sustava koje je potrebno skinuti. Jedan odljevak je prikazan na sljedećoj slici (Slika 13.).



**Slika 13. Odljevak**

Na prvoj preši radi čovjek koji fizički uzima odljevak iz preše, trga nepotrebne dijelove koje je moguće jednostavno strgati, kontrolira odljevak i slaže na paletu pored stroja. Kraj druge i treće preše su roboti koji ne mogu vršiti kontrolu kvalitete odljevaka, ali trgaju dijelove uljavnog sustava, no zbog teže pristupačnosti nekim dijelovima uljavnog sustava može ostati srh koji je

potrebno obraditi ručno. Također odljevke slažu na paletu pored svakog stroja. Četvrta preša koju poslužuje čovjek zbog smanjenog obujma proizvodnje trenutno ne radi.

Gotove palete viljuškar odvozi na sljedeću poziciju, odnosno trganje ostalih dijelova uljavnog sustava i obradu srha te vizualnu kontrolu. Nakon ove faze od odljevka ostane samo članak radijatora, a viška dijelovi zajedno sa škartom se odvajaju u posebnu kutiju te se kasnije ponovo tale. Od jednog odljevka nastaju dva članka. Članci se stavljaju na paletu i u međuskладиštu čekaju na sljedeću fazu proizvodnje koja se odvija u hali 5, odnosno hali za montažu. Sljedeća slika (Slika 14.) prikazuje ljevaonicu i četiri preše s robotom koji poslužuje prešu.



**Slika 14. Nova ljevaonica**

### **3.3.2. Montaža**

U halu 5 se ručnim villičarem uvoze palete te se stavljaju na jednu od linija za montažu. Prvi stoj je stroj za zavarivanje metalne pločice na svaki članak, električnim lukom u trajanju 10 sekundi. Taj postupak je izuzetno važan jer se metalnom pločicom zatvara članak te ukoliko neki parametri nisu dobro namješteni članak će propuštati na zavaru. Nakon toga slijedi CNC brušenje i fino brušenje nakon kojega se vrši kontrola zbog mogućnosti nedolivenosti ili sitne porozije. Neispravni dijelovi šalju se na doradu, odnosno kitanje ako se radi o sitnoj poroziji i vraćaju se natrag na konvejer između brusilice i spajanja. Kitanje je proces u kojem se

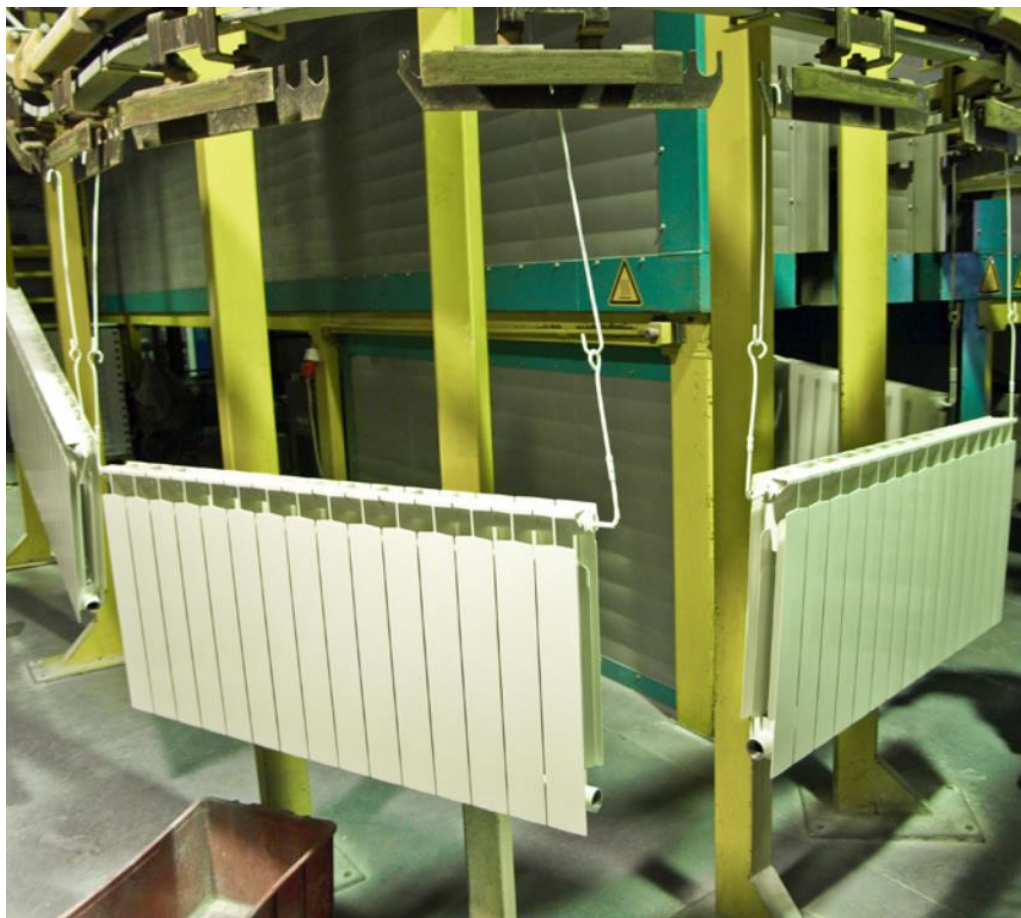
popunjavaju sitne porozije posebnom ispunom te se nakon toga ta ispuna zajedno s člankom mora peći u posebnoj peći i zatim izbrusiti. Ispravni članci idu na uređaj za spajanje gdje se urezuje navoj i članci se međusobno spajaju sa spojnicom. Spojnica se dozira automatski na stroj za spajanje te se spaja 10 članaka i dobije se takozvana „baterija“. Spojeni članci odnosno baterije testiraju se na propusnost u ispitnoj kadi pod određenim pritiskom. Baterije koje propuštaju se rastavljaju, odnosno miče se određeni članak koji propušta i zamjenjuje se, a propušta u prosjeku 20 baterija dnevno. Rastavljanje članaka se radi ručno i to je vrlo brz postupak jer su radnici na toj poziciji izuzetno dobro uvježbani tako da su sposobni specijalnim dugim alatom otpustiti točno određeni članak iz sredine baterije. Ispravne baterije koje su prošle kontrolu na ispitnoj kadi slažu se na paletu i odlaze u međuskladište te se ručnim viličarem uvoze u lakirnicu. Postoje dvije identične linije koje započinju zavarivanjem, a završavaju testiranjem na propuštanje. Razlog postojanja dvije linije je to što se jedan tip radijatora može lijevati na maksimalno dvije preše odjednom, tako da ako rade tri preše to automatski znači da se proizvodi minimalno dva tipa radijatora. Budući da se za svaki tip radijatora mora namjestiti linija za montažu, svaki tip radijatora odlazi na svoju liniju za montažu.

### **3.3.3. Lakirnica**

Lakirnica je vrlo automatiziran dio proizvodnje. Cijeli proces započinje fizičkim vješanjem baterija na ovjesni konvejer koji konstantnom brzinom transportira baterije cijelom halom do trenutka skidanja na paletu. Prvo baterije ulaze u zatvoreni sustav koji je podijeljen na tri komore. U prvoj komori se vrši odmašćivanje baterija, u drugoj komori se vrši demineralizacija, a u trećoj odnosno zadnjoj komori se odvija pasterizacija baterija. Nakon izlaska iz tog zatvorenog sustava površina baterija je potpuno čista i suha te je spremna za temeljno bojanje. Temeljno bojanje sastoji se od 3 postupka, odnosno 3 komore kroz koje prolaze baterije, a to su komora za anaforezu gdje se nanosi temeljna boja, komora za otapala i peć gdje se peče temeljna boja. Nakon pečenja temeljne boje slijedi završno bojanje prahom, odnosno elektrostatsko bojanje. To je postupak koji se temelji na primjeni napona gdje su baterije ovještene na uzemljeni konvejer, a istosmjerni napon prolazi između baterija i pištolja za prah, te se prah na neki način lijepi za baterije. Nakon elektrostatskog bojanja, baterije konvejerom odlaze ponovo u peć gdje se peče završni sloj boje. Po izlasku iz peći, baterije se skidaju s ovjesnog konvejera koji je prikazan na sljedećoj slici (Slika 15.) te odlaze na završnu kontrolu i pakiranje u kutije. Kutije se slažu na paletu koja se folira, odnosno omata prozirnomo folijom



kako bi se spriječilo padanje kutija s palete, te odlaze u pomoćno skladište iz kojeg se kasnije palete transportiraju u skladište gotovih proizvoda.



**Slika 15. Skidanje obojanih baterija s ovjesnog konvejera**

### **3.4. Kontrola u proizvodnji**

U svakoj proizvodnji se na nekom mjestu ili na više njih javlja određena količina neispravnih dijelova. U tvornici Lipovica se nakon velikog broja operacija vrši vizualna kontrola, a unutar samog procesa proizvodnje vrši se i ispitivanje na propusnost na ispitnoj kadi. Prva kontrola u procesu vrši se na samom repromaterijalu prilikom svake dostave sirovine i dijelova potrebnih za daljnju izradu. Kontrola je vizualna i kemijska jer se testira kemijski sastav sirovine. Nakon otapanja siluminija, odnosno aluminijskih šipki u peći Botta, kontrolira se kemijski sastav taline prije početka lijevanja radijatora. Nakon lijevanja radijatora u preši, na prešama koje poslužuje čovjek provodi se vizualna kontrola odljevaka i traži se svaka pogreška u lijevanju, kao što je nedolivenost, loša kvaliteta površine ili rupičastost. Ova vrsta kontrole se intenzivno provodi ukoliko je kalup za lijevanje nov ili pred krajem životnog vijeka, te ukoliko su se nedavno

mijenjali parametri obrade ili izvršio popravak kalupa. Obratci izrađeni na preši koje posluhuje robot nisu kontrolirani jer je nemoguće da robot provede ovakvu vrstu vizualne kontrole, tako da ukoliko postoji neka greška ona će se uočiti naknadno na sljedećoj vizualnoj kontroli koja se provodi prilikom trganja uljevnog sustava.

Obratci koji prođu sve navedene kontrole odlaze na obradu u sljedeću halu, halu za montažu gdje ih nakon zavarivanja i finog brušenja čeka još jedna vizualna kontrola. Provjerava se kvaliteta zavara, odnosno je li metalna pločica dobro pozicionirana u odnosu na radiator kako se ne bi narušio estetski izgled. Prilikom ove kontrole se najčešće može otkriti greška u obliku sitne rupice koja je vidljiva tek nakon brušenja te se takvi obratci šalju na kitanje i doradu ukoliko je to moguće. Dorada se vrši samo ukoliko greška nije na kritično važnom mjestu i ukoliko je sigurno da naknadno popunjavanje i brušenje neće utjecati kasnije na estetski izgled nakon temeljnog i završnog bojanja. Možda i najvažnija kontrola u cijelom procesu vrši se nakon spajanja više članaka u jednu bateriju koja se testira na propuštanje pod tlakom od 11 bara u kadi za propuštanje. Ova kontrola je izuzetno važna jer se ne može obaviti vizualnim putem nego se baš mora provesti pod određenim tlakom i svaka baterija prije odlaska u sljedeću halu mora proći ovo testiranje. Baterija se stavlja u praznu ispitnu kadu, spoji se na kompresor koji upuhuje zrak u bateriju i održava konstantan pritisak zraka od 11 bara. Za to vrijeme se kada u kojoj je smještena baterija puni vodom i radnik provjerava ima li puštanja zraka, odnosno javljaju li se mjehurići u vodi. Radnik može procijeniti je li baterija ispravna ili ne, a ukoliko nije siguran može okrenuti bateriju za 180 stupnjeva i provjeriti ima li puštanja na suprotnoj strani. Ispitna kada s baterijom koja je u fazi testiranja je prikazana na sljedećoj slici (Slika 16.).



**Slika 16. Ispitna kada**

U lakirnici se nakon završnog lakiranja i pečenja laka provodi zadnja kontrola prije pakiranja aluminijskog radijatora u kutiju. Tu se pregledava cijeli radijator, traže se greške koje možda nisu uočene u prethodnim fazama i vizualno se kontrolira boja kako bi se izbjegla zadebljanja boje, oštećenost boje i čestice prašine na površini. Ovakva stroga kontrola je želja za visokim standardom i vrhunskom kvalitetom proizvoda kako bi krajnji kupci bili maksimalno zadovoljni kupljenim radijatorima i kako bi im mogli pružiti dvadeset godišnje jamstvo na njih.

### **3.5. Maksimalni kapacitet proizvodnje**

Maksimalni kapacitet je ovisan je direktno o pojedinačnim kapacitetima hala. Najveći kapacitet ima lakirnica koja je visokoautomatizirana i to je najmoderniji dio tvornice što se tiče proizvodnje aluminijskih radijatora. Na ovjesni konvejer se vješaju baterije koje su spremne za bojanje i ne mora se voditi računa o kojem tipu radijatora se radi kada je postupak isti za sve tipove. Maksimalni kapacitet lakirnice je između 18 000 i 20 000 članaka dnevno ukoliko bi se

radilo u tri smjene. Važno je naglasiti da bi u tom slučaju bilo potrebno osigurati stalni tok baterija iz montaže ili osigurati dovoljno veliku zalihu baterija kako ovjesni konvejer ne bi bio na nekim dijelovima prazan. Lakirnica trenutno radi 12 sati dnevno, a budući da se ne može osigurati dovoljan tok baterija iz montaže, u međuskaldištu je potrebno prije početka rada lakirnice, odnosno početka vješanja i pokretanja konvejera, pohraniti barem 3 000 članaka. Pola članaka spojenih u baterije se vješa odmah na konvejer, a pola se vješa u hodu, odnosno nadopunjuje se tok baterija iz montaže. Teoretski kapacitet montaže je 5 000 članaka pod smjeni, odnosno 15 000 članaka dnevno. Taj kapacitet je samo teoretski jer se u zadnje vrijeme zbog nedovoljno financijskih sredstava nije ulagalo u odjel montaže i održavanje opreme tako da dolazi do kvarova i zastoja. U slučaju kvara i većeg zastoja jedne linije postoje razne mogućnosti prebacivanja ručnog zavarivanja ili prebacivanja na drugu liniju, ali to su samo privremena rješenja. Maksimalni kapacitet proizvodnje u ljevaonici je između 9 500 i 10 000 članaka. To znači da svaki stroj može dnevno proizvesti između 2 400 i 2 500 članaka. Tako da maksimalni kapacitet cijele tvornice direktno ovisi o kapacitetu ljevaonice i iznosi oko 10 000 članaka. Popis kapaciteta po halama i maksimalni kapacitet prikazani su u sljedećoj tablici (Tablica 1.).

**Tablica 1. Dnevni kapacitet proizvodnje**

Hala	Dnevni kapacitet	Napomena
<b>Nova ljevaonica</b>	10 000 članaka	≈2 500 članaka po stroju
<b>Montaža</b>	15 000 članaka	Teoretski kapacitet
<b>Lakirnica</b>	18 000 – 20 000 članaka	Članci spojeni u baterije
<b>Maksimalni kapacitet tvornice</b>	10 000 članaka	

Važno je reći da bi to značilo da se paralelno proizvode minimalno dva tipa radiatora jer za svaki tip postoje samo 2 kalupa. Razlog tomu je složenost alata i visoka cijena od prosječno 100 000 eura za cijeli kalup, odnosno 40 000 eura ukoliko se radi samo o toplim dijelovima alata. Jedan takav kalup, odnosno samo jedna polovica je prikazana na sljedećoj slici (Slika 17.).



**Slika 17. Polovica kalupa za lijevanje**

## 4. SIMULACIJA PROIZVODNOG PROCESA

Simulacija proizvodnje je izrađena u programu Enterprise Dynamics 7, kako bi se lakše uočili nedostaci i moguća poboljšanja procesa. Enterprise Dynamics je softverska platforma za simulaciju koja nudi promjenjivu i podesivu radnu okolinu koja se lako koristi. Osobi koja želi riješiti određeni problem omogućava da virtualno dizajnira bilo koji zadatak te eksperimentiranjem pronađe rješenje početnog problema ili odgovor na određeno pitanje. Dobra simulacijska platforma je također potrebna ukoliko se žele provoditi simulacijska istraživanja. Platforma omogućava brzi dizajn modela i njegovih mogućnosti te osigurava dobru vizualizaciju svih značajki unutar modela. Još jedna prednost je što simulacijska platforma omogućava ponovno korištenje modela i njegovih dijelova za kreiranje nekog novog modela. Neke od prednosti korištenja Enterprise Dynamics unutar industrije i logistike su [6]:

- Mogućnost testiranja budućeg sustava u vrlo ranom stupnju razvoja
- Testiranje i unaprjeđivanje predloženih modifikacija kao što je Lean proizvodnja ili Six Sigma proizvodna filozofija bez ikakvog utjecaja na stvarno operativno okruženje
- Modeliranje i analiza nekoliko scenarija kao što je na primjer grubo planiranje kapaciteta (eng. Rough-Cut Capacity Planning) kao pripremu za buduće događaje
- Optimiranje proizvodnje i jamčenje povrata uložene investicije u proizvodnu i transportnu opremu
- Procjena utjecaja nesigurnosti i varijacija, kao što su kvarovi na opremi i varijabilna vremena obrade, na performanse sustava
- Analiza i vizualizacija realnih sustava u 2D i 3D animaciji

Simulacije se definiraju kao oponašanje realnog sustava korištenjem raznih modela kojima se opisuje rad promatranog sustava. Prednosti korištenja simulacija su rješavanje složenih problema, uključivanje više varijabli koje nije moguće riješiti matematičkim postupcima, a primjenjuju se kod eksperimentiranja bez ometanja rada realnog sustava, no one imaju i nedostatke: ponekad je to dugotrajan proces, potrebno je poznavanje većeg broja metoda i alata modeliranja i dr. Koraci provođenja simulacije su sljedeći [7]:

- definiranje problema
- izgradnja modela

- prikupljanje i analiza podataka
- funkcionalnost modela
- ispitivanje valjanosti modela

Važno je znati da je simulacijski model samo apstrakcija realnog sustava te se modeliranju samo oni elementi sustava koji su bitni za istraživanje ponašanja realnog sustava [8]. Nije moguće napraviti vjerni model cijelog realnog sustava jer u stvarnosti postoji velik broj varijabli koje utječu na sam sustav, tako da se realni sustav pojednostavljuje te se modelira sustav idealiziran pomoću pretpostavki. Iz tog razloga rezultate simulacije uvijek treba interpretirati s određenom dozom opreza.



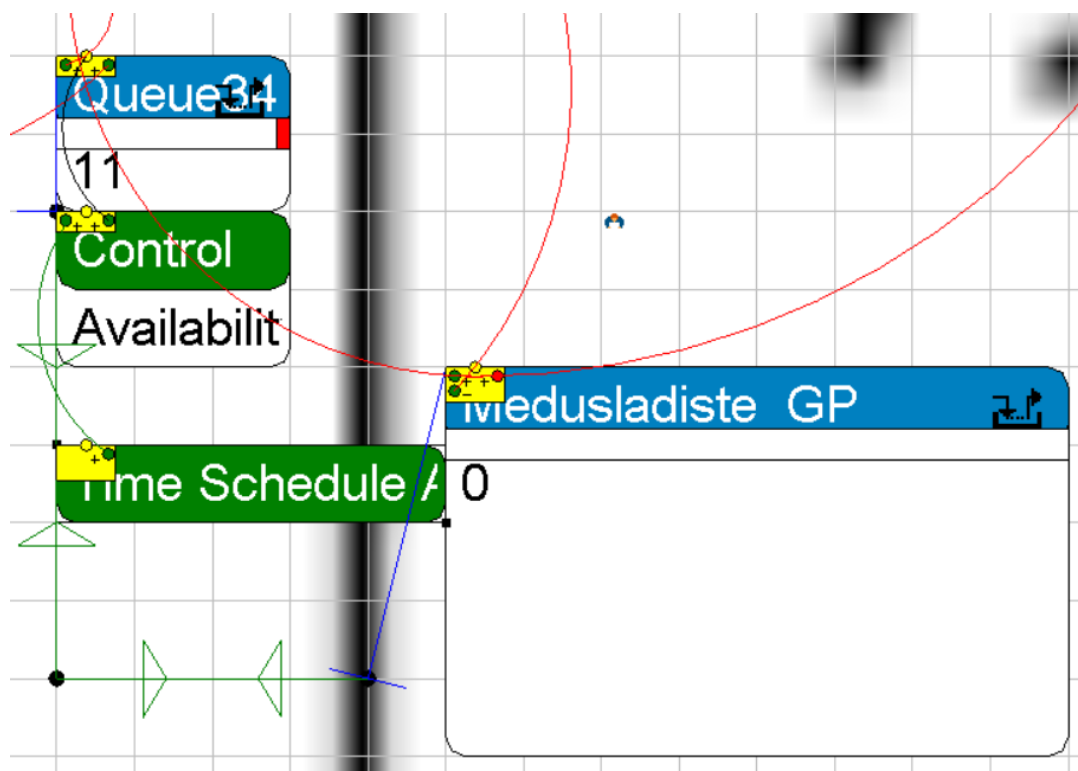
**Slika 18. Grafička definicija modela [8]**

U simulaciju su uključeni svi strojevi opisani u prethodnom poglavlju 3.2, ali i sva radna mjesta kao što su mjesta za prazne palete, mjesta gdje se palete pune, transportni putevi, konvejeri, radni stolovi, roboti, mjesta za odlaganje škarta, međuskladišta i viličari. Raspored strojeva je izrađen prema 2D crtežu tvornice tako da su udaljenosti strojeva, duljine transportnih puteva i ostale dimenzije u realnom odnosu kao i u stvarnosti.

Početak simulacije koji je vezan uz peć, čišćenje taline i transport taline do preša je prilagođen kako bi se kasnije podaci mogli jednostavnije mijenjati i uspoređivati. Naime kako je riječ o dijelu taline koji se izljeva iz peći, taj dio taline je prikazan kao određeni broj obradaka koji je na jednoj paleti i čeka daljnje obrade. Kada ta talina, odnosno paleta s obradcima dođe do preša svaka preša uzima dio obradaka i nad njima vrši daljnju obradu. Taj dio je simuliran na taj način jer na prešama dolazi do promjene agregatnog stanja iz taline u obradak.

#### 4.1. Rad u smjenama

U tvornici svaka hala ima svoje radno vrijeme jer dolazi do neusklađenosti rada. Peć Botta se u pravilu nikad ne gasi jer je potrebno puno vremena da se zagrije i da otopi aluminij koji je ostao u peći i onaj koji je naknadno dodan. Nova lijevaonica gdje su smještene preše radi u 3 smjene, odnosno 24 sata dnevno. To najsporiji dio proizvodnje koji je gotovo nemoguće ubrzati jer broj izrađenih članaka izravno ovisi o taktu preše kojim može lijevati članke. Jedina mogućnost ubrzanja u ovoj hali je uključivanje u rad dodatnih preša. Sve palete s obradcima odlaze u međuskladište i čekaju obradu u hali za montažu koja radi dnevno samo dvije smjene. Radi se u dvije smjene zato jer je takt obrade brži nego u hali 1, pa hala 1 u trećoj smjeni radi zalihu proizvoda za halu montaže koja čeka u međuskladištu. Lakirnica radi još kraće, 12 sati dnevno odnosno samo 1,5 smjenu. Razlog tomu je što otpadne određeni postotak škarta u prve dvije hale, ali i to što u lakirnicu dolazi manje obradaka jer se članci spajaju u baterije, a to odmah znači i manje rukovanja (skidanja s palete, stavljanja na paletu). Kako bi se uskladio rad tih hala u simulaciji je bilo potrebno uvesti određene atome koji kontroliraju vremenski rad cijele hale, odnosno zabranjuju ulazak novih obradaka u halu netom prije završetka radnog vremena te hale. Na sljedećoj slici (Slika 19.) je prikazan skup tih atoma koji uređuju vremenski okvir rada hale.

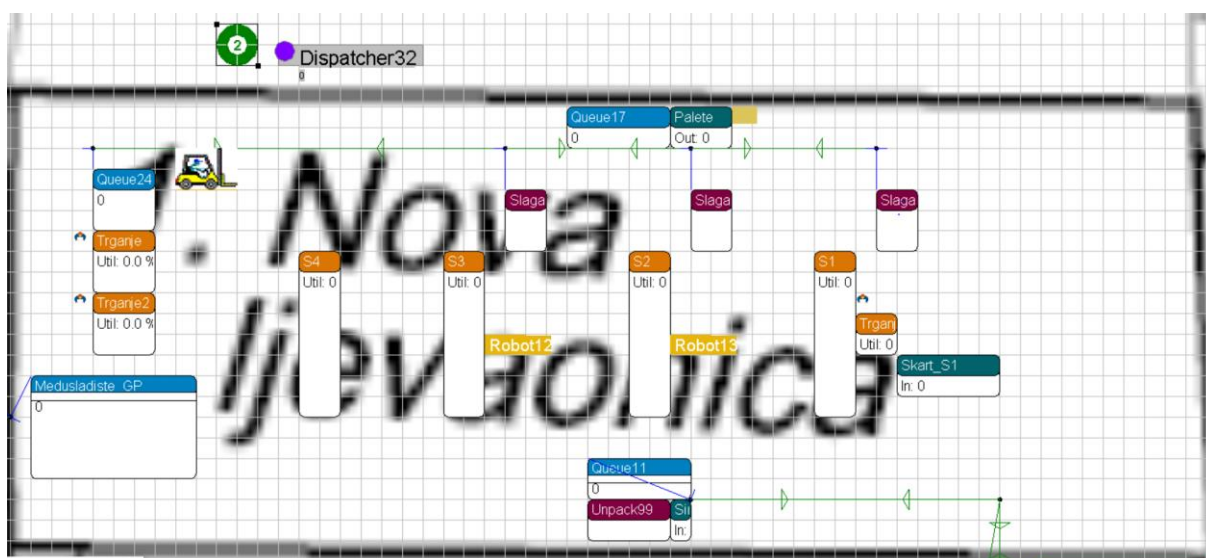


Slika 19. Skup atoma za vremensko ograničenje rada hale



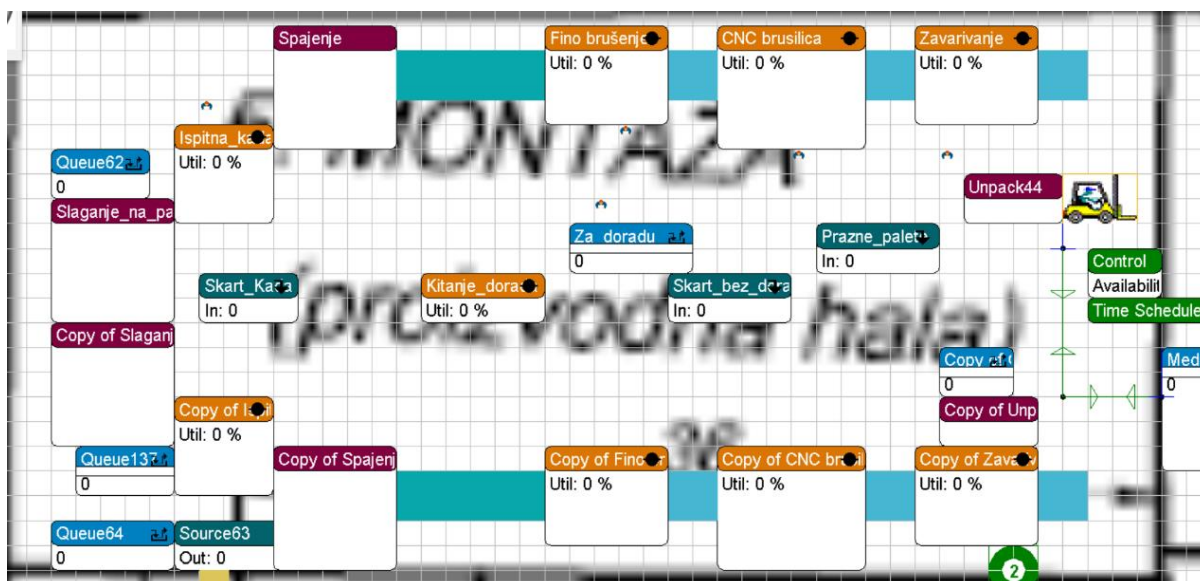
## 4.2. Prikaz simulacije po halama

Na sljedećoj slici (Slika 20.) je prikazan raspored strojeva, opreme, transportnih puteva i mjesta za prazne i pune palete u novoj ljevaonici. Vidljivo je da svaka preša ima vlastito predviđeno mjesto za slaganje članaka na paletu te da na preši 1 radi operater, a na ostale dvije preše robot. Čovjek ima mogućnost da odmah procjeni jesu li članci ispravni pa kraj preše 1 postoji i predviđeno mjesto za odlaganje škarta. Zanimljivo je i to da čovjek na paletu može staviti 110 članaka, dok robot zbog određenih razloga može staviti 105 članaka. Važno je spomenuti da je i preša broj 4 u funkciji, ali da trenutno zbog smanjenog obujma posla ne radi.



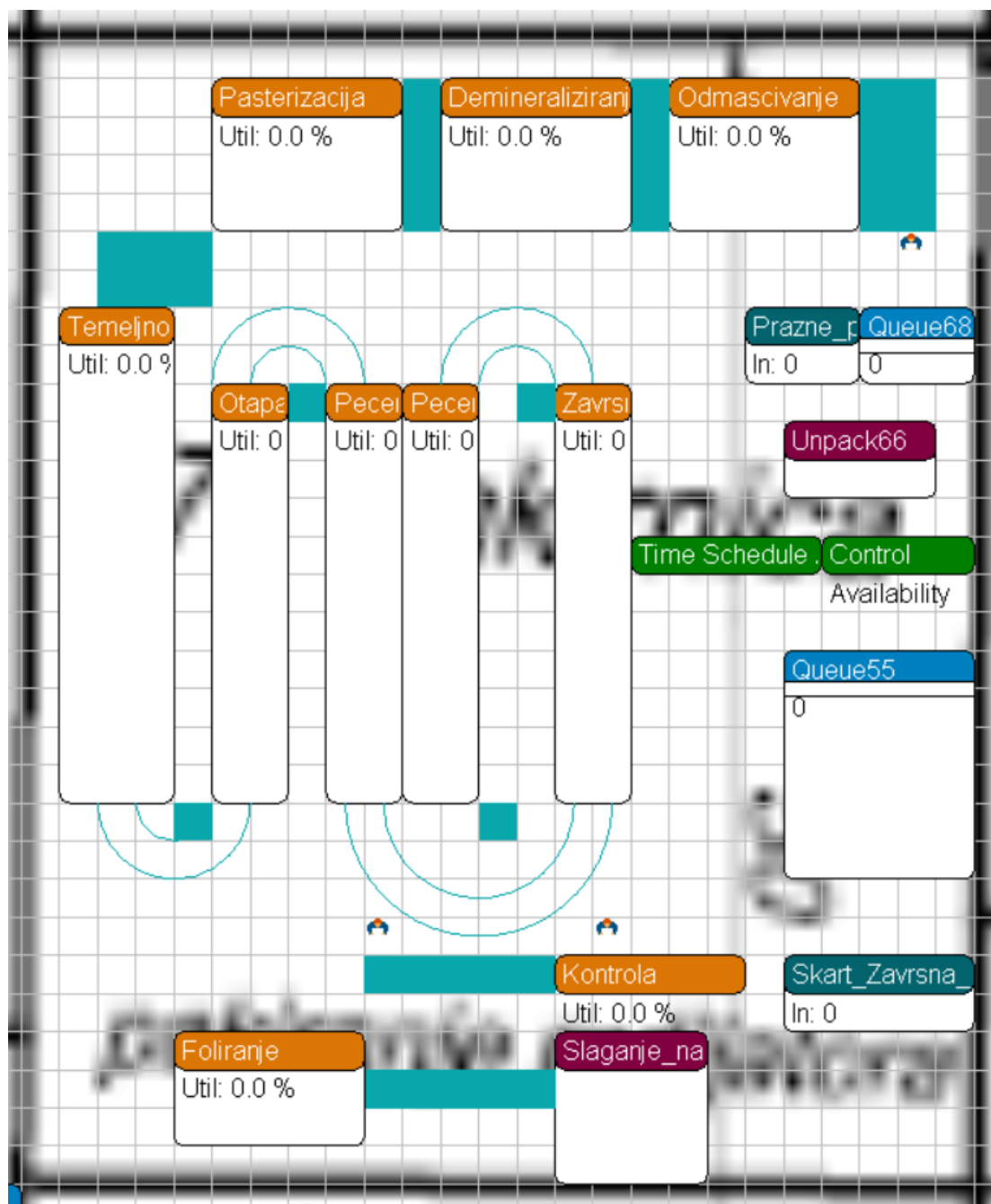
Slika 20. Izgled simulacije proizvodnje u novoj ljevaonici

Na sljedećoj slici (Slika 21.) je prikazano kako izgleda simulacija proizvodnje u montaži. Prikazana je i skupina atoma koja kontrolira rad u 2 smjene te atom pomoću kojeg se obavlja skidanje obradaka s palete i fizičko stavljanje na konvejer prije operacije zavarivanja. Na atomu „Spajanje“ vrši se spajanje 10 članaka u jednu bateriju pomoću automatski dozirane spojnice. Također su predviđena mjesta za prazne palete i za škart nakon finog brušenja i ispitne kade. Postoje dvije identične linije za montažu kako ne bi došlo do miješanja dvije vrste proizvoda jer se istovremeno može proizvoditi proizvod na maksimalno dvije preše jer za svaki oblik radiatora postoji samo dva kalupa.



Slika 21. Izgled simulacije proizvodnje u montaži

Sljedeća slika (Slika 22.) prikazuje lakirnicu. Važno je za napomenuti da se ovjesnim konvejerom baterije transportiraju od atoma „Odmaščivanje“ do atoma „Kontrola“ i da radnici za to vrijeme nemaju kontakt s baterijama. Jedino se baterije uz pomoć radnika vješaju i skidaju s konvejera, vizualno kontroliraju i pakiraju u kutije i slažu na paletu. Kada se paleta popuni baterijama, odnosno kutijama, paleta valjkastim konvejerom odlazi na foliranje i pomoćno skladište. Također je zanimljivo da je ovjesni konvejer dovoljno visoko u zraku i da se ispod može nesmetano prolaziti.



Slika 22. Izgled simulacije proizvodnje u lakirnici

#### 4.3. Vremena vezana uz simulaciju

Vremena obrade u simulaciji koja su korištena mogu biti fleksibilna i mijenjati se ovisno o obujmu posla, brzini i broju radnika koji poslužuju strojeve. Najvažnija vremena obrade u cijeloj simulaciji su vremena kojima stroj preša članke radijatora i ta vremena obrade su strogo fiksna. Ova vremena nisu fleksibilna jer ukoliko bi ih smanjivali ili povećavali u stvarnoj proizvodnji došlo bi do promjene kvalitete odljevaka, grešaka u lijevanju pa čak i oštećenja

alata, odnosno kalupa za lijevanje. Ti kalupi su posebno napravljeni alati u kojima postoje kanali koji omogućavaju vodeno hlađenje, te ukoliko bi došlo do promjene vremena obrade postoji mogućnost da će se dijelovi kalupa previše zagrijati ili ohladiti što dovodi grešaka u lijevanju, a u krajnjem slučaju i do propasti samog alata.

Vremena se razlikuju između strojeva za 3 sekunde samo zato što iz prve preše odljevak vadi čovjek, vrši vizualnu kontrolu i trganje određenih dijelova uljevnog sustava, a na druga dva stroja to radi robot neznatno sporije. Na četvrtoj preši koja je trenutno izvan funkcije zbog smanjenog obujma posla također radi čovjek. Vremena potrebna za obradu koja su korištena u simulaciji dana su u sljedećoj tablici (Tablica 2.).

**Tablica 2. Vremena obrade na prešama**

Stroj/Operacija	Vrijeme [sekunda]
<b>Preša 1</b>	69
<b>Preša 2</b>	72
<b>Preša 3</b>	72
<b>Preša 4</b>	69

Vrijeme obrade na peći Botta ne postoji jer ona radi 24 sata dnevno i prema potrebi se uzima talina. Kod lijevanja aluminijskih radijatora prosječno vrijeme nadopunjavanja pomoćnih peći u prešama je jedan sat. Zbog promjene agregatnog stanja iz taline u krutinu komplicirano je simulirati količinu taline, stoga je peć Botta simulirana atomom „Arrival List“. Parametri su postavljeni tako da iz peći svakih sat vremena izađe taline dovoljno za obradu 152 odljevka zajedno sa uljevnim sustavima.

Vremena na strojevima u lakirnici su također fiksna, ali su određena brzinom kojom se ovjesni konvejer kreće kroz strojeve za pripremu lakiranja, strojeve za lakiranje i peći za sušenje laka. U slučaju povećanja obujma proizvodnje, nema potrebe za ubrzavanjem ovjesnog konvejera nego je moguće produžiti vrijeme rada pogona lakirnice jer trenutno rade 12h dnevno.

Najfleksibilnija vremena su na radnim mjestima koja uključuju naknadno trganje i obradu prije odlaska na montažu i na svim radnim mjestima u hali za montažu. Ta vremena je teško točno odrediti jer ona ovise o radnicima koji poslužuju strojeve i vrše kontrolu, njihovom broju, ali i o vrsti greške koja se javila na odljevku jer se u skladu s greškom radi dorada, odnosno kitanje. Ova vremena nisu od posebnog značaja za ukupnu simulaciju jer je uvijek moguće povećati

broj radnika na jednom radnom mjestu tako da su u simulaciji korištena ona vremena koja su odgovarala trenutnom kapacitetu proizvodnje. U simulaciji su korištene različite vremenske razdiobe kako bi se postigli što vjerniji rezultati i uključio faktor slučajnosti u cijeli proces jer se u praksi nikad ne zna koja se vrta pogreške može pojaviti i na kojem mjestu.

Na trganju članaka korištena je normalna razdioba te je okvirno određeno prosječno vrijeme koje je potrebno da se obradi cijela paleta članaka. Srednje vrijeme po paleti je 2200 sekundi sa standardnom devijacijom od 500 sekundi. Razlog ovako velike devijacije je to da palete koje puni robot i palete koje puni čovjek sadrže različit broj članaka i sama obrada ovisi o sposobnosti čovjeka koji u tom trenu radi na tom radnom mjestu.

Za seriju strojeva koji vrše zavarivanje i brušenje određeno je fiksno vrijeme obrade od 12 sekundi koje se može i mijenjati ukoliko bi bilo potrebe kod izvođenja simulacije.

Na stroju za spajanje je također korištena normalna razdioba s prosječnim vremenom od 60 sekundi i standardnom devijacijom od 15 sekundi. Vrijeme na tom stroju je određeno čekanjem članaka s prethodnih strojeva kako bi se spojili u jednu bateriju, a devijacija je određena količinom članaka koji se vraćaju u daljnji proces nakon kitanja i dorade.

Ispitna kada ima fiksno zadano vrijeme od 50 sekundi jer se proces provjere na propuštanje pod tlakom ne može ubrzati, ali ukoliko je to potrebno zbog povećanja proizvodnje ili potrebe simulacije moguće je dodati još jednu ispitnu kadu jer u skladištu postoji još jedna takva, ali zbog trenutno smanjenog obujma proizvodnje se ne koristi.

Kod Kitanja, odnosno dorade je najteže procijeniti vrijeme jer ovisi o grešci, njenom položaju i ljudskom faktoru tako da je za ovo vrijeme procijenjena eksponencijalna raspodjela s prosječnom vrijednošću od 100 sekundi. U sljedećoj tablici (Tablica 3.) dane su vrijednosti vremena i pripadajuće raspodjele za ostatak operacija u proizvodnom procesu.

**Tablica 3. Vremena obrade na ostalim strojevima**

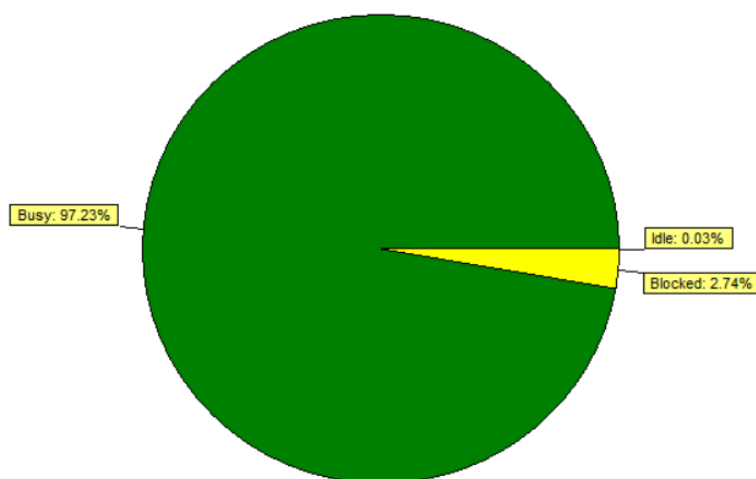
Stroj/Operacija	Raspodjela	Prosječno vrijeme [sekunda]	Devijacija
<b>Trganje1</b>	Normalna	2200	500
<b>Trganje2</b>	Normalna	2200	500
<b>Zavarivanje</b>	-	12	-
<b>CNC brusilica</b>	-	12	-
<b>Fino brušenje</b>	-	12	-

<b>Spajanje</b>	Normalna	60	15
<b>Ispitna kada</b>	-	50	-
<b>Kitanje dorada</b>	Eksponecijalna	100	-

#### 4.4. Iskoristivost strojeva

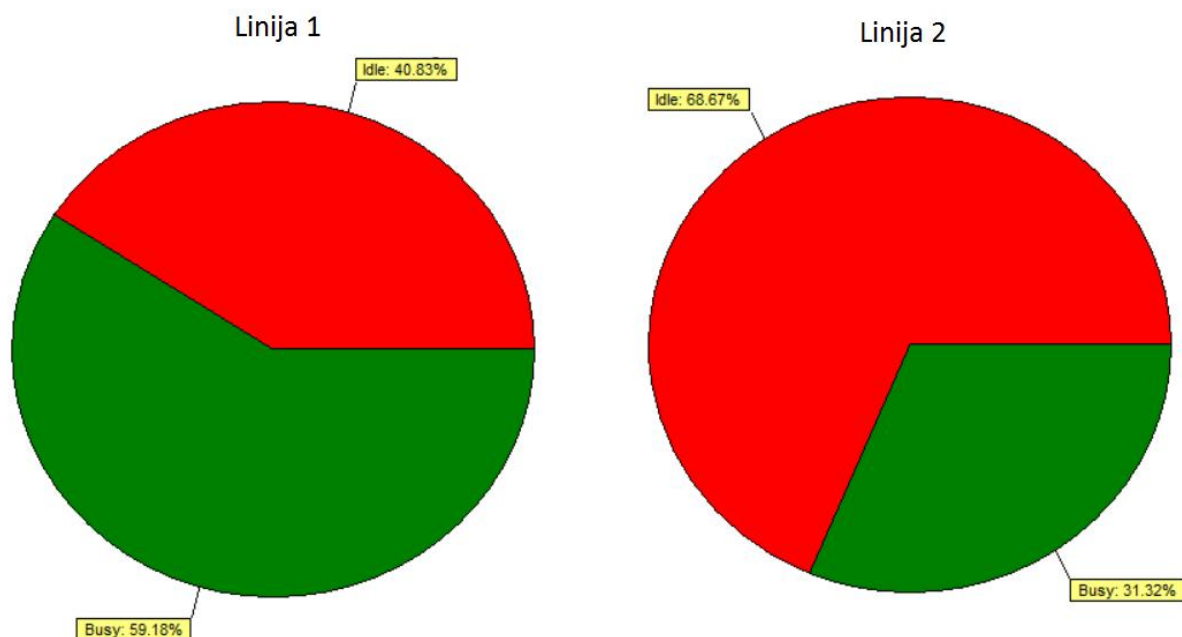
Budući da dijelovi tvornice rade različiti broj smjena, iskoristivost će se računati kao dnevno opterećenje strojeva. Ono vrijeme kada hala ne radi će se uzimati u obzir kao da strojevi imaju prazan hod. Simulirat će se 5 radnih dana zbog vremena potrebnog za uhodavanje simulacije, a rezultati su prikazani na sljedećim dijagramima.

Očekivano je da je iskoristivost preša najveća jer one rade u 3 smjene i određuju maksimalni kapacitet tvornice. Na sljedećoj slici (Slika 23) dan je dijagram koji prikazuje kako je preša broj 2 opterećena 97% svog vremena.



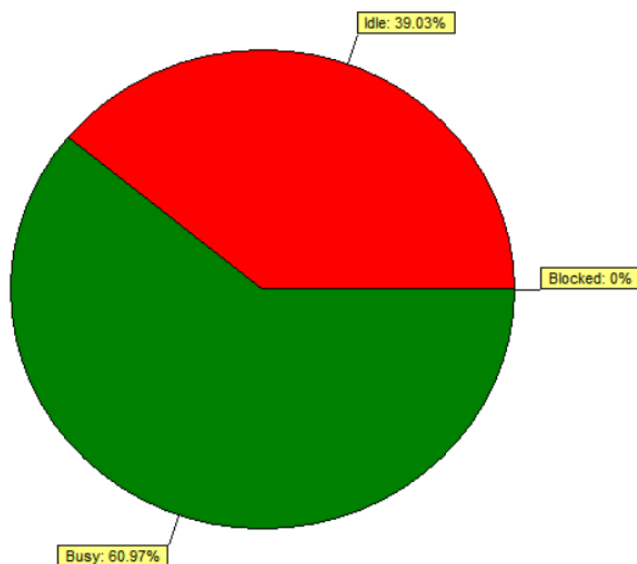
**Slika 23. Iskoristivost preše broj 2**

Iskorištenost linija na montaži prikazana je na sljedećoj slici. Vidljivo je da je opterećenost linije 2 (31,3%) duplo manja nego linije 1 (59,2%), a razlog tomu je što je trenutno zbog smanjenog obujma proizvodnje radiatora preša broj 4 privremeno u stanju mirovanja. Stoga članci sa druge i treće preše odlaze na prvu liniju za montažu, a članci sa prve preše odlaze na drugu liniju.



**Slika 24. Iskoristivost linija u montaži**

Iskoristivost radnog mjesta predviđenog za kitanje i doradu (Slika 25.) je vrlo visoka i iznosi 61% jer je to postupak koji oduzima dosta vremena zbog toga jer čovjek mora tražiti sitne nepravilnosti i pažljivo ih popraviti.



**Slika 25. Iskoristivost radnog mjesta za doradu**

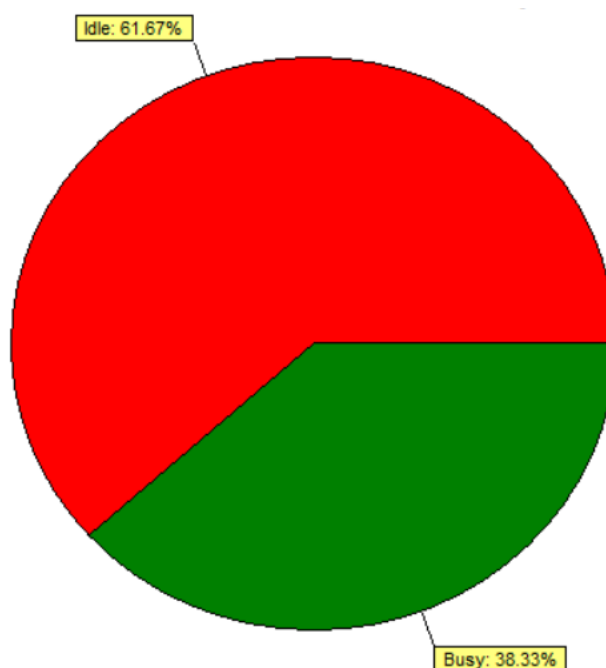
Uz sve to, velik broj članaka odlazi na kitanje pa je ovako visoka iskorištenost bila i očekivana. Svakako treba napomenuti da se ovo radno mjesto ne može smatrati uskim grlom jer doradu može raditi i više ljudi na radnom stolu jer je osnovni alat auto kit i sredstvo za nanošenje. Radno mjesto za doradu i kitanje je prikazano na sljedećoj slici (Slika 26.).



**Slika 26. Radno mjesto za doradu**

Najmanju iskoristivost cijele hale ima lakirnica s prosječnom iskoristivošću strojeva od 38,3% kako je to prikazano na sljedećoj slici (Slika 27.). Razlog tako male iskoristivosti je to što se radi samo u 1,5 smjeni i visoki stupanj automatizacije cijelog pogona. Jedino rukovanje s materijalom je vješanje i skidanje baterija na konvejer koji se kreće konstantnom brzinom. Jednom kada se baterija ovjesi, idućih 2,5 sata provede na konvejeru pomičući se od stroja do stroja do trenutka skidanja. Još jedan razlog tako niskoj iskoristivosti je što se zadnjih 3 sata baterije samo skidaju, a ne stavlja se ni jedna, tako da i tu postoji dodatan prazni hod kroz cijeli pogon tako dugo dok se zadnja baterija ne skine.





Slika 27. Iskoristivost lakirnice

#### 4.5. Pojava neispravnih dijelova

U stvarnoj proizvodnji gotovo uvijek dolazi do pojave neispravnih dijelova, odnosno škarta. Nemoguće je znati gdje i kada će se pojaviti neispravan dio, ali se snimanjem proizvodnje može procijeniti određena količina škarta koja se u prosjeku pojavljuje na određenoj operaciji. U pravilu škarta ima više kada je kalup za lijevanje pred krajem životnog vijeka ili treba popravak. U simulaciji su korištene procijenjene prosječne količine nakon svake kontrole kako bi se okvirno mogla odrediti ukupna prosječna količina neispravnih dijelova u određenom vremenskom intervalu. Simulacija ne bi dala dobre rezultate na kratkom vremenskom intervalu u trajanju jedne smjene ili jednog radnog dana jer u praksi kada dođe do problema na alatu onda količina škarta naglo poraste, a nakon popravka alata padne. Također, atomi unutar simulacije u kojima se odlaže škart su razdvojeni i nema jednog zajedničkog atoma iz kojeg bi se mogao očitati ukupan broj neispravnih dijelova. Razlog tomu je jednostavniji pregled količine škarta po radnim mjestima i to što škart nije uvijek isti, nekad je neispavan samo jedan članak, a nekad cijela obojana baterija u kojoj je 10 članaka. Količina škarta od 3% pojavljuje se nakon lijevanja na preši koju posluhuje čovjek koji je za razliku od robota sposoban vizualno procijeniti ispravnost članka. Sljedeća kontrola nakon trganja ostatka uljevnog sustava otkriva prosječno 0,5% neispravnih dijelova. Nakon zavarivanja i brušenja se prosječno 17% članaka šalje na doradu, a od svih članaka poslanih na doradu 50% ih se ne može popraviti i ne vraćaju se natrag

u proizvodnju nego odlaze u škart. Nakon spajanja u baterije testira se propusnost na ispitnoj kadi gdje 99% baterija prođe dalje u proizvodnju. Razlog tako visoke prolaznosti je pojednostavljenije simulacije jer se na ovom mjestu testira cijela baterija, a propusti samo jedan članak koji se vrlo lako zamjeni i nova baterija nastavlja dalje u proizvodnju, a jedan članak odlazi u škart. Završna kontrola se provodi nakon bojanja baterija i tu nastaje 1% škarta. Valja napomenuti da je količina škarta nakon svake operacije jednaka dobivenim podacima iz proizvodnje za prvih 6 mjeseci 2016. godine i može se vrlo lako promijeniti. Popis svih količina škarta korištenih u simulaciji dan je u sljedećoj tablici (Tablica 4.).

**Tablica 4. Prosječna količina neispravnih dijelova**

Kontrola nakon operacije	Prosječna vrijednost
<b>Lijevanje na preši (čovjek)</b>	3%
<b>Trganje</b>	0,5%
<b>Brušenje</b>	17% (poslano na doradu)
<b>Dorada</b>	50%
<b>Ispitna kada</b>	1%
<b>Završna kontrola</b>	1%

#### 4.6. Verifikacija i validacija simulacije

Da bi simulacija pokazivala dobre podatke kao što su opterećenost strojeva i broj obradaka treba proći barem 24 sata kako bi treća smjena nove lijevaonice napravila određenu zalihu kako bi sljedeća prva smjena montaže imala obratke koji već čekaju obradu. Simulacija radi na način na koji je to i predviđeno, ne dolazi do zagušenja strojeva ili pojave redova čekanja te program ne javlja nikakve greške.

Kako bi se sa sigurnošću mogla potvrditi valjanost rezultata, potrebno je provesti usporedbu stvarnih podataka i podataka dobivenih simulacijom. Budući da sama proizvodnja aluminijskih radijatora ovisi o mnogo nepredvidivih faktora kao što je kvar stroja ili zamjena alata, potrebno je okvirno izračunati koliko se radijatora proizvede na dnevnoj bazi. Podaci dobiveni iz tvornice Lipovica govore da svaki stroj u prosjeku dnevno proizvede 1250 dobrih odljevaka. Sljedećim izrazom potrebno je izračunati koliko je to zapravo paleta gotovih proizvoda spremnih za isporuku.

$$3 \text{ stroja} * 1250 \text{ odljevaka dnevno} = 3750 \text{ odljevaka}$$

$$3750 \text{ odljevaka} - 10\% \text{ škart} = 3375 \text{ odlejkava}$$

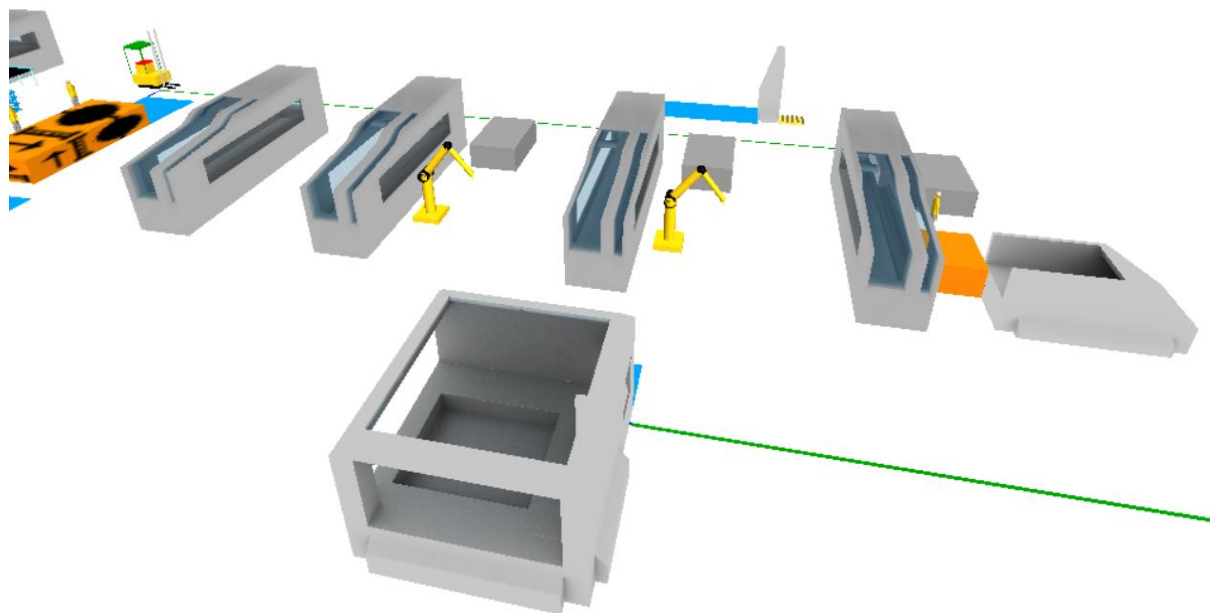
$$\frac{3375 \text{ odljevaka}}{5} = 675 \text{ baterija}$$

$$\frac{675 \text{ baterija}}{24} = 28 \text{ paleta gotovih proizvoda dnevno}$$

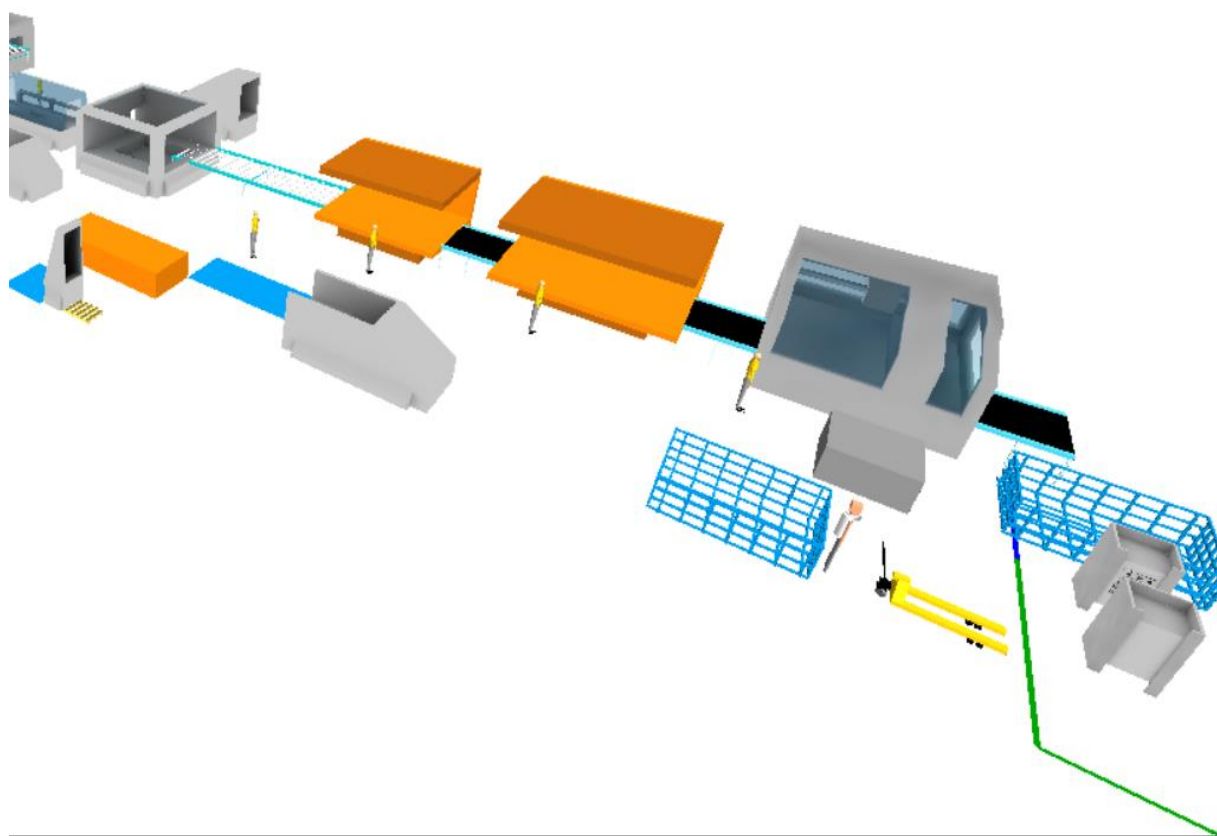
Budući da je potrebno proći barem 2 do 3 sata kako bi se simulacija uhodala, ukupni broj paleta će se računati na 5 dana. Prosječni krajnji rezultat simulacije je 118 paleta u 5 dana. Određena količina članaka ostane u proizvodnji, odnosno u međuskladištima. Točnije 23 palete članaka ostane u međuskladištu prije montaže i 5 paleta baterija u skladištu poslije montaže. Od tih 28 paleta kasnije nastane 15 gotovih paleta proizvoda pa ih treba pribrojiti broju od 118 paleta te se dobije 133 palete. Kad se taj broj uspoređi sa prosječnim stvarnim rezultatom od 140 paleta u pet dana, vidi se da postoji odstupanje od približno 5% što je zadovoljavajuće. Postoji više razloga ovolikog odstupanja. Jedan razlog je što na realnu proizvodnju utječe dosta faktora te ona nikad nije ista nego varira pa je ovaj broj od 140 paleta baterija u 5 dana procijenjen od strane voditelja ljevaonice na temelju podataka iz ljevaonice i služi samo za okvirnu orijentaciju.

#### **4.7. 3D izgled simulacije**

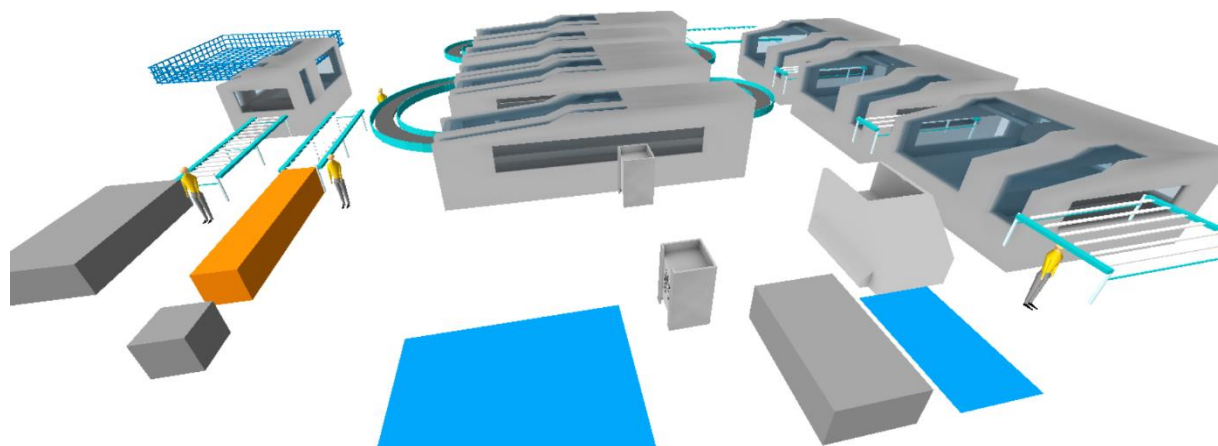
Na sljedećim slikama prikazan je trodimenzionalni prikaz simulacije, odnosno raspored strojeva, radnih mjesta, međuskladišta i transportni putevi.



Slika 28. 3D prikaz nove ljevaonice



Slika 29. 3D prikaz montaže



**Slika 30. 3D prikaz lakirnice**

## 5. ANALIZA MOGUĆIH UNAPRJEĐENJA

U gotovo svakoj tvornici postoje određeni problemi i mogućnost poboljšanja nekog dijela proizvodnje. Ovisno o vrsti problema, njihovo rješenje nerijetko zahtjeva i određenu investiciju što će svakako biti uzeto u obzir prilikom prezentacije rješenja. Neke probleme je moguće uočiti samim promatranjem proizvodnje, a neke je moguće otkriti tek detaljnijom analizom same simulacije proizvodnje.

### 5.1. Smanjenje škarta

Svaka proizvodnja ima određenu količinu škarta pa tako i tvornica Lipovica. Škart ukupne proizvodnje varira ovisno o vrsti radijatora koja se proizvodi, a u ovom radu će se promatrati samo one vrste koje se proizvode u velikim količinama kao što je to radijator Orion 600. Troškove koji nastaju zbog nekvalitetnih proizvoda izuzetno teško točno izračunati, pa čak i procijeniti jer u ovu vrstu troškova spada [9]:

- Škart (troškovi rada i materijala, cijena škart proizvoda)
- Dorada (troškovi prepravljavanja i popravljavanja proizvoda)
- Analiza (detekcija) nedostataka i problema
- Škart i ponovna obrada proizvoda dobivenog od dobavljača
- Pooštrena ispitivanja (traženje proizvoda koji ima pogrešku)
- Ponovljena kontrola i ispitivanje popravljenih proizvoda
- Iznos gubitaka u procesu koji nisu nužni (neumjerena oprema)
- Pad vrijednosti (klase) proizvoda – popusti zbog niže klase.

Uz ove troškove valja spomenuti još i troškove nastale u jamstvenom roku, troškove nastale uslijed povrata proizvoda te sve ostale troškove koji se odnose na kontrolu kvalitete i povratni tok materijala unutar same tvornice.

Prema dobivenim podacima, prosječna količina neispravnih dijelova kreće se oko 10%. Najniža količina neispravnih dijelova u zadnjih 10 godina iznosila je 6,8% što je također dosta visoko. U tvornici se količina škarta mjeri po proizvodnim pogonima, tako da prema podacima prve polovice 2016. godine lijevaonica bilježi prosječnu količinu neispravnih dijelova od 0,94%. U hali montaže se bilježi prosječna količina škarta od 9,71%, a u lakirnici je ta vrijednost puno manja i iznosi 0,10%. Navedene količine prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 5.).

**Tablica 5. Prosječne količine neispravnih obradaka**

Pogon	Prosječna količina neispravnih članaka
<b>Nova ljevaonica</b>	0,94%
<b>Montaža</b>	9,71%
<b>Lakirnica</b>	0,10%

Navedene količine neispravnih dijelova ne predstavljaju postotak neispravnih dijelova nastalih u navedenom pogonu, već predstavljaju onu količinu koja je otkrivena u navedenom pogonu. To znači da se u hali montaže otkriva velika količina škarta koja je nastala isključivo zbog greške lijevanja, ali se sitna greška nedolivenosti ili poroznosti „otvorila“ tek nakon brušenja stjenke radijatora. Zbog te činjenice vrijednosti dane u prethodnoj tablici (Tablica 5.) treba uzeti s velikim oprezom jer najveća količina neispravnih dijelova nastaje u ljevaonici, a otkriju se tek nakon brušenja u pogonu montaže.

Ukupne troškove zbog neispravnih dijelova teško je izračunati jer postoji izuzetno puno parametara koji na njih utječu. Jedna olakotna okolnost je što se neispravan članak ne baca u otpad nego zajedno sa dijelovima uljevnog sustava odlazi u peć na ponovno taljenje, tako da praktički ne postoji gubitak aluminijsa. Ipak, prilikom obrade neispravnog članka potrošena je određena količina resursa kao što je vrijeme, energija, radni sati ljudi, radni sati strojeva, zavarena pločica, alati (npr. brusna traka), boja i sva energija potrebna za tok i povratni tok materijala. Tvornica Lipovica je uzela u obzir većinu ovih gubitaka i izračunala cijenu koštanja jednog članka nakon obrade u svakom pogonu. Cijene jednog članka radijatora tipa Orion 600L nakon obrade u pojedinom pogonu dane su u sljedećoj tablici:

**Tablica 6. Cijena jednog članka**

Pogon	Cijena članka [kn]
<b>Nova ljevaonica</b>	21,20
<b>Montaža</b>	24,81
<b>Lakirnica</b>	42,48

Uz pomoću simulacije moguće je izračunati broj neispravnih članaka koji nastane u 5 radnih dana, a velika prednost simulacije je ta što je moguće vidjeti na kojem mjestu, odnosno kojem

pogonu, je otkriven neispravan članak. Simulacija se pokreće i simulira se 5 radnih dana, a proizvodnja se odvija na 3 preše. Dobivene količine neispravnih dijelova po pogonu prikazane su u sljedećoj tablici (Tablica 7.):

**Tablica 7. Broj neispravnih dijelova prema simulaciji**

Pogon	Radno mjesto	Broj neispravnih članaka	Ukupno
<b>Ljevaonica</b>	Škart_S1	190	370
	Škart_trganje	180	
<b>Montaža</b>	Škart_bez_dorade	2788	3058
	Škart_kada	27x10=270	
<b>Lakirnica</b>	Škart_završna_kontrola	25	25

Iz prethodnih tablica (Tablica 6. i Tablica 7.) može se lako izračunati koliki je novčani gubitak nastao u 5 radnih dana zbog pojave neispravnih dijelova. Izračun ukupnog novčanog gubitka u 5 dana prikazan je u sljedećoj tablici (Tablica 8.):

**Tablica 8. Novčani gubitak**

Pogon	Ukupni broj članaka	Cijena članka [kn]	Novčani gubitak po pogonu [kn]
<b>Ljevaonica</b>	370	21,20	7 844
<b>Montaža</b>	3058	24,81	75 869
<b>Lakirnica</b>	25	42,48	1 062
<b>Ukupno</b>			84 775

Ako se pretpostavi da je količina proizvodnje cijele godine približno jednaka i ako se pretpostavi 280 radnih dana u godini, troškovi zbog pojave neispravnih dijelova iznose 4,75 milijuna kuna na godišnjoj razini. To je izuzetno puno i treba razmotriti moguće načine smanjenja tih troškova, a autor predlaže sljedeće:

- Ulaganje u bolje kalupe (alate), posebno tople dijelove
- Stroža kontrola odljevaka nakon lijevanja
- Brušenje prednje površine radijatora prije zavarivanja pločice



- Korištenje programa za simulaciju lijevanja
- Promjena kriterija za određivanje škarta.

Ulaganje u izradu boljih i kvalitetnijih kalupa moglo bi biti od velike koristi u smanjenju škarta, ali kako cijeli kalup ima cijenu od 750 000 kn, a topli dijelovi kalupa oko 300 000 kn, novi kalup bi morao znatno smanjiti količinu neispravnih dijelova kako bi bio isplativ. Također se javlja problem što su za svaki tip radijatora potrebna dva kalupa, pa tako bi trebalo kupiti bolje kalupe samo za one tipove radijatora koji se najviše proizvode. Prije same nabave trebalo bi detaljno provjeriti zbog čega se javlja greška kod lijevanja u starim kalupima i postoji li mogućnost namještanja određenih parametara lijevanja kako bi se ta greška izbjegla u budućnosti. Naravno, parametara o kojima ovisi sam proces tlačnog lijevanja ima izuzetno puno pa bi se taj dio posla trebao prepustiti stručnjacima iz tog područja. Uz stručno mišljenje, proces lijevanja bi se mogao pokušati poboljšati i simulacijom u određenom programu koji ima mogućnost simulacije tlačnog lijeva.

Još jedan prijedlog za smanjenje ukupnog škarta je da se nakon operacije lijevanja pojača kontrola odljevaka prije odlaska u montažu kako bi se izbjegle operacije zavarivanja i brušenja neispravnih članaka. Problem je u tome što se velik broj grešaka nedolivenosti otkrije tek nakon brušenja prednje površine članka radijatora. Rješenje toga moglo bi biti u zamjeni redosljeda operacija tako da zavarivanje nastupi nakon brušenja prednje površine kako bi se izbjeglo zavarivanje pločice na neispravan članak. To nije neka velika ušteda, ali gledano na broj članaka moglo bi se uštediti na desetke tisuća kuna godišnje.

Još jedan prijedlog za smanjivanje količine neispravnih proizvoda je i izmjena kriterija ispravnosti članka. Naime, tvornica Lipovica je sama sebi zadala vrlo visok kriterij kvalitete koji je teško ispuniti. Velika većina članaka su tehnički ispravni, odnosno ne propuštaju vodu. Valja napomenuti da je najvažniji test na propuštanje radijatora u ispitnoj kadi, a ostale kontrole su vizualne gdje se traži i najsitnija nesavršenost na površini. Većinu tih nesavršenosti nakon lakiranja kupci ne bi ni primijetili koliko su sitne i često se nalaze na stražnjoj strani članka koja je okrenuta prema zidu. Vrlo je pohvalno što se teži visokokvalitetnom proizvodu, ali u današnje vrijeme kupce privlači niža cijena proizvoda te ovaj trend svakako treba uzeti u obzir.

## 5.2. Nabava ultrazvučnog mjernog uređaja

Ulaskom u Europsku uniju Hrvatske kompanije morale su prihvatiti određene norme. Jedna od normi zahtjeva određenu debljinu stjenke unutar koje teče fluid pod određenim tlakom. Iz tog razloga Lipovica mora svakodnevno, dva puta po smjeni provoditi kontrolu debljine stjenke radijatora unutar koje teče zagrijana voda. Mjerenje stjenke provodi se na način da se nasumično uzme jedan odljevak nakon prešanja i razreže se na pola kako bi se pomičnim ravnalom izmjerila debljina stjenke. Mjereni odljevak je rezanjem po pola automatski uništen i smatra se škartom. Provjera stjenke se mora vršiti u svakoj smjeni na svakom stroju koji radi minimalno dva puta. Ukoliko dnevno radi tri stroja, u tri smjene, a svaki odljevak se sastoji od 2 članka, uz cijenu članka nakon lijevanja od 21,20 kn (Tablica 6.), dnevni novčani gubitak iznosi:

$$\text{Broj članaka} = 3 \text{ smjene} \times 3 \text{ stroja} \times 2 \text{ odljevka} \times 2 \frac{\text{članaka}}{\text{po odljevku}} = 36 \frac{\text{članaka}}{\text{po danu}}$$

$$\text{Dnevni novčani gubitak} = 36 \text{ članaka} \times 21,20 \text{ kn} = 763,20 \text{ kn}$$

Preporuka autora je nabavljanje uređaja za ultrazvučno mjerenje debljine stjenke PT-UTG-Std prikazanog na sljedećoj slici (Slika 31.) čije je mjerno područje od 1 mm do 125 mm. Cijena s PDV-om takvog uređaja s pripadajućom sondom iznosi 9 375 kn, što znači da bi se kupovina ovakvog uređaja isplatila već za 13 radnih dana.



**Slika 31. Mjerač debljine stjenke PT-UTG-Std [10]**

Ukoliko bi se javila potreba za kvalitetnijim, preciznijim i skupljim ultrazvučnim uređajem od prethodno navedenog, svakako bi ga valjalo nabaviti jer bi se investicija u svakom slučaju isplatila relativno brzo.

### **5.3. Rad u 2 smjene**

Jedna od prvih ideja za poboljšanjem uočena iz same simulacije proizvodnje bila je usklađivanje smjenskog rada u halama. Kako je ranije navedeno, svaki odjel radi u različitom broju smjena pa se zbog toga javljaju čekanja u međuskладиštima između odjela. Radom u dvije smjene smanjio bi se broj radnika potrebnih u ljevaonici, a također smanjili bi se i troškovi rada, točnije cijene sata rada koja je u trećoj smjeni 40% veća nego u prve dvije smjene. Smanjilo bi se i nepotrebno rukovanje materijalom, odnosno slaganje na paletu poslije prešanja, poslije kontrole i obrade, te poslije ispitne kade. Prednosti ovako zamišljene organizacije proizvodnje su sljedeće:

- Manje rukovanja s materijalom
- Tok članaka je konstantan
- Nema čekanja na obradu u međuskладиštu
- Nema potrebe za plinskim i ručnim viličarem

- Nepotreban nadzornik i alatničar u trećoj smjeni
- Nema naknade za noćni rad od 40%
- Potreban manji broj ljudi u ljevaonici
- Ne koriste se palete, nisu potrebna mjesta za odlaganje praznih paleta

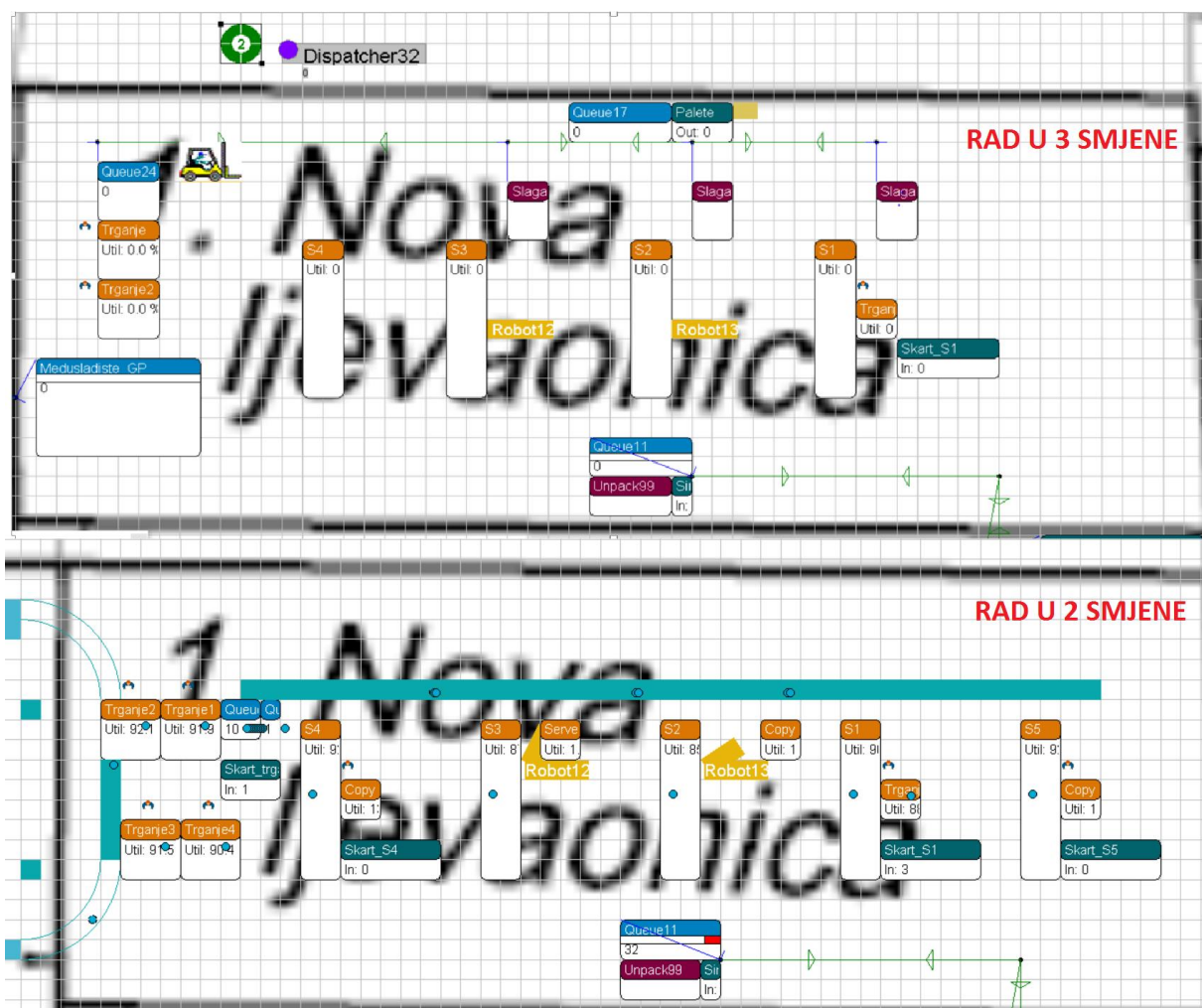
Rad u dvije smjene će se simulirati, a za to su potrebne neke preinake unutar same simulacije. Preinake koje je potrebno napraviti unutar ljevaonice za simulaciju iste dnevne količine proizvodnje su sljedeće:

- Uključivanje u rad četvrte preše (S4)
  - Kao što je to već spomenuto ranije, preša je postavljena i u funkciji je, ali zbog trenutno smanjene potražnje aluminijskih radijatora ne radi.
- Dodavanje još jedne dodatne preše (S5) i mjesta za odlaganje škarta
  - Dodavanje još jedne preše ne bi trebao biti veliki problem jer u hali za lijevanje postoji dovoljno mjesta za njeno postavljanje. Također, nova preša se ne bi morala kupiti nego u skladištu postoji nekoliko starijih preša raznih sila zatvaranja koje nisu u funkciji, ali bi nakon reparacije bile ispravne za rad. Pretpostavka je da bi ovu prešu posluživao radnik, pa on ima mogućnost vizualne kontrole odljevaka te je stoga predviđeno i mjesto za odlaganje neispravnih dijelova.
- Povećanje količine toka taline iz peći Botta
  - Potrebno je promijeniti interval kojim talina izlazi iz peći i dolazi do pomoćnih peći u svakoj preši. Taj interval dolaska je smanjen na 0,7 sati, odnosno 40 minuta za razliku od intervala od 60 minuta koji je bio predviđen u osnovnoj simulaciji stvarne proizvodnje.
- Brisanje svih prostora za slaganje na paletu
  - Brisanjem ovih prostora, odnosno fizičkim micanjem paleta na koje se slažu članci i transportnog puta viličara nastaje mjesto za postavljanje konvejera.
- Dodavanje konvejera
  - Ukupno bi bilo potrebno postaviti oko 60 metara konvejera koji bi spajao najudaljeniji stroj S5 i mjesto za trganje, a iz radnog mjesta za trganje članci se transportiraju uz pomoć dva konvejera do montažnih linija. Autor preporuča

postavljanje valjkastih konvejera zbog oblika obratka, ali može se koristiti i neki drugi prikladni oblik.

- **Brisanje/smanjenje međuskaladišnog prostora**
  - Budući da strojevi ne rade u trećoj smjeni nema potrebe za međuskaladišnim prostorom. Autor predlaže da se u stvarnosti ne ukloni cijeli međuskaladišni prostor nego da se samo smanji jer bi dodatan prostor mogao dobro doći u slučaju zastoja na nekoj od linija montaže.
- **Uskladiti rad strojeva u ljevaonici u dvije smjene**
  - Potrebno je uskladiti rad svih preša kako bi se ostvarila ista proizvodna količina kao u radu u tri smjene, ustanoviti brzinu konvejera, te na radnom mjestu trganje osigurati odvajanje članaka i daljnje usmjeravanje na montažnu liniju koja je predviđena za taj tip članka.
- **Dodavanje dva rada mjesta Trganje 3 i Trganje 4**
  - Snimanjem proizvodnje zaključeno je da je potrebno oko 30 sekundi (uz normalnu razdiobu sa srednjim odstupanjem od 5 sekundi) za naknadnu obradu srha i trganja viška dijelova po članku. Zbog povećanog protoka članaka zbog dodavanja dvije nove preše, na radnom mjestu trganje se pojavilo usko grlo, odnosno zagušenje proizvodnje i konstantno povećanje vremena čekanja na obradu. Iz tog razloga dodano je radno mjesto Trganje 3 koje je smanjilo vrijeme čekanja na obradu, ali i dalje se na tom mjestu konstantno stvarao red te je dodano radno mjesto Trganje 4. Valja napomenuti da je radno mjesto Trganje zapravo običan radni stol na kojem radnik dodatno obrađuje članke nakon lijevanja tako da uz svaki radni stol treba jedan radnik, ali dodatna ulaganja u obliku kupovine novog stroja za to radno mjesto ne postoje.

Nakon svih preinaka prikazana je usporedba 2D modela (Slika 32.) prije i poslije sa svim potrebnim atomima za rad u tri, odnosno dvije smjene.



Slika 32. Usporedba tlocrta nove ljevaonice

Uz sva navedena poboljšanja javljaju se i određeni problemi zbog ukidanja treće smjene i organizacije proizvodnje u samo prve dvije smjene. Neki od problema uočeni su detaljnom analizom simulacije, a neki su tehničke prirode. Uočeni problemi su sljedeći:

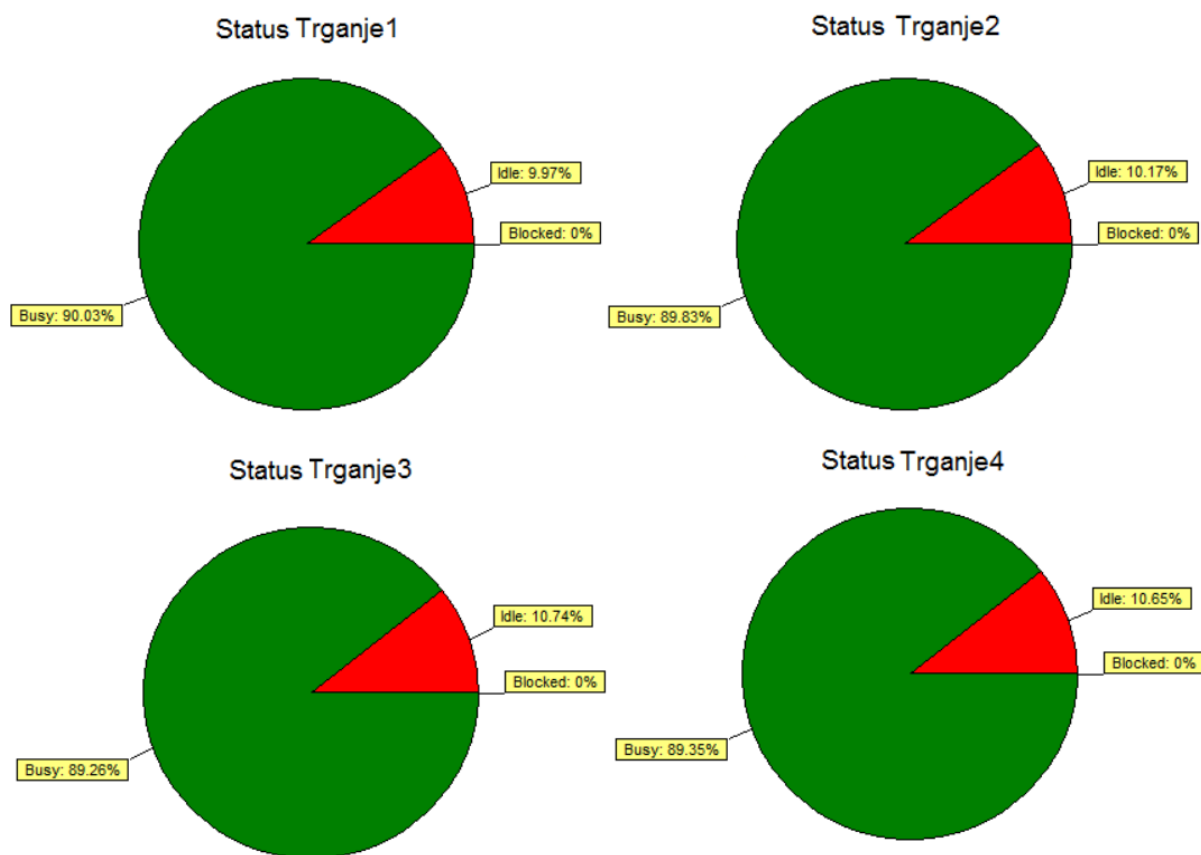
- Potrebna investicija u strojeve i konvejeve
  - Kako bi se osposobila dodatna preša koja je nekoliko godina provela u skladištu strojeva, potrebna je kompleta reparacija kako bi postala funkcionalna što iziskuje određenu novčanu investiciju. Uz prešu, potrebno je uložiti, odnosno kupiti preko 60 metara valjkastog konvejera i osposobiti ga za rad.
- Povećanje broja potrebnih radnika po smjeni
  - Iako je jedan od glavnih ciljeva rada u 2 smjene smanjenje ukupnog broja radnika u ljevaonici, povećao se njihov broj u smjeni zbog uvođenja tri nova radna mjesta – dodatna preša S5, Trganje3 i Trganje4. Ovim predloženim

poboljšanjem ukidaju se neka radna mjesta u trećoj smjeni, a to su alatničar, organizator smjene i nadzornik robota, a ostala radna mjesta se premještaju u prve dvije smjene u kojima je cijena sata rada povoljnija. To bi moglo rezultirati određenim nezadovoljstvom radnika.

- Kupovina novih kalupa
  - Svaki tip radijatora ima dva kalupa za lijevanje, a sad kada radi paralelno 5 preša potrebni su kalupi za tipove radijatora koji se najviše proizvode, a to su Orion 600L i Solar 600L. Cijena kalupa iznosi oko 750 000kn, a potrebno je nabaviti minimalno jedan za svaki od prije navedenih tipova radijatora.
- Smanjenje energetske učinkovitosti
  - Talinu je potrebno održavati na određenoj temperaturi kako se ne bi skrutila, pa se iz tog razloga peć Botta nikada ne gasi. Preporuča se da se pomoćne peći svakog stroja, u kojima je smještena određena količina taline, također ne gase ukoliko to nije potrebno. To znači da je u trećoj smjeni potrebno grijati 5 pomoćnih peći, a proizvodnja stoji, što nije bio slučaj prilikom rada u tri smjene.
- Specifičnost procesa lijevanja
  - Lijevanje je dosta specifičan proces koji zahtjeva točno određene temperature kako taline tako i kalupa. Prije početka lijevanja potrebno je zagrijavanje kalupa kako bi se izbjegla pojava neispravnih dijelova. Iz tog razloga prvih nekoliko odljevaka imalo bi visok postotak škarta dok kalup ne postigne optimalnu radnu temperaturu. Taj predproces zagrijavanja mogao bi se obaviti prije početka prve smjene ili čak pokušati automatizirati kako se ne bi skratilo efektivno radno vrijeme, odnosno odgodio početak rada u prvoj smjeni.

Nakon nabrojanih potrebnih preinaka, prednosti i nedostataka rada u dvije smjene, analizom simulacije vidljivo je da svaki dio, kako lijevaonice tako i ostatka tvornice funkcionira bez ikakvih zastoja ili dužih redova čekanja. Ipak, simulacija je rađena prema idealnom modelu i postoje određene opasnosti koje bi se mogle pojaviti u praksi koje bi mogle izazvati zastoje u proizvodnji odnosno pojavu uskog grla. Jedan od tih problema mogao bi se javiti na radnom mjestu trganja jer je iskoristivost ovih radnih mjesta vrlo visoka i iznosi oko 90% kao što je to vidljivo iz dijagrama (Slika 33.) koji su snimljeni prilikom simulacije prve dvije smjene. Teško

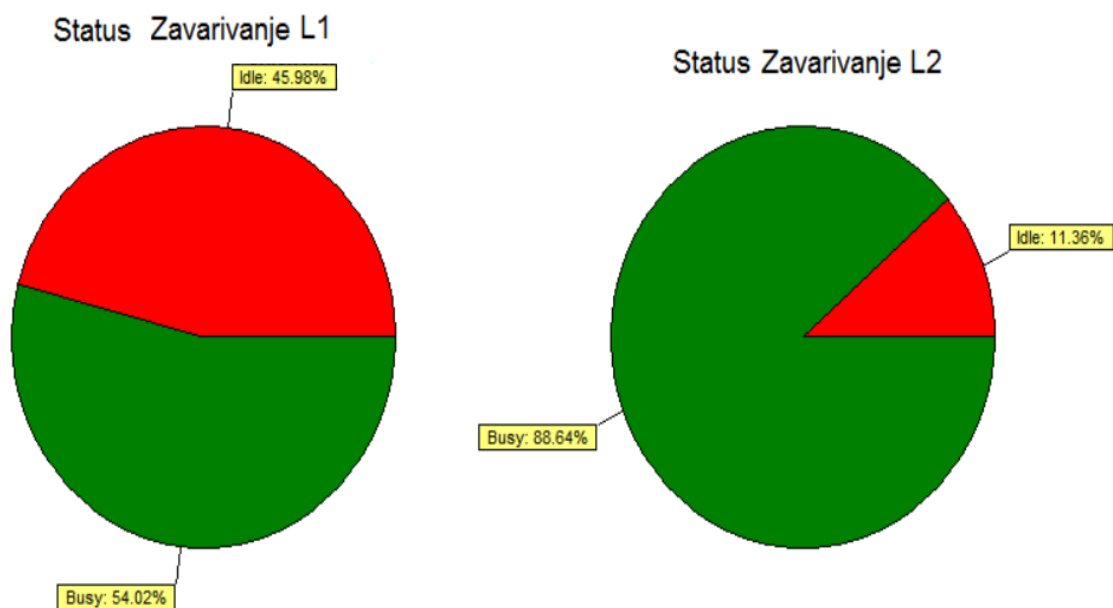
je, ali opet nije nemoguće očekivati od 4 čovjeka da rade konstantno ovako efikasno zbog toga jer je to teži fizički posao pa su potrebne povremene pauze za odmor i fiziološke potrebe. Prijedlog je da se osigura još jedan radni stol za dodatno radno mjesto Trganje5 koje bi radilo po potrebi, ukoliko bi došlo do zastoja i povećanja reda čekanja na obradu.



Slika 33. Iskoristivost radnih mjesta za trganje

Sličan problem javlja se i na linijama za montažu. Naime na jednoj liniji moguće je obrađivati samo jednu vrstu lijevanog radijatora istovremeno. Svaka izmjena tipa radijatora zahtijeva ponovno namještanje parametara zavarivanja, brušenja i spajanja te se tu javlja neizbježan gubitak vremena. Za potrebe simulacije pretpostavljeno je da će članci proizvedeni na prešama S2 i S3 biti poslani na daljnju obradu na montažnu liniju jedan. Članci sa ostalih preša slati će se na montažnu liniju dva. Iako u samoj simulaciji također ne dolazi do pojave zastoja, za očekivati je da će se u praksi pojaviti određeni problemi koji će uzrokovati gubitak vremena, kao što je to namještanje parametara montažne linije ili pojava kvara na nekom od strojeva. Iz tog razloga nije realno očekivati da će montažna linija dva imati efikasnost od 88,3% kao što je to prikazano na rezultatima prikupljenima nakon simulacije prve dvije smjene (Slika 34.).





**Slika 34. Iskoristivost montažnih linija L1 i L2**

Montažna linija jedan ima puno manju iskoristivost od 54% (Slika 34.) jer se na nju šalju članci sa samo dvije preše, ali zbog već spomenutog razloga ne može primati dio članaka sa nekog od preostala 3 stroja za prešanje. Iako se obujam proizvodnje, odnosno broj članaka koji prolazi kroz odjel montaže nije promijenio, promijenila se dinamika pristizanja članaka. Dinamika se promijenila zbog toga što više ne postoji međuskladišni prostor prije ulaska u montažu pa su zahtjevi na protok članaka po liniji veći i potrebno je osigurati nesmetan protok bez ikakvih zastoja ili kvarova stroja. To je teško očekivati zbog trenutnog stanja strojeva koji su dio linije zbog toga jer se proteklih nekoliko godina zbog raznih ušteda nije ulagalo u održavanje linija montaže. Olakotna okolnost je što je u zadnje vrijeme potražnja za lijevanim aluminijskim radiatorima u padu, pa je posljedica toga konstantno smanjenje obujma proizvodnje. Ukoliko bi se radilo s ovim obujmom proizvodnje koji je korišten u početnoj simulaciji, onda autor predlaže ulaganje u montažne linije kako bi se povećala pouzdanost strojeva te ubrzala izmjena parametara prilikom promjene tipa radiatora. Također preporuča da se međuskladišni prostor prije ulaska u pogon montaže ne ukloni u potpunosti nego da se samo smanji kako bi se privremeno mogla odložiti manja količina članaka uslijed zastoja neke od linija.

Organizacija rada u 2 smjene nema utjecaja na rad lakirnice jer lakirnica ima najveći kapacitet i najveći stupanj automatizacije. Za lakirnicu je najbitnije da se osigura dovoljan tok članaka koji se stavljaju na ovjesni konvejer da se on ne kreće poluprazan kroz strojeve smještene u pogonu. Iz tog razloga se ostavlja međuskladišni prostor prije ulaska u lakirnicu kako bi uslijed

nedovoljnog toka članaka sa montažnih linija prazna mjesta na konvejeru bila popunjena sa člancima iz međuskladišta.

#### 5.4. Povećanje stupnja automatizacije proizvodnih pogona

Autor predlaže povećanje stupnja automatizacije proizvodnog procesa. Lakirnica je gotovo u potpunosti automatizirana pa se ovaj prijedlog odnosi samo na pogon ljevaonice i montaže. Stupanj automatizacije ljevaonice mogao bi se povećati uvođenjem robotske ruke pored svake preše. Na taj način jedan čovjek može nadgledati nekoliko robota istovremeno, a dodatna prednost je da robot može trgati više dijelova uljevog sustava nego čovjek. Dodatni prijedlog je povećanje iskoristivosti robotske ruke na način da jedna ruka poslužuje dvije preše. U tom slučaju preša 1 i preša 3 bi se morale rotirati za  $180^\circ$  kako bi prvi robot mogao posluživati preše 1 i 2, a drugi robot preše 3 i 4. Ova automatizacija proizvodnje iziskivala bi puno programiranja robota u početku zbog više tipova radijatora, ali nakon početnog uhodavanja proizvodnje rezultati bi bili vidljivi i investicija bi se počela vraćati. Nedostatak je što robotske ruke ne mogu vršiti vizualnu kontrolu odljevaka pa bi trebalo uvesti dodatno radno mjesto trganja i kontrole. Postojeća robotska ruka prikladna za posluživanje preša i trganje dijelova uljevog sustava prikazana je na sljedećoj slici (Slika 35.).



Slika 35. Robotska ruka

Sljedeći prijedlog je povećanje stupnja automatizacije montažnih linija s automatiziranom ispitnom kadom. Dvije linije za montažu su automatizirane, ali završno testiranje na ispitnoj kadi još se uvijek radi ručno. Svaka linija ima svoju ispitnu kadu, a na svakoj ispitnoj kadi radi jedan radnik. Automatizacijom procesa ispitivanja baterija na propuštanje mogao bi se smanjiti broj potrebnih radnih mjesta, minimalno jedno, a maksimalno dva radna mjesta po smjeni, ovisno o tome bi li automatizirana kada mogla ispitivati članke samo s jedne montažne linije ili s obje. Cijena investicije je minimalna, budući da je automatizirana ispitna kada kupljena prije nekoliko godina, ali nikada nije osposobljena zbog raznih razloga. Naime, automatizirana ispitna kada ne radi na principu propuštanja zraka u vodi nego mjeri pad tlaka te se zbog toga pokazala nepouzdanom. Potrebno je samo napraviti određene preinake i osposobiti ju za rad kako bi bila pouzdanija u određivanju ispravnosti baterija. Automatizirana ispitna kada je kupljena prije nekoliko godina, smještena je u hali montaže i povezana je valjkastim konvejerom s linijom za montažu.

## 6. ZAKLJUČAK

Tvornica aluminijskih radijatora Lipovica d.o.o. već 40 godina proizvodi visokokvalitetne radijatore elegantnog dizajna. Konstantnim usavršavanjem razvijaju nove proizvode i modele, a uz aluminijske radijatore proizvode i odljevke u tlačnom i kokilnom lijevu. Proizvodnja radijatora se vrši na za to predviđenim strojevima i ne dolazi do miješanja radijatora s ostalim proizvodima.

Simulacija proizvodnje obuhvaća sve ljude, strojeve i opremu koja je važna za realan prikaz proizvodnog sustava, a izrađena je na uz pomoć simulacijske platforme Enterprise Dynamics 7. Simulacija omogućava analizu i vizualizaciju realnog sustava u 2D i 3D animaciji i donošenje određenih zaključaka o proizvodnji. Moguće je provjeriti iskoristivost bilo kojeg stroja, utjecaj varijabilnosti vremena obrade na performanse sustava, maksimalan kapacitet proizvodnje, analizirati vremena čekanja na obradu i otkriti uska grla u proizvodnji. Rezultati dobiveni simulacijom u trajanju 5 radnih dana i stvarni rezultati razlikuju se 5% što potvrđuje valjanost modela. Postizanje veće točnosti može se postići podešavanjem raznih parametara, ali nije potrebno budući da stvarni rezultati stalno variraju ovisno o potražnji gotovih proizvoda.

Velika prednost izrade simulacije je mogućnost izmjene tlocrta tvornice, dodavanje i uklanjanje radnih mjesta i strojeva te vrlo jednostavna izmjena parametara obrade i praćenje rezultata bez ikakvog ometanja rada realnog sustava. Kako je proizvodnja aluminijskih radijatora smještena u 3 pogona, a svaki pogon ima različito radno vrijeme, jedna od ideja mogućeg unaprjeđenja bila je usklađivanje rada u 2 smjene kako bi se osigurao konstantan protok i smanjilo čekanje proizvoda na obradu, pogotovo u međuskladištima. Iz tog razloga izrađena je modifikacija osnovne simulacije proizvodnje koja sadrži nekoliko novih strojeva, radnih mjesta i konvejera kako bi se osiguralo jednak obujam proizvodnje, ali brži protok obradaka kroz sustav. Rad u dvije smjene ima svoje prednosti i nedostatke, a simulacija je potvrdila da je ovakav način organizacije rada moguć uz određena ulaganja u strojeve s ciljem povećanja njihove pouzdanosti.

## 7. LITERATURA

- [1] <http://www.lipovica.hr/hr/o-nama/povijest.html>. (pristupljeno 3.5.2016.)
- [2] <http://www.lipovica.hr/hr/proizvodnja/opcenito-o-proizvodnji.html>. (pristupljeno 3.5.2016.)
- [3] <http://www.lipovica.hr/hr/o-nama/vizija-i-misija.html>. (pristupljeno 4.5.2016.)
- [4] <http://www.poslovniforum.hr/info/doo.asp>. (pristupljeno 22.5.2016.)
- [5] Kunica, Zoran. Predavanje iz kolegija Projektiranje proizvodnih sustava. 2015.
- [6] <http://www.incontrolsim.com/en/enterprise-dynamics/enterprise-dynamics.html>. (pristupljeno 25.5.2016.)
- [7] Janković, Marija. 2010. Primjena simulacija u proizvodnji. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.
- [8] Lisjak, Dragutin. Informatički sustavi. Podloge za predavanje. 2016.
- [9] [https://bib.irb.hr/datoteka/497130.Trokovi\\_kvalitete.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/497130.Trokovi_kvalitete.pdf). (pristupljeno 7.6.2016.)
- [10] <http://www.probus.hr/ispitivanje-materijala/debljina-stijenki/mjerac-debljine-stijenke-pt-utg-std-detalji.html>. (pristupljeno 18.6.2016.)

## **8. PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Simulacija trenutne proizvodnje
- III. 3D simulacija trenutne proizvodnje
- IV. Simulacija rada u dvije smjene