

# Analiza i unaprjeđenje proizvodnog procesa izrade komponenti za automobilsku industriju

---

**Radović, Ante**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:518333>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ante Radović**

Zagreb, 2021. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Hrvoje Cajner

Student:

Ante Radović

Zagreb, 2021. godina.

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

*Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr.sc. Hrvoju Cajneru na stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade diplomskog rada.*

Ante Radović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-04/21-6/1
Ur. broj: 15-1703-21	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: ANTE RADOVIĆ Mat. br.: 0035201065

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza i unaprjeđenje proizvodnog procesa izrade komponenti za automobilsku industriju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis and improvement of production process of automotive parts**

Opis zadatka:

Kontinuirano unaprjeđenje procesa temelj je održanju zadovoljavajuće razine kako kvalitete tako i ostalih ključnih pokazatelja. Za potrebe aplikacije metoda kontinuiranog unaprjeđenja u sami proces potrebno je snimiti postojeće stanje i odrediti prikladnu metriku. Na dijelu proizvodnog sustava odabranog poduzeća potrebno je dati prijedlog implementacije jedne od metoda kontinuiranog unaprjeđenja u svrhu smanjenja ciklusa proizvodnje, povećanja produktivnosti te maksimizacije potencijala dostupnih resursa.

Detalnije je potrebno:

1. Snimiti proces korištenjem funkcijsko vremenske mape ili mape toka vrijednosti.
2. Odabrati metriku i izuzeti relevantne podatke.
3. Analizirati komponente procesa korištenjem metoda statističke analize.
4. Modelirati proces te simulacijom pokazati kritične točke u procesu.
5. Dati prijedloge unaprjeđenja procesa, a efekte poboljšanja eksplicitno izraziti.

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

Zadatak zadan:  
6. svibnja 2021.

Rok predaje rada:  
8. srpnja 2021.

Predviđeni datum obrane:  
12. srpnja do 16. srpnja 2021.

Zadatak zadao:  
prof. dr. sc. Hrvoje Cajner

Predsjednica Povjerenstva:  
prof. dr. sc. Biserka Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
POPIS KRATICA .....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD.....	1
2. OPIS TEHNOLOŠKOG POSTUPKA .....	2
2.1. Injekcijsko prešanje.....	2
2.2. Sustav za injekcijsko prešanje.....	2
2.3. Struktura vremena u ciklusu injekcijskog prešanja.....	3
3. ANALIZA TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE KUTIJE PRETINCA .....	5
3.1. Proces izrade kutije pretinca .....	5
3.1.1. Montaža sklopa kutije pretinca i poklopca .....	9
3.2. Funkcijsko vremenska mapa procesa.....	11
3.3. Analiza varijabilnih operacija proizvodnog procesa.....	12
3.3.1. Analiza vremena aktivnosti kontrole i predmontaže otpreska .....	12
3.3.2. Analiza vremena aktivnosti montaže dodatnih dijelova .....	14
3.3.3. Analiza vremena aktivnosti spajanja kutije s poklopcem .....	15
3.3.4. Analiza vremena aktivnosti kontrole gotovog proizvoda .....	17
3.4. Analiza ciklusa injekcijskog prešanja kutije pretinca .....	18
3.4.1. Vrijeme hlađenja proizvoda .....	18
3.4.1.1. Skraćivanje vremena hlađenja .....	19
4. SIMULACIJA PROIZVODNOG PROCESA.....	25
4.1. AnyLogic softverski alat .....	26
4.2. Simulacija proizvodnog procesa nastajanja kutije pretinca .....	26
5. PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA PROCESA.....	31
5.1. COPQ (eng. <i>cost of poor quality</i> )- Trošak loše kvalitete.....	32
5.2. Eksperimentalna optimizacija (Planiranje i analiza pokusa DOE) .....	35
5.2.1. Faktorski plan pokusa .....	36
6. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	41

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz injekcijskog prešanja [2] .....	2
Slika 2.	Sustav za injekcijsko prešanje [2] .....	3
Slika 3.	Shematski prikaz vremena jednog ciklusa [3].....	4
Slika 4.	Kutija pretinca automobila .....	5
Slika 5.	Materijal MG160AI.....	6
Slika 6.	Linija za injekcijsko prešanje [5] .....	6
Slika 7.	Pojednostavljeni layout dijela proizvodnog pogona .....	7
Slika 8.	Vađenje otpreska iz kalupa.....	7
Slika 9.	Dopremanje otpreska do radnog mjesta .....	8
Slika 10.	Kontrola i predmontaža otpreska .....	8
Slika 11.	Montaža dodatnih dijelova na poklopac kutije pretinca.....	9
Slika 12.	Zavarivanje (spajanje) poklopca .....	9
Slika 13.	Montaža poklopca na kutiju pretinca .....	10
Slika 14.	Kontrola gotovog proizvoda.....	10
Slika 15.	Funkcijsko vremenska mapa .....	11
Slika 16.	Gantogram procesa za 1 komad .....	12
Slika 17.	Grafički prikaz analize podataka .....	14
Slika 18.	Grafički prikaz analize podataka .....	15
Slika 19.	Grafički prikaz analize podataka .....	16
Slika 20.	Grafički prikaz analize podataka .....	18
Slika 21.	Preliminarna provjera zazora između kutije i poklopca.....	19
Slika 22.	Prilagodba normalne raspodjele za uzorak ohlađivanja 19 s .....	23
Slika 23.	Histogram normalna raspodjela.....	23
Slika 24.	Sučelje AnyLogic simulacijskog paketa .....	26
Slika 25.	Oblikovanje bloka izvora .....	27
Slika 26.	Oblikovanje bloka Delay .....	27
Slika 27.	Histogram operacije spajanja .....	28
Slika 28.	Prikaz definiranja završetka simulacijskog modela .....	28
Slika 29.	Simulacijski model procesa.....	29
Slika 30.	Rezultati simulacije proizvodnog procesa.....	30
Slika 31.	Prikaz dostupnog vremena tijekom operacije predmontaže i kontrole .....	30
Slika 32.	Poklopac kutije pretinca .....	31
Slika 33.	Provjera zazora etalomom .....	32
Slika 34.	Postotak nesukladnih proizvoda prema normalnoj raspodjeli (za vrijeme hlađenja 19 s).....	33
Slika 35.	Izračun troška loše kvalitete pri vremenu ohlađivanja od 19 s .....	34
Slika 36.	Trošak loše kvalitete pri vremenu ohlađivanja od 15 s .....	34
Slika 37.	Usporedba troška loše kvalitete(COPQ) .....	35
Slika 38.	Opći model procesa za primjenu metode planova pokusa .....	36
Slika 39.	Model faktorskog plana pokusa[12].....	37
Slika 40.	Izvođenje slučajnog redoslijeda varijabli .....	37

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Kontrola i predmontaža otpreska .....	13
Tablica 2. Montaža dodatnih dijelova .....	14
Tablica 3. Spajanje kutije s poklopcem .....	15
Tablica 4. Kontrola gotovog proizvoda.....	17
Tablica 5. Veličina zazora između kutije i poklopca (15 s) .....	20
Tablica 6. Veličina zazora između kutije i poklopca (24 s) .....	20
Tablica 7. Veličina zazora između kutije i poklopca (19 s) .....	21
Tablica 8. Vrijednosti ulaznih parametara faktorskog plana pokusa .....	36



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis oznake</b>
$A_i$	s	Vrijednost faktora A – vrijeme hlađenja
$B_j$	bar	Vrijednost faktora B – naknadni tlak
$C_k$	°C	Vrijednost faktora C – temperatura kalupne šupljine
$t_h$	s	Vrijeme hlađenja
$\bar{x}$		Aritmetička sredina
$y$		Varijabla odziva
$\hat{y}$		Vrijednost odziva po regresijskom modelu
$\alpha_3$		Koeficijent asimetrije
$\alpha'_4$		Koeficijent spljoštenosti
$\beta_0$		Slobodni član - koeficijent u regresijskom modelu
$\beta_k$		Koeficijent u regresijskom modelu uz linearni član
$\beta_{k-1,k}$		Koeficijent u regresijskom modelu uz interakcijski član
$\beta_{k,k}$		Koeficijent u regresijskom modelu uz kvadratni član
$\sigma$		Standardna devijacija

## POPIS KRATICA

<b>Kratica</b>	<b>Opis</b>
COPQ	<i>Cost of poor quality</i> – Trošak loše kvalitete
DOE	<i>Design of experiments</i> – Planiranje i analiza pokusa
NVAT	<i>Non value added time</i> – vrijeme koje je nužno, ali ne dodaje vrijednost proizvodu
VAT	<i>Value added time</i> – vrijeme koje dodaje vrijednost proizvodu
WT	<i>Waste time</i> – gubitak vremena

## **SAŽETAK**

Tema ovog diplomskog rada je analiza i unaprjeđenje proizvodnog procesa izrade kutije pretinca u poduzeću za proizvodnju automobilskih komponenti. Kutija pretinca koja se ugrađuje u unutrašnjost automobila nastaje cikličkim postupkom injekcijskog prešanja. S obzirom na zahtjeve za povećanjem kvalitete komponenti proizvoda potrebno je razmotriti moguća rješenja. Kontinuirano unaprjeđenje temelj je održanju zadovoljavajuće razine kako kvalitete tako i ostalih ključnih pokazatelja poput smanjenja ciklusa proizvodnje i povećanja produktivnosti. U početnom dijelu rada pobliže je opisan proces injekcijskog prešanja te prikazano postojeće stanje odabranog procesa proizvodnje kutije pretinca. Nadalje, provedena je analiza proizvodnog procesa te je izrađen simulacijski model pomoću kojeg su prepoznate kritične točke procesa. U završnom dijelu predložena su rješenja koja su pripremljena za implementaciju. Moguće unaprjeđenje je kvantitativno izraženo te se očituje u smanjenju ciklusa proizvodnje, povećanju produktivnosti te eliminaciji troškova loše kvalitete i vremena koje ne dodaje vrijednost proizvodu.

Ključne riječi: proizvodni proces, vrijeme hlađenja, COPQ, kutija pretinca, simulacijski model

## **SUMMARY**

The subject of this paper is the analysis and improvement of the production process of making a glove box in a company for the production of automotive components. The glove box that is installed inside the car is created by a cyclic injection molding process. Given the requirements for increasing the quality components of the product, it is necessary to consider possible solutions. Continuous improvement of the foundation maintains satisfactory levels of quality and other key indicators such as reducing the production cycle and increasing productivity. In the initial part of the paper, the process of injection molding is described in more detail, and the current state of the selected glove box production process is shown. Furthermore, an analysis of the production process was performed and a simulation model was developed by which the critical points of the process were identified. In the final part, solutions are proposed that are prepared for implementation. Possible improvement is quantitatively expressed and is reflected in the reduction of the production cycle, increase in productivity and elimination of costs of poor quality and time that does not add value to production.

Key words: production process, cooling time, COPQ, glove box, simulation model

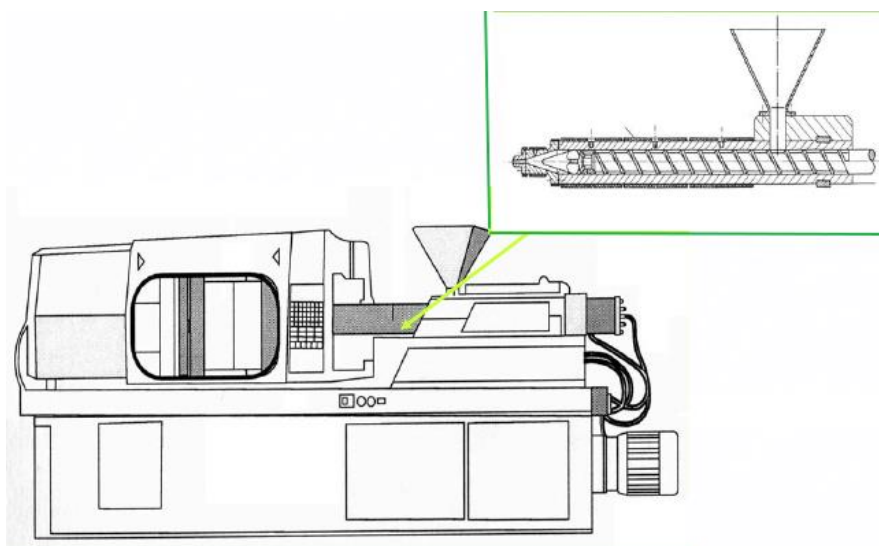
## **1. UVOD**

Kontinuirano unaprjeđenje procesa temelj je održanju zadovoljavajuće razine kako kvalitete tako i ostalih ključnih pokazatelja. Svaki proizvodni proces razlikuje se na svoj način, stoga nije moguće svaki proces unaprijediti odnosno optimirati na isti način. Proces je potrebno snimiti, analizirati, a potom dati prijedlog implementacije jedne ili više metoda unaprjeđenja. Nakon aplikacije prijedloga unaprjeđenja procesa, efekte poboljšanja treba eksplicitno izraziti kako bi se vidjeli rezultati poboljšanja. Rezultati se očitavaju u obliku smanjenja ciklusa proizvodnje, povećanja produktivnosti te maksimizacije potencijala dostupnih resursa. U današnjem svijetu neprestanog napretka i razvoja tehnologije potrebno je držati korak kako bi se opstalo na tržištu. Potrebno je konstantno pratiti proizvodni proces i malim koracima usavršavati ga. S ciljem praćenja trendova razvoja tehnologija i materijala neophodno je stvarati inovativna rješenja. Stalnim unaprjeđenjima procesa i kvalitete proizvoda pridonosi se smanjenju gubitaka odnosno povećanju prihoda koji su osnova za daljnji razvoj i investicije. Prilikom snimanja proizvodnog procesa na kojem se planira izvršiti implementacija unaprjeđenja koriste se statistički alati i alati za provedbu računalnih simulacija kako bi se uz niske troškove došlo do relevantnih podataka. Korištenjem simulacija može se predvidjeti kako će se proces ponašati u zadanim uvjetima, a isto tako može se ispitati ponašanje procesa u nekim uvjetima koji odstupaju od normalnih, a sve to bez većih ulaganja.

## 2. OPIS TEHNOLOŠKOG POSTUPKA

### 2.1. Injekcijsko prešanje

Injekcijsko prešanje je ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu.[1] Ovim cikličkim postupkom moguće je preraditi gotovo sve polimere (plastomere, duromere, elastomere). Injekcijsko prešanje je visokoautomatizirani postupak što je ujedno i njegova najveća prednost jer naknadna obrada otpreska (proizvoda) uglavnom nije potrebna. Druga velika prednost ovog cikličkog postupka je ta da se njegovom primjenom može izraditi široki raspon proizvoda; od onih najjednostavnijih od nekoliko grama pa sve do složenih proizvoda od nekoliko kilograma.



Slika 1. Prikaz injekcijskog prešanja [2]

### 2.2. Sustav za injekcijsko prešanje

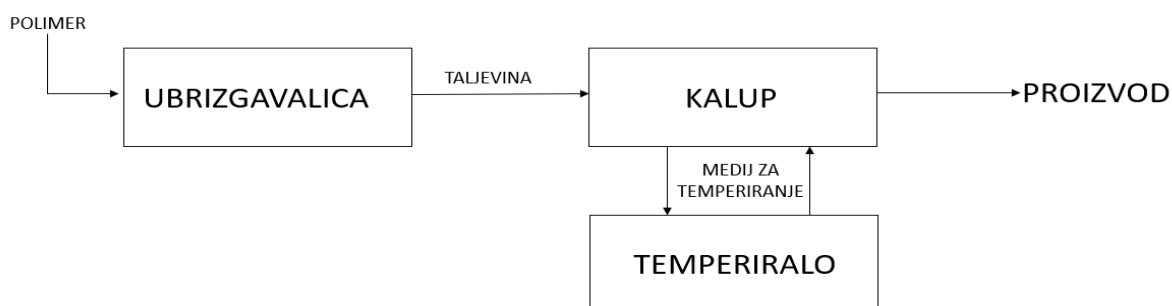
Sustav za injekcijsko prešanje se sastoji od ubrizgavalice (stroj za injekcijsko prešanje), kalupa, te temperirala kalupa.[1] Ubrizgavalice se koriste za nastanak raznolikog asortimana proizvoda dobivenog od različitih sintetičkih materijala. Proizvodi se mogu razlikovati po boji, obliku te dimenziji. Postupak prerade započinje zagrijavanjem materijala koji se dovodi do plastičnog stanja koji se potom pod tlakom ubrizgava u kalup iz kojeg se nakon faze hlađenja vadi gotov proizvod. Prema[1], ubrizgavalica kao element sustava za injekcijsko prešanje mora ostvariti sljedeće funkcije:

- priprema taljevine za ubrizgavanje
- ubrizgavanje taljevine u kalup
- otvaranje i zatvaranje kalupa
- vađenje otpreska.

Unutar kalupa potrebno je osigurati odgovarajući toplinski režim kako bi se proces mogao neometano obavljati. U tu svrhu se koriste temperirala pomoću kojih se postiže odgovarajuća temperatura kalupa. U praksi se razlikuju dva načina temperiranja:

- temperiranje na temelju temperature medija za temperiranje
- temperiranje na temelju temperature stijenke kalupne šupljine.[3]

Kalup je jedini element sustava za injekcijsko prešanje kojeg se može smatrati konstantnim jer svaki proizvod ima svoj kalup pa se tako unutar sustava kalupi mogu mijenjati kako bi se dobili različiti proizvodi.[1] Osim nabrojanih elemenata sustava injekcijskog prešanja, svakako treba spomenuti i dodatnu opremu (roboti, manipulatori) koja pospješuje djelotvornost procesa i čini ga visokoautomatiziranim.



**Slika 2. Sustav za injekcijsko prešanje [2]**

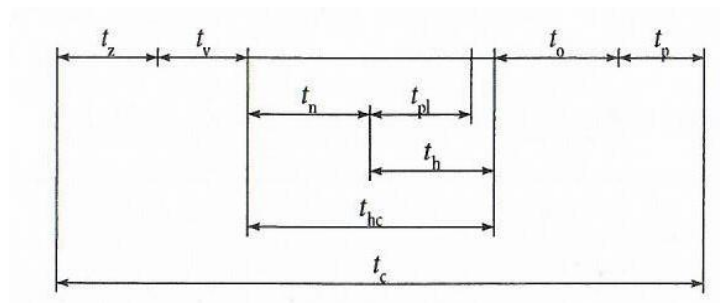
### 2.3. Struktura vremena u ciklusu injekcijskog prešanja

Svaki proces prerade polimera unutar sustava za injekcijsko prešanje ima svoje vrijeme ciklusa. Vrijeme ciklusa je zbroj svih radnih vremena djelovanja pojedinih funkcija ubrizgavalice, koja se redom slijede u jednom radnu taktu ubrizgavalice.[3] Unutar ukupnog vremena ciklusa nalazi se veći broj zadataka koji se obavljaju tijekom vremena. Pojedina vremena tih zadataka se preklapaju jer se pojedini procesi mogu obavljati u isto vrijeme neovisno jedno od drugih. Prema[3], mogu se razlikovati sljedeća vremena:

- $t_z$  – vrijeme zatvaranja kalupa

- $t_v$  – vrijeme ubrizgavanja
- $t_n$  – vrijeme djelovanja naknadnog tlaka
- $t_{pl}$  – vrijeme plastificiranja
- $t_h$  – vrijeme hlađenja
- $t_{hc}$  – ukupno vrijeme hlađenja
- $t_o$  – vrijeme otvaranja kalupa
- $t_p$  – vrijeme mirovanja
- $t_c$  – vrijeme ciklusa.

Vrijeme ciklusa se može smatrati glavnim pokazateljem učinkovitosti i produktivnosti djelovanja ubrizgavalice. Ima veliki utjecaj na vrijeme zadržavanja taljevine u cilindru, a ono na konačnu kvalitetu proizvoda te produktivnost cjelokupnog procesa proizvodnje.



Slika 3. Shematski prikaz vremena jednog ciklusa [3]



### 3. ANALIZA TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE KUTIJE PRETINCA

Veliki dio industrije prerade polimera posebice injekcijskog prešanja otpada na automobilsku industriju. Točnije u velikoj mjeri zastupljena je proizvodnja komponenti eksterijera te interijera automobila. Upravo u ovom diplomskom radu bit će riječ o proizvodnom procesu pomoću kojeg nastaje kutija pretinca automobila. Kutija pretinca automobila smještena je ispred suvozača te služi za odlaganje raznih sitnih predmeta koje mogu zatrebati vozaču ili suvozačima tijekom vožnje.



**Slika 4. Kutija pretinca automobila**

Kutija pretinca izrađuje se postupkom injekcijskog prešanja koji se odvija u nekoliko koraka. Uz samo injekcijsko prešanje potrebno je provesti zadatke pripreme te potrebne montaže dodatnih dijelova nakon završetka postupka prešanja. Kutija pretinca se izrađuje na jednom stroju dok se na drugom stroju izrađuje pripadajući poklopac kutije pretinca. U ovom radu posebno će obraditi cjelokupan proces izrade kutije pretinca od samog nastanka do završnih montaža gotovog proizvoda.

#### 3.1. Proces izrade kutije pretinca

Gledajući širu sliku, proces izrade kutije pretinca automobila započinje narudžbom kupca. Znajući traženi broj komada koje treba izraditi potrebno je pripremiti sirovinu. Kutija pretinca automobila se izrađuje od polipropilena MG160AI. Ovaj materijal je 10% mineralno

napunjeni polipropilenski spoj visoke kristalnosti namijenjen za injekcijsko prešanje.[4] MG160AI ima izvrsnu ravnotežu između udarne čvrstoće i krutosti materijala. Ovaj materijal je razvijen za potrebe automobilske industrije točnije za izradu dijelova interijera automobila poput kutije pretinca.



**Slika 5. Materijal MG160AI**

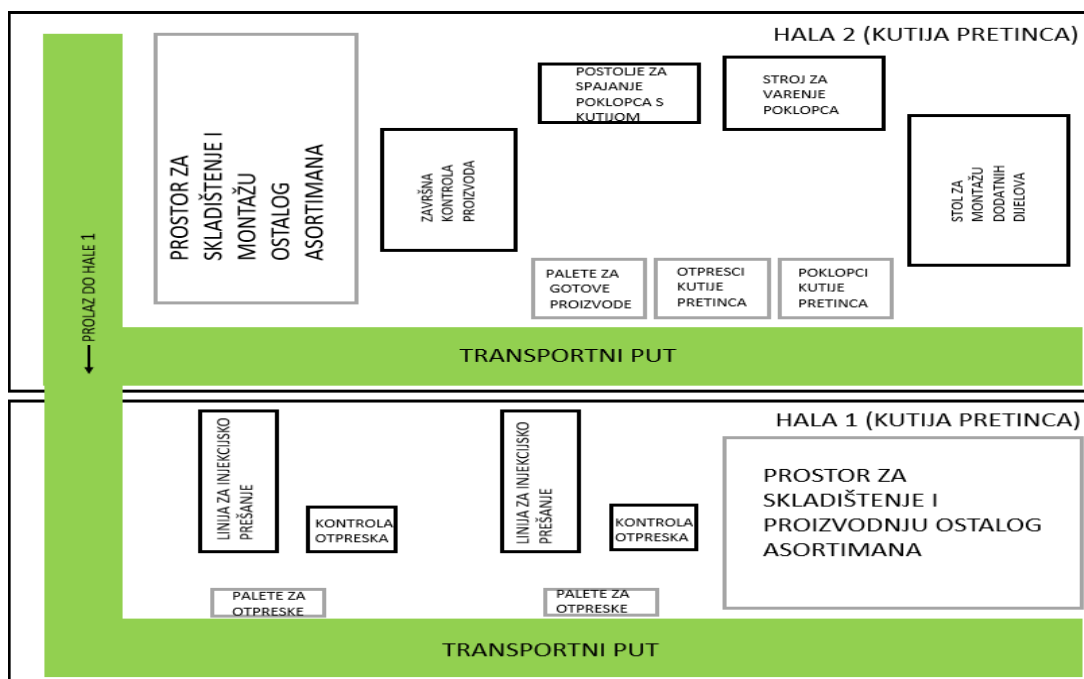
Nakon pripreme materijala ubrizgavalica se pušta u rad. Počinje se od pripreme alata (kalupa) za odgovarajući proizvod koji je u ovom slučaju kutija pretinca automobila. Kalup se smješta unutar stroja te se potom stroja šalje na tzv. upućivanje tijekom kojeg se stroj zagrijava do radne temperature pri kojoj funkcionira bez poteškoća. Ukoliko stroj nije postigao propisanu temperaturu dolazi do problema sa neispunjavanjem kalupa, oštećenjima na otprescima te u konačnici do nastanka škarta.



**Slika 6. Linija za injekcijsko prešanje [5]**

Unutar sustava za injekcijsko prešanje odvija se ciklički postupak obrade materijala iz kojeg nastaje kutija pretinca. Proizvodnja i montaža odvijaju se u dvije hale, u prvoj hali postupkom

injekcijskog prešanja nastaje otpresak kutije pretinca dok se u drugoj hali odvijaju operacije montaže.



**Slika 7. Pojednostavljeni layout dijela proizvodnog pogona**

Proces nastajanja kutije pretinca (otpreska) započinje ubrizgavanjem materijala potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljina. Tvorevina, otpresak, nastaje polireakcijom i/ili umrežavanjem, geliranje i/ili hlađenjem podobnom za vađenje iz kalupne šupljine.[1] Nakon završenog jednog ciklusa u trajanju od 57 sekundi, robot iz kalupne šupljine vadi odbrizgani proizvod te ga polaže na traku za transport.



**Slika 8. Vadenje otpreska iz kalupa**

Robot spušta proizvod na transportnu traku te ga traka doprema do radnog mjesta radnika na kojem se vrši kontrola izgleda proizvoda i predviđene montaže dodatnih dijelova.



**Slika 9. Dopremanje otpreska do radnog mjesta**

Nakon što je proizvod stigao do radnog mjesta, radnik ga izuzima i polaže u za to predviđeno gnijezdo u kojem se kontrolira i vrši predmontaža. Potrebno je prekontrolirati izgled proizvoda na način da se potvrdi da je bez deformacija, bez bubrenja, bez uvlačenja, bez prelijevanja te bez fleka. Ukoliko zadovoljava sve navedene zahtjeve postavljaju se metalni potporni klipovi (6 komada), gumeni odbojnik (2 komada) te naljepnica radnika koji je vršio provjeru i montažu.



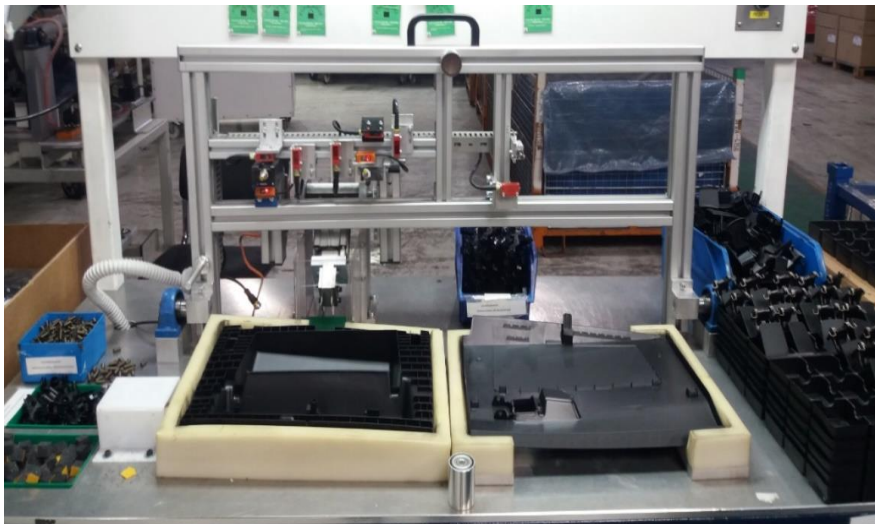
**Slika 10. Kontrola i predmontaža otpreska**

Nakon završene montaže proizvod se pakira u palete, po paleti ide 30 proizvoda. Palete se potom premještaju u drugu halu u kojoj se vrši završna montaža i kontrola konačnog proizvoda.



### 3.1.1. Montaža sklopa kutije pretinca i poklopca

Kada se palete pomoću viličara dopreme u drugu halu započinje montaža sklopa kutije pretinca s pripadajućim poklopcem. Za tu operaciju organizirana je jedna radna jedinica koja se sastoji od 4 faze kroz koje prolaze proizvodi prije nego što postanu gotovi sklop. Unutar ove radne jedinice rade 2 radnika. U prvoj fazi vrši se montaža dodatnih dijelova na poklopac kutije pretinca kako bi se omogućilo njihovo spajanje (zavarivanje).



**Slika 11. Montaža dodatnih dijelova na poklopac kutije pretinca**

Druga faza započinje nakon montaže dodatnih dijelova poklopca u kojoj radnik poklopac zajedno sa njegovim nosačem postavlja u sljedeći stroj (vibracijsku varilicu) u kojem se vrši spajanje ta dva dijela u jedan kompaktni.



**Slika 12. Zavarivanje (spajanje) poklopca**

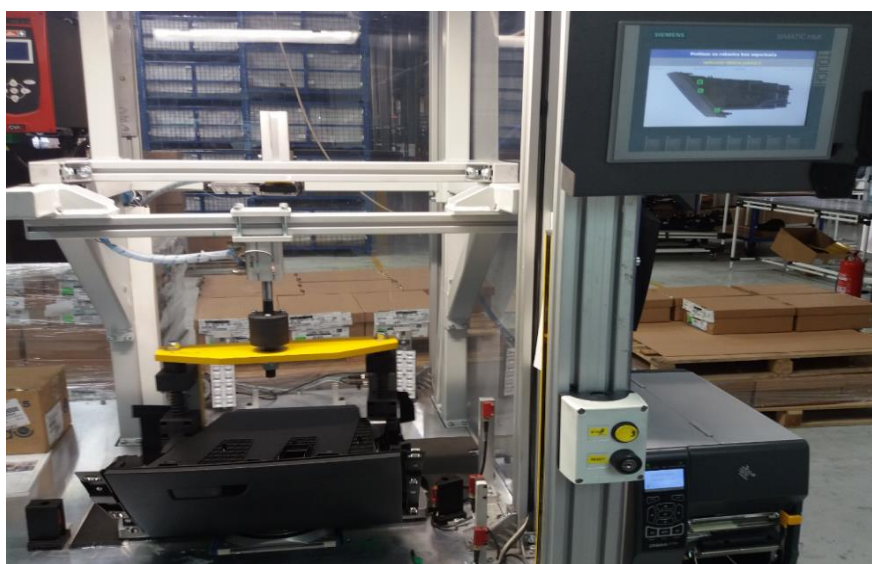
Dok traje operacija spajanja drugi radnik izuzima jednu kutiju pretinca sa palete te je postavlja u gnijezdo kako bi se izvršila montaža dodatnih dijelova koji omogućavaju spajanje

sklopa. U tom gnijezdu, osim montaže dodatnih dijelova vrši se i spajanje gotovog poklopca sa samom kutijom pretinca.



**Slika 13. Montaža poklopca na kutiju pretinca**

Sljedeća ujedno i posljednja faza ove radne jedinice je provjera cjelokupnog procesa proizvodnje kutije pretinca. Gotovi proizvod se postavlja u stroj u kojem se vrši snimanje i kontrola proizvoda. Stroj je opremljen kamerama i sensorima koje snimaju proizvod te na taj način provjerava njegovu ispravnost. Ukoliko je došlo do neke pogreške prilikom izrade kutije pretinca, stroj to prepozna te javi radniku o kojem dijelu je riječ, te što se treba popraviti.



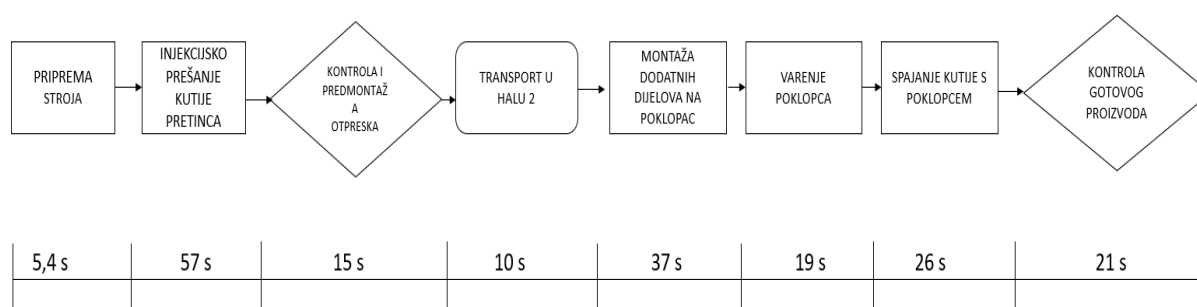
**Slika 14. Kontrola gotovog proizvoda**

Ukoliko se na ekranu ne pojave nikakva upozorenja za grešku već samo zelena kvačica da je proizvod ispravan, radnik lijepi naljepnicu s podacima te pakira gotovi komad u za to

predviđenu paletu. Snimanjem trenutnog stanja proizvoda dolazi do potpune provjere ispravnosti proizvoda.

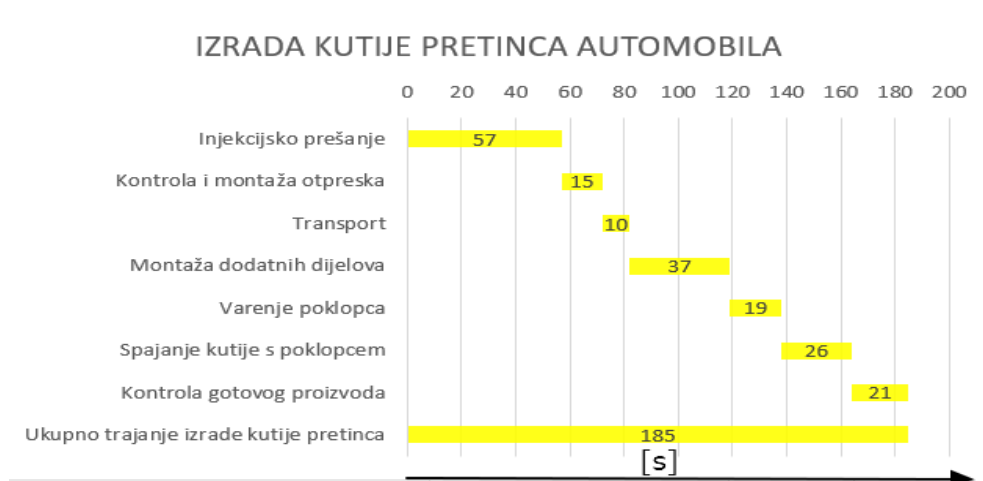
### 3.2. Funkcijsko vremenska mapa procesa

Kako bi se najbolje opisao cjelokupan proces izrade koristit će se funkcijsko vremenska mapa. Funkcijsko vremenska mapa olakšava opisivanje i shvaćanje procesa. Na taj način najlakše je povezati sve operacije koje sadrži jedan proizvodni proces sa pripadajućim vremenima potrebnim za izvršavanje istih. Pri svakom unaprjeđenju procesa potrebno je snimiti postojeće stanje kako bi se mogli odabrati odgovarajući alati i metode koje će se koristiti pri unaprjeđenju. Korištenjem grafičkih prikaza međuovisnosti i trajanja pojedinih operacija dolazi se do saznanja o operacijama koje su kritične odnosno kojima su potrebna poboljšanja kako bi se prije svega smanjilo trajanje proizvodnog procesa, isto tako povećala produktivnost te u konačnici došlo do maksimizacije profita. Potrebno je izraditi funkcijsko vremensku mapu iz koje se dobije najbolji uvid u proces i potencijalne kritične točke koje je moguće zaobići nekim od alata ili metodologija.



**Slika 15. Funkcijsko vremenska mapa**

Gledajući prethodni graf (Slika 15.) vidljivo je da najviše vremena otpada na pripremu stroja, međutim ta operacija u analizi procesa može se zanemariti jer je ona uvijek fiksna i potrebno je odraditi sve pripreme kako bi proizvodni proces teкао neometano. U svrhu analize procesa zbog potencijalnog poboljšanja potrebno je izraditi gantogram koji grafički u ovisnosti o vremenu prikazuje raspored operacija proizvodnog procesa. Iz grafa je vidljivo da ukupno trajanje izrade kutije pretinca iznosi 185 sekundi. Isto tako može se zaključiti da najveći dio vremena izrade otpada na injekcijsko prešanje kalupa na ubrizgavalici. Upravo ta operacija injekcijskog prešanja bit će predmet analize ovog diplomskog rada jer je ona prepoznata kao kritična te zahtijeva optimizaciju.



**Slika 16. Gantogram procesa za 1 komad**

Nakon uvida u trajanje cjelokupnog procesa i prepoznavanja kritičnih točki potrebno je raščlaniti proces na zasebne operacije te provesti statističku analizu. Statistička analiza procesa služi kako bi se utvrdile činjenice, zakonitosti te uočili možebitni trendovi u procesu. Do činjenica se dolazi prikupljanjem, obradom i analizom podataka ili opažanja.[6] Kao što je već rečeno prije donošenja odluka potrebno je statistički obraditi te grafički prikazati podatke procesa.

S obzirom da je riječ o složenom procesu, strojne obrade materijala smatrat će se kao fiksne varijable dok će operacije montaže i kontrole biti promjenjive. Kako te operacije izvodi čovjek moguća su odstupanja, stoga je potrebno utvrditi koji su osnovni statistički parametri tih operacija.

### 3.3. Analiza varijabilnih operacija proizvodnog procesa

S obzirom da operacije kontrole i montaže izvodi čovjek, moguća su odstupanja u trajanju istih. Iz tog razloga provedeno je mjerenje vremena potrebnog za izvršavanje pojedine operacije te je izvršena statistička analiza podataka.

#### 3.3.1. Analiza vremena aktivnosti kontrole i predmontaže otpreska

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati mjerenja vremena potrebnih za kontrolu otpreska te montažu dodatnih dijelova nakon injekcijskog prešanja. Za potrebe analize provedeno je 20 mjerenja.



**Tablica 1. Kontrola i predmontaža otpreska**

Kontrola i montaža otpreska [s]			
Broj mjerenja $n$	Vrijednost $x, s$	Broj mjerenja $n$	Vrijednost $x, s$
1.	14,2	11.	14,2
2.	16,3	12.	14,5
3.	14,9	13.	14,9
4.	17,8	14.	17,2
5.	16,8	15.	15,3
6.	14	16.	15,4
7.	15,8	17.	15,1
8.	14,7	18.	14,3
9.	14,2	19.	15,8
10.	17,4	20.	16,2

➤ **Osnovni statistički parametri**

Aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ) predstavlja sumu svih elemenata podijeljenu sa brojem elemenata u uzorku. Iznos aritmetičke sredine se računa prema izrazu (1):[7]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$n$  – broj elemenata u populaciji

$x_i$  – vrijednost svakog pojedinog mjerenja

$$\bar{x} = 15,45 \text{ s} \quad (2)$$

Prosječno trajanje operacije kontrole i predmontaže otpreska iznosi 15,45 sekundi.

Standardna devijacija ( $\sigma$ ) predstavlja odstupanje prosječno odstupanje svakog podatka od aritmetičke sredine.[7] Iznos standardne devijacije se računa prema sljedećem izrazu (3):[7]

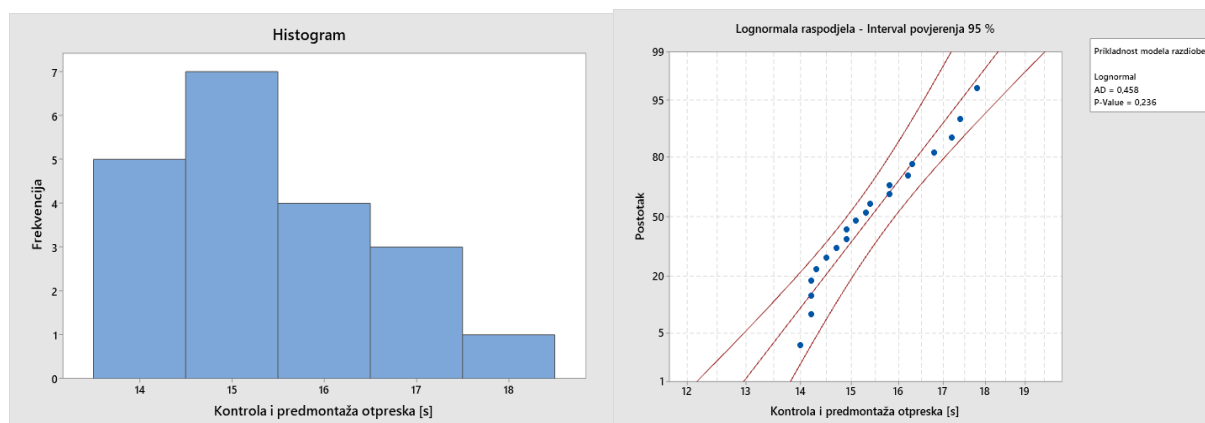
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$\sigma = 1,171 \text{ s} \quad (4)$$

Standardna devijacija u ovom primjeru iznosi 1,171 s.

➤ **Prilagodba raspodjele i statistički test**

Za potrebe analize podataka također je neizostavno utvrditi oblik i raspodjelu podataka mjerenja odnosno odrediti prema kojoj raspodjeli se ponašaju podaci. Te informacije se najbolje očitavaju iz grafičkog prikaza podataka odnosno iz histograma.



**Slika 17. Grafički prikaz analize podataka**

Iz sljedećeg prikaza vidljivo je da su podaci nagnuti na lijevu stranu što ukazuje da se ovdje vjerojatno radi o lognormalnoj raspodjeli. To je bilo i za očekivati jer ta raspodjela dobro opisuje duljinu trajanja proizvodnog procesa. Sljedeći graf potvrđuje tu tezu, te se može reći da je riječ o lognormalnoj raspodjeli jer je vrijednost  $p$  statističkog testa Anderson-Darling 0,236. Na taj način uz pogrešku prve vrste od 5 % zaključuje se da je riječ o lognormalnoj raspodjeli.

### 3.3.2. Analiza vremena aktivnosti montaže dodatnih dijelova

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati mjerenja vremena potrebnog za montažu dodatnih dijelova na poklopac kutije pretinca. Na slučajno odabranom, reprezentativnom uzorku provedeno je 20 mjerenja.

**Tablica 2. Montaža dodatnih dijelova**

Montaža dodatnih dijelova			
Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]	Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]
1.	36,1	11.	37,5
2.	37,1	12.	35,9
3.	36,5	13.	39,1
4.	36,3	14.	38,2
5.	36,2	15.	36,8
6.	39,2	16.	36,5
7.	35,5	17.	36,8
8.	35,1	18.	38,9
9.	35,8	19.	37,5
10.	36,8	20.	37,9

➤ **Osnovni statistički parametri**

Aritmetička sredina za montažu dodatnih dijelova računa se prema izrazu(1), a iznosi:

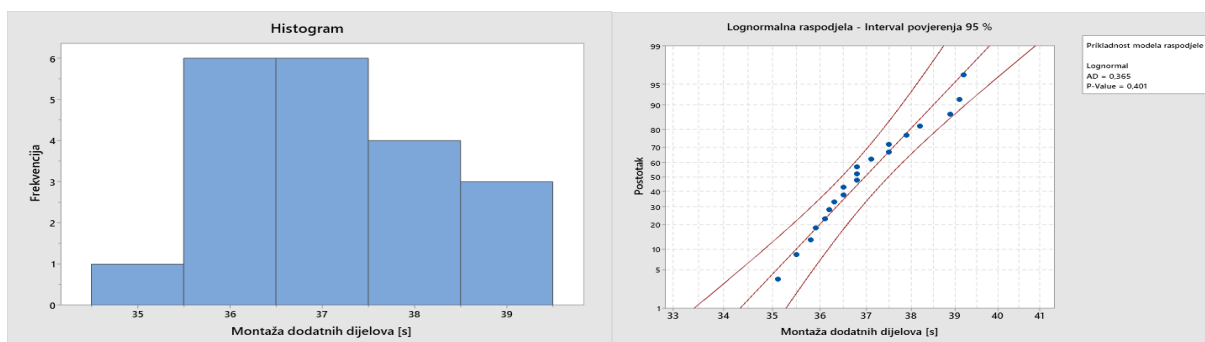
$$\bar{x} = 36,99 \text{ s} \quad (5)$$

Standardna devijacija za mjerene vrijednosti montaže dodatnih dijelova računa se prema izrazu (3), a iznosi:

$$\sigma = 1,185 \text{ s} \quad (6)$$

➤ **Prilagodba raspodjele i statistički test**

Iz sljedećeg histograma vidljiva je nagnutost na lijevu stranu što opet ukazuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli.



**Slika 18. Grafički prikaz analize podataka**

Isto tako kao u prethodnom slučaju iz sljedećeg prikaza može se zaključiti da je riječ o lognormalnoj raspodjeli jer je vrijednost  $p=0,401$ . Na taj način se uz vjerojatnost pogreške prve vrste 5 % zaključuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli.

### 3.3.3. Analiza vremena aktivnosti spajanja kutije s poklopcem

U sljedećoj tablici prikazani su rezultati mjerenja vremena potrebnog za spajanje kutije pretinca sa poklopcem. Na slučajno odabranom, reprezentativnom uzorku provedeno je 20 mjerenja.

**Tablica 3. Spajanje kutije s poklopcem**

Spajanje kutije s poklopcem [s]			
Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]	Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]
1.	26,3	11.	27,3
2.	25,8	12.	25,7
3.	28,1	13.	25,1
4.	26,9	14.	25,8
5.	25,8	15.	25,5

Spajanje kutije s poklopcem [s]			
Broj mjerjenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]	Broj mjerjenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]
6.	26,3	16.	26,5
7.	25,3	17.	26
8.	25,4	18.	25,9
9.	25,1	19.	27,1
10.	24,9	20.	25,3

➤ **Osnovni statistički parametri**

Aritmetička sredina za operaciju spajanja kutije s poklopcem računava se prema izrazu(1), a iznosi:

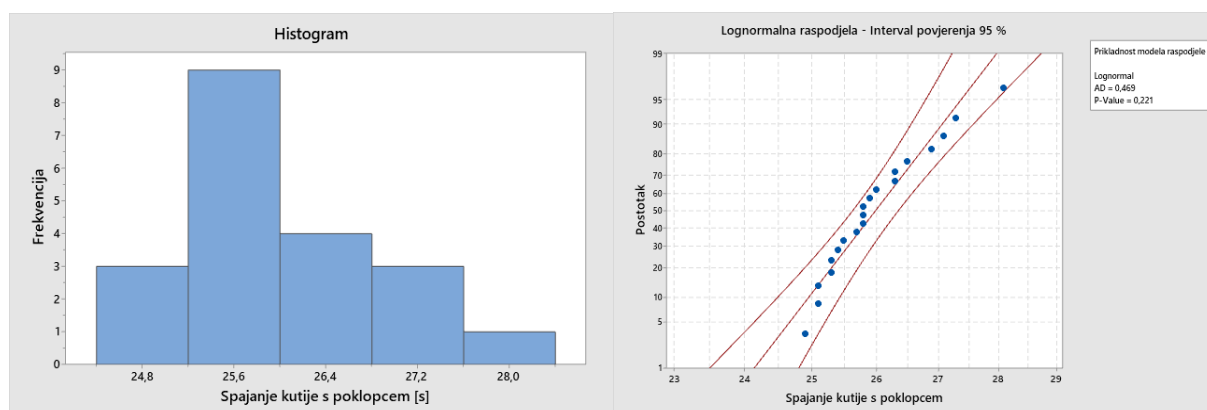
$$\bar{x} = 26,01 \text{ s} \quad (7)$$

Standardna devijacija za operaciju spajanja kutije s poklopcem računava se prema izrazu(3), a iznosi:

$$\sigma = 0,833 \text{ s} \quad (8)$$

➤ **Prilagodba raspodjele i statistički test**

Iz histograma vidljiva je nagnutost na lijevu stranu što opet ukazuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli. Kao i u prethodnom slučaju može se zaključiti da je riječ o lognormalnoj raspodjeli jer je vrijednost  $p=0,221$ . Na taj način se uz vjerojatnost pogreške prve vrste od 5 % zaključuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli.



**Slika 19. Grafički prikaz analize podataka**

### 3.3.4. Analiza vremena aktivnosti kontrole gotovog proizvoda

U sljedećoj tablici prikazana su mjerena vremena potrebna za kontrolu gotovog proizvoda. Na slučajno odabranom, reprezentativnom uzorku provedeno je 20 mjerenja.

**Tablica 4. Kontrola gotovog proizvoda**

Kontrola gotovog proizvoda [s]			
Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]	Broj mjerenja, $n$	Vrijednost, $x$ [s]
1.	20,8	11.	22,9
2.	21,1	12.	20,5
3.	20,7	13.	20,6
4.	22,6	14.	21,2
5.	21,3	15.	20,8
6.	20,7	16.	21,4
7.	20,5	17.	19,9
8.	21,5	18.	22,3
9.	21	19.	21,8
10.	20,4	20.	20,1

➤ **Osnovni statistički parametri**

Aritmetička sredina za operaciju kontrole gotovog proizvoda računa se prema sljedećem izrazu(1), a iznosi:

$$\bar{x} = 21,11 \text{ s} \quad (9)$$

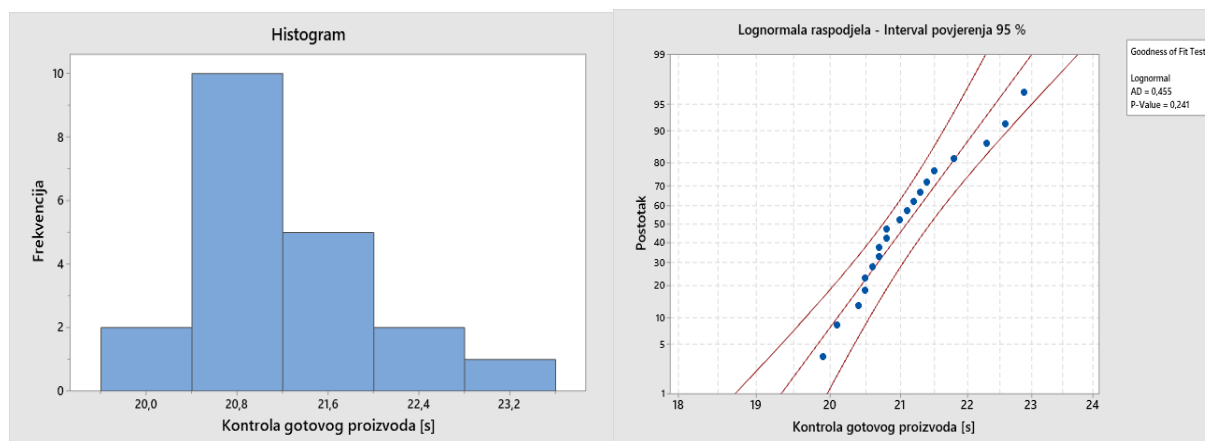
➤ **Standardna devijacija**

Standardna devijacija za operaciju kontrole gotovog proizvoda računa se prema sljedećem izrazu (3), a iznosi:

$$\sigma = 0,799 \text{ s} \quad (10)$$

➤ **Prilagodba raspodjele i statistički test**

Iz histograma vidljiva je nagnutost na lijevu stranu što opet ukazuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli. Kao i u prethodnom slučaju može se zaključiti da je riječ o lognormalnoj raspodjeli jer je vrijednost  $p=0,241$ . Na taj način se uz vjerojatnost pogreške prve vrste od 5 % zaključuje da je riječ o lognormalnoj raspodjeli.



**Slika 20. Grafički prikaz analize podataka**

### 3.4. Analiza ciklusa injekcijskog prešanja kutije pretinca

Vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja iznosi 57 sekundi te je ta operacija prepoznata kao usko grlo ovog proizvodnog procesa. Trajanje postupka injekcijskog prešanja ovisi o više parametara, svi oni imaju utjecaj na konačni proizvod. Ukoliko se pojedini parametri krivo postave dolazi do grešaka u materijalu, neispunjavanja kalupa te vitoperenja. Kako je u ovom diplomskom radu riječ o poboljšanju odnosno unaprjeđenju proizvodnog procesa, stavit će se naglasak na sve parametre koji su ovisni o vremenu. Neki od njih su vrijeme zatvaranja kalupa, vrijeme ubrizgavanja, vrijeme djelovanja naknadnog tlaka, vrijeme hlađenje te vrijeme otvaranja kalupa. Kada je riječ o duljini trajanja proizvodnog procesa posebno bi se moglo istaknuti vrijeme hlađenja.

#### 3.4.1. Vrijeme hlađenja proizvoda

Vrijeme hlađenja je vrijeme, potrebno da se taljevina u kalupu ohladi do temperature, pri kojoj je proizvod moguće izvaditi iz kalupa bez oštećivanja i deformacija te da mjere proizvoda odgovaraju zahtjevima.[3] Proračun vremena hlađenja u praksi je veoma složen pa se u svakodnevnom radu koriste pojednostavljene metode kako bi se odredilo vrijeme hlađenja. Ukoliko je određeno vrijeme hlađenja prekratko dolazi do velikog vitoperenja, deformacija pri vađenju iz kalupa, pojave otisaka izbacivala na proizvodu te do skupljanja materijala. S druge strane ako je vrijeme hlađenja predugo taljevina će se zadržavati u kalupu te će vrijeme proizvodnog procesa biti predugo što ugrožava produktivnost i isplativost proizvodnje.

### 3.4.1.1. Skraćivanje vremena hlađenja

Kada je riječ o ovom proizvodnom procesu trajanje ciklusa injekcijskog prešanja iznosi 57 sekundi od čega 24 sekunde otpadaju na vrijeme hlađenja otpreska. S obzirom na stroge krajnje zahtjeve dimenzijske postojanosti i kvalitete proizvoda, vrijeme hlađenje uzima gotovo 45 % trajanja cjelokupnog ciklusa. Iz tog razloga provedeno istraživanje u kojem je skraćeno vrijeme hlađenja. Proračun vremena hlađenja proveden je u ovisnosti o debljini stijenke i vrste polimere. Kutija pretinca je izrađena od polipropilena te okvirna debljina stijenke iznosi 2,3 mm. Proračun je proveden prema sljedećem pojednostavljenom izračunu(1):[3]

$$t = 3,67 \cdot s^2 \quad (11)$$

$t$  – vrijeme hlađenja

$s$  – debljina stijenke

$$t = 19 \text{ s} \quad (12)$$

Proračunato vrijeme hlađenja iznosi 19 sekundi. U okviru istraživanja vremena hlađenja brizgano je 60 komada, od toga je 15 komada brizgano s vremenom hlađenja 24 s, 30 komada s vremenom hlađenja 19 s, te 15 komada s vremenom hlađenja 15 s. Nakon probnog brizganja komada kutije pretinca provedena je kontrola kvalitete dobivenih otpresaka. Posebna pažnja usmjerena je na kontrolu zazora na rubnim dijelovima kutije pretinca kako bi se poklopac kutije mogao neometano postaviti.



**Slika 21. Preliminarna provjera zazora između kutije i poklopca**

Kontrola proizvoda je provedena pomoću pomičnog mjerila koji je postavljen u zazor između kutije i poklopca. Zazor treba biti veći od 5 mm kako bi se kutija pretinca automobila mogla otvarati i zatvarati bez poteškoća. Za sva tri vremena hlađenja zazor na lijevoj strani je bio zadovoljavajući odnosno veći od 5 mm. S desne strane su se pojavili nezadovoljavajući te granični komadi.

**Tablica 5. Veličina zazora između kutije i poklopca (15 s)**

Zazor [mm]	
15 s	
Broj mjerjenja	Vrijednost [mm]
1.	5,0
2.	5,1
3.	5,0
4.	5,2
5.	5,0
6.	5,1
7.	5,0
8.	5,1
9.	5,1
10.	5,1
11.	5,1
12.	5,1
13.	5,0
14.	4,9
15.	5,0

Iz priložene tablice vidljivo je da 7 komada od 15 brzanih ne zadovoljava. Veličina zazora nije zadovoljavajuća stoga je potrebno produžiti vrijeme hlađenja kako bi otpresak bio u skladu sa traženim zahtjevima. Prikazani podaci neće se dalje statistički obrađivati jer i na ovako malom uzorku (n=15) vidljivo je da 45 % otpresaka ne zadovoljava odnosno veličina zazora nije veća od 5,0 mm. S druge strane kod prvotnog slučaja u kojem je vrijeme hlađenja proizvoda 24 sekunde rezultati mjerenja se uvelike razlikuju. Iz tablice 6. je vidljivo da svi podaci prelaze granicu od 5,0 mm i to sa velikom sigurnošću što je i bilo za očekivati jer se to vrijeme hlađenja razlikuje odnosno duže je od onog proračunatog.

**Tablica 6. Veličina zazora između kutije i poklopca (24 s)**

Zazor [mm]	
24 s	
Broj mjerjenja	Vrijednost [mm]
1.	5,2
2.	5,4
3.	5,3



Zazor [mm]	
24 s	
Broj mjerjenja	Vrijednost [mm]
4.	5,3
5.	5,3
6.	5,3
7.	5,3
8.	5,3
9.	5,3
10.	5,3
11.	5,3
12.	5,4
13.	5,4
14.	5,4
15.	5,4

Kako je riječ o relativno malom uzorku podaci se ne mogu prilagoditi nijednoj raspodjeli međutim iz samih podataka od kojih 90 % prelazi 5,2 mm vidljivo je da ovo vrijeme hlađenja nema utjecaja na neispravnost konačnog proizvoda odnosno na nemogućnost montaže istoga. Konačno, kada je riječ o proračunatom vremenu hlađenja u trajanju od 19 sekundi pri kojem je brizgano 30 komada te provedena kontrola može se doći do nekih statističkih podataka koji će biti od koristi u daljnjoj analizi procesa koja služi pri implementaciji unaprjeđenja. U tablici 7. prikazani su podaci mjerenja zazora između kutije i poklopca za vrijeme hlađenja u trajanju od 19 sekundi.

**Tablica 7. Veličina zazora između kutije i poklopca (19 s)**

Zazor [mm]			
19 s			
Broj mjerjenja	Vrijednost [mm]	Broj mjerjenja	Vrijednost [mm]
1.	5,2	16.	5,1
2.	5,2	17.	5,2
3.	5,3	18.	5,2
4.	5,2	19.	5,4
5.	5,3	20.	5,2
6.	5,4	21.	5,2
7.	5,3	22.	5,1
8.	5,2	23.	5,2
9.	5,3	24.	5,3
10.	5,1	25.	5,2
11.	5,3	26.	5,2
12.	5,4	27.	5,3
13.	5,2	28.	5,3
14.	5,4	29.	5,1
15.	5,4	30.	5,3

Nakon mjerenja dimenzije zazora provedena je statistička analiza uzorka iz koje se dobila aritmetička sredina uzorka, standardna devijacija te su podaci prilagođeni raspodjeli po kojoj se ponašaju.

➤ **Osnovni statistički parametri**

Aritmetička sredina rezultata dobivenih mjerenjem zazora između kutije i poklopca računa se prema izrazu (1), a iznosi:

$$\bar{x} = 5,25 \text{ mm} \quad (13)$$

Standardna devijacija za rezultate dobivene mjerenjem zazora između kutije i poklopca računa se prema izrazu (3), a iznosi:

$$\sigma = 0,094 \text{ mm} \quad (14)$$

Medijan predstavlja vrijednost u uzorku od koje je 50 % podataka manje, a 50 % veće.[7] Medijan za rezultate dobivene mjerenjem zazora između kutije i poklopca iznosi 5,2 mm. Koeficijent asimetrije (eng. *Skewness*) spada u skupinu mjera oblika statističkog skupa te predstavlja mjeru nagnutosti distribucije na lijevu ili desnu stranu, a za ovaj uzorak podataka koeficijent asimetrije iznosi:

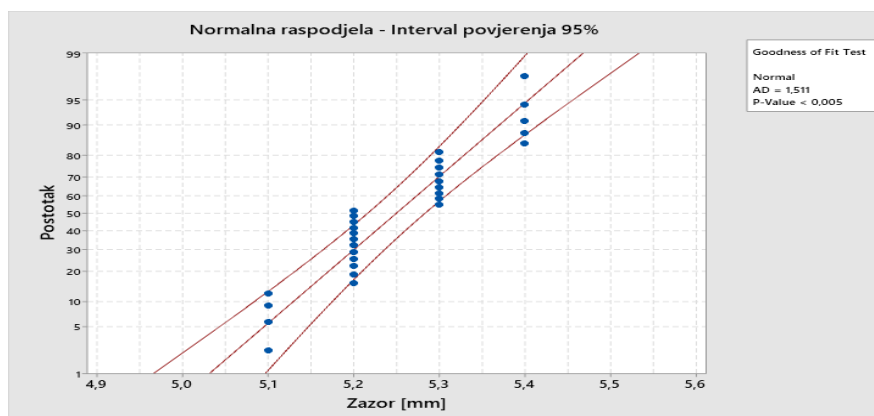
$$\alpha_3 = 0,13 \quad (15)$$

Druga mjera oblika statističkog skupa je koeficijent spljoštenosti. Koeficijent spljoštenosti (eng. *Kurtosis*) predstavlja mjeru spljoštenosti(zaobljenosti) distribucije, a za ovaj uzorak podataka iznosi:

$$\alpha'_4 = -0,55 \quad (16)$$

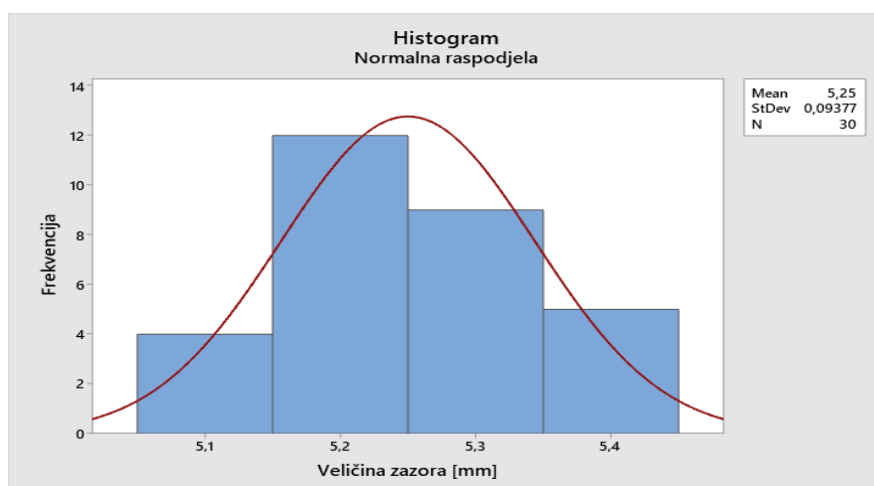
➤ **Prilagodba raspodjele i statistički test**

S obzirom da je riječ o kontinuiranoj, mjerenoj varijabli potrebno je odrediti kojoj se raspodjeli prilagođavaju podaci. Većina mjerenih podataka i događaja u prirodi prati normalnu raspodjelu pa će se tako i za ove podatke provesti test normalnosti, odnosno provjeriti prilagođavaju se podaci normalnoj raspodjeli.



**Slika 22. Prilagodba normalne raspodjele za uzorak ohlađivanja 19 s**

Kako je vidljivo iz slike 22 vrijednost p Anderson Darling statističkog testa je ispod vrijednosti 0,005, stoga on upućuje na zaključak da podaci odstupaju od pretpostavljene normalne raspodjele podataka. Međutim, zbog rezolucije mjerenja te osjetljivosti testa potrebno je pogledati i osnovne statističke parametre oblika. S obzirom da koeficijent asimetrije i spljoštenosti pokazuju zanemarivo odstupanje od normalnosti može se smatrati da se podaci ipak ponašaju prema normalnoj raspodjeli. Isto tako iz histograma (Slika 23) iz kojeg se također može očitavati raspodjela podataka vidljivo je da podaci značajno ne odstupaju od normalne raspodjele te će se za potrebe daljnje analize koristiti ta činjenica.



**Slika 23. Histogram normalna raspodjela**

Usprkos nepobitnoj činjenici da povećano vrijeme hlađenja rezultira većom dimenzijom zazora za vrijeme hlađenja odabrat će se ono od 19 sekundi. Osim što je to i proračunom dobiveno vrijeme, razlog takvog izbora je jer konačna kvalitete proizvoda za vrijeme ohlađivanja u trajanju od 19 sekundi bilježi najbolje rezultate finoće i teksture površine. Isto tako gledajući današnji svijet izrazite konkurencije, pri ovom vremenu ohlađivanja dobije se

kvalitetan proizvod u bitno manje vremena. Neizmjerne je važno neprestano tražiti optimalne vrijednosti ulaznih parametara koje dovode do najboljih izlaznih rezultata. Važno je usmjeriti se na ostvarivanje što boljeg rezultata izlaza proizvodnog procesa, a ne isključivo na poboljšanje pojedinog segmenta. S druge strane, potrebno je posvetiti vrijeme kontroli kvalitete u svim fazama procesa ne samo pri konačnom pregledu izlaznog proizvoda. Skraćivanjem vremena hlađenja sa 24 sekunde na 19 sekundi vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja je smanjeno te se na taj način dostupnost stroja povećava. U okviru ovog rada bit će prikazano kako je uz smanjenje vremena ciklusa i povećanje produktivnosti proizvodnje moguće ispuniti sve tražene zahtjeve ispravnosti konačnog proizvoda.

## 4. SIMULACIJA PROIZVODNOG PROCESA

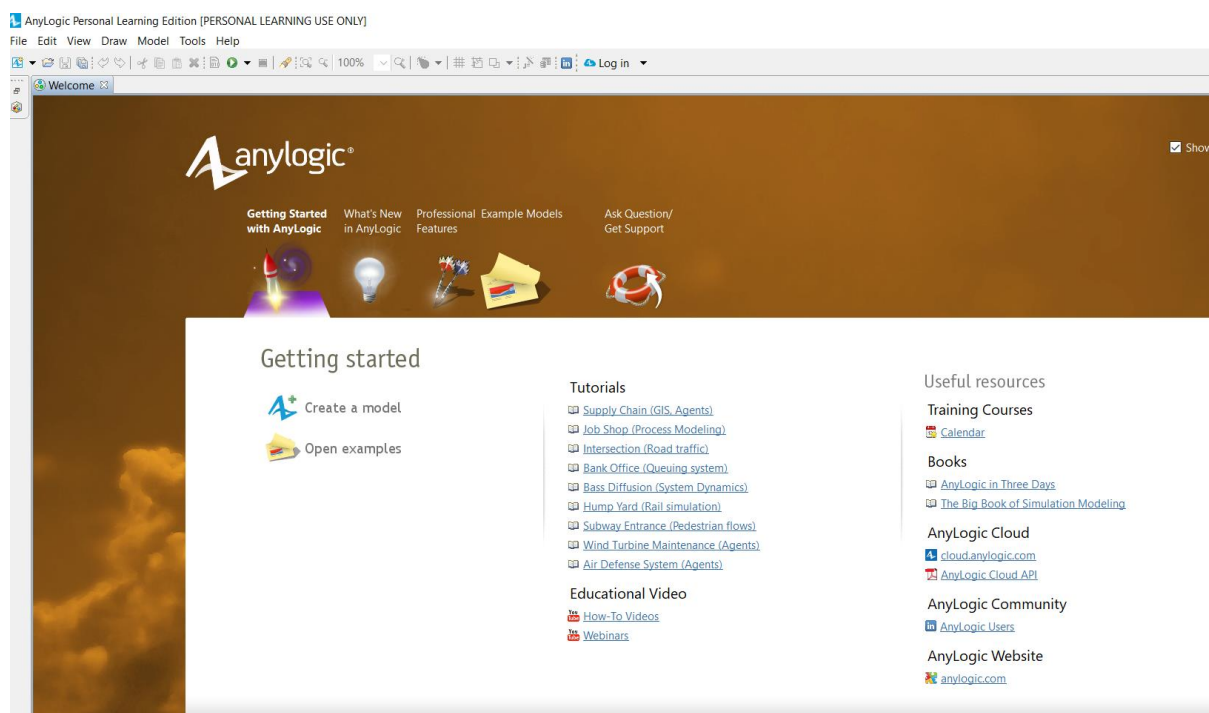
Simulacija je oponašanje operacija procesa ili sustava realnog svijeta. Simulacija stvara umjetnu povijest sustava kako bi se promatranjem te umjetne povijesti donijeli zaključci o ponašanju sustava.[9] Izrada simulacije pruža siguran način za testiranje i istraživanje različitih scenarija i razvoja događaja unutar jednog sustava. Sustav je uređena cjelina(skup) međusobno povezanih elemenata.[9] Svaki sustav se sastoji od zasebnih jedinica(elementa) koji su povezani na unaprijed definiran način s ciljem postizanja željenog logičkog završetka. Izrada sustava unutar simulacije se svodi na izradu modela koji predstavlja stvarni proizvodni proces. Model se smatra pojednostavljenim sustavom koji sadrži sve bitne značajke proizvodnog procesa koji se proučava. Promatrani model podvrgava se simulaciji unutar dostupnog programskog paketa kako bi se prepoznale kritične točke procesa koje zahtijevaju unaprjeđenje odnosno poboljšanje. Korištenjem alata simulacije poput histograma, grafova iskoristivosti i produktivnosti dolazi se do bitnih saznanja o funkcioniranju pojedinih dijelova proizvodnog procesa. Isto tako, simulacija se može koristiti u svrhu validacije implementiranog poboljšanja kako bi se uvidjelo u kojoj mjeri se proces poboljšao, ubrzao ili je pak došlo do povećanja produktivnosti. Simulacije se mogu podijeliti u četiri kategorije, a prema[9] to su:

- Monte Carlo simulacija
- kontinuirana simulacija
- simulacija diskretnih događaja
- miješana kontinuirano-diskretna simulacija (kombinirana ili hibridna simulacija).

Simulacija diskretnih događaja modelira sustav čije se stanje može mijenjati samo u određenom trenutku (diskretnim točkama u vremenu).[9] Kada je riječ o sustavu unutar simulacije, on se sastoji od nekoliko cjelina odnosno objekata koji se nazivaju entiteti. Entiteti su opisani različitim svojstvima nazvanim atributima. Osim entiteta i atributa potrebno je spomenuti i sami događaj unutar simulacije koji predstavlja trenutnu pojavu u vremenu koja na unaprijed definiran način mijenja stanje sustava. Promjenom stanja sustava dolazi se do vrijednih informacija kako se taj sustav odnosno proces mijenja tijekom vremena. Izradom simulacije proizvodnog procesa protekom vremena unutar softverskog alata prepoznaju se kritične točke procesa te se na taj način dobiva povratna informacija na što se treba posebno usmjeriti tijekom implementacije poboljšanja.

#### 4.1. AnyLogic softverski alat

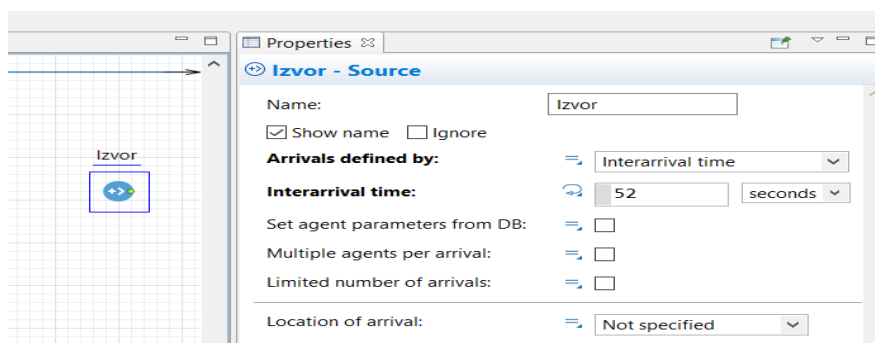
AnyLogic je simulacijski softverski paket koji omogućava simulacijsko modeliranje. To je proizvod tvrtke „The AnyLogic Company“ koja se bavi dizajniranjem i razvijanjem softvera za simulacijsko modeliranje. AnyLogic modeli omogućavaju analitičarima, inženjerima i menadžerima da steknu dublji uvid u složene sustave i procese u širokom spektru industrija.[10] Virtualni eksperimenti sa simulacijskim modelima su mnogo jeftiniji te im treba manje vremena da se dođe do nekih novih saznanja i podataka. Korištenjem simulacija pronalaze se pojedini segmenti ili operacije proizvodnog procesa kod kojih je iskoristivost na niskoj razini. Korištenjem dostupnih alata koji simulacijski softverski paket posjeduje moguće je pronaći mjesta na kojima se unaprjeđenje proizvodnog procesa može provesti i tako poboljšati.



Slika 24. Sučelje AnyLogic simulacijskog paketa

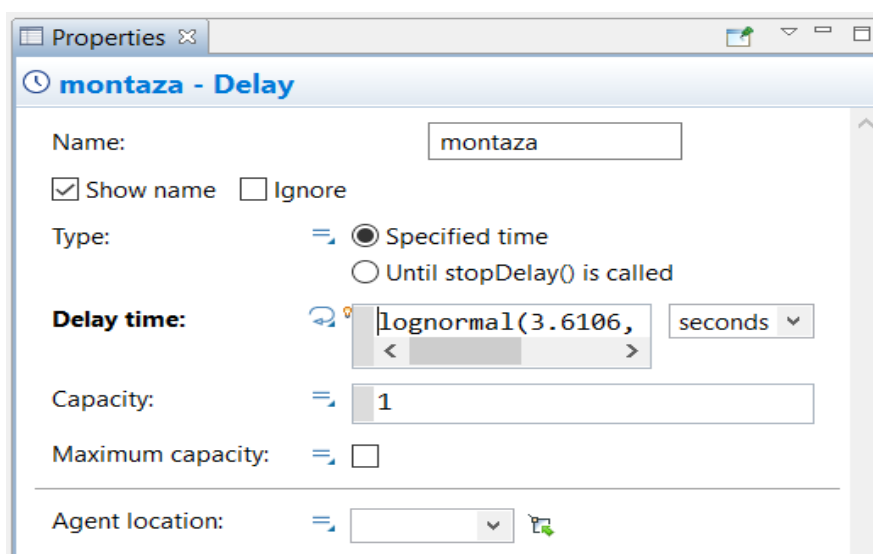
#### 4.2. Simulacija proizvodnog procesa nastajanja kutije pretinca

Izrada simulacijskog modela proizvodnog procesa započinje definiranjem dijagrama toka procesa. Dijagram toka procesa sadrži sve operacije od kojih se sastoji proizvodni proces. Definiranje dijagrama započinje postavljanjem izvora koji generira ulazne entitete procesa odnosno u ovom slučaju broj komada kutije pretinca.



**Slika 25. Oblikovanje bloka izvora**

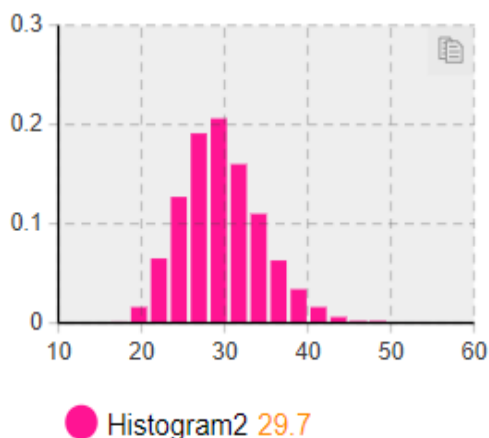
Blok izvor se uređuje tako da se za vrijeme dolaska entiteta u sustav postavi 52 sekunde jer vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja iznosi 52 sekunde. S obzirom da stroj može izraditi jedan otpresak u tom vremenu potrebno je za vrijeme dolaska definirati međudolazno vrijeme u trajanju od 52 sekunde. Nakon izvora postavljaju se pojedine operacije koje slijede kroz proizvodni proces nastajanja kutije pretinca. Prva od njih je operacija injekcijskog prešanja u trajanju od 52 sekunde koja simulira izradu otpreska na stroju. Potom slijede operacije kontrole i montaža preostalih dodatnih dijelova na proizvod kutije pretinca. Te operacije se definiraju pomoću blokova tkz. „Delay“ koji predstavlja odgodu odnosno izvršavanje pojedine operacije. Prilikom definiranja blokova koji predstavljaju varijabilne radnje koje izvodi čovjek potrebno je definirati prema kojoj se raspodjeli ponašaju. S obzirom da je prethodno provedena analiza varijabilnih vremena procesa poznato je da je riječ o lognormalnoj raspodjeli. Unutar uređivača svojstava postavljaju se parametri raspodjele za pojedino vrijeme odnosno operaciju.



**Slika 26. Oblikovanje bloka Delay**

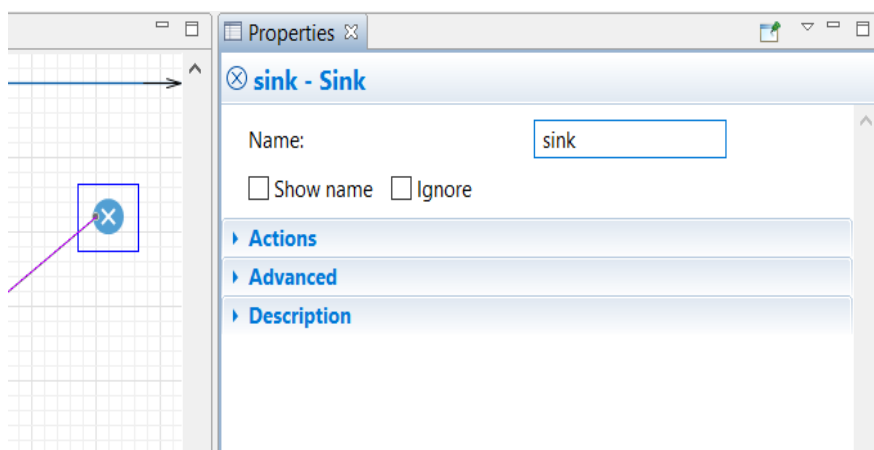
Kako bi ta raspodjela bila vidljiva tijekom same simulacije proizvodnog procesa važno je postaviti tkz. „mjeritelje vremena“ prije i poslije bloka koji predstavlja pojedinu operaciju. Na taj način moguće je dobiti povratnu informaciju u vidu histograma ili grafa o raspodjeli podataka, iskoristivosti radnog mjesta, produktivnosti stroja i sl.

Na slici 27. vidljiv je histogram za operaciju spajanja kutije s poklopcem prema kojem je vidljiva nagnutost na lijevu stranu odnosno lognormalna raspodjela.



**Slika 27. Histogram operacije spajanja**

Na kraju svakog dijagrama toka procesa koji se modelira unutar simulacijskog softvera potrebno je postaviti tkz. objekt „sink“ koji uklanja sve entitete koje je generirao izvor i koji su prošli kroz proces. Njegova upotreba ne zahtijeva dodatna definiranja, već ga je samo potrebno postaviti na kraj dijagrama procesa koji je modeliran.



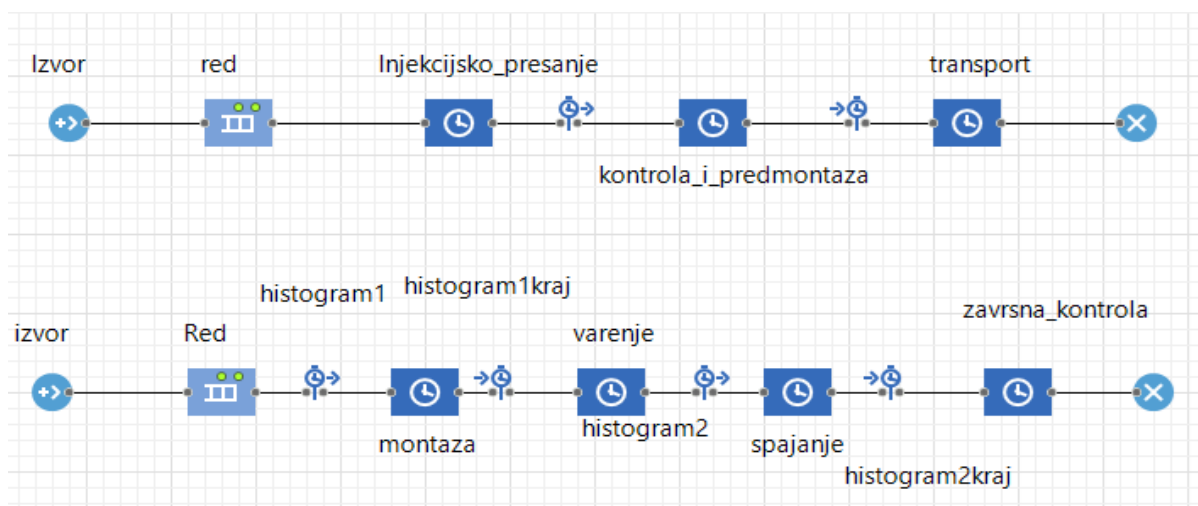
**Slika 28. Prikaz definiranja završetka simulacijskog modela**

Izrada proizvoda je podijeljena u dvije velike faze koje se odvijaju u različitim halama pa će se tako i unutar simulacije te dvije faze podijeliti. Kao što je i prije spomenuto proces je podijeljen na sljedeće operacije koje prethode nastanku gotovog proizvoda kutije pretinca:



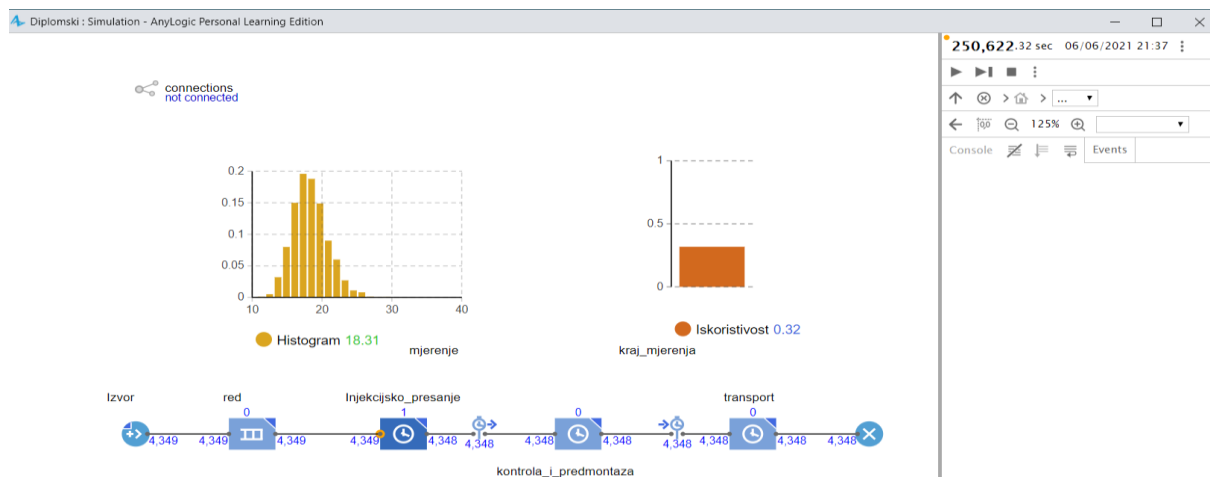
- Injekcijsko prešanje kutije pretinca
- predmontaža i kontrola otpreska
- transport otpresaka u drugu halu
- montaža dodatnih dijelova
- zavarivanje poklopca
- spajanje kutije s poklopcem
- kontrola gotovog proizvoda.

Svaka od ovih operacija prethodno je statistički obrađena i analizirana te se upravo te vrijednosti unose u simulacijski model. Nakon definiranja cjelokupnog dijagrama toka procesa može se pokrenuti simulacija kako bi se došlo do traženih informacija.



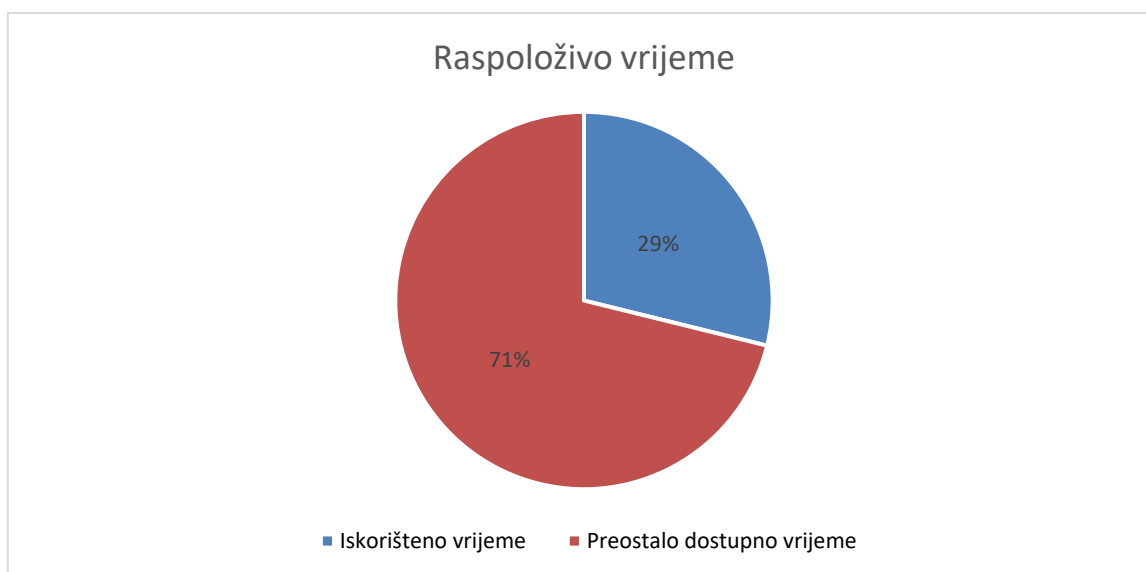
**Slika 29. Simulacijski model procesa**

Prilikom definiranja simulacije posebna pažnja je usmjerena na sve operacije koje su vezane za kontrolu zavora između kutije i poklopca. Na tim blokovima operacija postavljene su mjernice vremena koji prikazuju iskoristivost radnika tijekom obavljanja istih. Na grafu iskoristivosti pri obavljanju operacije predmontaže i kontrole otpreska vidljivo je da radnik provede samo 30 % svog vremena pri obavljanju svog zadatka dok je ostalo vrijeme neaktivan (Slika 26). To možemo klasificirati kao vrijeme čekanja, tj. vrijeme gubitka (eng. Waste time – WT).



**Slika 30. Rezultati simulacije proizvodnog procesa**

Upravo ta operacija je prepoznata kao potencijalni prostor za napredak. Samo poboljšanje odnosno implementiranje i analiza istog temelji se na nadogradnji te operacije jer je simulacijom utvrđeno da postoji dovoljan vremenski period u kojem je moguće provesti dodatnu kontrolu kako bi se spriječio nastanak loših odnosno nesukladnih proizvoda. O samom prijedlogu poboljšanja i implementaciji istog bit će više riječ u sljedećem poglavlju.



**Slika 31. Prikaz dostupnog vremena tijekom operacije predmontaže i kontrole**

Kao što je vidljivo na slici 31. gotovo 70 % vremena provedenog na radnoj jedinici radnik provede neaktivan. Ovaj podatak prepoznat je kao ključni detalj rezultata simulacijskog modela jer je na ovom mjestu uočen dostupan prostor koji se može iskoristiti kako bi konačan proizvod kutije pretinca bio u skladu sa traženim zahtjevima kvalitete. Konačno, izmjenama u procesu bit će moguće minimizirati udio vremena NVAT i WT te posljedično povećati VAT vrijeme.

## 5. PRIJEDLOG UNAPRJEĐENJA PROCESA

Nakon analize svih komponenata procesa te izrade simulacijskog modela može se krenuti sa predlaganjem i validacijom unaprjeđenja. Optimizacija se provodi kada je već izrađen tehnološki proces te se na osnovu njega donose odluke koje bi optimirale proces i na taj način ga učinili učinkovitijim. Prilikom analize proizvodnog procesa posebna pozornost bila je usmjerena na vrijeme hlađenja otpreska koje je uzorkovalo probleme sa dimenzijama kutije pretinca koje su kasnije otežavale montaže. Točnije, tijekom montaže poklopca na kutiju pretinca uočen je problem sa dimenzijom zazora koja je predstavljala prepreku za daljnju montažu kutije pretinca. Nakon izrade simulacije uočena je smanjena iskoristivost u proizvodnom procesu prilikom kontrole i predmontaže otpreska. Tijekom te operacije radnik provede samo 30 % svog vremena obavljajući svoj posao dok je preostalo vrijeme neaktivan. Iz tog razloga, dolazi se do zaključka da se na tu operaciju nadgradi operacija dodatne kontrole zazora. Prijedlog je da se izradi ogledni primjerak poklopca kutije pretinca (Slika 27) koji će biti postavljen na radnom mjestu gdje se vrši kontrola i predmontaža otpreska (Slika 10).



**Slika 32. Poklopac kutije pretinca**

Probim postavljanjem oglednog primjerka poklopca te provjerom zazora pomoću etalona došlo bi se do uštede jer na taj način loše izrađen otpresak kutije pretinca ne bi išao na daljnju montažu već bi se odlagao sa strane.



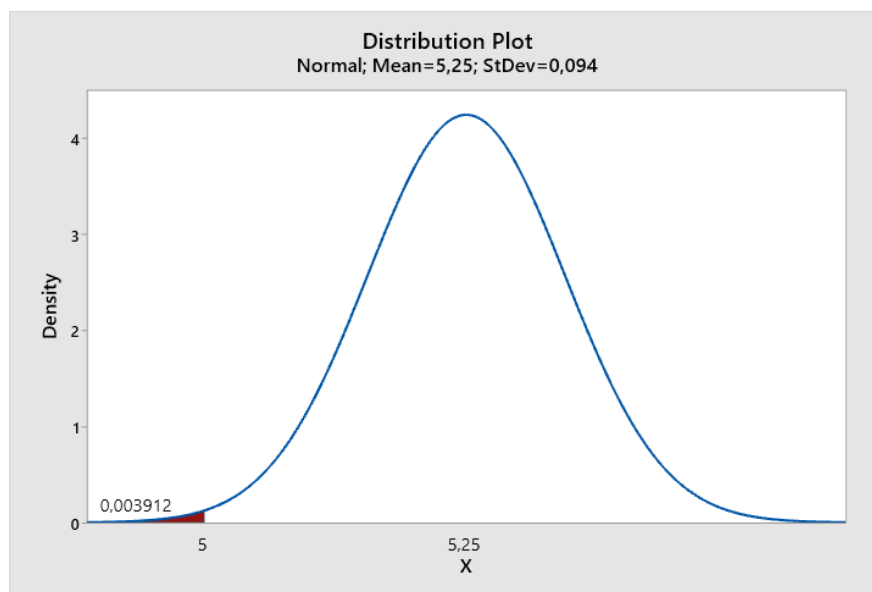
**Slika 33. Provjera zazora etalomom**

Probim postavljanjem poklopca i provjerom zazora spriječila bi se daljnja montaža nesukladnog proizvoda te bi se sve operacije koje slijede stopirale i ne bi stvarale nepotreban trošak. Za izvršavanje te dodatne operacije na raspolaganju je 37 neiskorištenih sekundi. S obzirom da je riječ o jednostavnim radnjama ta količina vremena je i više no dovoljna kako bi se izvršila dodatna kontrola. Simulirano vrijeme za postavljanje poklopca i provjeru zazora iznosi dodatnih 15 sekundi. U tom slučaju i manje uvježban odnosno vješt radnik u vremenu od 52 sekundi koliko traje ciklus injekcijskog prešanja sposoban je izvršiti sve radnje kako bi se provela dodatna kontrola zazora odnosno kutije pretinca prije daljnje montaže. Dodatnom kontrolom zazora smanjio bi se trošak loše kvalitete COPQ.

### **5.1. COPQ (eng. *cost of poor quality*)- Trošak loše kvalitete**

COPQ (eng. *cost of poor quality*) je trošak koji nastaje kao rezultat proizvodnje neispravnog komada. Ovaj trošak podrazumijeva sve troškove koji su uključeni u rješavanje nesrazmjera između željene i stvarne kvalitete usluge. Također uključuje sve troškove rada, troškove prerade i materijalne troškove koji su nastali zbog pogreške.[11] Trošak loše kvalitete ne uključuje troškove otkrivanja i prevencije. Ti troškovi bi nestali ukoliko bi se proizvodni proces unaprijedio te se otklonile greške zbog kojih nastaju neispravni komadi. Prijašnjom analizom zazora pri vremenu hlađenja od 19 sekundi došlo se do podataka da aritmetička sredina dimenzije zazora iznosi 5,25 mm uz standardnu devijaciju od 0,0934 mm. Ukoliko se

očekivanje dimenzije zazora prilagodi normalnoj raspodjeli dolazi se podatka da očekivani postotak proizvoda sa zazorom manjim od 5 mm iznosi 0,39 % (Slika34.).



**Slika 34. Postotak nesukladnih proizvoda prema normalnoj raspodjeli (za vrijeme hlađenja 19 s)**

Prema dosadašnjim podacima potražnja na godišnjoj razini iznosi 60 000 komada. Ukoliko se ovaj postotak pomnoži sa tim brojem dolazi se do brojke od 234 nesukladnih proizvoda na godišnjoj razini. To je značajna količina nesukladnih proizvoda te je potrebno smanjiti taj broj. Za troškove rada radnika, stroja te materijala uzimaju se sljedeće vrijednosti:

- Trošak rada stroja - 150 kn/h
- Trošak rada radnika – 70 kn/h
- 1 kg materijala – 15 kn.

Jedna kutija pretinca nakon prešanja ima masu od cca-1 kg. Prema definiranim trajanjima operacija moguće je izračunati godišnji trošak zbog loše kvalitete izrade. Operacije koje izvodi stroj su injekcijsko prešanje kutije pretinca te varenje poklopca dok preostale operacije izvodi radnik, a one su redom sljedeće: kontrola i predmontaža otpreska, montaža dodatnih dijelova, spajanje kutije i poklopca te kontrola gotovog proizvoda. Kako bi se došlo do konačnog troška loše izrade potrebno je pomnožiti trajanje pojedine operacije sa cijenom koštanja. Tom broju je potrebno dodati trošak materijala potrebnog za izradu jedne kutije pretinca.

TROŠAK LOŠE KVALITETE				
OPERACIJA	TRAJANJE OPERACIJE [s]	CIJENA [kn/h]	TROŠAK PO KOMADU	GODIŠNJI TROŠAK
Injekcijsko prešanje	52	150,00 kn	2,17 kn	550,33 kn
Kontrola i predmontaža otpreska	15	70,00 kn	0,29 kn	74,08 kn
Transport	10	70,00 kn	0,19 kn	49,39 kn
Montaža dodatnih dijelova	37	70,00 kn	0,72 kn	182,74 kn
Varenje poklopca	19	150,00 kn	0,79 kn	201,08 kn
Spajanje kutije s poklopcem	26	70,00 kn	0,51 kn	128,41 kn
Kontrola gotovog proizvoda	21	70,00 kn	0,41 kn	103,72 kn
			5,08 kn	1.289,76 kn
Materijal		15 kn/kg	15,00 kn	3.810,00 kn
		UKUPNO	20,08 kn	5.099,76 kn

### Slika 35. Izračun troška loše kvalitete pri vremenu ohlađivanja od 19 s

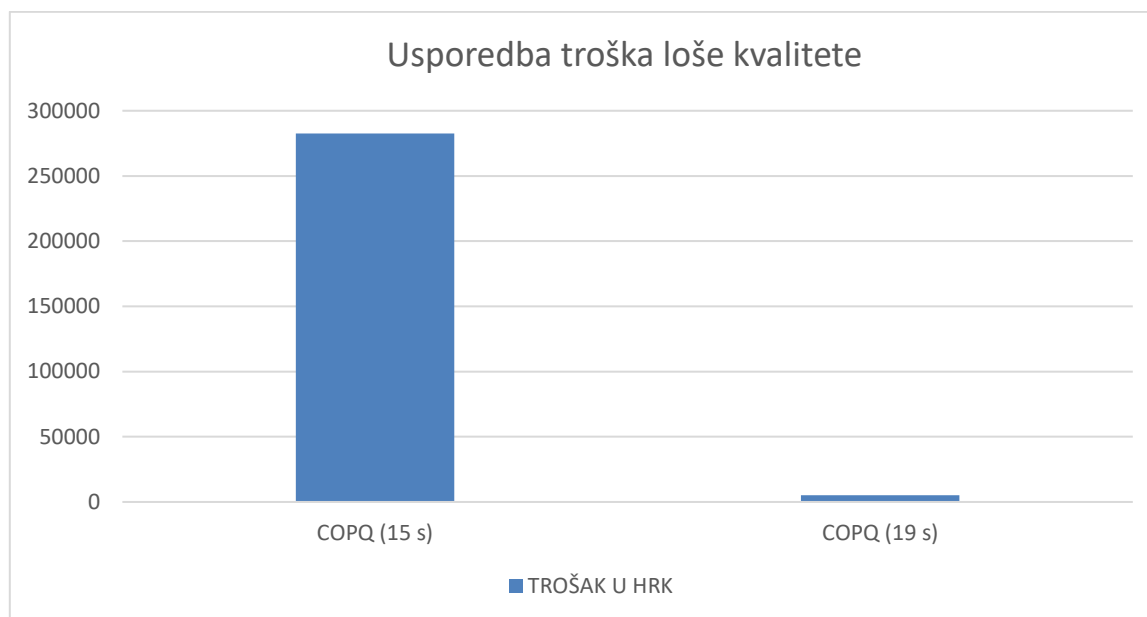
Kada se zbroje svi troškovi nastali zbog loše kvalitete izrade dolazi se do iznosa od 20,08 kn po komadu te 5099,76 kn na godišnjoj razini. Budući da prijedlog unaprjeđenja ne zahtjeva nikakve dodatne troškove jer se povećanjem opsega posla radnika pri kontroli otpreska ne povećava njegovo vrijeme provedeno na radnom mjestu već samo njegova angažiranost riječ je o značajnoj uštedi. Ukoliko bi se za vrijeme hlađenja otpreska odabralo 15 sekundi troškovi bi bili i veći. Usporedbe radi ukoliko se očekivanje dimenzije zazora pri hlađenju od 15 sekundi prilagodi normalnoj raspodjeli dolazi se podatka da očekivani postotak proizvoda sa zazorom manjim od 5 mm iznosi 23,66 %. S obzirom na godišnju potražnju od 60 000 komada, broj nesukladnih proizvoda bi iznosio 14 196 komada na godišnjoj razini. Prema izračunu sa slike 31., trošak loše kvalitete iznosio bi vrtoglavih 282 658,13 kn.

TROŠAK LOŠE KVALITETE				
OPERACIJA	TRAJANJE OPERACIJE [s]	CIJENA [kn/h]	TROŠAK PO KOMADU	GODIŠNJI TROŠAK
Injekcijsko prešanje	48	150,00 kn	2,00 kn	508,00 kn
Kontrola i predmontaža otpreska	15	70,00 kn	0,29 kn	74,08 kn
Transport	10	70,00 kn	0,19 kn	49,39 kn
Montaža dodatnih dijelova	37	70,00 kn	0,72 kn	182,74 kn
Varenje poklopca	19	150,00 kn	0,79 kn	201,08 kn
Spajanje kutije s poklopcem	26	70,00 kn	0,51 kn	128,41 kn
Kontrola gotovog proizvoda	21	70,00 kn	0,41 kn	103,72 kn
			4,91 kn	69.718,13 kn
Materijal		15 kn/kg	15,00 kn	212.940,00 kn
		UKUPNO	19,91 kn	282.658,13 kn

### Slika 36. Trošak loše kvalitete pri vremenu ohlađivanja od 15 s

U današnjem svijetu neprestane konkurentnosti potrebno je provoditi i ovako male pothvate kako bi se proces proizvodnje optimirao. Usporedbom troška loše kvalitete vidljivo je koliko je proces osjetljiv, odnosno ukoliko se fokus optimizacije postavi isključivo na jedan segment proizvodnog procesa može doći do nevjerovatnih troškova. Stoga je potrebno biti oprezan prilikom definiranja svih parametara proizvodnog procesa kako bi se u konačnici zadržala kvaliteta.



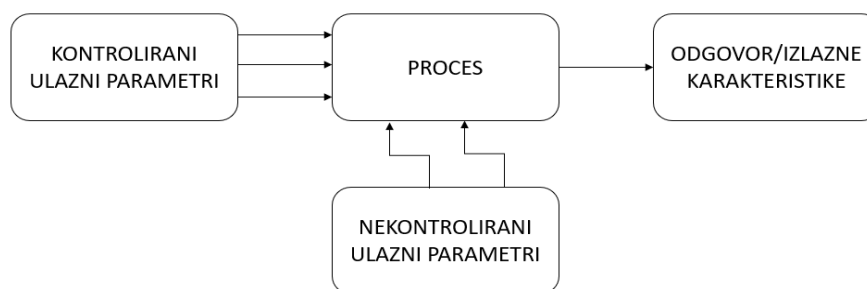


**Slika 37. Usporedba troška loše kvalitete(COPQ)**

Iz slike 37. vidljivo je kako malo odstupanje u procesu može generirati trošak koji jedno poduzeće ne može podnijeti. Osim ovog unaprjeđenja procesa ostalo je još prostora za napredak. Prilikom injekcijskog prešanja otpreska dolazi do nesukladnih otpresaka, a da se ta pojava izbjegne potrebno je provesti detaljniju analizu samog ciklusa prešanja i njegovih parametara. Potrebno je pronaći uzročnu posljedične veze između ulaznih parametara procesa i izlaznih vidljivih karakteristika proizvoda.

## 5.2. Eksperimentalna optimizacija (Planiranje i analiza pokusa DOE)

Planiranje i analiza pokusa (DOE) sustavna je metoda za određivanje odnosa između parametara koji utječu na proces i rezultate tog procesa. Koristi se za pronalaženje uzročno-posljedičnih veza.[11] Te su informacije ključne kako bi se upravljalo ulaznim podacima zbog optimizacije rezultata. Na jednostavnom primjeru kuhanja riže pokušat će se lakše objasniti ova metoda. Upravljivi ulazni faktori su oni ulazni parametri koji se mogu mijenjati kako u eksperimentu tako i u procesu. Kod kuhanja riže ti parametri su količina i kvaliteta riže te količina vode koja se koristi za kuhanje. S druge strane nekontrolirani ulazni faktori su oni parametri koje nije moguće mijenjati koji se unaprijed definirani, u ovom primjeru to je temperatura u kuhinji. Od izuzetne je važnosti prepoznati te parametre kako bi se moglo razumjeti u kojoj mjeri i na koji način utječu na izlazni proizvod. Odgovori odnosno izlazne karakteristike proizvoda prepoznaju se kao ishodi procesa, a u ovom primjeru to su okus i tekstura riže.



**Slika 38. Opći model procesa za primjenu metode planova pokusa**

### 5.2.1. Faktorski plan pokusa

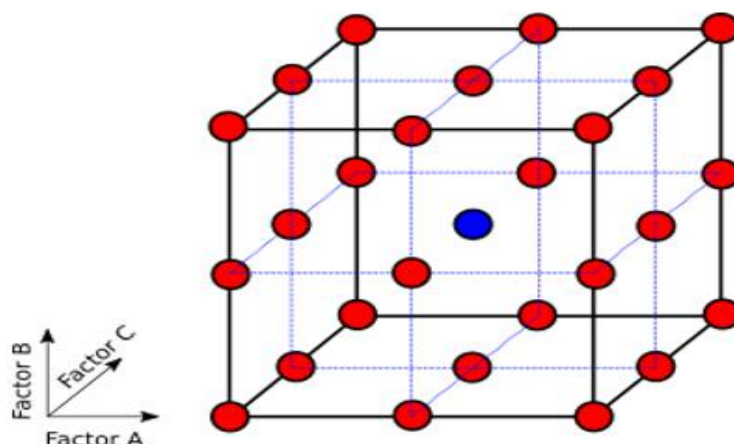
Na primjeru injekcijskog prešanja odabrat će se tri ulazna kontrolirana parametra te će se postaviti koncept faktorskog plana pokusa. Odabrani parametri su ranije spomenuto vrijeme hlađenja, naknadni tlak te temperatura kalupne šupljine. Izrazit će se tri vrijednosti za svaki parametar, niska, srednja i visoka vrijednost. Postavit će se model koji ispituje kako odbrani ulazni parametri utječu na konačan proizvod kutiju pretinca. Konačan proizvod kutija pretinca bit će opisan parametrima kvalitete površine skalom od 1-10 te dimenzijom zazora između kutije pretinca i poklopca. Prvi korak izrade je postavljanje vrijednosti ulaznih parametara. S obzirom da bi prilikom provedbe plana pokusa bilo nezgodno zadržati prave vrijednosti ulaznih parametara one se označavaju na jednostavniji način i to 0 za nisku vrijednosti, 1 za srednju vrijednosti, a 2 za visoku vrijednost. Stvarne vrijednosti ulaznih parametara vidljive su u sljedećoj tablici:

**Tablica 8. Vrijednosti ulaznih parametara faktorskog plana pokusa**

Vrijednosti ulaznih parametara			
ULAZNI PARAMETRI	Niska vrijednost, 0	Srednja vrijednost, 1	Visoka vrijednost, 2
Vrijeme hlađenja [s]-FAKTOR A	15	19	23
Naknadni tlak [bar]-FAKTOR B	32	35	38
Temperatura kalupne šupljine [°C] – FAKTOR C	24	30	36



Ovaj model se može prikazati kao kocka sa 27 različitih točaka.[Slika 39.] Svaka točka predstavlja jednu kombinaciju faktora sa pripadajućom vrijednosti.



**Slika 39. Model faktorskog plana pokusa[12]**

S obzirom na broj faktora (tri faktora) i broj razina vrijednosti (3 razine vrijednosti) potrebno je provesti minimalno 27 izvođenja slučajnog redoslijeda varijabli (eng. *Runs*). U ovom slučaju provest će se 31 ponavljanje izvođenja kako bi se procijenila pogreška eksperimenta, tj. kako bi se obuhvatila varijabilnost procesa.

Randomized Run order	Vrijeme	Tlak	Temperatura
1.	2	2	1
2.	1	2	1
3.	0	2	2
4.	0	2	0
5.	2	0	1
6.	2	2	2
7.	2	2	0
8.	1	2	0
9.	0	1	1
10.	1	1	2
11.	2	1	1
12.	1	0	0
13.	2	0	2
14.	0	2	1
15.	0	0	1
16.	1	0	2
17.	1	1	1
18.	1	1	0
19.	0	0	2
20.	2	0	0
21.	0	1	0
22.	1	0	1
23.	0	1	2
24.	0	0	0
25.	1	2	2
26.	2	1	2
27.	2	1	0
28.	1	1	2
29.	0	1	0
30.	1	2	2
31.	2	2	1

**Slika 40. Izvođenje slučajnog redoslijeda varijabli**

Nakon dobivenog redosljeda izvođenja potrebno je izvršiti injekcijsko prešanje sa ovako definiranim ulaznim parametrima kako bi se mogla kvantificirati konačna kvaliteta proizvoda, odnosno vrijednosti izlaznih parametara. U ovom slučaju to su kvaliteta površine i dimenzija zazora. Nakon toga moguće je dobiti višestruki regresijski model koji definira uzročno posljedične veze unutar procesa. Osnovi model za ovako definiran pokus sa tri ulazne varijable promjenjive u tri razine izgleda na sljedeći način, prema[12]:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + e_{ijk} \quad (17)$$

Vrijednosti i, j, k idu od 0 do 2 (0,1,2). Za svaki parametar uzima se pridružena vrijednost za redni broj izvođenja. Uporabom kompleksnijeg modela, modela s kvadratnim članovima moguće je dobiti precizniji uvid u uzročno posljedične veze ulaznih faktora i odziva (18).

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{k-1,k} x_{k-1} x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{kk} x_k^2 \quad (18)$$

pri čemu su koeficijenti  $\beta_0 \dots \beta_k$  određeni primjenom metode minimizacije sume kvadrata odstupanja izračunanih i stvarnih vrijednosti.

Postupkom eksperimentalne optimizacije, uzimajući kompleksniji model, postigli bi se odgovarajući ulazni parametri koji bi rezultirali konačnim proizvodom optimalnih karakteristika po pitanju ključnih varijabli kvalitete površine i dimenzijske točnosti. S obzirom da tijekom izrade rada nije bilo mogućnosti provedbe samog eksperimenta, pripremljeni plan pokusa odradit će se prije novog godišnjeg plana proizvodnje u trenutku kada će stroj za brizganje biti raspoloživ za takvu vrstu analize.

## 6. ZAKLJUČAK

Provođenje optimizacije odnosno unaprjeđenja je složen postupak koji se sastoji od snimanja procesa, analize parametara i njihovih posljedično uzročnih veza, prijedloga poboljšanja te na kraju validacije i verifikacije postignutog rješenja. Dobre strane optimizacije se najčešće očitavaju u smanjenju vremena procesa te uštedi koja je nastala kao produkt optimizacije. Međutim, proizvodne procese ne treba gledati samo kroz brojke zarade ili uštede, već pristupiti analizi iz jedne šire perspektive koja je usmjerena na cijeli proces, a ne samo na pojedini segment tog procesa jer se na taj način osim uštede novca i vremena osigurava kvaliteta konačnog proizvoda. Krajnje karakteristike konačnog proizvoda su na koncu glavni pokazatelj kvalitete našeg procesa. Ponekad smanjenje produktivnosti procesa koje se stvorilo povećanjem opsega posla radnika rezultira boljim izlaznim rezultatima. Kroz ovaj diplomski rad opisano je kako izgleda proizvodni proces nastajanja kutije pretinca. Potom je proveden proračun kojim se dobilo novo smanjeno vrijeme ohlađivanja otpreska prilikom ciklusa injekcijskog prešanja koje iznosi 19 sekundi. Odnosno vrijeme ohlađivanja otpreska je smanjeno sa 24 sekunde na 19 sekundi. S obzirom da se javio potencijalan problem sa širinom zazora između kutije pretinca i poklopca implementirano je rješenje kojim se proizvodni proces nadograđuje sa još jednom operacijom kontrole. Kako je do sada provjera tog zazora bila samo na kraju cjelokupnog procesa, dan je prijedlog da se ta kontrola izvrši prije pomoću oglednog primjerka kutije pretinca. Nakon provedene simulacije procesa utvrđeno je da je iskoristivost radnika tijekom operacije predmontaže i kontrole otpreska niskih 30 %. Stoga je u taj prazni hod radnika implementirana dodatna kontrola zazora otpreska koja se do sada izvršavala tek na kraju. Na radnom mjestu gdje se do sada vršila kontrola i predmontaža otpreska postavljen je ogledni primjerak poklopca koji se postavlja na kutiju te se etalonom provjeri zazor koji mora biti veći od 5,0 mm. Dodatnom kontrolom spriječen je daljnji tok proizvodnog procesa te su se nepotrebni troškovi ukinuti. Zaustavljene su sve operacije koje slijede koje bi samo generirale trošak jer bi na kraju proizvod bio nesukladan. Ukoliko dođe do nesukladnog otpreska nakon injekcijskog prešanja, taj komad će se odložiti sa strane. S obzirom da je riječ o polimeru moguća je njegova ponovna uporaba i vraćanje materijala u proces u određenom postotku što opet generira uštede. Prema dosadašnjem stanju taj nesukladni dio bio bi proglašen škartom jer se na njemu nalazi niz metalnih dijelova koji su tijekom montaža postavljeni te je onemogućena njegova ponovna uporaba. Isto tako nakon

provedenog unaprjeđenja tu posao ne staje. Kontinuiranim unaprjeđenjima procesa osigurava se održavanje zadovoljavajuće razine kako kvalitete tako i ostalih ključnih pokazatelja. Drugim riječima, potrebno je konstanto analizirati i unaprjeđivati proizvodni proces kako bi se opstalo na tržištu, a isto tako prilagoditi se današnjim tehnologijama i uvijek tražiti više od procesa. Potrebno je neprestano koračati prema boljem pa makar to bilo i sitnim koracima, ali ti sitni koraci su put koji će dovesti do velikim promjena.

## LITERATURA

- [1] Čatić, I. Proizvodnja polimernih tvorevina. Zagreb: Društvo za plastiku i gumu; 2006.
- [2] Šercer, M. Predavanja iz kolegija Prerada polimera. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2018.
- [3] Privšek, H. Umjetnost injekcijskog prešanja. Zagreb: PROFIDTP; 2016.
- [4] Borealis; <https://www.borealisgroup.com/product/mg160ai/data-sheets?context=https://www.borealisgroup.com&search-global-search&index-search=products&id-search=346298>, Pristupljeno: 19.5.2021.
- [5] Krauss Maffei: <https://www.kraussmaffei.com/en/home>, Pristupljeno: 21.5.2021.
- [6] Runje, B. Predavanja iz kolegija Statistika u mjeriteljstvu. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [7] Cajner, H. Predavanja iz kolegija Inženjerska statistika. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2019.
- [8] Minitab; <https://support.minitab.com/en-us/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>, Pristupljeno: 12.6.2021.
- [9] Đukić, G. Predavanja iz kolegija Simulacije proizvodnih i logističkih sustava. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2020.
- [10] AnyLogic; <https://www.anylogic.com/>, Pristupljeno: 16.6.2021.
- [11] Isixsigma; <https://www.isixsigma.com/dictionary/cost-of-poor-quality-copq/>, Pristupljeno: 20.6.2021.
- [12] Three-level full factorial designs; <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri339.htm>, Pristupljeno: 1.7.2021.