

Analiza proizvodnog procesa poduzeća za proizvodnju automobilskih dijelova

Jukić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:235:683382>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Marko Jukić

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Hrvoje Cajner, doc.

Student:

Marko Jukić
0035200479

Zagreb, 2019. godine

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

Zahvaljujem se svom mentoru Dr. sc. Hrvoju Cajneru, doc. na pruženoj stručnoj pomoći tijekom izrade rada.

Također zahvaljujem se gospodinu Vladi Horvatiću i ostalim djelatnicima tvrtke Feroimpex na ukazanoj susretljivosti i pruženim informacijama.

Marko Jukić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne 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:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Jukić** Mat. br.: 0035200479

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza proizvodnog procesa poduzeća za proizvodnju automobilskih dijelova**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analysis of production process of automotive company**

Opis zadatka:

Suvremeni zahtjevi prema automobilske industriji naglo su porasli, a vrhunska kvaliteta u proizvodnji dijelova traži se na tržištima diljem svijeta. Poduzeće Feroimpex d.o.o. nudi usluge proizvodnje ležajeva, dijelova za automobilsku, željezničku industriju, proizvodnju alata te komponenti ležajeva za vjetroelektrane. Zbog povećanja zahtjeva na kvalitetu te povećanje narudžbi ukazala se potreba za optimizacijom proizvodnog procesa.

U radu je potrebno:

1. Opisati proizvodni asortiman poduzeća Feroimpex d.o.o.
2. Izraditi mapu toka vrijednosti za odabrani tip proizvoda.
3. Na odabranom uzorku analizirati i klasificirati vremena operacija.
4. Analizirati dobivene podatke metodama statističke analize procesa.

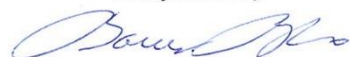
Zadatak zadan:
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:
1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:


Dr. sc. Hrvoye Cajner, doc.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. TVRTKA FERIOIMPEX D.O.O.	2
2.1. Proizvodne tehnologije	2
2.1.1. Odjel za tokarenje	3
2.1.2. Odjel za alate	3
2.1.3. Toplinska obrada.....	4
2.2. Proizvodni asortiman	4
2.3. Kontrola kvalitete	5
3. MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI PROIZVODNOG PROCESA.....	7
3.1. Etape stvaranja mape trenutnog toka vrijednosti.....	7
3.2. Trenutna mapa toka vrijednosti	9
4. ANALIZA PROIZVODNOG MJESTA	12
4.1. Oprema	12
4.2. Proizvod	12
4.3. Kontrola kvalitete	14
4.4. Analiza tehnoloških vremena	15
4.4.1. Definiranje tehnoloških vremena u postupku izrade unutarnjeg prstena	16
4.4.2. Iznos tehnoloških vremena u postupku izrade unutarnjeg prstena	16
5. STATISTIČKA ANALIZA PROCESA	22
5.1. Varijacija procesa	22
5.2. Provođenje statističke kontrole procesa	23
5.3. Alati statističke kontrole procesa.....	24
5.4. Provođenje statističke kontrole procesa (SPC).....	25
5.4.1. Odabir kontrolnog dijagrama.....	25
5.4.2. Postupak provedbe SPC metode	26
5.4.3. Pomoćno vrijeme t_{p1}	27
5.4.4. Pomoćno vrijeme t_2	31
5.4.5. Pomoćno vrijeme t_{p3}	35
5.4.6. Pomoćno vrijeme t_{p3^*}	40
5.5. Utjecajni faktori na pomoćna vremena	42
5.6. Unaprjeđenje procesa.....	43
6. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46

PRILOZI47

POPIS SLIKA

Slika 1.	Proizvodni park tvrtke Feroimpex d.o.o. [1]	2
Slika 2.	Zemlje partneri.....	2
Slika 3.	CNC tokarilica i uređaji za kontrolu kvalitete [1].....	3
Slika 4.	Peć za kaljenje [1]	4
Slika 5.	Proizvodni asortiman [1]	5
Slika 6.	Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo S544 [1]	6
Slika 7.	Laboratorij za ispitivanje strukture [1]	6
Slika 8.	VSM simboli [2]	7
Slika 9.	Isječak procesnih koraka iz mape toka vrijednosti	8
Slika 10.	Vremenska linija (VAT i NVAT) [2].....	9
Slika 11.	Dijelovi mape toka vrijednosti.....	9
Slika 12.	Trenutna mapa toka vrijednosti.....	11
Slika 13.	CNC obradni centar.....	12
Slika 14.	Površine obrade.....	13
Slika 15.	Prvo stezanje	13
Slika 16.	Drugo stezanje.....	13
Slika 17.	Točke kontrole kvalitete	14
Slika 18.	Mjerni alati.....	15
Slika 19.	Tlocrt proizvodne ćelije.....	15
Slika 20.	Tehnološka vremena izrade	16
Slika 21.	Dijagram cijena kvalitete - sposobnost organizacije [3]	22
Slika 22.	Provođenje statističke kontrole procesa	23
Slika 23.	Alati statističke kontrole procesa[3].....	25
Slika 24.	Odabir uzorkovanja (5).....	26
Slika 25.	Petlja SPC metode.....	27
Slika 26.	Numerička i grafička analiza t_{p1}	28
Slika 27.	X - MR kontrolni dijagram t_{p1}	29
Slika 28.	Sposobnost procesa t_{p1}	30
Slika 29.	Usporedba sposobnosti radnika	31
Slika 30.	Numerička i grafička analiza T_{p2}	32
Slika 31.	Box - Cox transformacija T_{p2}	33
Slika 32.	Normalna razdioba T_{p2} nakon Box – Cox transformacije.....	34
Slika 33.	X-MR kontrolni dijagram T_{p2} nakon Box – Cox transformacije.....	34
Slika 34.	Korigirani X-MR kontrolni dijagram t_{p2} nakon Box – Cox transformacije	35
Slika 35.	Numerička i grafička analiza t_{p3}	36
Slika 36.	Box - Cox transformacija t_{p3}	37
Slika 37.	Normalna razdioba t_{p3} nakon Box – Cox transformacije	38
Slika 38.	X-MR kontrolni dijagram t_{p3} nakon Box – Cox transformacije	38
Slika 39.	Korigirani X-MR kontrolni dijagram t_{p3} nakon Box – Cox transformacije	39
Slika 40.	Numerička i grafička analiza t_{p3}^*	40
Slika 41.	X - MR kontrolni dijagram za t_{p3}^*	41
Slika 42.	Korigirani X - MR kontrolni dijagram za t_{p3}^*	42

POPIS TABLICA

Tablica 1. Proizvodni proces.....10
Tablica 2. Pomoćna vremena17
Tablica 3. Uzorci25

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
t_{pz}	s	Pripremno završno vrijeme
t_{p1}	s	Pomoćno vrijeme 1
t_{t1}	s	Tehnološko vrijeme 1
t_{p2}	s	Pomoćno vrijeme 2
t_{t2}	s	Tehnološko vrijeme 2
t_{p3}	s	Pomoćno vrijeme 3
t_{p3}^*	s	Pomoćno vrijeme 3*
$n_{mjerjenja}$	mjerenje	Broj uzoraka
\bar{x}	s/kom	Aritmetička sredina
s	s/kom	Procjena standardne devijacije
IP	s/kom	Intervalna procjena očekivane vrijednosti
x	s	Vrijednost varijacije
x'_λ	s	Transponirana vrijednost varijacije
λ	1	Faktor transformacije
p	· 100%	Jakost procesa
α	· 100%	Razina značajnosti

SAŽETAK

Tema ovog rada je optimizacija proizvodnog procesa primjenom metoda statistička analiza (eng. Statistical process control – SPC) proizvodnog procesa. U prvom dijelu opisan je proizvodni park i asortiman tvrtke Feroimpex d.o.o. te naveden način provođenja kontrole kvalitete. Način komunikacije između odjela u tvrtki, te dogovori oko narudžbi sa kupcima i dobavljačima prikazani su u mapi toka vrijednosti. U mapi toka vrijednosti prikazan je i proizvodni proces čija je ćelija predmet statističke analize. Nadalje, opisana su i klasificirana tehnološka vremena promatrane ćelije. Opisana tehnološka vremena su snimljena u gore navedenoj tvrtki, te je provedena statistička analiza istih.

Ključne riječi:

Proizvodni proces, tehnološka vremena, statistička analiza procesa, SPC, automobilska industrija

SUMMARY

The topic of this article is the optimization of the production process by applying a statistical process control (SPC). The first part describes the production park and range of products of the company Feroimpex d.o.o. and the way of performing quality control. The method of communication between the departments in the company and the dealings with customers and suppliers are shown in the flow chart of values. In the flow chart of values is also shown the production process whose production place is subject to statistical analysis. Furthermore, the classified technological times of the observed production place are also described. The described technological times were recorded in the company above and a statistical analysis was carried out.

Keywords:

Production process, technological time, statistical analysis of processes, SPC, automotive industry

1. UVOD

Opće je poznato da automobilska industrija veliki udio svoje zarade temelji na ograničenosti vijeka trajanja određenih komponenti vozila odnosno prodajom zamjenskih dijelova. Iako ni jedna velika svjetska automobilska korporacija nema proizvodni pogon u Hrvatskoj, razvoj automobilske industrije u Hrvata ima korijene u srodnim proizvodnim djelatnostima kao što su brodogradnja, metaloprerađivačka industrija te proizvodnja plastike. Prateći tempo razvoja tehnologije, automobilska industrija danas zahtjeva visokokvalitetne dijelove čiju cijenu formira otvoreno tržište. Da bi opstali na takvom tržištu hrvatski proizvođači moraju imati visoko preciznu proizvodnju, sa nultim udjelom proizvoda koji ne odgovaraju namjeni. Konstantan napredak i održavanje visoke razine kvalitete dijelova može se postići kroz proučavanje i analizu tehnoloških procesa u proizvodnji. Kao što je bitno pratiti trendove razvoja industrije tako je bitno pratiti i razinu kvalitete u proizvodnom pogonu, što nam omogućuje statistička analiza procesa. SPC (eng. *Statistical process control*) je statistička metoda mjerenja i kontrole parametara koja obradom prikupljenih podataka stvara sustav za upravljanje i poboljšanje proizvodnih procesa. Jednim od alata SPC metode biti će prikazan proizvodni proces izrade unutarnjeg prstena ležaja, dok će jedna proizvodna ćelija tog procesa biti posebno analizirana. Cilj analize je smanjenja pomoćnih vremena u procesu, što za posljedicu ima točne rokove isporuke, zadovoljstvo kupaca i potencijalne nove suradnje.

2. TVRTKA FEROIMPEX D.O.O.

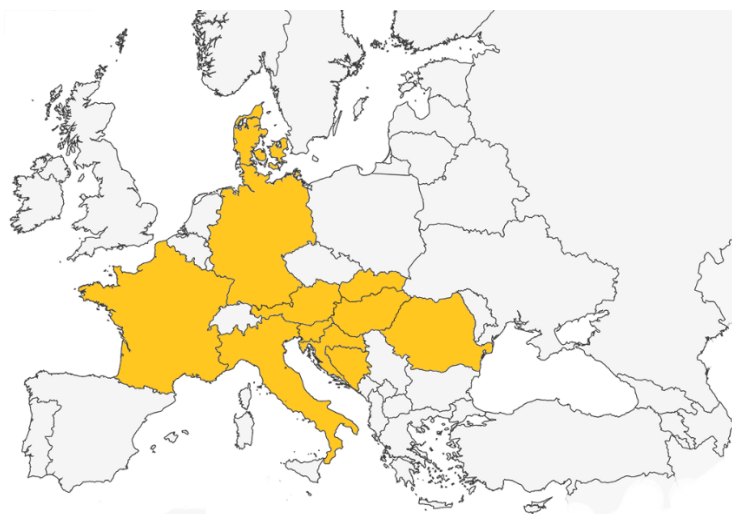
Preteča tvrtke Feroimpex d.o.o. bila je mala bravarska radionica koju je 1976. godine osnovala obitelj Legac. Tijekom godina mala bravarska radionica koja se u početku bavila proizvodnjom vijaka i opruga izrasla je u moderno poduzeće koje nudi usluge proizvodnje ležajeva, dijelova za automobilsku i kamionsku industriju, proizvodnju alata te komponenti ležajeva za vjetroelektrane. Više od 360 zaposlenika koji rade u tri smjene čini radni tim tvrtke Feroimpex d.o.o. u proizvodnom pogonu koji se prostire na 13 000 m².



Slika 1. Proizvodni park tvrtke Feroimpex d.o.o. [1]

2.1. Proizvodne tehnologije

Primjena modernih i suvremenih tehnologija omogućava konkurentnost na tržištu. Postrojenje koje se sastoji od više od 20 različitih te ukupno više od 200 proizvodnih strojeva i uređaja koristi se za proizvodnju za partnere s kojima posluju u više od 10 država širom Europe.



Slika 2. Zemlje partneri

2.1.1. Odjel za tokarenje

Tokarenje je glavna vrsta strojne obrade koju koristi tvrtka Feroimpex za dobivanje svojih proizvoda. Proces tokarenja se izvodi na preko 150 CNC uređaja i obradnih centara.

Vrste obrade koje se rade na odjelu za tokarenje:

- Tokarenje na CNC strojevima: od \varnothing 10 mm do \varnothing 380 mm i maksimalne dužine 1080 mm
- Tvrdo tokarenje na CNC strojevima: od \varnothing 40 mm do \varnothing 300 mm i maksimalne dužine 250 mm
- Duboko bušenje na CNC strojevima: maksimalne dubine do 220 mm i maksimalnog promjera do \varnothing 35mm
- Piljenje cijevi i šipki do maksimalnog promjera od \varnothing 350 mm



Slika 3. CNC tokarilica i uređaji za kontrolu kvalitete [1]

2.1.2. Odjel za alate

Odjel za alate 80% svojih proizvodnih kapaciteta iskorištava za proizvodnju alata za vlastite potrebe tvrtke, a ostalih 20% za usluge kupcima.

Vrste obrade koje se rade na odjelu za alate:

- Tokarenje od \varnothing 4 mm do 600 mm i maksimalne dužine 1500mm
- CNC bušenje, brušenje, fino stolno bušenje obradaka veličine 1000 mm x 500 mm x 500 mm, mase do 1300kg

- Bušenje do \varnothing 60 mm promjera
- CNC kružno glodanje do \varnothing 200 i maksimalne duljine 500 mm
- Ravno glodanje površine 300 mm x 600 mm
- Kružno glodanje promjera do \varnothing 300

2.1.3. Toplinska obrada

Tvrtka Feroimpex u vlastitom pogonu vrši toplinsku obradu. Toplinski se obrađuje 90% konačnih komponenti. Odjel toplinske obrade se sastoji od:

- 2 toplinske peći za toplinsku obradu sa zaštitnom atmosferom, dimenzije peći su \varnothing 900 x 1000 mm i 950 x 950 x 1100 mm, maksimalne mase do 1000kg
- Mogućnost kaljenje u tekućoj soli do maksimalno 350 °C, sa optimiranim protokom soli
- Mogućnost prekaljivanja dimenzija 950 x 950 x 1100 mm bez ograničenja mase



Slika 4. Peć za kaljenje [1]

2.2. Proizvodni asortiman

Automobilski dijelovi su glavna grana proizvodnje tvrtke Feroimpex d.o.o. Način na koji tvrtka održava svoju konkurentnost na ovom vrlo jakom tržištu su konstantna poboljšanja u proizvodnom procesu koja su zasnovana na praćenju tehnoloških trendova te edukacija i motivacija radnika da teže ka izvrsnosti.

U skladu s tokarenjem, najkorištenijom strojnom obradom u pogonu, najveći dio asortimana je cilindričnog oblika. Dnevno se proizvede između 50 000 i 60 000 gotovih komponenti za ležajeve raznih dimenzija, pretežno za automobilsku i kamionsku industriju te manji udio za vjetroelektrane.



Slika 5. Proizvodni asortiman [1]

2.3. Kontrola kvalitete

Potrebe i zahtjevi kupaca mijenjaju se proporcionalno modernizaciji proizvodnje, najbitnija stavka kako u zadržavanju stalnih tako i u pronalaženju novih kupaca je visoka razina kvalitete. Stoga tvrtka Feroimpex provodi kontrolu kvalitete u skladu sa zahtjevima normi IATEF 16949 i ISO 9001.

Tvrtka raspolaže s modernom opremom za ispitivanje kvalitete proizvoda koja omogućuje visoku preciznost i pouzdanost mjerenja. Kontrola kvalitete je podijeljena u dva odjela:

1) Odjel za kontrolu dimenzija koji raspolaže:

- Trokoordinatnim mjernim uređajem
- Konturografom
- Mjernim urama
- Uređajima za mjerenje dubine itd.



Slika 6. Trokoordinatni mjerni uređaj Mitutoyo S544 [1]

2) Laboratorij za ispitivanje strukture u kojem se provode:

- Mikroskopska mjerenja
- Mjerenje tvrdoće prema Brinellu, Vickersu i Rockwellu itd.



Slika 7. Laboratorij za ispitivanje strukture [1]

3. MAPIRANJE TOKA VRIJEDNOSTI PROIZVODNOG PROCESA

Mapiranje toka vrijednosti (eng. *Value stream mapping*) je alat vitkog menadžmenta kojim se prikazuje protok materijala i informacija od dobavljača do kupca kroz proizvodni proces. Mapa toka vrijednosti prikazuje korake u proizvodnji koji dodaju vrijednost proizvodu, ali isto tako i radnje koje ne dodaju vrijednost proizvodu, te otkriva mjesta gdje se ostvaruju gubitci. Na slici su prikazani neki od simbola koji se koriste za opisivanje radnji u mapi toka vrijednosti. [Slika 8]



Slika 8. VSM simboli [2]

3.1. Etape stvaranja mape trenutnog toka vrijednosti

I. ODABIR PROIZVODA ILI GRUPE PROIZVODA

Prije svega trebamo odlučiti što želimo mapirati, u poduzeću s mnogim proizvodima možda će biti potrebno prvo provesti neku statističku analizu kako bi se utvrdilo koji proizvod treba mapirati. Primjerice kriterij može bit najveća vrijednost proizvoda, najveći broj operacija, sumnja u neefikasnost trenutnog toka vrijednosti ili odabir proizvoda od kojih očekujemo više posla u budućnosti. Ukoliko veći broj proizvoda dijeli zajedničke procese, moguće je napraviti grupu procesa te nju mapirati.

II. ODREĐIVANJE GRANICA MAPE TOKA VRIJEDNOSTI

Drugi korak je odlučivanje o granicama naše karte, većina mapa toka vrijednosti se provodi od dobavljača do klijenta gdje je prikazan proizvodni proces koji se odvija unutar jedne organizacije (tvrtke). Stoga su u većini slučajeva dobavljač i klijent

prvi i posljednji simbol u mapi toka vrijednosti. Moguće je mapirati i cijeli opskrbni lanac, ali u tom slučaju početna i završna točka za mapu toka vrijednosti bi bile sirovine i krajnji potrošač.

III. UNOS INFORMACIJA U MAPU TOKA VRIJEDNOSTI

Nakon što se postave granice procesa. Jedna od stvari koja razlikuje mapiranje toka vrijednosti od većine drugih alata koji se koriste u industriji je uključivanje tokova informacija u mapu. U mapu se unose informacije kao učestalost narudžbe proizvoda, način komunikacije s dobavljačima i kupcima, način prijevoza gotovih proizvoda.

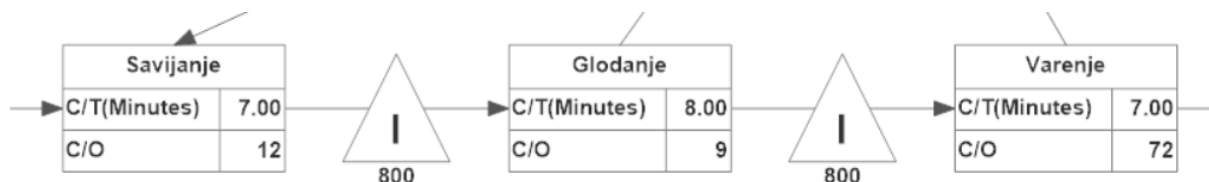
IV. DEFINIRANJE KORAKA U PROIZVODNOM PROCESU

Potrebno je definirati procesne korake za mapu toka vrijednosti. Procesni koraci su različite operacije kojima se dobiva finalni proizvod.

V. PRIKUPLJANJE I UNOS PODATAKA O PROCESIMA

Nakon što se unesu procesni koraci u mapu toka vrijednosti potrebno je potaknuti proizvodni tim da prikupi podatke o proizvodnom procesu kako bi ih se moglo unijeti u mapu. Bitno je da operateri zabilježe stvarne podatke u određenim intervalima. Unose se podaci kao što su broj operatera, vrijeme ciklusa, raspoloživo radno vrijeme i slično.

Na slici je prikazan isječak u kojem su prikazane tri operacije koje se provode nad jednim proizvodom. [Slika 9] Također zabilježeno vrijeme ciklusa proizvodnje (C/T) i vrijeme izmjene alata (C/O). Trokut između operacija predstavlja rad u procesu (eng. *WIP – Work In Process*), odnosno broj poluproizvoda koji čeka na daljnju obradu.



Slika 9. Isječak procesnih koraka iz mape toka vrijednosti

VI. FORMIRANJE VREMENSKE LINIJE (VAT I NVAT)

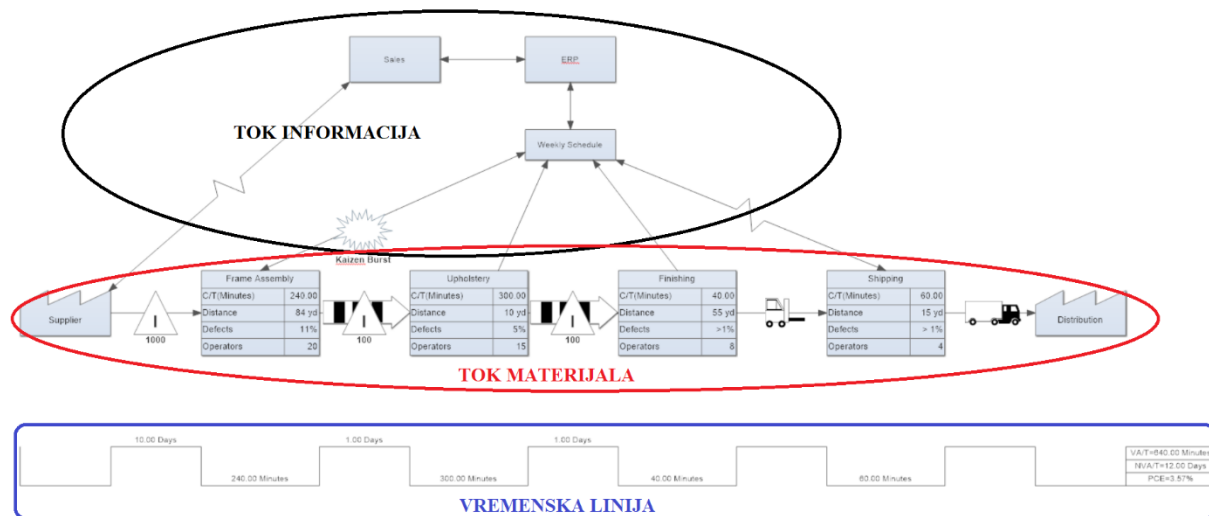
Vremensku liniju je lenta koja se nalazi ispod simbola za procesne korake, a izrađujemo ju kako bi dobili informaciju o ukupnom trajanju vremena procesa. Ovo je posljednji korak formiranja mape toka vrijednosti.

- ❖ VAT – aktivnosti koje dodaju vrijednost
- ❖ NVAT – aktivnosti koje ne dodaju vrijednost



Slika 10. Vremenska linija (VAT i NVAT) [2]

Na slici je prikazana konačna mapa toka vrijednosti i označena su tri osnovna dijela mape: tok informacija, tok materijala i vremenska linija. [Slika 11] Okviri s podacima i vremenska crta sadrže veliki broj informacija procesu na jednom mjestu. Mapa nam omogućuje pronalaženje problematičnih područja u procesu kao što su preveliki rad u procesu, duga vremena čekanja, prevelika vremena izmjene alata i slično.



Slika 11. Dijelovi mape toka vrijednosti

3.2. Trenutna mapa toka vrijednosti

Prema informacijama dobivenim tijekom snimanja proizvodnog pogona tvrtke Feroimpex d.o.o. napravljena je mapa toka vrijednosti trenutnog stanja za proces proizvodnje unutarnjeg prstena ležaja.

Napomena: U skladu sa politikom firme, podaci o dobavljačima i kupcima označeni su kao povjerljivi, te stoga nisu navedeni, zahtjevi su prikazani kao približne vrijednosti koje su podložne promjenama.

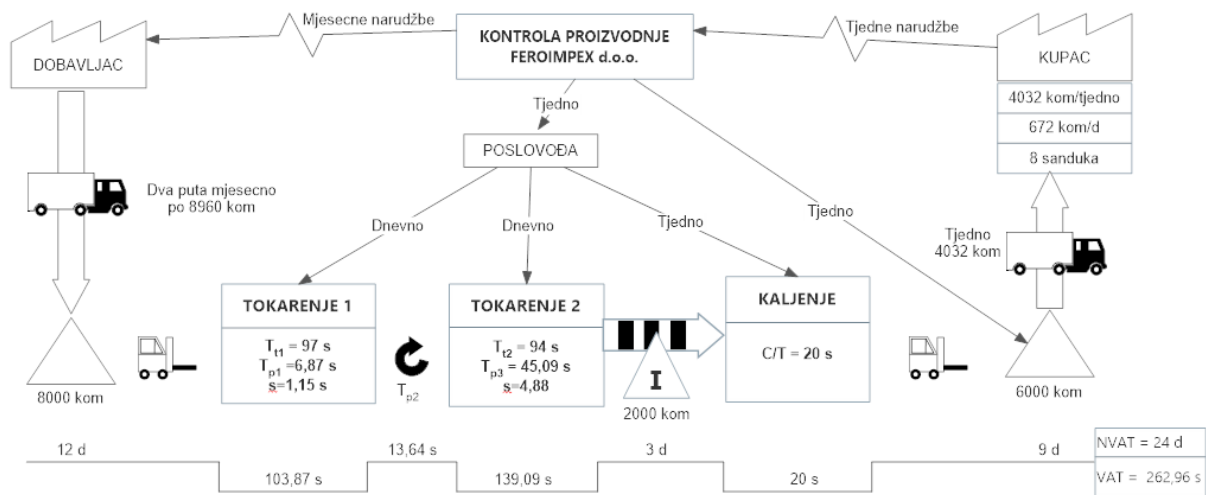
U tablici su prikazani proizvodni procesi koji se provode u cilju dobivanju konačne komponente, unutarnjeg prstena ležaja. [Tablica 1]

Tablica 1. Proizvodni proces

Proizvodni proces	Stroj (uređaj) za obradu
Tokarenje 1	Tokarski obradni centar 1
Tokarenje 2	Tokarski obradni centar 2
Toplinska obrada	Toplinska peć sa zaštitnom atmosferom

Informacije potrebne za izradu mape toka vrijednosti:

- Zahtjevi kupca su tjedna pošiljka od 4032 komada (8 sanduka po 504 komada)
- Pošiljka od dobavljača dolazi u jednakim intervalima dva puta mjesečno, u iznosu od 8960 komada (32 sanduka po 280 komada)
- Transport se odvija cestovnim prometom.
- Rad se vrši u tri smjene po 8 sati kada se oduzme 30 minuta predviđenog za odmor radnika i 30 minuta pripremno-završnog vremena stroja ostaje ukupno raspoloživo vrijeme za rad stroja u iznosu od 7 sati po smjeni ($7 \text{ h} = 420 \text{ min} = 25\,200 \text{ s}$), zaključno ukupno raspoloživo vrijeme za rad stroja iznosi 75 600 sekundi po danu
- Komunikacija s kupcem i dobavljačem je elektronička
- Narudžbe se šalju tjedno prema poslovođi u proizvodnji
- Narudžbe se šalju dnevno prema radnim mjestima



Slika 12. Trenutna mapa toka vrijednosti

NVAT (non value added time) – vrijeme koje ne dodaje vrijednost proizvodu

VAT (value added time) – vrijeme koje dodaje vrijednost proizvodu

4. ANALIZA PROIZVODNOG MJESTA

U drugom poglavlju je navedeno da su komponente za ležajeve glavni produkt proizvodnog procesa ove tvrtke. U nastavku će biti prikazan postupak strojne obrade jednog dijela i analizirana vremena operacija.

4.1. Oprema

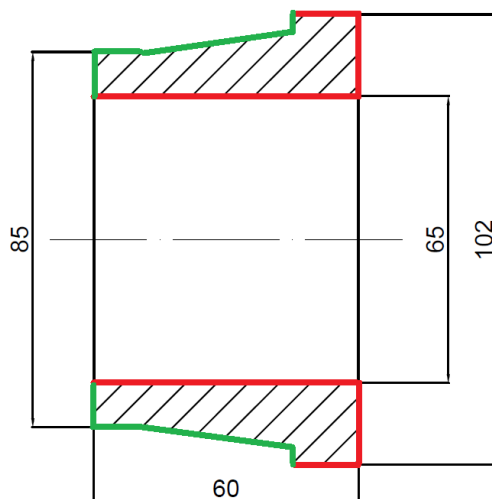
Proizvodni park tvrtke ima tri hale, a proizvodna ćelija koja će biti analizirana se nalazi u drugoj proizvodnoj hali. Konačna komponenta dobiva se operacijama tokarenja koje se vrše u dva stezanja na dva jednaka CNC obradna centra.



Slika 13. CNC obradni centar

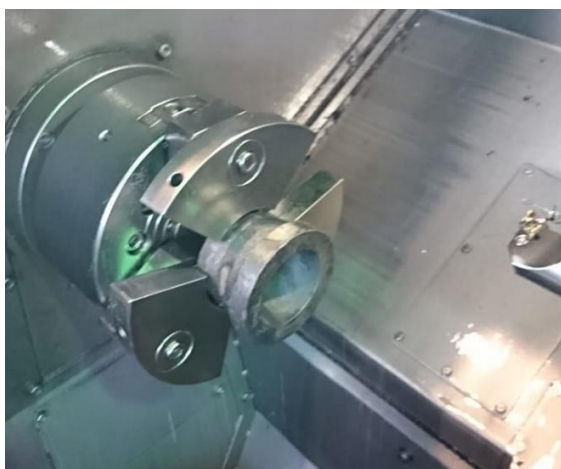
4.2. Proizvod

Ispravnost i dugotrajnost ležajeva utječe na životni vijek strojeva i naprava u koje su ugrađeni. Kako bi se postigao propisani vijek trajanja ležaja proces izrade komponenti i sama montaža komponenti mora biti na zadovoljavajućoj razini. Na odabranoj proizvodnoj ćeliji u dva stezanja postupkom tokarenja iz otkivka se proizvodi unutarnji prsten ležaja.

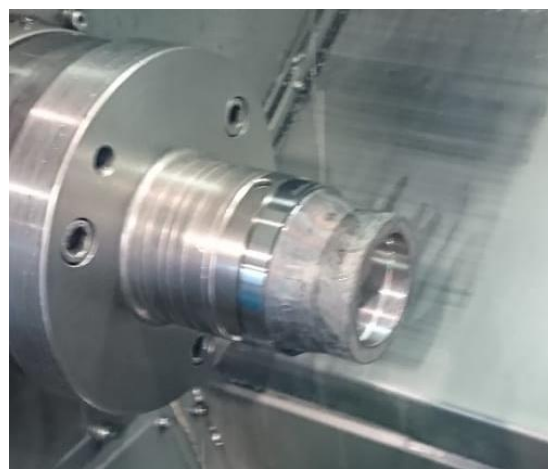


Slika 14. Površine obrade

Na gornjoj slici prikazana je skica otkivka budućeg prstena unutarnjeg ležaja. [Slika 14] Crvenom bojom su označene površine koje će biti obrađene na prvom stroju u prvom stezanju prikazanom na donjoj lijevoj slici, dok su zelenom bojom označene površine koje će biti obrađene na drugom stroju u drugom stezanju prikazanom na donjoj desnoj slici.



Slika 15. Prvo stezanje

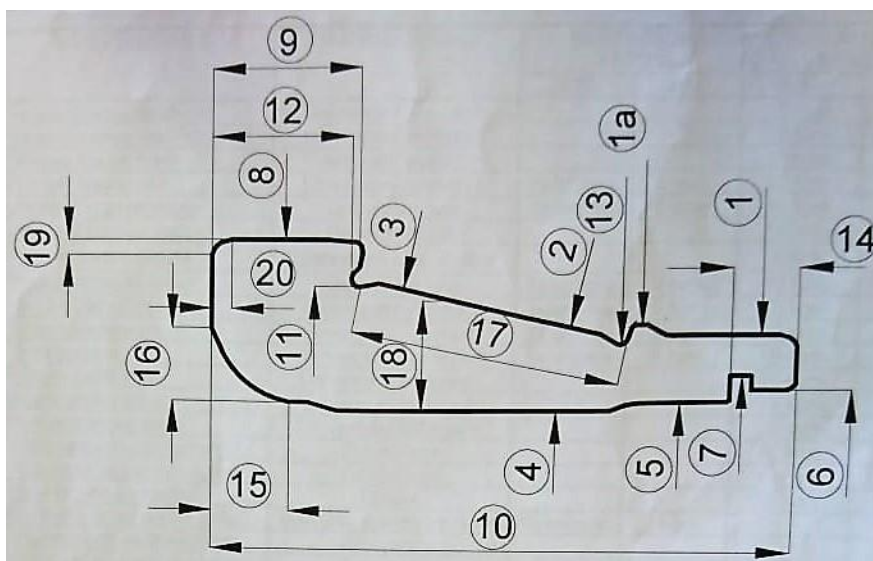


Slika 16. Drugo stezanje

Također na prikazanim slikama stezanja može se uočiti da je prvo stezanje s vanjske strane komada, a drugo s unutarnje strane što omogućuje obradu svih površina. Pri obradi tokarenja prvog stezanja izmjenjuju se tri različita alata sa osmerostruke revolverske glave, dok kod drugog stezanja čak 7 različitih se koristi za obradu. Nakon drugog stezanja iz obradnog centra izlazi gotova komponenta te je potrebno provesti kontrolu kvalitete.

4.3. Kontrola kvalitete

Kontrola mjera i oblika finalne komponente utvrđena je planom kontrole propisanim od odjela kontrole kvalitete. Kako se radi o gotovoj komponenti koja je nakon toplinske obrade spremna za montažu u ležaj, od strane djelatnika na stroju provodi se stopostotna kontrola najbitnije dimenzije i povremeno dodatna kontrola ostalih dimenzija. Dodatna kontrola predstavlja kontrolu koja se vrši na 3 od 10 obrađenih komada. Osim djelatnika stroja, kontrolu određenih dimenzija jednom u smjeni vrši i kontrolor iz odjela kontrole.



Slika 17. Točke kontrole kvalitete

Na slici je prikazan presjek krajnje komponente te brojevima označene dimenzije nad kojima je potrebno provesti kontrolu kvalitete. [Slika 17] Stopostotna kontrola se provodi nad dimenzijom označenom točkom 6, dok se dodatna kontrola provodi nad svim ostalim dimenzijama. Alati za provedbu kontrole kvalitete za sve dimenzije prikazani su na donjoj slici. [Slika 18]

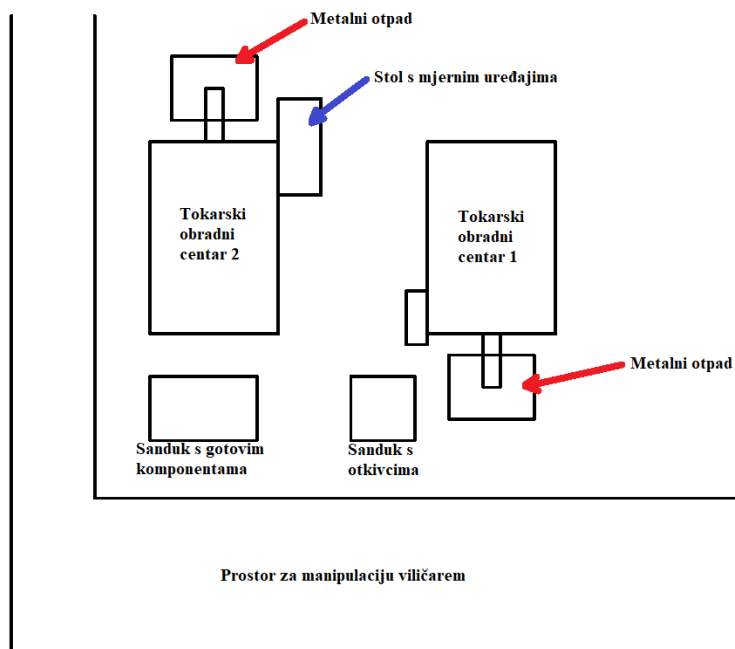


Slika 18 Mjerni alati

4.4. Analiza tehnoloških vremena

Određivanje vremena izrade određenog proizvoda ili serije proizvoda moguće je dobiti snimanjem stanja procesa. Snimanje se provodi pomoću mjerenja tehnoloških vremena, tehnološkim vremenima se snimaju određeni pokreti radnika, vremena obrade strojem, te sve popratne aktivnosti kao što su priprema radnog stroja i radnog mjesta.

Tlocrt proizvodne ćelije u kojoj će biti analizirana tehnološka vremena prikazan je na slici. [Slika 19]

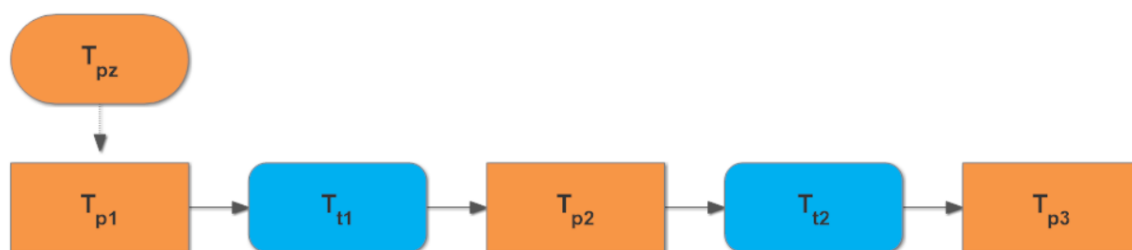


Slika 19. Tlocrt proizvodne ćelije

4.4.1. Definiranje tehnoloških vremena u postupku izrade unutarnjeg prstena

Tehnološka vremena izrade unutarnjeg prstena podijeljena su nekoliko faza.

- **Pripremno završno vrijeme (t_{pz})** – obuhvaća sve radnje pripreme stroja i radnog mjesta prije početka rada, te sve završne radnje nakon obavljenog rada
- **Pomoćno vrijeme 1 (t_{p1})** – uključuje radnje uzimanja komada iz sanduka s otkivcima i postavljanja u steznu glavu stroja 1
- **Tehnološko vrijeme 1 (t_{t1})** – vrijeme potrebno za obradu komada u stezanju broj 1, na stroju broj 1
- **Pomoćno vrijeme 2 (t_{p2})** – uključuje radnje uzimanja komada iz stezne glave stroja 1, njegovo propuhivanje i propuhivanje stezne glave stroja 1 u cilju uklanjanja metalnog otpada (šene) te postavljanja komada u steznu glavu stroja 2
- **Tehnološko vrijeme 2 (t_{t2})** – vrijeme potrebno za obradu komada u stezanju broj 2, na stroju broj 2
- **Pomoćno vrijeme 3 (t_{p3})** – uključuje radnje uzimanja komada iz stezne glave stroja 2, njegovo propuhivanje i propuhivanje stezne glave stroja 2 u cilju uklanjanja metalnog otpada (špene), stopostotnu kontrolu najbitnije dimenzije konačnog izratka te njegovo odlaganje u sanduk s gotovim komponentama
- **Pomoćno vrijeme 3 * (t_{p3}^*)** – uključuje sve radnje koje uključuje 'pomoćno vrijeme 3' uz dodatnu kontrolu kvalitete nad svim dimenzijama koja se provodi nakon kontrole najbitnije dimenzije



Slika 20. Tehnološka vremena izrade

4.4.2. Iznos tehnoloških vremena u postupku izrade unutarnjeg prstena

- **$t_{pz} = 30\text{min}$** – pripremno završno vrijeme (t_{pz}) je fiksno i iznosi 30 minuta u svakoj proizvodnoj smjeni

- $t_{t1} = 1 \text{ min } 37 \text{ s} (= 97 \text{ s})$ – tehnološko vrijeme 1 (t_{t1}) je fiksno i iznosi 1 min 37 s za obradu jednog komada
- $t_{t2} = 1 \text{ min } 34 \text{ s} (= 94 \text{ s})$ – tehnološko vrijeme 2 (t_{t2}) je fiksno i iznosi 1 min 34 s za obradu jednog komada
- pomoćna vremena t_{p1} , t_{p2} , t_{p3} i t_{p3}^* su varijabilna stoga će se izračunati njihov interval povjerenja

U tablici su prikazana pomoćna vremena snimljena u proizvodnom pogonu za zadani proces prema ranije objašnjenom načinu. [Pogreška! Izvor reference nije pronađen.]

Tablica 2. Pomoćna vremena

Redni broj	t_{p1} [s]	t_{p2} [s]	t_{p3} [s]	t_{p3}^* [s]	t_{p_uk} [s]	$t_{p_uk}^*$ [s]
1	6.32	13.42	16.04		35.78	
2	5.45	13.23	26.82		45.50	
3	6.60	9.46	16.30		32.36	
4	4.72	11.46	17.20		33.38	
5	6.98	9.00	18.74		34.72	
6	8.10	10.83	18.32		37.25	
7	6.88	9.06	17.49		33.43	
8	5.62	11.00	17.46		34.08	
9	6.63	12.07	15.25		33.95	
10	6.20	11.30	22.20		39.70	
11	7.60	14.35	17.97		39.92	
12	6.33	18.36	22.15		46.84	
13	10.06	11.66	18.78		40.50	
14	5.67	10.97	16.60		33.24	
15	6.54	13.77	17.49		37.80	
16	7.11	11.29	21.15		39.55	
17	6.41	12.10	22.55		41.06	
18	8.10	10.14	28.43		46.67	
19	5.64	24.05	17.31		47.00	
20	7.29	11.14	19.42		37.85	
21	7.07	12.98	14.83		34.88	
22	8.26	9.45	19.07		36.78	
23	8.36	9.75	18.36		36.47	
24	7.21	10.76	17.73		35.70	
25	5.44	12.12	19.00		36.56	
26	6.13	12.43	18.18		36.74	
27	8.17	10.38	20.89		39.44	
28	5.47	12.19	16.79		34.45	
29	7.76	13.60	18.96		40.32	
30	5.85	11.52	18.77		36.14	
31	5.07	13.34		45.87		64.28
32	4.46	14.80		51.82		71.08

33	7.04	22.52		47.94		77.50
34	6.02	13.42		53.25		72.69
35	8.96	15.63		46.51		71.10
36	8.02	11.88		48.23		68.13
37	6.45	9.98		42.20		58.63
38	6.67	11.20		44.50		62.37
39	9.12	16.32		38.70		64.14
40	7.45	12.30		43.75		63.50
41	5.96	13.13		44.54		63.63
42	6.36	10.62		49.22		66.20
43	7.02	9.56		40.11		56.69
44	7.35	11.68		42.54		61.57
45	6.24	18.15		46.35		70.74
46	8.96	35.63		43.59		88.18
47	8.02	31.88		47.35		87.25
48	5.53	14.55		40.22		60.30
49	7.45	12.62		42.54		62.61
50	7.10	13.78		46.71		67.59
51	6.26	12.72		47.00		65.98
52	8.76	10.96		39.02		58.74
53	8.14	9.60		36.43		54.17
54	7.63	36.30		44.26		88.19
55	6.14	11.10		43.06		60.30
56	5.95	12.91		59.37		78.23
57	7.08	12.55		40.82		60.45
58	6.45	9.98		38.75		55.18
59	6.67	11.20		49.49		67.36
60	5.96	14.49		48.70		69.15
Σ [s]	412.26	818.64	570.25	1352.84	1138.06	2015.93

○ **Interval povjerenja za pomoćno vrijeme 1 (t_{p1})**

Broj uzoraka:

$$n_{mjerjenja} = 60 \quad (1)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum mjerjenja(x_i)}{n_{mjerjenja}} = 6,87 \frac{s}{kom} \quad (2)$$

Procjena standardne devijacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (mjerjenja(x_i) - \bar{x})^2}{n_{mjerjenja} - 1}} = 1,15 \frac{s}{kom} \quad (3)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (4)$$

Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{mjerjenja}}} = 6,86 \pm 0,29 \frac{s}{kom} \quad (5)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje pomoćnog vremena 1 (t_{p1}) po komadu iznosi između 6,57 i 7,15 sekundi po komadu.

○ **Interval povjerenja za pomoćno vrijeme 2 (t_{p2})**

Broj uzoraka:

$$n_{mjerjenja} = 60 \quad (6)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum mjerjenja(x_i)}{n_{mjerjenja}} = 13,64 \frac{s}{kom} \quad (7)$$

Procjena standardne derivacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (mjerjenja(x_i) - \bar{x})^2}{n_{mjerjenja} - 1}} = 5,63 \frac{s}{kom} \quad (8)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (9)$$

Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{mjerjenja}}} = 13,64 \pm 1,42 \frac{s}{kom} \quad (10)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje pomoćnog vremena 2 (t_{p2}) po komadu iznosi između 12,22 i 15,06 sekundi po komadu.

○ **Interval povjerenja za pomoćno vrijeme 3 (t_{p3})**

Broj uzoraka:

$$n_{mjerjenja} = 30 \quad (11)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{mjerjenja}(x_i)}{n_{\text{mjerjenja}}} = 19,01 \frac{s}{\text{kom}} \quad (12)$$

Procjena standardne derivacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\text{mjerjenja}(x_i) - \bar{x})^2}{n_{\text{mjerjenja}} - 1}} = 3,03 \frac{s}{\text{kom}} \quad (13)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (14)$$

Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{\text{mjerjenja}}}} = 19,01 \pm 1,08 \frac{s}{\text{kom}} \quad (15)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje pomoćnog vremena 3 (t_{p3}) po komadu iznosi između 17,93 i 20,09 sekundi po komadu.

○ **Interval povjerenja za pomoćno vrijeme 3 * (t_{p3}^*)**

Broj uzoraka:

$$n_{\text{mjerjenja}} = 30 \quad (16)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{mjerjenja}(x_i)}{n_{\text{mjerjenja}}} = 45,09 \frac{s}{\text{kom}} \quad (17)$$

Procjena standardne devijacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\text{mjerjenja}(x_i) - \bar{x})^2}{n_{\text{mjerjenja}} - 1}} = 4,88 \frac{s}{\text{kom}} \quad (18)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (19)$$

Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{\text{mjerjenja}}}} = 45,09 \pm 1,75 \frac{s}{\text{kom}} \quad (20)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje pomoćnog vremena 3 * (t_{p3}^*) po komadu iznosi između 43,34 i 46,84 sekundi po komadu.

○ **Interval povjerenja za ukupno pomoćno vrijeme (t_{p_uk})**

Broj uzoraka:

$$n = 30 \quad (21)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{mjerjenja}(x_i)}{n_{\text{mjerjenja}}} = 37,94 \frac{s}{\text{kom}} \quad (22)$$

Procjena standardne devijacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\text{mjerjenja}(x_i) - \bar{x})^2}{n_{\text{mjerjenja}} - 1}} = 4,18 \frac{s}{\text{kom}} \quad (23)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (24)$$

Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{\text{mjerjenja}}}} = 37,94 \pm 1,5 \frac{s}{\text{kom}} \quad (25)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje ukupnog pomoćnog vremena (t_{p_uk}) po komadu iznosi između 36,44 i 39,44 sekundi po komadu.

- **Interval povjerenja za ukupno pomoćno vrijeme s dodatnom kontrolom * ($t_{p_uk}^*$)**

Broj uzoraka:

$$n = 30 \quad (26)$$

Aritmetička sredina:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{mjerjenja}(x_i)}{n_{\text{mjerjenja}}} = 67,2 \frac{s}{\text{kom}} \quad (27)$$

Procjena standardne devijacije:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\text{mjerjenja}(x_i) - \bar{x})^2}{n_{\text{mjerjenja}} - 1}} = 9,14 \frac{s}{\text{kom}} \quad (28)$$

Vrijednost koeficijenta z za povjerenje od 95%:

$$z = 1,96 \quad (29)$$

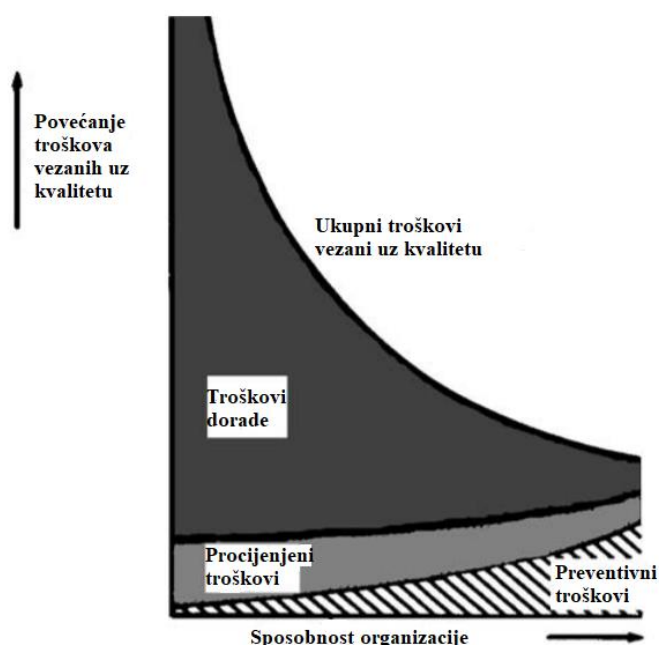
Intervalna procjena očekivane vrijednosti:

$$IP = \bar{x} \pm z \cdot \frac{s}{\sqrt{n_{\text{mjerjenja}}}} = 67,2 \pm 3,27 \frac{s}{\text{kom}} \quad (30)$$

Uz povjerenje od 95% prosječno trajanje ukupnog pomoćnog vremena s dodatnom kontrolom ($t_{p_uk}^*$) po komadu iznosi između 63,93 i 70,47 sekundi po komadu.

5. STATISTIČKA ANALIZA PROCESA

Da bi se održalo zadovoljstvo kupaca potrebno je provoditi kontrolu kvalitete krajnjeg proizvoda. U prošlosti kontrola kvalitete provodila se provjerom proizvoda koji su u mnogim slučajevima već bili proizvedeni. Tada bi se nezadovoljavajući proizvod moglo odbaciti ili ako je moguće ponovno doraditi što nam u oba slučaja donosi gubitak. Da bi se izbjegli nezadovoljavajući proizvodi kvaliteta mora biti 'ugrađena' u proizvodni proces, a to je ostvarivo samo ako su organizacijske sposobnosti vodstva na razini. Na slici je prikazan odnos sposobnosti organizacije proizvodnog procesa i povećanja troškova za proizvodnju proizvoda određene kvalitete. [Slika 21]



Slika 21. Dijagram cijena kvalitete - sposobnost organizacije [3]

Statistička kontrola procesa (eng. *Statistical Process Control* – SPC) je statistički alat koji se bavi prikupljanjem i analizom numeričkih podataka. Pomoću podataka stvara se sustav koji će nam omogućiti razumijevanje podataka i činiti osnovu za donošenje odluka o poboljšanju procesa.

5.1. Varijacija procesa

Kroz ranija mjerenja u proizvodnom procesu uočili smo da se dobiveni podaci razlikuju, takve događaje nazivamo varijacijama. Varijaciju možemo definirati kao odstupanje kvalitete konačnog proizvoda.

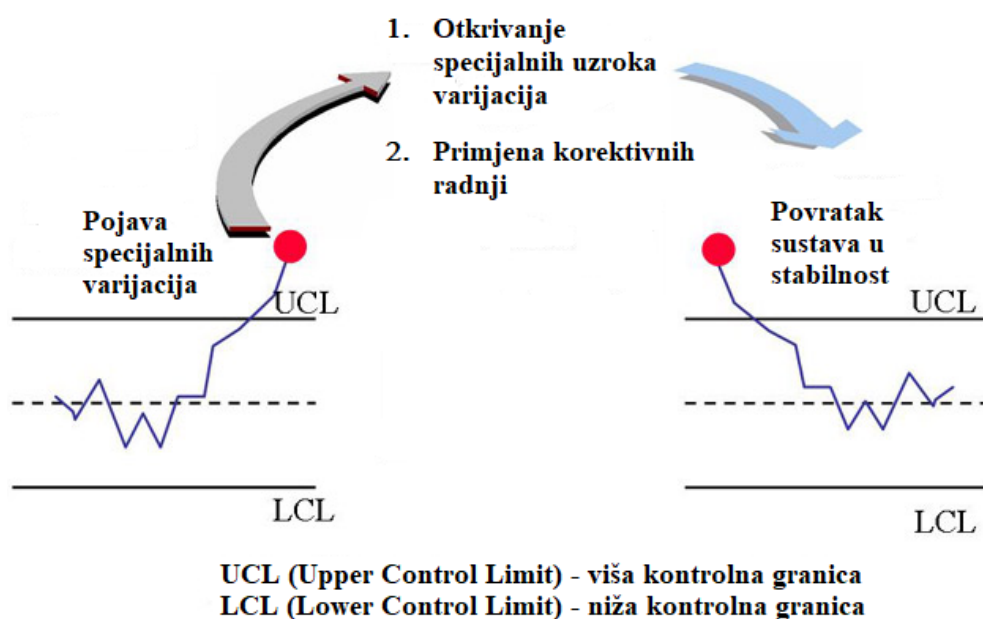
Prema uzroku varijacije razlikujemo[3]:

- obične (slučajne) uzroke (eng. Common Causes)
- posebne (specijalne) uzroke (eng. Special Causes)

Stabilan proces pokazuje samo obične (slučajne) uzroke varijacija. Varijacije zbog običnih uzroka su varijacije uslijed promjena u karakteristikama materijala, uvjetima rada i izvedbi radnika te su kao takve neizbježni i mogu se prikazati nekom od statističkih raspodjela. Ponašanje stabilnog procesa je predvidljivo, a za proces se kaže da je u statističkoj kontroli. Nasuprot tome proces koji je izvan statističke kontrole može biti uzrokovan kvarom na stroju, istrošenosti alata, loše definiranim tehnološkim postupkom, i to se nazivaju posebni (specijalni) uzroci varijacija te ih je potrebno eliminirati.

5.2. Provođenje statističke kontrole procesa

Kako bi definirali prihvatljivost varijacija, potrebno je utvrditi kontrolne granice koje uobičajeno iznose $\pm 3\sigma$. To vrijednosti unutar kojih proizvode smatramo zadovoljavajućima. Kako u početnoj fazi vrlo malo znamo o vrijednostima kontrolnih granica, vrše se eksperimentalna mjerenja i određenim statističkim metodama formiraju se kontrolne granice. Nakon što se definiraju granice moguća je implementacija statističke kontrole u proizvodni proces. Cilj implementacije je održavanje stabilnosti sustava i željene kvalitete proizvoda, te prepoznavanje posebnih uzroka varijacija kada dođe do njih.

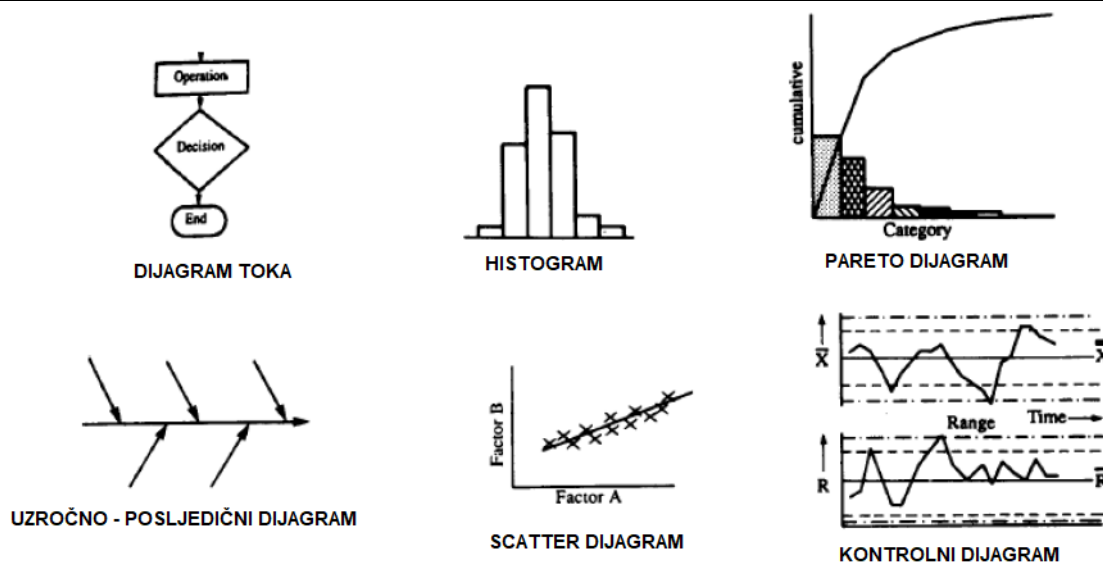


Slika 22. Provođenje statističke kontrole procesa

5.3. Alati statističke kontrole procesa

Ljudi su po prirodi vizualna bića, stoga su za lakšu percepciju podataka i otkrivanje zakonitosti raspodjele podataka nekog procesa vrlo važni grafički alati. Izdvaja se sedam najčešćih alati za grafički prikaz podataka pomoću statističke kontrole procesa, navedeni su u nastavku [4]:

- HISTOGRAMI – prikazuju koliko često se svaka vrsta varijacije događa u procesu. U histogramu se dokumentiraju varijacije tako da se podaci svrstavaju u stupce koji predstavljaju rezultate mjerenja podijeljene u jednake intervale. Najviše vertikalne trake histograma predstavljaju najčešće rezultate. Mjerenja se provode na reprezentativnom uzorku izlaza kako bi se prosudilo o procesu kao cjelini.
- KONTROLNI DIJAGRAMI – kontrolne karte su grafički prikazi uzorkovanih varijabli nekog procesa tijekom vremena. Kontrolni dijagrami detektiraju neuobičajene varijable čiji se posebni (specijalni) uzroci trebaju otkriti i eliminirati.
- DIJAGRAMI TOKA – prikazuju slijed različitih operacija koje čine proces. Dijagrami toka važni su alati za dokumentiranje procesa i komuniciranje informacija o procesima.
- UZROČNO – POSLJEDIČNI DIJAGRAMI (eng. Cause and Effect Diagram) – nazivaju se još Ishikawa dijagrami ili dijagrami riblje kosti, daju vizualni prikaz faktora koji najvjerojatnije pridonose promatranom problemu ili učinku na proces. Oni tehnički nisu statistički alati, ne zahtijevaju kvantitativne podatke da bi ih se stvorilo, ali se obično koriste u SPC-u kako bi pomogli razviti hipoteze o tome koji čimbenici doprinose problemu kvalitete.
- DIJAGRAMI RASIPANJA (eng. Scatter Plot) - prikazuju grafički prikaz odnosa između dvije varijable kao niz točaka. Raspon mogućih vrijednosti za svaku varijablu predstavljen je osima X i Y, a uzorak točaka, nacrtan iz uzorka podataka koji uključuju dvije varijable, ukazuje na to postoji li ili ne postoji statistička veza.
- PARETO DIJAGRAMI – se fokusiraju na čimbenike koji uzrokuju najviše problema u procesu. Iz Pareto dijagrama lako se mogu prepoznati faktori koji imaju najveći potencijal za poboljšanje. Pareto grafikon je također sastavljen od niza vertikalnih traka. Međutim, u ovom slučaju trake se kreću s lijeva na desno u redosljed u silazne važnosti, mjereno postotkom pogrešaka koje uzrokuje svaki faktor.



Slika 23. Alati statističke kontrole procesa[3]

5.4. Provođenje statističke kontrole procesa (SPC)

Statistička kontrola procesa provest će se na pomoćnim vremenima procesa strojne obrade unutarnjeg prstena ležaja snimljenim u pogonu tvrtke Feroimpex d.o.o.

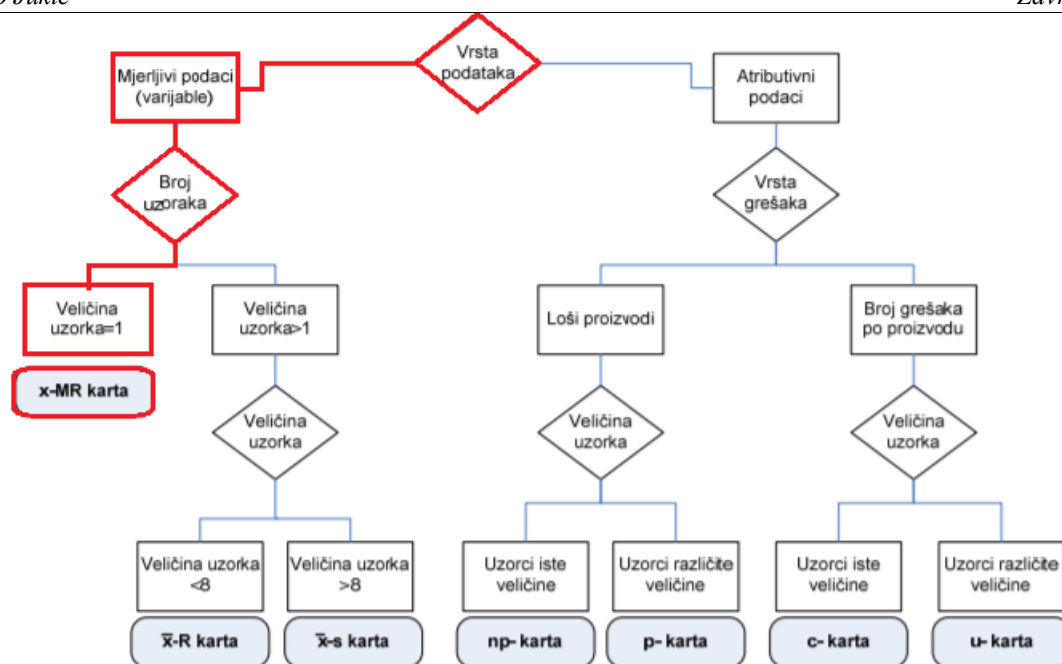
5.4.1. Odabir kontrolnog dijagrama

Kako bi se uspješno provela SPC metoda potrebno je odrediti kontrolni dijagram. Broj uzoraka i veličina uzorka imaju ključnu ulogu u odabiru kontrolnog dijagrama.

Tablica 3. Uzorci

	t_{p1}	t_{p2}	t_{p3}	t_{p3*}	t_{p_uk}	t_{p_uk*}
Broj uzoraka	1	1	1	1	1	1
Veličina uzorka	60	60	30	30	30	30
Mjerna jedinica	s	s	s	s	s	s

Kako je prikazano na tablici veličina svakog uzorka je veća od 8, a kako se radi o mjerljivim podaci prema slici se može zaključiti da će za kontrolni dijagram biti odabran X-MR kontrolni dijagram.



Slika 24. Odabir uzorkovanja (5)

5.4.2. Postupak provedbe SPC metode

U postupku će se koristiti ranije navedeni podaci u tablici. **[Pogreška! Izvor reference nije pronađen.]**

Provedba SPC metode sastoji se od:

Deskriptivne statistike

Znanstvena disciplina koja proučava kvalitativna i kvantitativna svojstva slučajnog uzorka, grafički ih prikazuje te donosi zaključke o populaciji iz koje je uzet slučajni uzorak.

Normalnost distribucije

Normalnost distribucije provjeravat ćemo K–S testom (Kolmogorov - Smirnov) koji se provodi usporedbom jakosti procesa (p) sa razinom značajnosti (α).

$$p \geq \alpha \quad (31)$$

Box – Cox transformacija

Box-Cox je vrsta 'Power' transformacije koja predstavlja tehniku transformacije podataka koja se koristi za stabilizaciju varijance i prilagođavanje podataka normalnoj raspodjeli.

Ukoliko se u postupku deskriptivne statistike utvrdi da je raspodjela podataka ne-normalna, 'Box – Cox' alatom, prema niže navedenoj formuli, pretvara se ne-normalna razdioba u normalnu. [6]

$$x'_\lambda = \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} \quad (32)$$

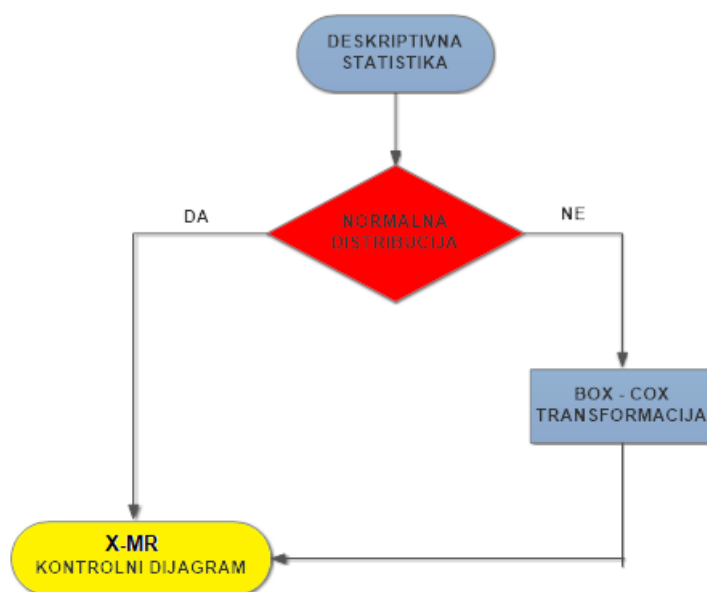
x – predstavlja vrijednost varijacije

x'_λ - predstavlja transponiranu vrijednost varijacije

λ – faktor transformacije

X-MR kontrolni dijagram

Kontrolni dijagram identificira specijalne ili prenosive uzroke varijacija.

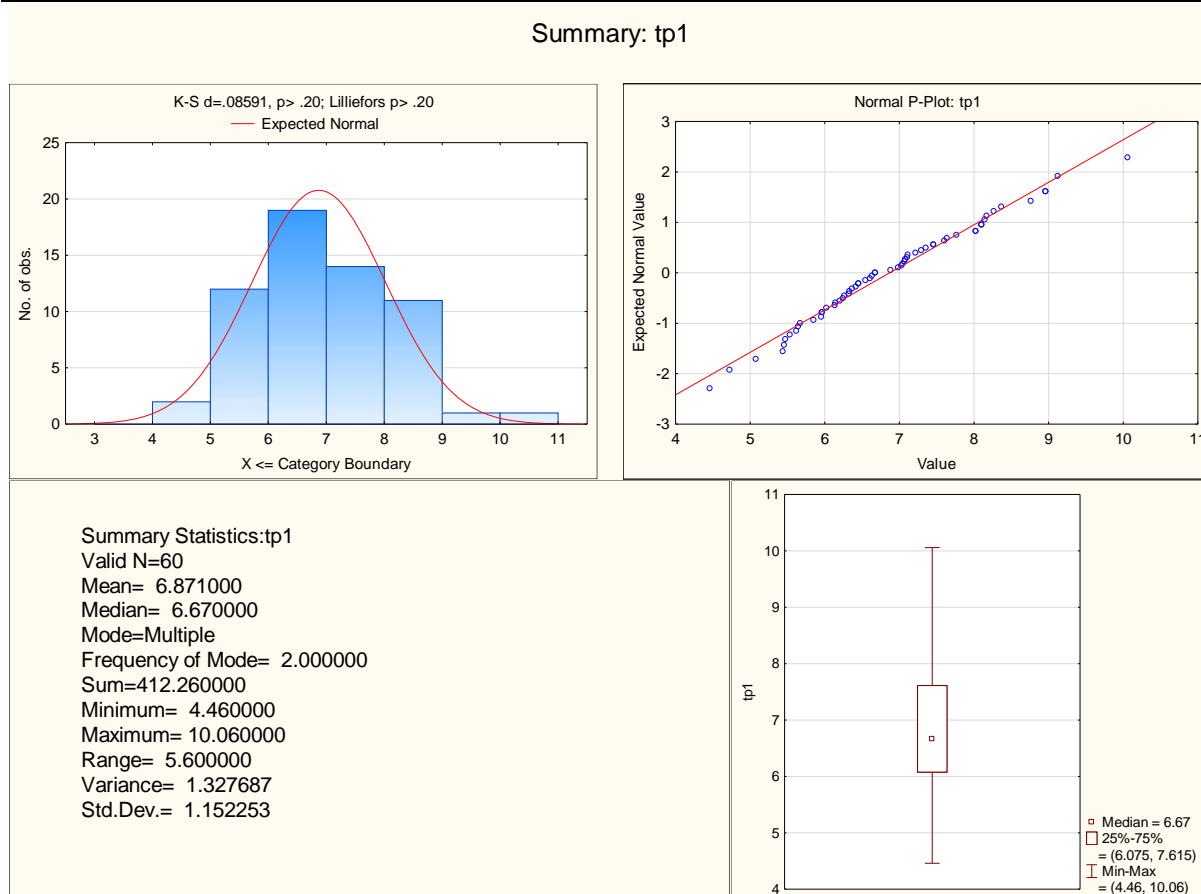


Slika 25. Petlja SPC metode

5.4.3. Pomoćno vrijeme t_{p1}

U nastavku će biti prikazana primjena SPC metode za pomoćno vrijeme t_{p1} proizvodnog procesa unutarnjeg prstena ležaja.

- ❖ Deskriptivna statistika



Slika 26. Numerička i grafička analiza t_{p1}

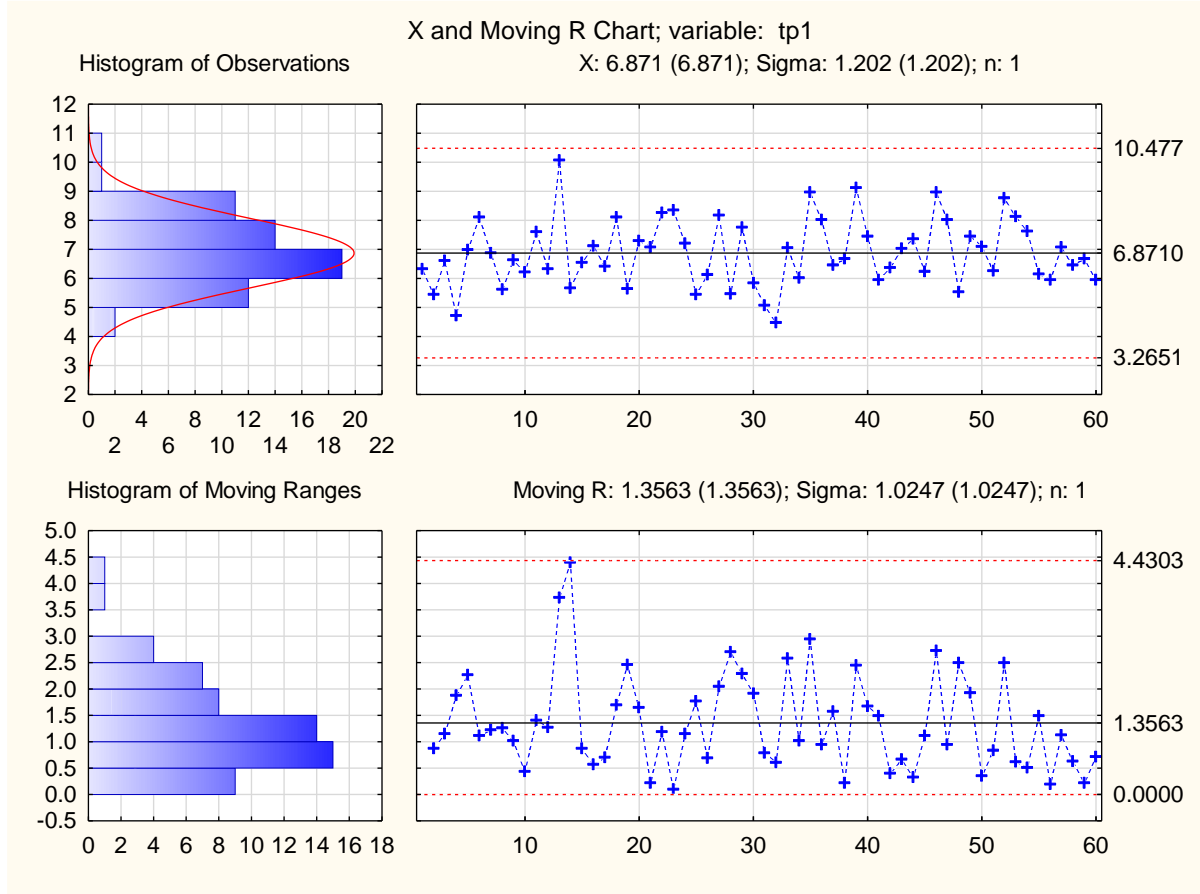
Dijagrami sa slike prikazuju vremenske podatke potrebne operateru da napravi radnje uzimanja komada iz sanduka s otkivcima i postavljanja u steznu glavu stroja 1. [Slika 26] Iz njih se mogu iščitati osnovni podaci:

- Srednja vrijednost: 6,871 s
- Medijan: 6,67 s
- Mod: više vrijednosti (frekvencija = 2)
- Standardna devijacija: 1,1523 s
- Raspon: 5,6 s

Na grafičkom prikazu papira vjerojatnosti normalne raspodjele (eng. *Normal probability plot*) možemo vidjeti kako nema odstupanja, odnosno da podaci prate krivulju normalne raspodjele. Isti zaključak proizlazi i iz K-S testa, stoga možemo izraditi \bar{x} -MR kontrolni dijagram.

$$p \approx 0,2 > \alpha = 0,05 \quad (33)$$

❖ X-MR kontrolni dijagram



Slika 27. X - MR kontrolni dijagram t_{p1}

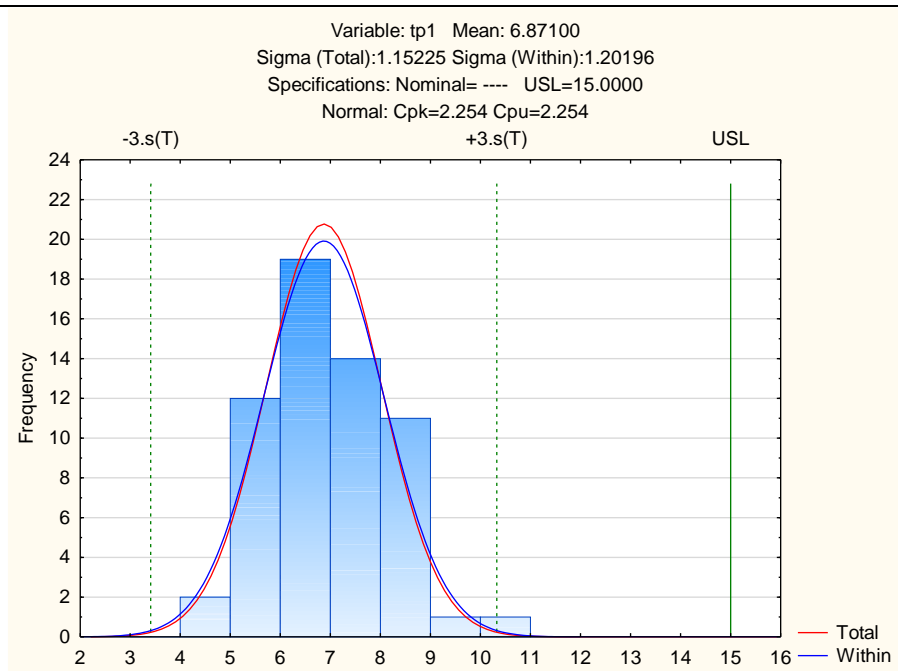
Kontrolne granice iznose:

X kontrolni dijagram	MR kontrolni dijagram
UCL = 10,477	UCL = 4,43
LCL = 3,2651	LCL = 0

Ukoliko se u budućnosti pojave varijacije čije vrijednost prelaze kontrolne granice, može se utvrditi da postoje specijalni uzroci varijacija te ih je potrebno otkriti i eliminirati.

❖ Sposobnost procesa

Varijabilno pomoćno vrijeme 1 (t_{p1}) izravno je vezano uz fiksno tehnološko vrijeme (t_{t1}), koje je ujedno i usko grlo procesa. Kako postoji ograničenje trajanja pomoćnog t_{p1} potrebno je provest test sposobnosti procesa. Gornja granica specifikacija (eng. USL – Upper Specification limit) iznosi $USL = 15$ s.



Slika 28. Sposobnost procesa t_{p1}

Gornja granica specifikacija (eng. USL – Upper Specification limit) iznosi $USL = 15$ s, ona je propisana od tvrtke Feroimpex d.o.o.

Mjera potencijalne sposobnosti (Cpk) se računa kao omjer udaljenosti od srednje vrijednosti do najbliže granice specifikacije (USL (eng. Upper specification limit) ili LSL (eng. Lower specification limit)) i jednostranog širenja procesa kvalitete 3σ . [7]

Sposobnost demonstriranog procesa Cpk iznosi 2,254. Iz dijagrama se može zaključiti da je sposobnost procesa odlična, uvelike tome u prilog ide iskustvo promatranog radnika.

❖ Usporedba sposobnosti radnika

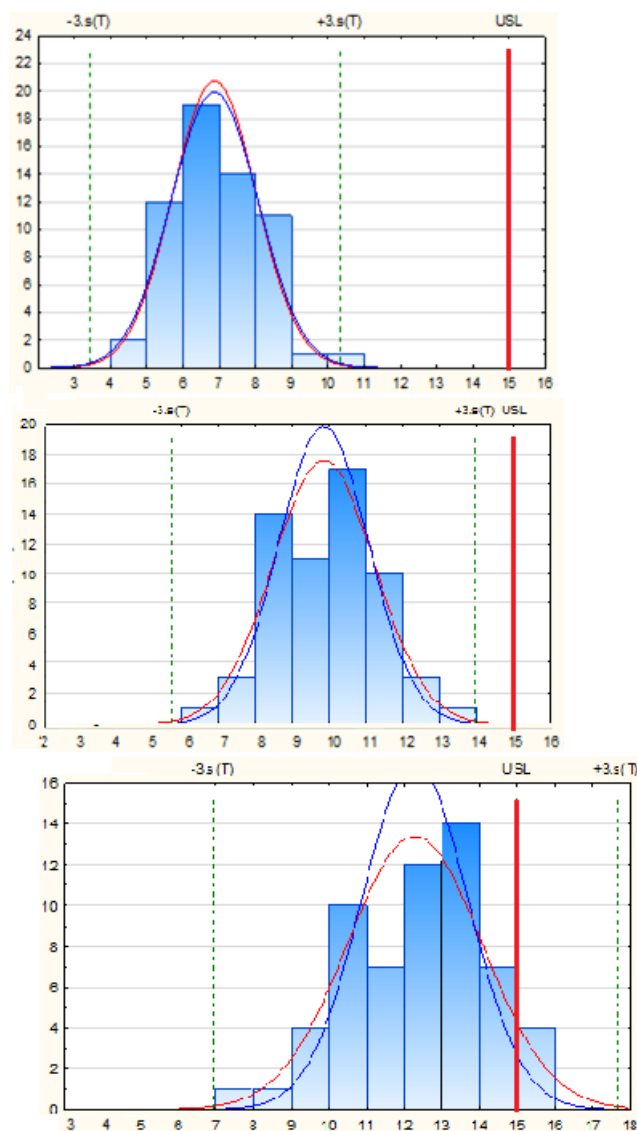
Na slici je prikazan dijagram sposobnosti tri tipa radnika. [Slika 29]

Prvi tip radnika je iskusni radnik koji je sudjelovao u snimanju postupka, vidi se kako je njegov dijagram sposobnosti najviše udaljen od gornje granice specifikacija i ima najuže rasipanje podataka, odnosno najmanje varijacije u svom procesu.

Drugi tip radnika je prosječan radnik, njegov dijagram sposobnosti je bliže gornjoj granici specifikacije i ima veće rasipanje podataka od iskusnog radnika, odnosno veće varijacije u procesu.

Treći tip radnika može se nazvati početnik, njegov dijagram sposobnosti prelazi gornju granicu specifikacija, rasipanje podataka je vrlo veliko i može se zaključiti da proces početnika nije stabilan.

Napomena: Drugi i treći dijagram su simulirani na temelju dijela historijskih podataka te se u ovom slučaju koriste samo kao kvalitativna ilustracija uzroka problema nemogućnosti zadovoljavanja norme.

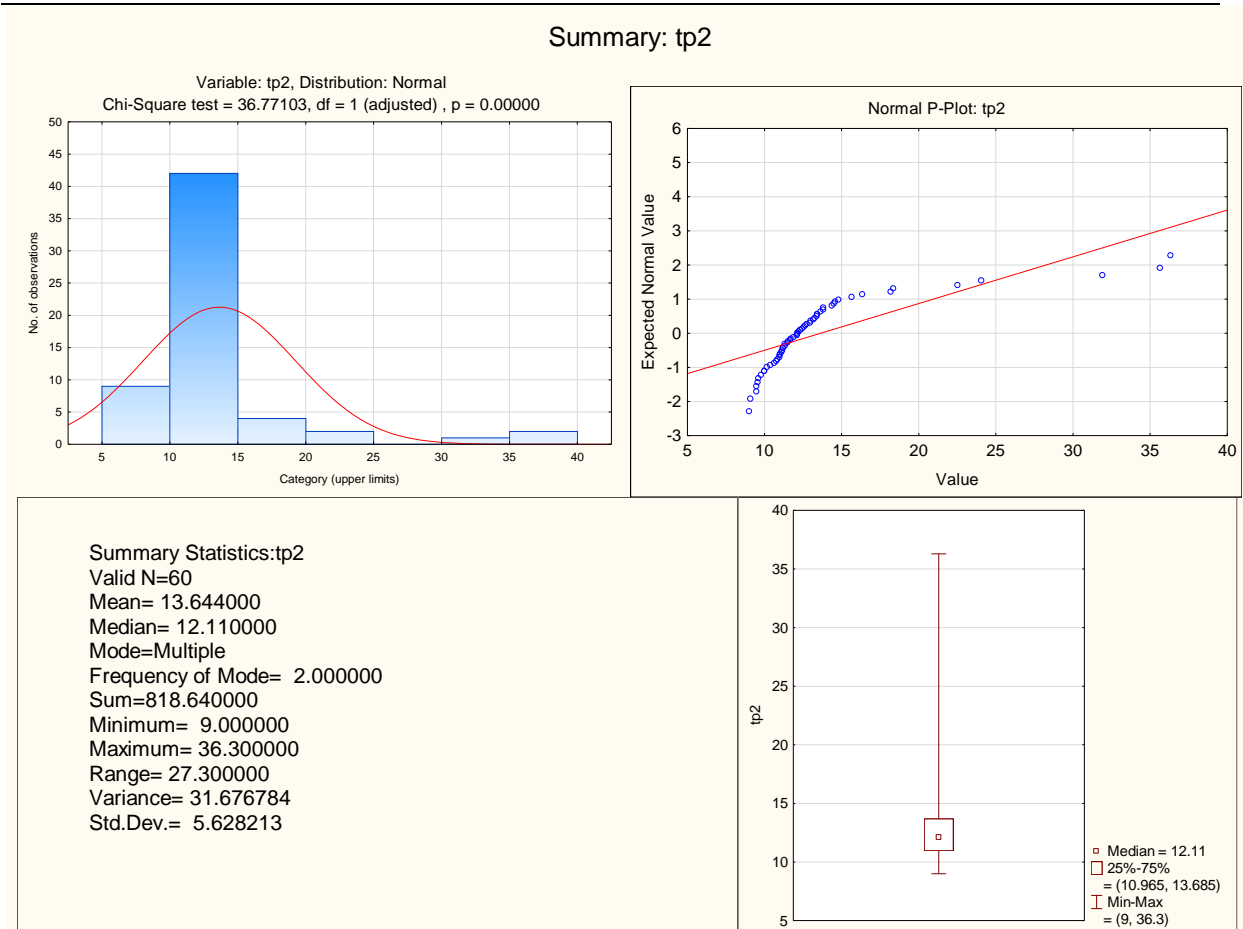


Slika 29. Usporedba sposobnosti radnika

5.4.4. Pomoćno vrijeme t_2

U nastavku će biti prikazana primjena SPC metode za pomoćno vrijeme t_{p2} proizvodnog procesa unutarnjeg prstena ležaja.

- ❖ Deskriptivna statistika



Slika 30. Numerička i grafička analiza Tp2

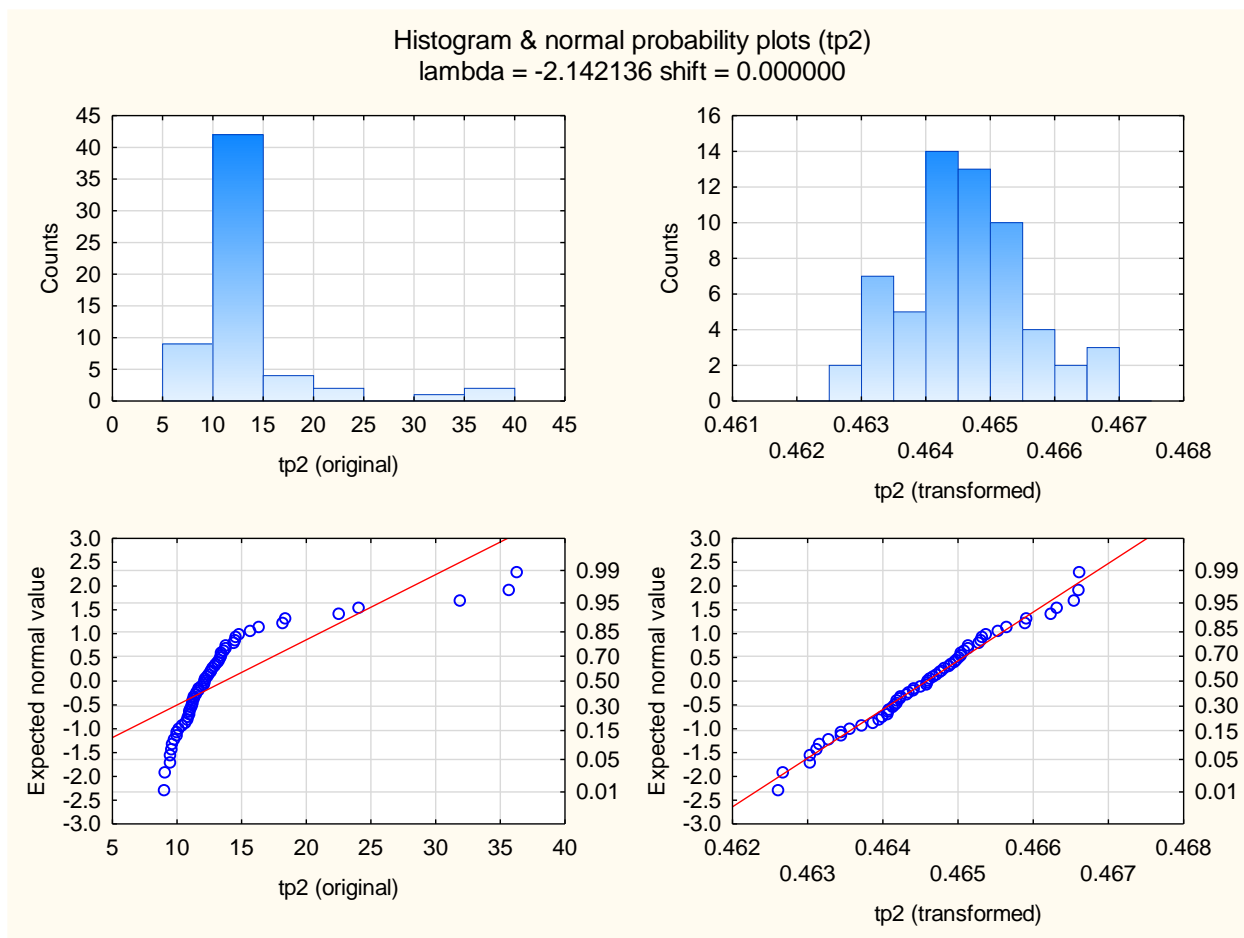
Dijagrami sa slike prikazuju vremenske podatke potrebne operateru da napravi radnje uzimanja komada iz stezne glave stroja 1, njegovo propuhivanje i propuhivanje stezne glave stroja 1 u cilju uklanjanja metalnog otpada (špene) te postavljanja komada u steznu glavu stroja. [Slika 30] Iz njih se mogu iščitati osnovni podaci:

- Srednja vrijednost: 13,644 s
- Medijan: 12,11 s
- Mod: više vrijednosti (frekvencija = 2)
- Standardna devijacija: 5,6282 s
- Raspon: 27,3 s

Na grafičkom prikazu papira vjerojatnosti normalne raspodjele (eng. *Normal probability plot*) možemo vidjeti kako postoji odstupanje podataka, odnosno da varijable ne prate krivulju normalne raspodjele. Isti zaključak proizlazi i iz K-S testa, stoga treba provesti Box-Cox transformaciju.

$$p \approx 0.0000 < \alpha = 0.05 \quad (34)$$

❖ Box – Cox transformacija



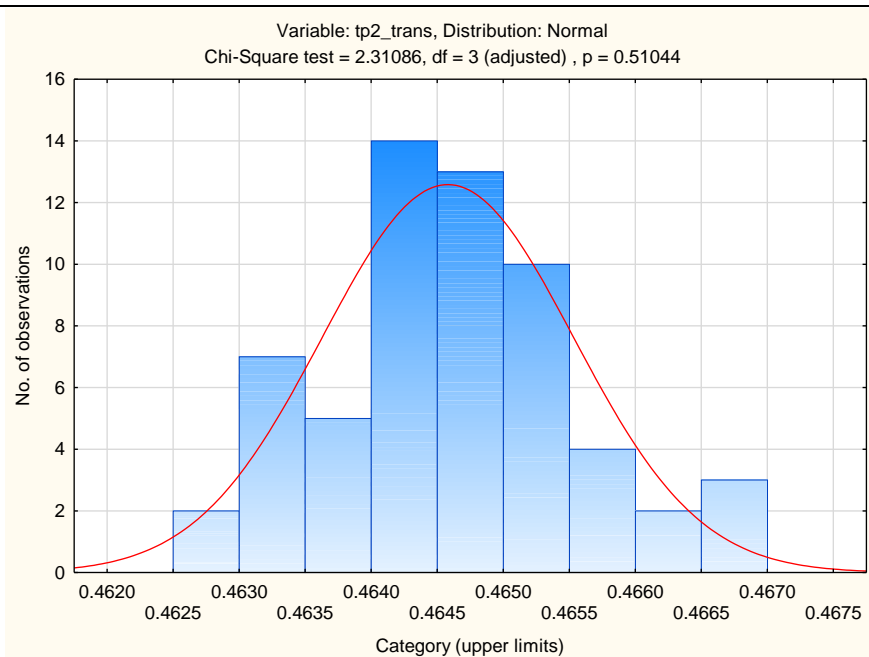
Slika 31. Box - Cox transformacija Tp2

Promatranjem histograma i grafikona na papiru vjerojatnosti normalne raspodjele očito je da se pomoću Box-Cox transformacije rasipanje varijabli oko normalne krivulje vjerojatnosti smanjilo, a stupci u histogramu su dobili oblik normalne razdiobe.

Prije budućeg unosa podataka u X-MR dijagram koji će biti definiran biti će potrebno transponirati vrijednosti varijacija.

Transponirana vrijednost varijacije izračunava se iz formule:

$$x'_{-2,142136} = \frac{x^{-2,142136} - 1}{-2,142136} \quad (35)$$

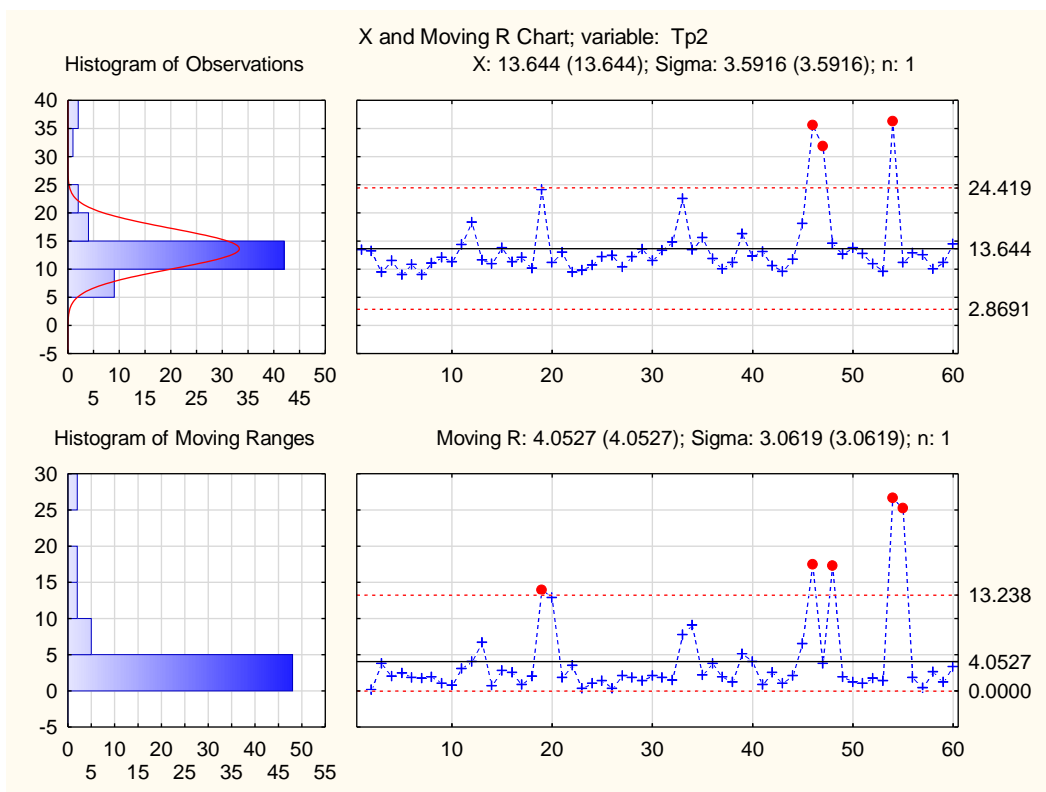


Slika 32. Normalna razdioba Tp2 nakon Box – Cox transformacije

$$p = 0,51044 > \alpha = 0,05 \tag{36}$$

K-S test je zadovoljen, transformacija je uspješno provedena stoga sa transformiranim podacima možemo izraditi X-MR kontrolni dijagram.

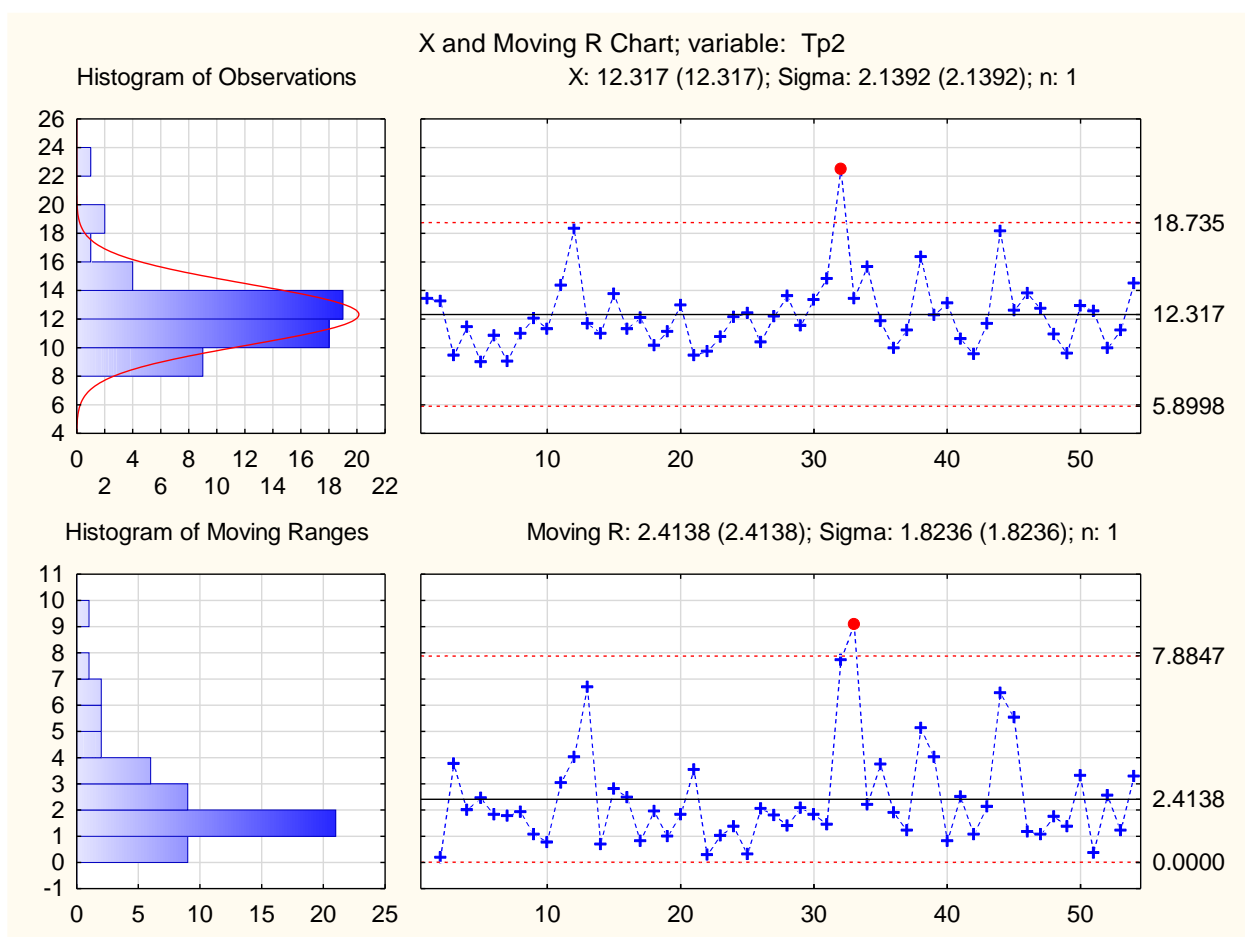
❖ X-MR kontrolni dijagram



Slika 33. X-MR kontrolni dijagram Tp2 nakon Box – Cox transformacije

Promatranjem X – MR kontrolnog dijagrama može se uočiti da proces sadrži šest različitih točaka izvan kontrolnih granica - točka 19, 46, 47, 48, 54 i 55. Sljedeći korak je uklanjanje tih točaka te izrada novog kontrolnog dijagrama kako bi se ustanovile konačne kontrole granice koje će se koristiti za buduće promatranje procesa.

Specijalni uzroci varijacija vremena t_{p2} u ovom dijelu proizvodnog procesa su izmjena istrošene oštrice alata, čišćenje pokretne trake koja odvodi metalni otpad i slično.



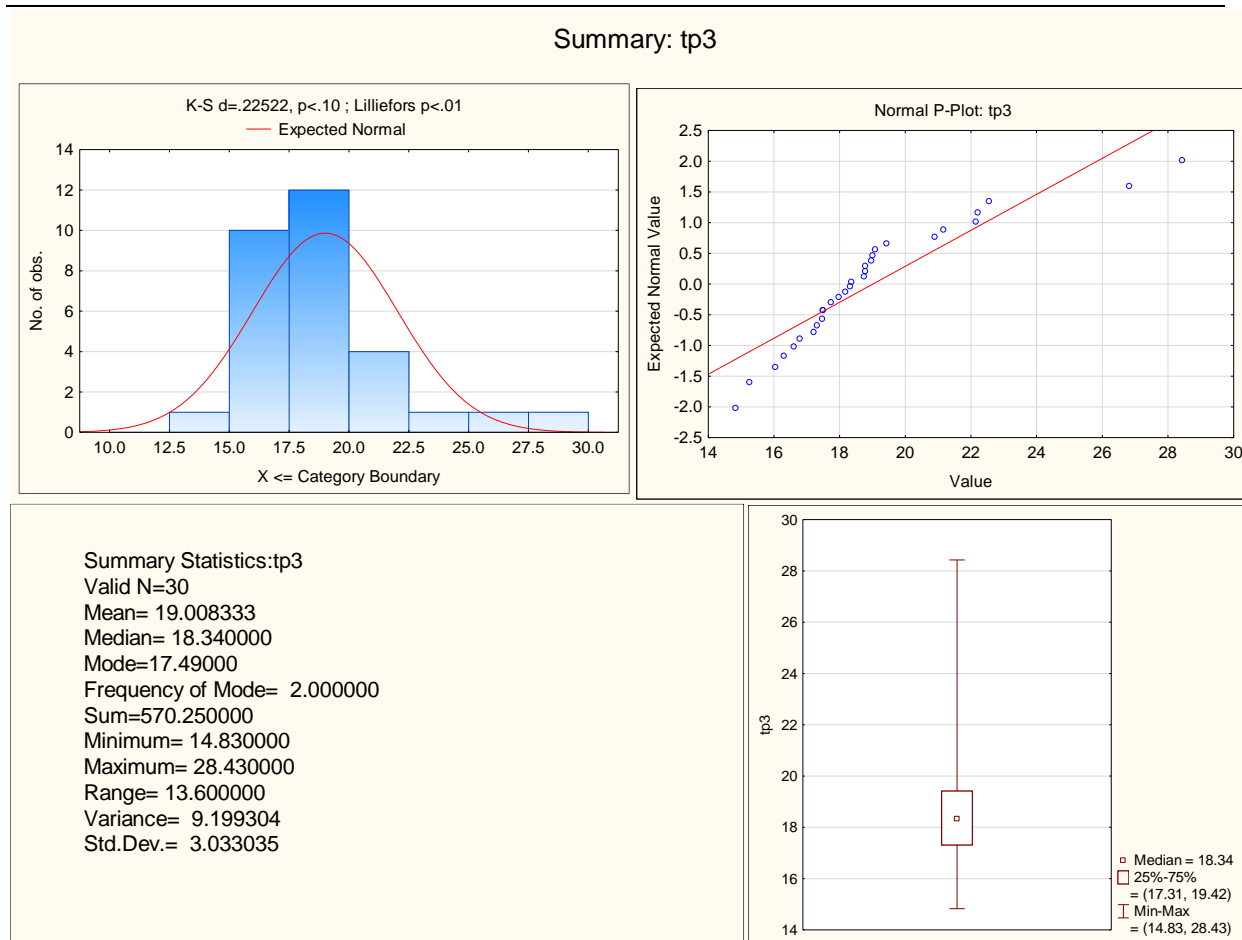
Slika 34. Korigirani X-MR kontrolni dijagram t_{p2} nakon Box – Cox transformacije

I nakon korekcije podataka u X – MR kontrolnom dijagramu može se uočiti da još uvijek postoje točke izvan kontrolnih granica, stoga se može zaključiti da ovaj proces nije pod kontrolom. Trebalo bi uložiti dodatne napore i učiniti posao radniku lakšim da bude manje varijacija.

5.4.5. Pomoćno vrijeme t_{p3}

U nastavku će biti prikazana primjena SPC metode za pomoćno vrijeme t_{p3} proizvodnog procesa unutarnjeg prstena ležaja.

❖ Deskriptivna statistika



Slika 35. Numerička i grafička analiza t_{p3}

Dijagrami sa slike prikazuju vremenske podatke potrebne operateru da napravi radnje uzimanja komada iz stezne glave stroja 2, njegovo propuhivanje i propuhivanje stezne glave stroja 2 u cilju uklanjanja metalnog otpada (špene), stopostotnu kontrolu najbitnije dimenzije konačnog izratka te njegovo odlaganje u sanduk s gotovim komponentama. [Slika 35] Iz dijagrama se mogu iščitati osnovni podaci:

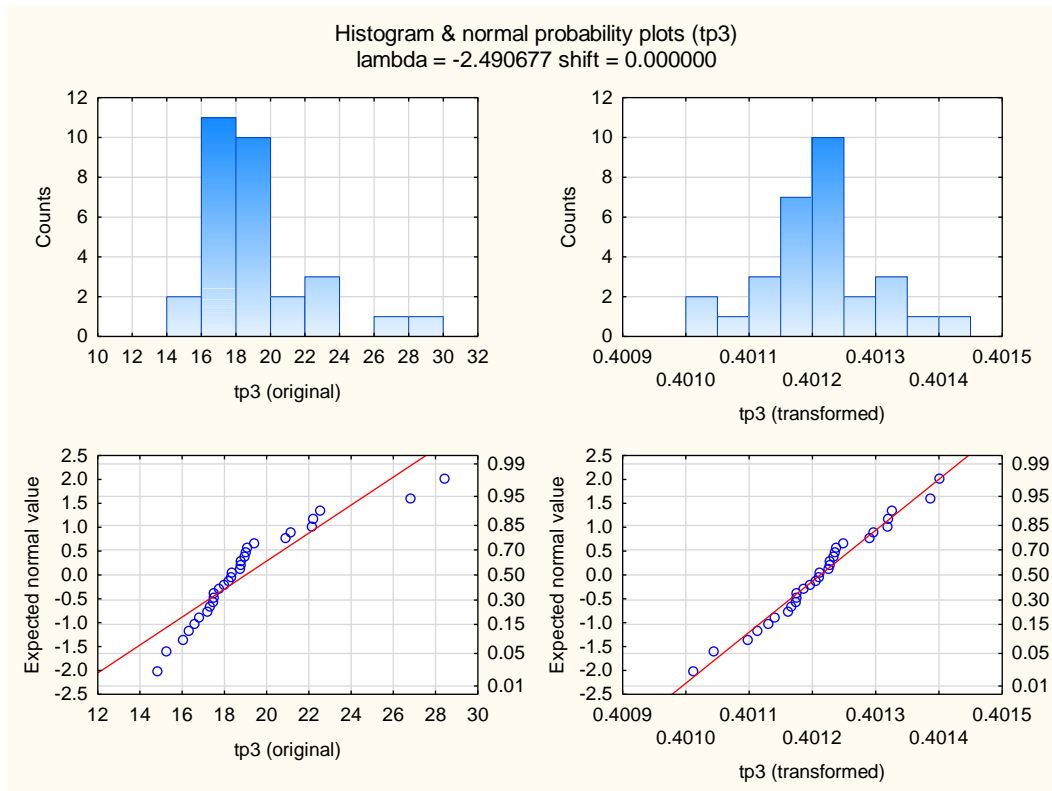
- Srednja vrijednost: 19,009 s
- Medijan: 18,34 s
- Mod: više vrijednosti (frekvencija = 2)
- Standardna devijacija: 3,033 s
- Raspon: 13,6 s

Na grafičkom prikazu papira vjerojatnosti normalne raspodjele (eng. *Normal probability plot*) možemo vidjeti kako postoji odstupanje podataka, odnosno da varijable ne prate krivulju normalne raspodjele. Isti zaključak proizlazi i iz K-S testa, stoga treba provesti Box-Cox transformaciju.

$$p \approx 0,000 \leq \alpha = 0,05$$

(37)

❖ Box – Cox transformacija

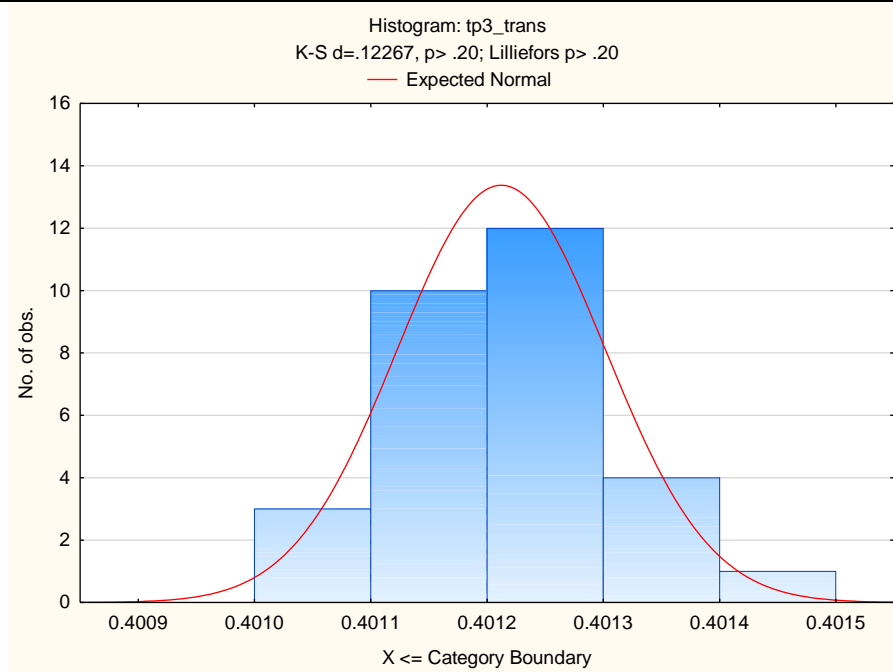
Slika 36. Box - Cox transformacija t_{p3}

Promatranjem histograma i grafikona na papiru vjerojatnosti normalne raspodjele očito je da se pomoću Box-Cox transformacije rasipanje varijabli oko normalne krivulje vjerojatnosti smanjilo, a stupci u histogramu su dobili oblik normalne razdiobe.

Prije budućeg unosa podataka u X-MR dijagram koji će biti definiran biti će potrebno transponirati vrijednosti varijacija.

Transponirana vrijednost varijacije izračunava se iz formule:

$$x'_{-2,490667} = \frac{x^{-2,490667} - 1}{-2,490667} \quad (38)$$

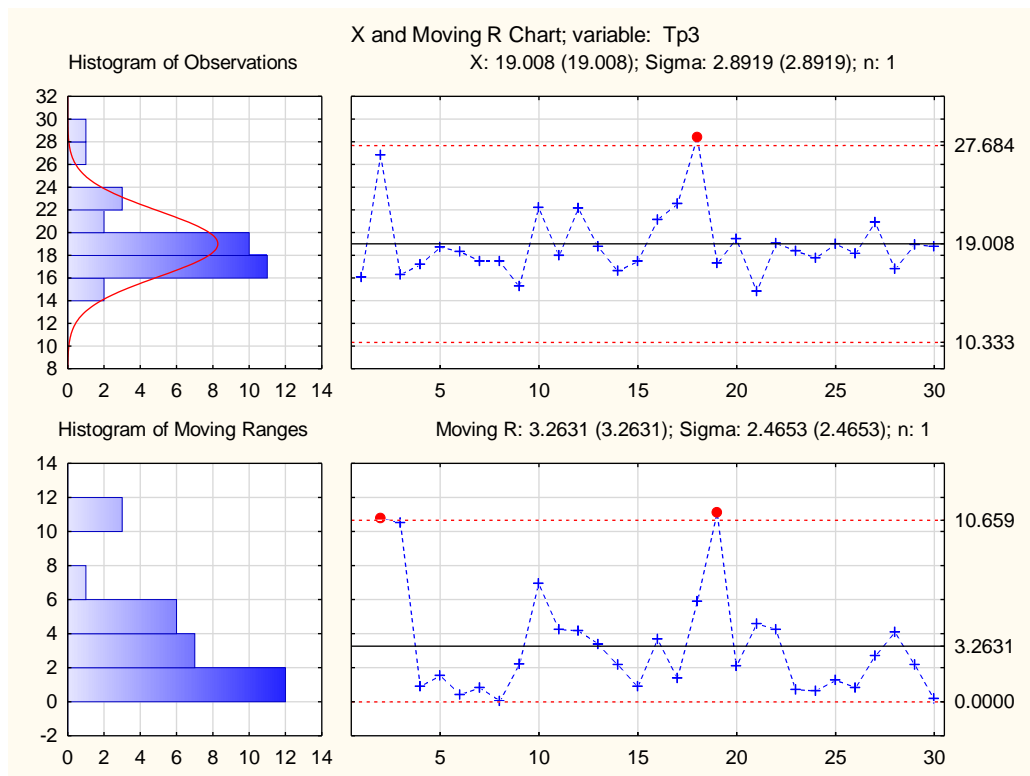


Slika 37. Normalna razdioba t_{p3} nakon Box – Cox transformacije

$$p > 0.2 > \alpha = 0.05 \tag{39}$$

K-S test je zadovoljen, stoga sa transformiranim podacima možemo izraditi X-MR kontrolni dijagram.

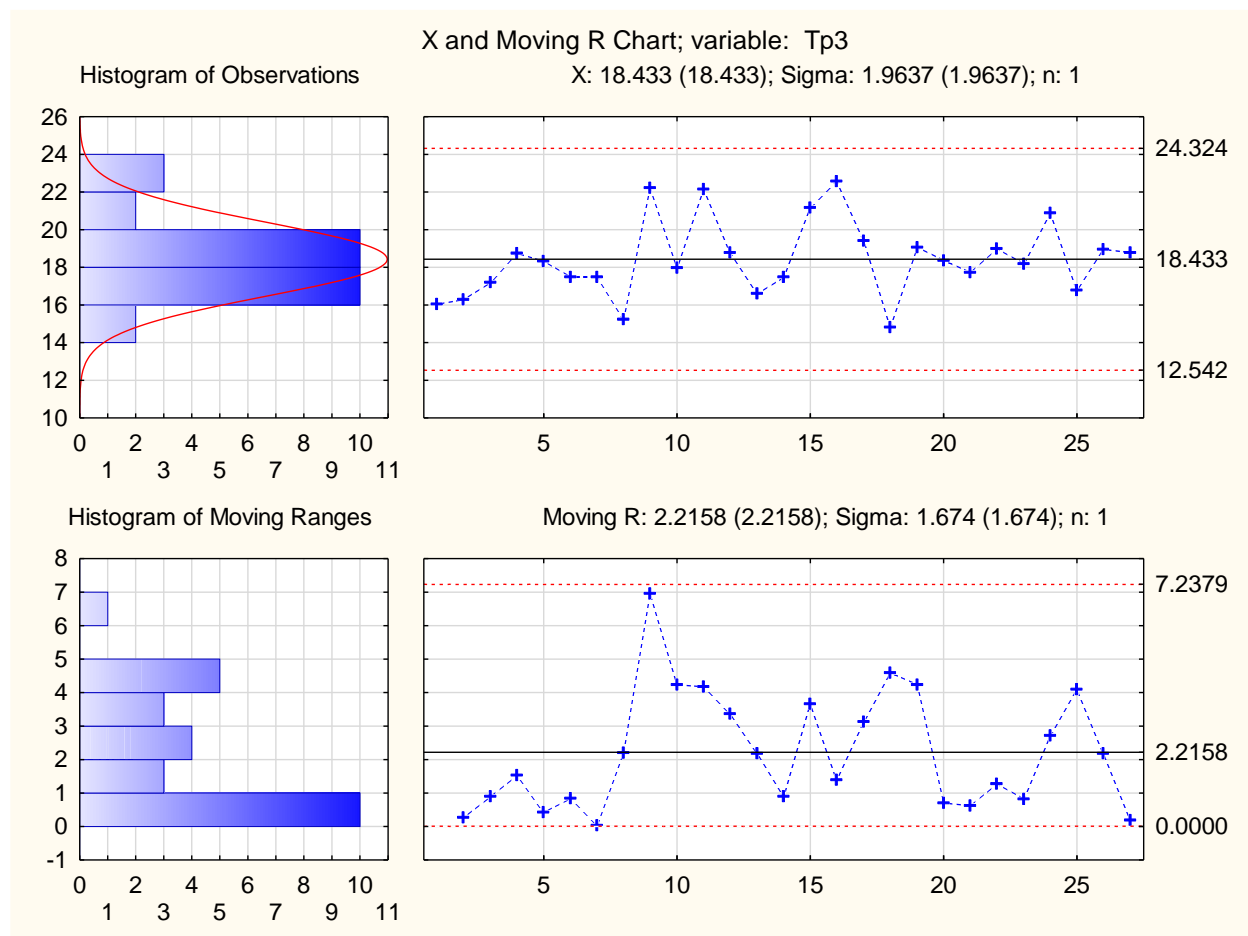
❖ X-MR kontrolni dijagram



Slika 38. X-MR kontrolni dijagram t_{p3} nakon Box – Cox transformacije

Promatranjem X – MR kontrolnog dijagrama može se uočiti da proces sadrži tri različite točke izvan kontrolnih granica - točka 2, 18 i 19. Sljedeći korak je uklanjanje tih točaka te izrada novog kontrolnog dijagrama kako bi se ustanovile konačne kontrole granice koje će se koristiti za buduće promatranje procesa.

Specijalni uzroci varijacija vremena t_{p3} u ovom dijelu proizvodnog procesa su dodatno čišćenje stezne glave od metalnog otpada (špene), produljena kontrola kvalitete, izmjena oštrica alata i slično.



Slika 39. Korigirani X-MR kontrolni dijagram t_{p3} nakon Box – Cox transformacije

Kontrolne granice iznose nakon Box – Cox transformacije:

X kontrolni dijagram

UCL = 24,324

LCL = 12,542

S kontrolni dijagram

UCL = 7,2379

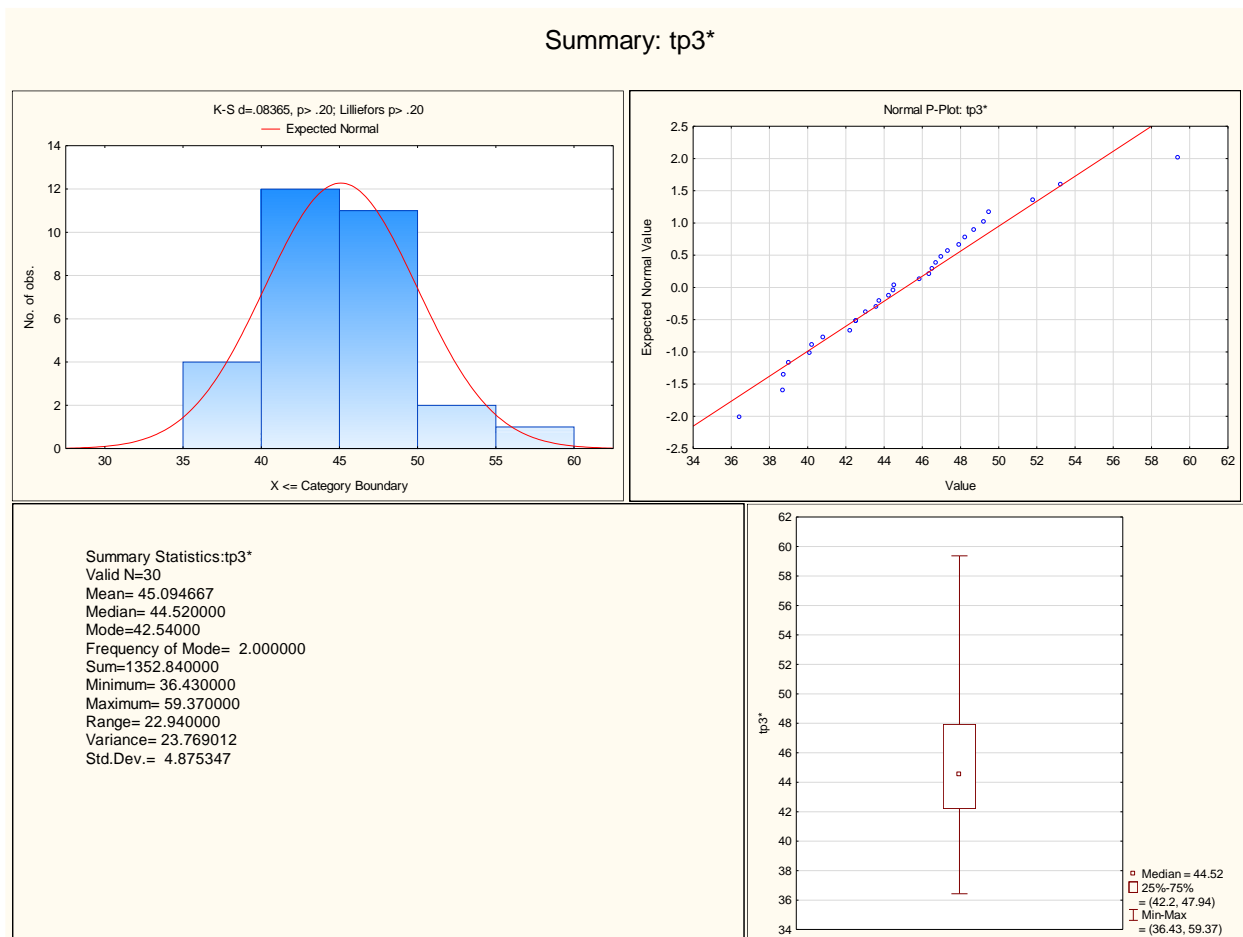
LCL = 0

Ukoliko se u budućnosti pojave varijacije čije vrijednost prelaze kontrolne granice, može se utvrditi da postoje specijalni uzroci varijacija te ih je potrebno otkriti i eliminirati.

5.4.6. Pomoćno vrijeme t_{p3}^*

U nastavku će biti prikazana primjena SPC metode za pomoćno vrijeme t_{p3}^* proizvodnog procesa unutarnjeg prstena ležaja.

❖ Deskriptivna statistika



Slika 40. Numerička i grafička analiza t_{p3}^*

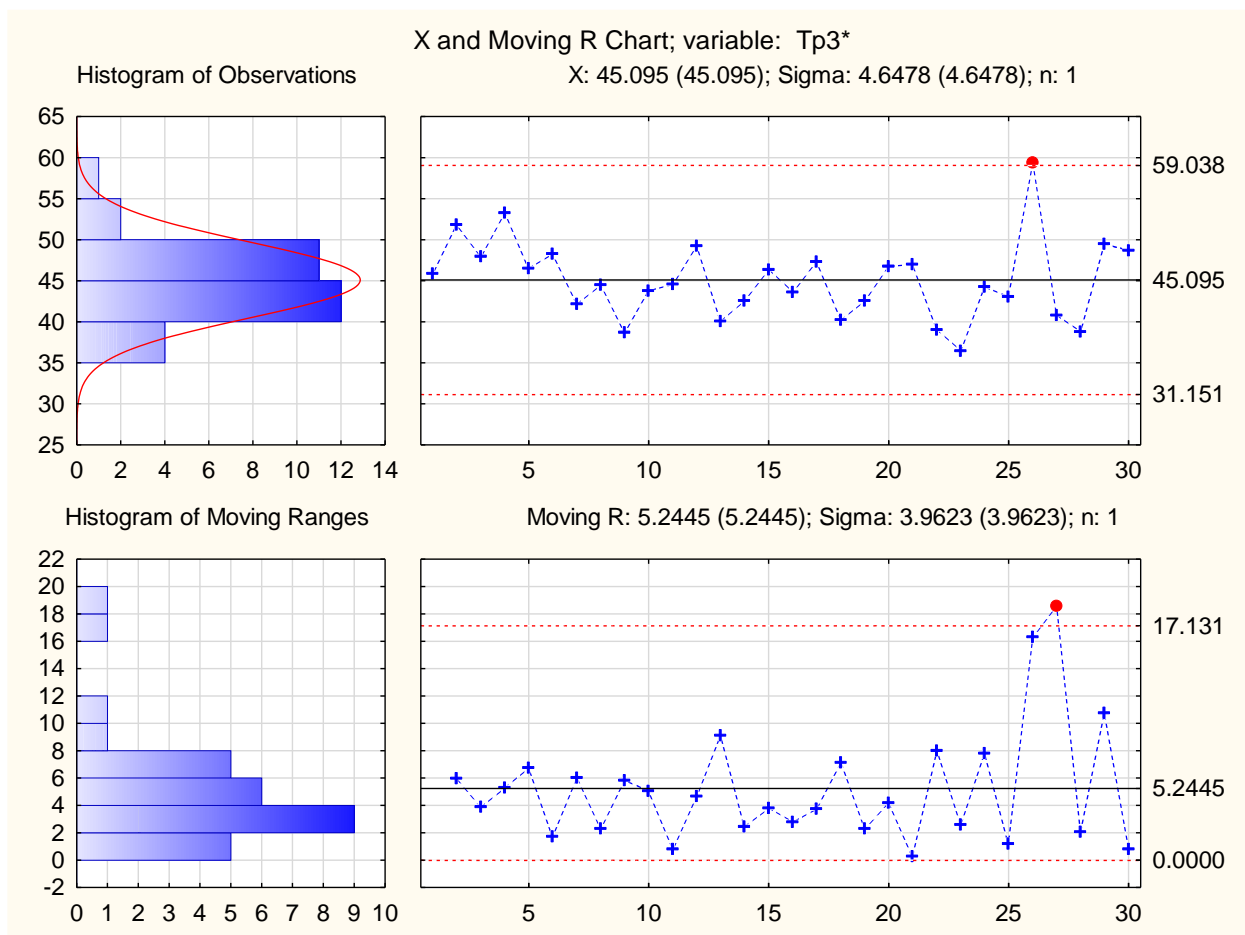
Dijagrami sa slike prikazuju vremenske podatke potrebne operateru da napravi radnje uzimanja komada iz stezne glave stroja 2, njegovo propuhivanje i propuhivanje stezne glave stroja 2 u cilju uklanjanja metalnog otpada (špene), stopostotnu kontrolu najbitnije dimenzije te dodatnu kontrolu svih dimenzija konačnog izratka te njegovo odlaganje u sanduk s gotovim komponentama. [Slika 40] Iz dijagrama se mogu iščitati osnovni podaci:

- Srednja vrijednost: 45,095 s
- Medijan: 44,52 s
- Mod: više vrijednosti (frekvencija = 2)
- Standardna devijacija: 4,875 s
- Raspon: 22,94 s

Na grafičkom prikazu papira vjerojatnosti normalne raspodjele (eng. *Normal probability plot*) možemo vidjeti kako nema odstupanja, odnosno da podaci prate krivulju normalne raspodjele. Isti zaključak proizlazi i iz K-S testa, stoga možemo izraditi X – MR kontrolni dijagram.

$$p \approx 0,2 > \alpha = 0,05 \quad (40)$$

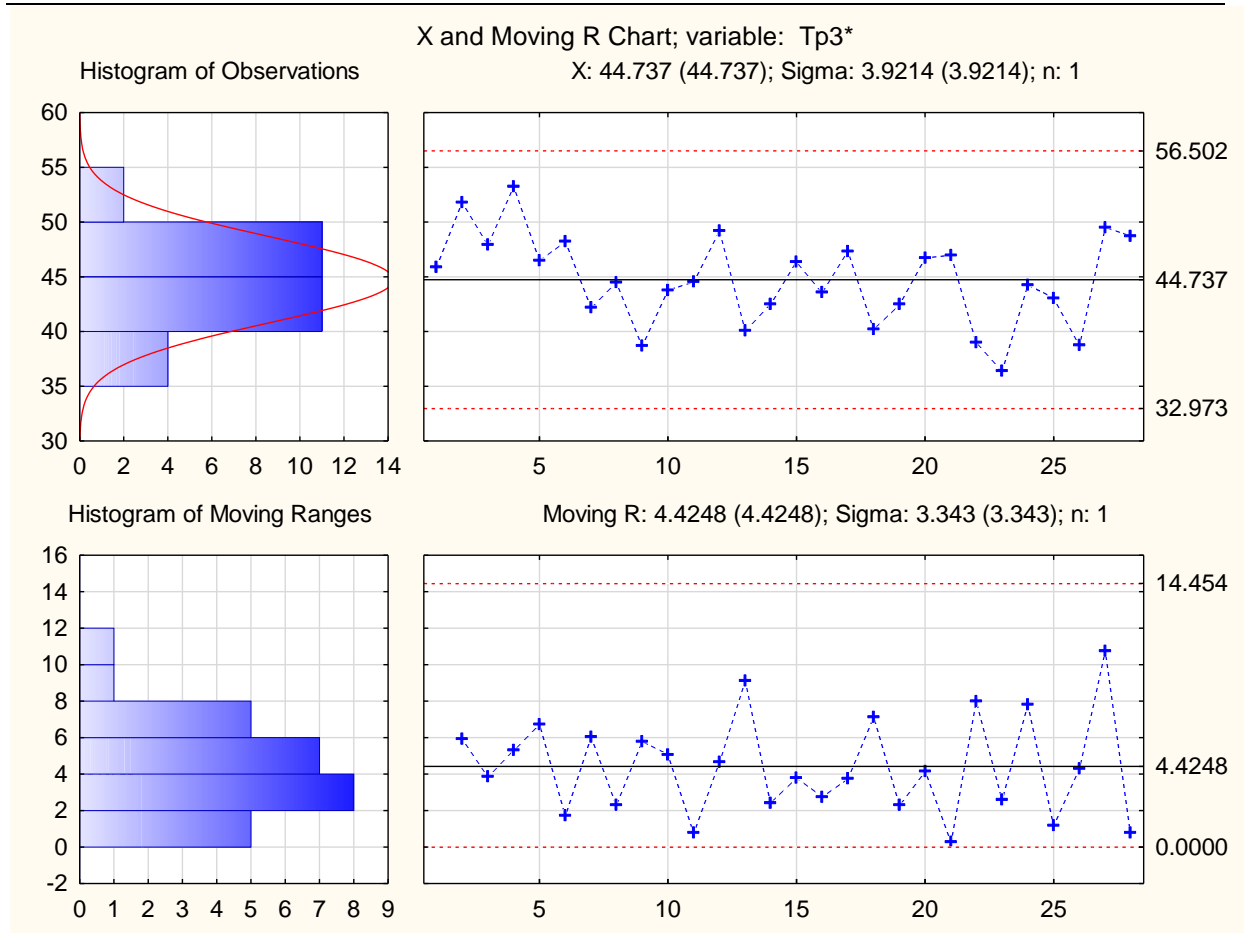
❖ X – MR kontrolni dijagram



Slika 41. X - MR kontrolni dijagram za t_{p3}^*

Promatranjem X – MR kontrolnog dijagrama može se uočiti da proces sadrži dvije različite točke izvan kontrolnih granica - točka 26 i 27. Sljedeći korak je uklanjanje tih točaka te izrada novog kontrolnog dijagrama kako bi se ustanovile konačne kontrole granice koje će se koristiti za buduće promatranje procesa.

Specijalni uzroci varijacija vremena t_{p3} u ovom dijelu proizvodnog procesa su dodatno čišćenje stezne glave od metalnog otpada (špene), produljena kontrola kvalitete, izmjena oštrica alata i slično.



Slika 42. Korigirani X - MR kontrolni dijagram za t_{p3}^*

Kontrolne granice iznose:

X kontrolni dijagram

S kontrolni dijagram

UCL = 56,502	UCL = 14,454
LCL = 32,973	LCL = 0

Ukoliko se u budućnosti pojave varijacije čije vrijednost prelaze kontrolne granice, može se utvrditi da postoje specijalni uzroci varijacija te ih je potrebno otkriti i eliminirati.

5.5. Utjecajni faktori na pomoćna vremena

Stabilan proces može se zamisliti kao funkciju velikog broja varijabli koje se neprestano mijenjaju pod utjecajem slučajnih uzroka, ali iznosi njihovih promjena ostaju unutar kontrolnih granica. U promatranom proizvodnom sustavu kao slučajne uzroke varijacija mogu se uzeti:

- Voljni moment i umor radnika
- Brzinu izmjene i manipulacije izratkom
- Spretnost i iskustvo radnika

- Fiziološke potrebe

Koliko god bio varijabilan, utjecaj ovih faktora ne bi trebao utjecati na krajnji ishod proizvodnog procesa.

S druge strane, tijekom mjerenja u relativno malom broj uzoraka koji iznosi 10% dnevne norme pojavila su se odstupanja koja izlaze iz kontrolnih granica, te ona predstavljaju varijacije sa specijalnim uzrocima. Oni mogu utjecati na krajnji ishod proizvodnog procesa. Prema prikupljenim podacima svakako se može zaključiti da su varijacije sa posebnim (specijalnim) uzrocima svakodnevna pojava u promatranom proizvodnom procesu, stoga su naveden neki od specijalnih uzroka:

- Izmjena oštrice alata
- Predugačka kontrola kvalitete
- Zastoji pokretne trake koja transportira odvojene čestice
- Kvar stroja
- Oštećivanje izratka odvojenom česticom

5.6. Unaprjeđenje procesa

U promatranom proizvodnom procesu mogu se primijetiti razlike u stabilnosti procesa mjerenja pomoćnih vremena. Provedba radnji koje su obuhvaćene vremenom t_{p1} provodi se bez velikih varijacija, s druge strane radnje koje su obuhvaćene vremenom t_{p2} nisu prošle ni prvu fazu SPC metode, u kojoj su trebale biti određene kontrolne granice. Trebalo bi uložiti dodatne napore, odrediti točan tijek radnji u tom procesu, eliminirati radnje koje stvaraju prekomjerne varijacije i tako olakšati posao operateru te stabilnost sustava.

Nakon što se utvrde kontrolne granice za sva pomoćna vremena, potrebno je odrediti način, što efikasnijeg i ekonomičnijeg unosa varijacija u sustav statističke kontrole procesa. Ako uzmemo u obzir da se pomoćna vremena t_{p2} i t_{p3} provode dok traje tehnološki proces, ostaje nam pomoćno vrijeme t_{p1} kao glavna varijabla sustava. Ono je jednako vremenu postavljanja obratka u steznu glavu što je ujedno jednako vremenu u kojem stroj 1 ne radi.

Jedna od mogućnosti konstantnog upisivanja podataka u SPC sustav bi bila da stroj šalje podatke o ciklusima mirovanja stroja u sustav te da ih prikazuje samom operateru na ekranu upravljačke ploče kako bi u svakome trenutku znao kolika je vjerojatnost da će ostvariti zadanu normu.

Iduće poboljšanje bi moglo biti u vidu praćenja rada u realnom vremenu putem optičkih senzora. Senzori bi mjerili pomoćna vremena, te kada bi došlo do prelaska granica specifikacije trenutnom signalizacijom bi obavještavali dežurnog voditelja smjene koji bi onda korigirao uzrok kašnjenja.

6. ZAKLJUČAK

Statistička analiza procesa nameće kao efikasna metoda praćenja procesa a time i poslovnih ciljeva, a to su poštivanje rokova isporuke, visoka kvaliteta komponenti i zadovoljstvo kupaca. Nakon prikupljanja statističkih podataka o proizvodnom procesu u tvrtki Feroimpex i prikazu istog na mapi toka vrijednosti provedena je statistička analiza. Primjenom SPC metode pratila su se tehnološka vremena proizvodnog ciklusa. Kako bi se ispravno provela metoda bilo je potrebno proći određene korake.

Prvi korak SPC metode bio je uspostava stabilnosti procesa. Provela se analiza tehnoloških vremena na određenom broju uzoraka tako da su se nakon pretvorbe ne-normalne raspodjele podataka u normalnu i primjene $\bar{X} - MR$ kontrolnih dijagrama definirale kontrolne granice u iznosu od $\pm 3\sigma$ (sigma). Kontrolne granice predstavljaju marginalne vrijednosti koje se prihvaćaju kao zadovoljavajuće.

Prvim korakom je stvoren SPC sustav koji dobiva podatke o varijacijama nakon svakog ciklusa te nam omogućuje rano otkrivanje anomalija, pravovremenu korekciju i sprječavanje većih vremenskih i materijalnih gubitaka.

Generalni zaključak je da pomoćno varijabilno vrijeme 1 koje je vezano uz usko grlo, fiksno tehnološko vrijeme 1 funkcionira odlično i održava stabilnost sustava. Izračunata je mjera potencijalne sposobnosti procesa (C_{pk}) za pomoćno vrijeme 1 (t_{p1}) koja iznosi 2,254. Treba naglasiti da se kod snimanja vremena radilo oiskusnom operateru, te za potpunu sliku cjelokupnog sustava trebalo bi provesti dodatnu analizu ostalih radnih ćelija.

Najveći problem u analizi predstavlja pomoćno vrijeme 2, koje nije stabilno, te nisu formirane kontrolne granice. Nestabilnost možemo pripisati nezavidnom stanju stroja, zastojeima pokretne trake za transport metalnog otpada (špene) i izmjeni oštrica alata.

Značajan doprinos u povećanju produktivnosti može se postići kroz proučavanje i analizu tehnološkog procesa koristeći SPC metode u kombinaciji s novim tehnologijama.

LITERATURA

- [1] Službena stranica tvrtke Feromipex d.o.o. http://feroimpex.hr/?page_id=3306&lang=hr-2
- [2] E-učenje: Proizvodni menadžment, Mapiranje toka vrijednosti https://e-ucenje.fsb.hr/pluginfile.php/74009/mod_resource/content/0/Mapiranje%20toka%20vrijednosti%20VSM.pdf
- [3] Oakland, J.: *Statistical process control*. Jordan Hill, Oxford, UK, 2008.
<http://diliev.com/Home/materiali/KHEA/referati/6812268-Statistical-Process-Control-eBook-VG.pdf>
- [4] References for business, Statistical process control
<https://www.referenceforbusiness.com/encyclopedia/Sel-Str/Statistical-Process-Control.html>
- [5] E-učenje: Kontrola kvalitete, Kontrolne karte https://e-ucenje.fsb.hr/pluginfile.php/56512/mod_resource/content/1/Kontrolne%20karte.pdf
- [6] Box – Cox Transformation <http://onlinestatbook.com/2/transformations/box-cox.html>
- [7] Mini tab, Potential with capability, CPU <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/normal-capability-analysis/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/potential-within-capability/#cpu>

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Mapa toka vrijednosti