

# UPOTREBA STATISTIČKIH METODA U PROCESU IMPLEMENTACIJE NORME IATF 16949:2016

---

**Mikulić, Anita**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:592904>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-24**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied  
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel strojarstva

Stručni studij strojarstva

Anita Mikulić

UPOTREBA STATISTIČKIH METODA U  
PROCESU IMPLEMENTACIJE NORME  
IATF 16949:2016

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020.

Karlovac University of Applied Sciences

Mechanical Engineering Department

Professional undergraduate study of Mechanical Engineering

Anita Mikulić

APPLICATION OF STATISTICAL  
METHODS IN PROCESS OF  
IMPLEMENTATION OF STANDARD  
IATF 16949:2016

Final paper

Karlovac, 2020.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel strojarstva

Stručni studij strojarstva

Anita Mikulić

UPOTREBA STATISTIČKIH METODA U  
PROCESU IMPLEMENTACIJE NORME  
IATF 16949:2016

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Srđan Medić

Karlovac, 2020.

	<b>VELEUČILIŠTE U KARLOVCU</b> Trg J.J.Strossmayera 9 HR - 47000, Karlovac, Croatia Tel. +385 - (0)47 – 843-500 Fax. +385 - (0)47 – 843-503 e-mail: dekanat @ vuka.hr	Klasa: 602-11/18-01/____	
	<b>ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA</b>	Ur.broj: 2133-61-04-18-01	

Ime i prezime	Anita Mikulić		
OIB / JMBG	39737869381	2602988335239	
Adresa	Dugava 4a, 10370 Dugo Selo		
Tel. / Mob./e-mail	/	0993759394	anitamikulic@hotmail.com
Matični broj studenta	0110610086		
JMBAG	0035164184		
Studij (staviti znak <b>X</b> ispred odgovarajućeg studija)	<input checked="" type="checkbox"/>	preddiplomski	<input type="checkbox"/> specijalistički diplomski
Naziv studija	Stručni studij strojarstva		
Godina upisa	2010./2011.		
Datum podnošenja molbe	20.09.2019		
Vlastoručni potpis studenta/studentice			

Naslov teme na hrvatskom: Upotreba statističkih metoda u procesu implementacije norme IATF 16949:2016	
Naslov teme na engleskom: Application of statistical methods in process of implementation of standard IATF 16949:2016	
Opis zadatka: Teoretski obraditi normu IATF 16949:2016 s detaljnim objašnjenjem svih zahtjeva norme, posebice dodatne zahtjeve u odnosu na normu ISO 9001:2015. Detaljno pojasniti statističke metode koje zahtjeva norma IATF 16949:2016 kao što su kontrolne karte, analiza sposobnosti procesa, analiza mjernog sustava i FMEA analiza. Na praktičnom primjeru pokazati upotrebu gore navedenih statističkih metoda u postupku implementacije zahtjeva norme IATF 16949:2016.	
Mentor:	Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

**Sažetak:**

U završnom radu su opisane osnovne statističke metode koje je potrebno upotrebljavati kako bi se ispunili zahtjevi Standarda IATF16949 automobilske industrije

## Sadržaj

1.	IATF (International automotive task force) 16949:2016.....	10
2.	Statistička kontrola procesa (SPC).....	11
2.1	Uvod.....	11
2.2	Svrha statističke kontrole procesa.....	11
2.2.1	Koristi upotrebe SPC.....	12
2.2.2	Prednosti SPC metode.....	12
2.3	Što je SPC?.....	13
2.3.1	Statistika.....	13
2.3.2	Proces.....	13
2.3.3	Kontrola.....	13
2.4	Zahtjevi standarda i drugi zahtjevi koji se odnose na korištenje statističkih metoda.....	14
2.4.1	Zahtjev standarda ISO 9001 2015.....	14
2.4.2	Zahtjevi standarda IATF 16949 : 2016.....	15
2.5	Osnove razumijevanja SPC.....	17
2.5.1	Strategija osiguranja kvalitete.....	17
2.5.1.1	Otkrivanje grešaka.....	17
2.5.2	Značajke varijacije procesa.....	18
2.6	Poboljšanje procesa.....	19
2.6.1	Prirodni (stalni) uzroci varijacija procesa.....	20
2.6.2	Posebni (slučajni) uzroci varijacija procesa.....	20
2.7	Statistički alati i metode.....	20
2.7.1	Tablice i preglednici podataka.....	21
2.7.2	Histogram.....	21
2.7.3	Pareto dijagram.....	22

2.7.4	Vremenski dijagram ili dijagram trendova .....	23
2.7.5	Dijagram uzroka i posljedica .....	23
2.7.6	Kontrolni list i upitnik (eng. checklist) .....	23
2.8	Indeksi sposobnosti i centriranosti .....	24
2.8.1	Općenito o procesnim indeksima .....	24
2.8.2	Preračuni indeksa u procesima proizvodnje .....	28
2.8.3	Kontrolne karte.....	29
2.8.4	Poboljšanje indeksa sposobnosti i smanjenje uporabe kontrolnih karata .....	29
2.8.5	Vrste nadzornih karata .....	31
2.9	Praktični primjeri statističke analize .....	32
2.9.1	Primjer 1 .....	32
2.9.2	Primjer 2.....	38
3.	Analiza mjernog sustava .....	39
3.1	Zahtjevi za mjernu i kontrolnu opremu – ISO 9001:2015.....	39
3.2	Zahtjevi za mjenu i kontrolnu opremu - IATF 16949:2016 .....	39
3.3	Općenito o mjernim sustavima .....	40
3.3.1	Uvod.....	40
3.3.2	Kvaliteta mjernih podataka.....	41
3.3.3	Terminologija.....	42
3.3.4	Svrha MSA analize.....	42
3.4.5	Uzroci varijabilnosti mjernog sustava .....	45
3.4.6	Mjerenje i osnove .....	47
3.4.7	Vrste varijacija mjernih sustava.....	47
3.4.7.2	Raztres (odstupanja) mjernog sustava.....	48
3.4.7.3	Lokacijska odstupanja.....	48



3.4.7.4 Širinska odstupanja .....	50
3.5.1 Primjer varijabilne analize mjernog sustava CMM mjernog uređaja .	57
3.5.2 Primjer varijabilne analize mjernog sustava za test puštanja .....	59
3.5.3 Primjer varijabilne analize mjernog sustava za destruktivne metode 60	
3.5.4 MSA atributivno .....	61
4. ZAKLJUČAK.....	64
5. Literatura .....	65

## Popis oznaka i kratica

IATF	engl. International Automotive Task Force
ISO	međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. International Organisation for Standardisation)
CSR	specifični zahtjevi kupca (engl. Customer Specific Requirements)
SPC	statistička kontrola procesa (engl. Statistical Process Control)
PFMEA	analiza mogućnosti pogrešaka procesa (engl. Process Failure Mode Effects Analysis)
DFMEA	analiza mogućnosti pogrešaka dizajna (engl. Design Failure Mode Effect Analysis)
VOC	„glas kupca“ engl. Voice of customer
GTM	gornja tolerancijska mjera ili granica
DTM	donja tolerancijska mjera ili granica
MSA	analiza mjernog sustava (engl. Measurement System Analysis)
EV	ponovljivost
AV	obnovljivost
GRR	otklon ponovljivosti i obnovljivosti mjernog uređaja
TV	raztres procesa
APQP	napredno planiranje kvalitete proizvoda (engl. Advanced Product Quality Planing)
PPAP	(engl. Production Part Approval Process)
Cpk	indeks demonstrirane izvrsnosti
cp	indeks potencijalne sposobnosti procesa
$\sigma$	standardna devijacija
NDC	engl. Number of Distinct Categories
$X_i$	vrijednost
N	broj podataka (uzoraka)
ppm	broj defektnih jedinica u milijun prodanih (engl. parts per milion)
$\bar{R}$	prosječni raztes
m	broj uzoraka
$d_2$	koeficijent
Y	izmjerena vrijednost
X	stvarna vrijednost
$\xi$	greška mjerenja

## Popis tablica

Tablica 1. Odnos Pp i ppm.....	27
Tablica 2. Koeficijent d2 .....	28

## Popis slika

Slika 1. Sustav upravljanja procesom .....	17
Slika 2. Poveznica između ulaza, procesa i izlaza .....	19
Slika 3. Histogram .....	21
Slika 4. Pareto dijagram .....	22
Slika 5. Parteo dijagram u obliku pite .....	23
Slika 6. Otklon procesa .....	24
Slika 7. Prvi slučaj usporedbe raztresa procesa i tolerancije.....	25
Slika 8. Drugi slučaj usporedbe raztresa procesa i tolerancije .....	25
Slika 9. Treći slučaj usporedbe raztresa procesa i tolerancije .....	26
Slika 10. Centriran proces .....	26
Slika 11. Ne centriran proces .....	27
Slika 12. Slikovit prikaz ponovljivosti i obnovljivosti .....	27
Slika 13. Proces uklanjanja SPC .....	30
Slika 14 Ishikawa .....	32
Slika 15 Najčešće korekcije.....	33
Slika 16 Boxplot prije i poslije korekcije.....	33
Slika 17 Statistika prije odrađenih korekcija .....	34
Slika 18 Statistika prije odrađenih korekcija .....	35
Slika 19 Statistika nakon odrađenih korekcija .....	36
Slika 20 Statistika nakon odrađenih korekcija .....	37
Slika 21. Praktični primjer statističke analize promjena stroja .....	38
Slika 22. Opća definicija procesa .....	43
Slika 23. Proces mjerenja.....	43
Slika 24. Potencijalni uzroci raztresa - varijacije mjernog sustava .....	45
Slika 25. Tri područja odlučivanja.....	46

Slika 26. Svojstva raztresa mjernog sistema .....	48
Slika 27. Otklon .....	48
Slika 28. Stabilnost.....	49
Slika 29. Linearnost.....	50
Slika 30. Linearnost (konstantan i ne konstantan) otklon .....	50
Slika 31. Ponovljivost .....	51
Slika 32. Obnovljivost.....	51
Slika 33. Gage R&R .....	52
Slika 34. Greške lokacije .....	55
Slika 35. Greška širine .....	55
Slika 36 Varijabilna analiza mjernog sustava za CMM mjerni uređaj .....	58
Slika 37 Varijabilna analiza mjernog sustava za test puštanja .....	59
Slika 38 Varijabilna analiza mjernog sustava za test trganja .....	60
Slika 39. Analiza mjernog sustava - atributivno.....	63

---

# 1. IATF (International automotive task force) 16949:2016

Standard za upravljanje kvalitetom u automobilskoj industriji IATF 16949:2016 objavljen je 03.10.2016. sa čime je zamijenio do tada važeći standard za upravljanje kvalitetom u automobilskoj industriji ISO/TS 16949:2009.

Standard IATF 16949:2016 uključuje specifične zahtjeve kupca (CSR), zahtjeve standarda ISO 9001:2015 i ISO 9000:2015, te time definira sistem upravljanja kvalitete za proizvodnju automobila i rezervnih dijelova korištenih u automobilskoj industriji.

Povijest standarda upravljanja kvalitetom u automobilskoj industriji započeta je 1972. godine kada je objavljen prvi standard BS 5750; koji je 1979. godine predložen ISO-u, a samo objavljivanje ISO 9000 dogodilo se 1987. godine. Standard ISO 9000 se u automobilskoj industriji upotrebljavao sve do 1999. godine i pojavljivanja ISO/TS-a koji je bio primjenjiv do 2016 godine.

Razlozi primjene i usvajanja standarda za upravljanje kvalitetom u automobilskoj industriji su uspostavljanje zahtjeva dobavljačima da se osigura kvaliteta proizvoda.

Standard IATF 16949:2016 kao cilj ima kroz razne alate povećati zadovoljstvo korisnika kontinuiranim poboljšanjima kvalitete sustava i proizvodnih procesa, a zahtjev je postavljen od proizvođača automobila kroz specifične zahtjeve kupaca. Kako bi se poboljšala kvaliteta sustava i procesa fokus je na prepoznavanju rizika, identifikaciji problema, analizi, poduzimanju korektivnih i preventivnih mjera, praćenju učinkovitosti odrađenih akcija, te praćenju zadovoljstva kupca, kao i kontinuirana poboljšanja.

Standard IATF 16949:2016 temelji se na strukturi standarda ISO 9001:2015 i uključuje sve zahtjeve navedene u istom.

Uvođenjem standarda IATF 16949:2016 dodano je 104 zahtjeva u odnosu na ISO 9001:2015 i 25 zahtjeva u odnosu na ISO/TS 16949:2009.

Certificiranje obavlja treća strana i to certificirani auditori, a certifikat se izdaje na tri godine; uz godišnji nadzorni audit.

Standard IATF 16949:2016 sastoji se od 10 važnih poglavlja:

1. Područje primjene
2. Upućivanje na druge standarde (norme)
3. Nazivi i definicije
4. Kontekst organizacije
5. Vodstvo
6. Planiranje
7. Podrška
8. Radni proces

## 2. Statistička kontrola procesa (SPC)

### 2.1 Uvod

Statističke metode se koriste za prikupljanje podataka vezanih za proizvodni proces. Služe za praćenje i kontrolu procesa. Uz pomoć njih je moguće ocjenjivanje sposobnosti procesa te procjena rizika i neusklađenosti s obzirom na prvobitno postavljene zahtjeve.

Prednosti statističke analize procesa su poboljšanje produktivnosti, smanjenje škartu, dorada, troškova te povećanje dobiti.

Statističku kontrolu procesa je razvio Walter A. Shewart 1920tih. W. Edwards Deming je kasnije upotrijebio statističke metode kontrole u Sjedinjenim Američkim Državama tokom drugog svjetskog rata gdje je poboljšao kvalitetu izrade streljiva i drugih strateški važnih proizvoda. Bio je također važan u implementaciji statističke kontrole procesa u Japansku industriju nakon završetka rata. Iako je Shewart polazio od čisto matematičko statističke teorije razumio je da podaci iz fizičkog procesa nikada ne proizvode krivulju normalne distribucije. Otkrio je kako se promatrana varijacija iz podataka u proizvodnji ne ponaša kao i u prirodi. Tvrdio je da svaki proces pokazuje određenu varijaciju samo što neki procesi imaju kontroliranu varijaciju koja je prirodna tom procesu dok neki procesi sadrže ne kontroliranu varijaciju koja nije prisutna u procesu cijelo vrijeme. Dvije vrste varijacije postoje u svakom procesu. Prvi je poznat kao prirodni uzrok i može biti npr. varijacija temperature. Drugi je poznat kao specijalni uzrok i pojavljuje se mnogo rjeđe nego prvi. <sup>[3]</sup>

Statistička kontrola procesa ukazuje kada je potrebno poduzeti akcije u procesu ali također i ukazuje kada akcije nije potrebno poduzeti.

### 2.2 Svrha statističke kontrole procesa

Svakodnevni zadaci zahtijevaju korištenje jednostavnih ali učinkovitih i korisnih izračuna i usporedbi. Na temelju toga odlučujemo o daljnjim mjerama. Na taj način se poseže u razvoj kvalitete u okruženju. Budući da želimo mjeriti napredak moramo ponovno koristiti određene kalkulacije i usporedbe.

---

<sup>[3]</sup> M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

---

U statističkoj kontroli procesa (SPC) susrećemo se s problemom kako opisati i analizirati proces procjene fluktuacija, mjere koje treba poduzeti kako bi se uklonile fluktuacije te kako ponovno izmjeriti uspjeh tih mjera.

Svrha korištenja statističke kontrole procesa je:

- Utvrđivanje i praćenje stanja procesa i karakteristika proizvoda
- Poboljšanje sposobnosti procesa i karakteristika proizvoda
- Smanjivanje troškova kvalitete
- Nabava novih proizvoda, tehnologija i strojeva

### **2.2.1 Koristi upotrebe SPC**

- Smanjenje troškova kvalitete smanjenjem škarta, popravaka i procjena
- Manje zastoja u proizvodnji
- Uštede vremena
- Provjera i poboljšanje rada procesa
- Povećanje kapaciteta
- Manje problema na sljedećoj operaciji
- Veća uključenost operatora i motivacija za kvalitetu
- Smanjenje pritužbi/reklamacija

### **2.2.2 Prednosti SPC metode**

- Daje više podataka operaterima i tehničarima za kontrolu sposobnosti planiranja proizvoda i procesa te za procjenu različitih kombinacija određenog dizajna i procesa.
- Pomaže identificirati različite uzroke varijacija od onih koje su prirodne za određeni sustav, kao i slučajne.
- Postizanje nižih troškova po jedinici proizvoda i povećanje kapaciteta uvođenjem "sustava za brzo otkrivanje pogrešaka" u svrhu smanjenja brisanja i popravka i dorade.
- Upravljanje kontrole procesa pomoću praćenja procesa i identificiranjem pogrešaka prije nego se pojave.
- Kombinira sve tradicionalne metode otkrivanja kako bi se identificirali problemi kvalitete na mjestima na kojima se koristi.
- Osigurava da su problemi riješeni prevencijom.
- Povećava svijest operatera i osigurava veće zadovoljstvo u radu kroz veću uključenost u proces.
- Osigurava zajednički jezik za raspravu o procesima i ponašanju operatera ili vodstva u provedbi mjera.

Stoga je svrha korištenja SPC-a smanjiti troškove, povećati pouzdanost proizvoda, a time i mogućnost povećanja prodaje i dobiti. Uvođenjem SPC-a se smanjuje opseg kontrole kvalitete.



---

## 2.3 Što je SPC?

To je sustav kontrole uz pomoć statističkih tehnika koje nam omogućuju stalno praćenje i poznavanje varijacija procesa i sprječavanje nesukladnosti u skladu s njegovim prirodnim ograničenjima.

To je vrlo djelotvorna metoda prevencije pogrešaka i podupire kontinuirani napredak u kvaliteti.

SPC je sustav povratnih informacija koji koristi statističke metode i alate.

Pri tome uspoređuje uređenost i pripremu podataka te pružiti takve povratne informacije, koje će kazati postignuto stanje i status, omogućiti dijagnozu rizika te specificirati stanje koje je prikladno za akcije.

### 2.3.1 Statistika

Statistika je analitički alat koji se koristi za predviđanje događaja. Postoji mnogo jednostavnih metoda za analizu podataka koji ako se pravilno koriste vode do vrlo preciznih pretpostavki.

Statistika se koristi za predviđanje stanja određene karakteristike neke količine proizvoda na temelju analize uzorka.

### 2.3.2 Proces

Proces kombinira aktivnosti koje uključuju ljude, strojeve, opremu, sirovine, metode, održavanje, okoliš i vodstvo. Oni zajedno proizvode proizvod ili uslugu.

Kvaliteta proizvoda i učinkovitost proizvodnje ovise o planiranju procesa i načinu njegove provedbe.

### 2.3.3 Kontrola

Upravljanje procesom znači upravljanje njime, uspoređivanje s ciljevima te identificiranje kada i koje korektivne mjere treba uvesti kako bi se postigao cilj.

Korisnici statističke kontrole procesa su:

1. Autokontrola (samokontrola)
2. Vođe grupa
3. Strukovni djelatnici u proizvodnji, razvoju i osiguravanju kvalitete
4. Voditelji

---

Uvjeti za korištenje statističkih metoda

- Baza podataka
- Trebaju postojati metode za korištenje statistike
- Metode moraju biti odobrene i definirane
- Potrebno je znanje za korištenje metoda
- Rezultati metoda moraju pružiti odgovarajuća rješenja

Temeljni uvjeti za uspješno rješavanje problema:

- Problem mora realno postojati
- Za rješenje mora biti dostupna kritična masa znanja
- Minimalni unutarnji i vanjski uvjeti i resursi moraju biti ispunjeni.

## **2.4 Zahtjevi standarda i drugi zahtjevi koji se odnose na korištenje statističkih metoda**

### **2.4.1 Zahtjev standarda ISO 9001 2015**

Zahtjevi standarda ISO 9001:2015 za korištenje statističkih metoda su:

„9.1 Praćenje, mjerenje, analiza i vrednovanje

9.1.1 Općenito

Organizacija mora utvrditi:

- a) što treba pratiti i mjeriti,
- b) metode za praćenje, mjerenje, analizu i vrednovanje potrebne radi osiguranja valjanih rezultata,
- c) kada će se izvršiti praćenje i mjerenje,
- d) kada će se analizirati i vrednovati rezultati praćenja i mjerenja.

Organizacija mora vrednovati mjerljive rezultate i djelotvornost sustava upravljanja kvalitetom.

Organizacija mora sačuvati odgovarajuće dokumentirane informacije kao dokaz rezultata.

---

### 9.1.3 Analiza i vrednovanje

Organizacija mora analizirati i vrednovati odgovarajuće podatke i informacije koji proizlaze iz praćenja i mjerenja. Pomoću rezultata

analize mora se vrednovati sljedeće:

- a) sukladnost proizvoda i usluga sa zahtjevima,
- b) stupanj zadovoljstva kupaca,
- c) mjerljivi rezultati i djelotvornost sustava upravljanja kvalitetom,
- d) djelotvornost planiranja,
- e) djelotvornost poduzetih mjera za poduzimanje koraka povezanih s rizicima i prilikama,
- f) mjerljivi rezultati vanjskih dobavljača,
- g) potreba za poboljšanjima u sustavu upravljanja kvalitetom.

Napomena: Metode analiziranja podataka mogu uključiti statističke tehnike.<sup>[1]</sup>

### 2.4.2 Zahtjevi standarda IATF 16949 : 2016

Zahtjev standarda IATF 16949:2016 o statističkom nadzoru procesa je:

„9.1.1.1 Praćenje i mjerenje proizvodnih procesa

Organizacija mora izvesti studije svih novih proizvodnih procesa (uključujući montažu i razvrstavanje), kako bi potvrdili sposobnost procesa i dostaviti dodatne inpute za kontrolu procesa, uključujući procese sa specijalnim karakteristikama.

Napomena: Za neke proizvodne procese ne može biti moguće dokazati sukladnost proizvoda kroz sposobnost za praćenje procesa.

Takvi procesi mogu koristiti alternativne metode, kao što su usklađenost serije sa zahtjevima.

Organizacija mora održavati proizvodnu sposobnost procesa ili rezultata poslovanja procesa, kao što je određeno od strane kupca u zahtjevima za proces odobravanja proizvoda.

Organizacija mora potvrditi (prethodno osigurati) provedbu dijagrama tijeka procesa (process flow diagram), PFMEA i plan upravljanja, uključujući:

- a) Tehnika mjerenja
- b) Plan uzorkovanja
- c) Kriteriji prihvatanja
- d) Zapisi o stvarnim izmjerenim vrijednostima i/ili rezultata ispitivanja varijabilnih podataka
- e) Reakcijske planove i proces eskalacije u slučaju ne ispunjenja kriterija prihvatanja

Važni događaji u procesu, kao što su promjene alata ili popravak stroja, moraju se zabilježiti i sačuvati kao dokumentirana informacija.

---

[1] Norma ISO 9001 : 2015

---

Organizacija mora pokrenuti plan reakcije u skladu s planom upravljanja i procijeniti utjecaj na usklađenost sa zahtjevima za karakteristike koje nisu statistički sposobni ili su nestabilni.

Ove reakcije planovi moraju uključivati zadržavanje/blokiranje proizvoda i, ako je potrebno, 100% kontrola, prema potrebi.

Organizacija mora razviti i primijeniti akcijski korektivni plan, koji utvrđuju još posebne aktivnosti, raspored i dodijeliti odgovornosti kako bi se osiguralo, da proces postane stabilan i statistički sposoban. Planovi moraju biti pregledani i odobreni od strane kupca, kada je potrebno.

Organizacija mora voditi zapise o datumima stupanja na snagu promjena u procesu.

#### 9.1.1.2 Identifikacija statističkih alata

Organizacija mora utvrditi odgovarajuće korištenje statističkih alata.

Organizacija mora potvrditi da odgovarajući statistički alati koji su uključeni u proces pred-planiranje kvalitete proizvoda (ili slično) uključene u analizu rizika dizajna (npr. DFMEA), gdje je primjenjivo, analiza rizika proizvodnog procesa (npr. PFMEA) i plan upravljanja.

#### 9.1.1.3 Uporaba statističkih koncepta(korištenje statističkih pojmova)

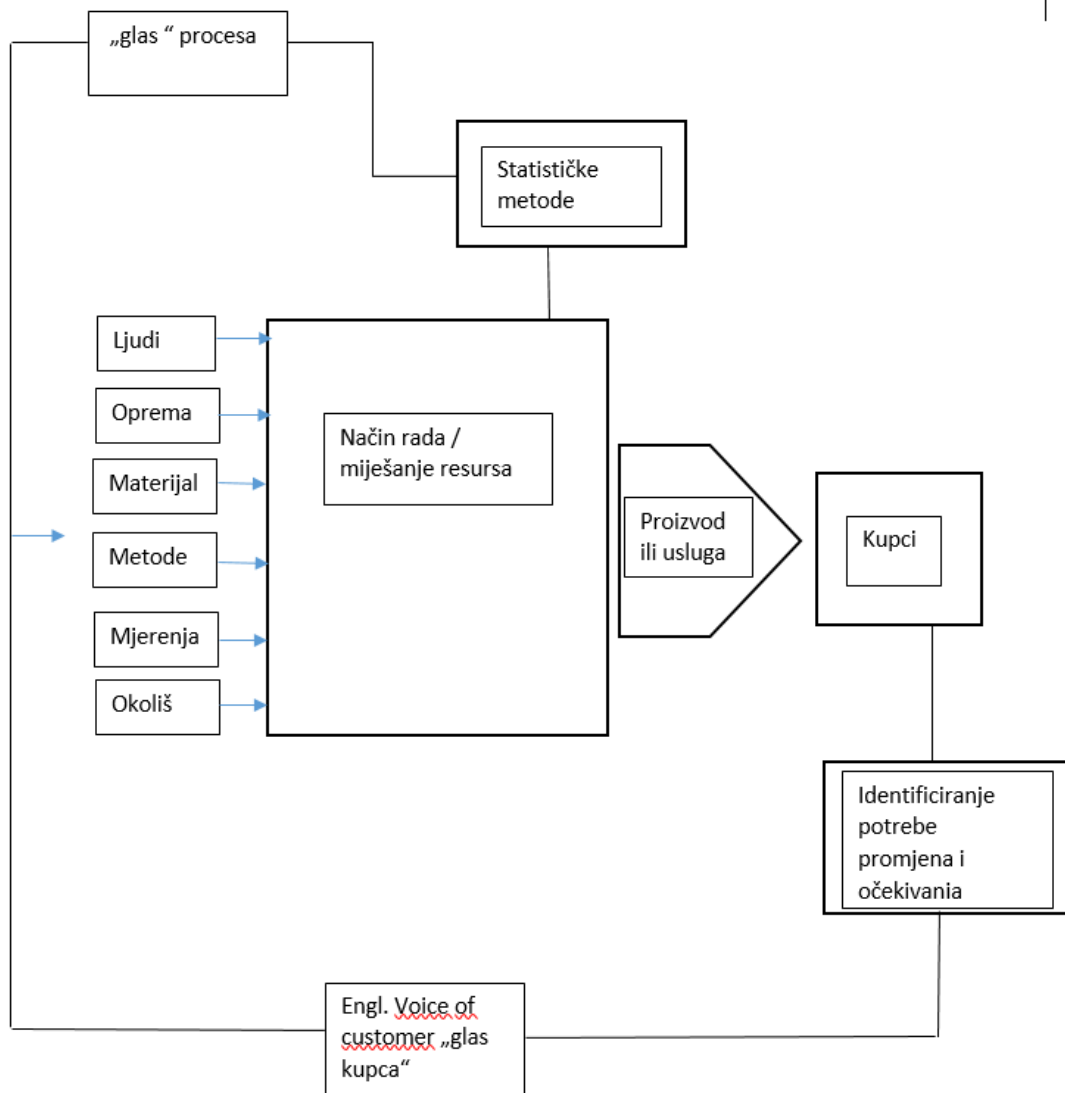
Osnovni statistički koncepti kao što su varijacije, kontrole (postojanosti) sposobnosti procesa i posljedica prekomjerne korekcije (prekomjernih promjena postavki) mora se razumjeti i koristiti od strane zaposlenika koji su uključeni u prikupljanje, analizu i upravljanje statistike.“ [2]

---

[2] Norma IATF 16949 : 2016

## 2.5 Osnove razumijevanja SPC

### 2.5.1 Strategija osiguranja kvalitete



Slika 1. Sustav upravljanja procesom [3]

#### 2.5.1.1 Otkrivanje grešaka

Otkrivanje grešaka koja se temelji na prepoznavanju problema nakon što je proizvod proizveden, bilo pregledom svih proizvoda pojedinačno, otkrivanje pogreške od strane klijenta ili na drugi način dostizanja podataka nakon finalizacije proizvoda.

[3] M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

---

Ova strategija ima mnoge nedostatke:

Nejasna odgovornost - otkrivanje sprječava analizu nastanka kvalitetnog proizvoda. Takva detekcija dovodi do pogrešne procjene pogreške: procjenjujemo da je pogreška posljedica proizvodnog procesa, ali ne i da je pogreška posljedica lošeg razvoja proizvodne tehnologije ili sposobnosti procesa ili nedovoljne kontrole proizvodnog procesa.

Nezadovoljstvo klijenta - klijent otkriva i izvještava o problemima kvalitete nakon što izgubi povjerenje u nas, nezadovoljan je i uzrokovan mu je gubitak.

Ta strategija ima mnogo slabosti kao što su povišeni troškovi (troškovi popravka, dorade i škart povisuju konačnu cijenu dobrog proizvoda) ponavljanje problema jer se isti ne otklanja već se samo otkriva pogreška i nepostojanje značajnijeg poboljšanja (poboljšanja nisu značajna i problemi se samo gomilaju kao što su reklamacije, troškovi popravaka itd.).

### **2.5.1.2 Preventiva**

Preventivna strategija bavi se otkrivanjem problema u fazi prije proizvodnje i tijekom procesa proizvodnje uz pomoć analize razvoja, sposobnosti procesa i kontrole proizvodnje.

Ova strategija ima mnoge prednosti kao što je poboljšanje razvoja i sposobnosti procesa (učinkovita prevencija zahtijeva sposobnu kontrolu razvoja i tehnologije i proizvodnje) i kvaliteta proizvodnje (proizvodnja integrira kvalitetu u proizvod i autentificira rezultate metodama kontrole procesa).

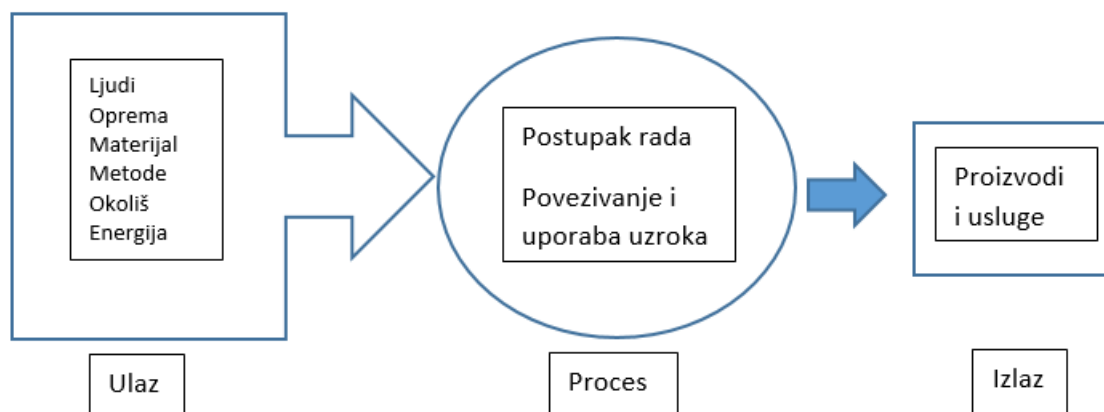
Organizacija za upravljanje kvalitetom pruža analitičku i revizijsku funkciju i pomaže svim službama da otkriju i otklone probleme. Ispravan sustav kvalitete eliminira glavne uzroke problema kvalitete, uključujući njihovo planiranje: identifikaciju, procjenu, korekciju i kontrolu. Kontinuirani napredak ujedinjuje organizaciju koja, zajedničkim naporom, poboljšava kvalitetu i produktivnost. To se izravno odražava na povećanje prodaje, manji trošak po jedinici proizvoda i višu dobit.

### **2.5.2 Značajke varijacije procesa**

Na današnjem konkurentnom tržištu je bitno upravljanje promjenama (varijacije). Poštivanje zahtjeva kupaca temeljni je cilj uspješnog poslovanja. Tvrtke trebaju kontinuirano smanjivati varijacije procesa oko planiranih nominalnih vrijednosti, što je ključna poruka poslovnog uspjeha.

Da bi se razumio pojam varijacije procesa treba se znati da nijedan proizvod, proces, rad, stroj ili radnik nisu potpuno isti. Razlike uzrokuju varijacije u karakteristikama proizvoda ali također praćenje varijacija tijekom vremena pokazuje nam uzorke. Razumijevanje obrazaca daje tokom vremena mogućnost predviđanja te na temelju prognoze možemo dovesti proizvodnju do smanjenja varijacija.

Kontrola procesa znači upravljanje ulazom, samim procesom i izlazom kao što je prikazano u shemi ispod.



**Slika 2. Poveznica između ulaza, procesa i izlaza** <sup>[3]</sup>

Da bi se odredili ključni procesni parametri, prikladno je koristiti dijagrame uzroka i posljedica. Tako se može odrediti moguća veza između karakteristika proizvoda i čimbenika koji će na njih vjerojatno utjecati.

U procesu osim načina rada i korištenja resursa postoji i trošak zbog udjela dodane vrijednosti. Izlazni proces daje proizvode ili usluge i kriterije na temelju kojih se procjenjuje kvaliteta procesa.

## 2.6 Poboljšanje procesa

Do poboljšanja procesa se dolazi u tri faze. Prva faza na putu poboljšanja je mjerenje ishodišnog stanja. Prvi uvjet je poznavanje i razumijevanje postojeće vrijednosti  $C_{pk}$  ( $P_{pk}$ ) za ključne parametre procesa i karakteristike proizvoda. Druga faza je postupak centriranja varijacija pri čemu se postepeno  $C_{pk}$  ( $P_{pk}$ ) izjednači s  $C_p$  ( $P_p$ ). Treća faza je kada je vrijednost  $C_{pk}$  ( $P_{pk}$ ) blizu  $C_p$  ( $P_p$ ) inicira se proces smanjenja varijacija procesa i kontrole procesnih parametara i karakteristika proizvoda. Važno je razlikovati varijacije uzrokovane općim i posebnim učincima te se i tretiraju odvojeno. Varijacije zbog prirodnih uzroka ugrađene su u sustav i mogu se smanjiti samo mjerama uprave.

Varijacije zbog posebnih uzroka mogu se riješiti samo mjerama koje poduzimaju operateri i osoblje za održavanje (servisiranje).

Smanjenje varijacije pomoću upravljanja procesa

Nijedan industrijski proces ili stroj nije sposoban proizvoditi za redom točno iste proizvode prema duljini, težini, debljini. Razlike mogu biti velike ili neusporedivo male, ali su uvijek prisutne.

<sup>[3]</sup> M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

---

Većina razlika proizlazi iz kombinacije učinaka na proces i učinka varijacija. Varijacije su razlog da tehničari prilikom dizajniranja proizvoda koriste tolerancije i specifikacije.

### **2.6.1 Prirodni (stalni) uzroci varijacija procesa**

Postoje uzroci koji su stalno prisutni u većoj ili manjoj mjeri u procesu (mogli bismo ih nazvati i trajnima), ali je proces, unatoč njihovoj prisutnosti, stabilan i ima ponovljiv raztres. Takav se proces naziva "stabilan proces" ili "statistički ovladan proces". Ako su prisutni samo prirodni uzroci varijacija i ne mijenjaju se, izlaz iz procesa je predvidljiv.

To ne znači da su dijelovi proizvedeni takvim postupkom prihvatljivi! Jednostavno možemo predvidjeti da se pod tim uvjetima proizvedeni komadi neće mnogo promijeniti.

Proces je unutar granica normalnih varijacija, kada se svaki od utjecaja mijenja unutar očekivanih granica tako minimalan da nije moguće odrediti uzrok promjene unutar poznatih varijacija.

Neki primjeri takvih uzroka su starenje stroja, stanje alata, stanje mjernih sredstava i stanje materijala. Statističke metode mogu dokazati postojanje prirodnih uzroka varijacija, ali se trebaju izraditi detaljnije systemske analize za njihovo smanjenje, tako da ih se često rješava upravljanjem procesom. Stoga smanjenje varijacija procesa zbog prirodnih uzroka zahtijeva sustavno djelovanje od strane uprave procesa koji se razmatra.

### **2.6.2 Posebni (slučajni) uzroci varijacija procesa**

Uzroci koji povremeno pokreću proces (mogli bi se reći i da su slučajni). Kada se pojave izazivaju

promjenu raztres procesa. Kada su prisutni izlaz iz procesa je nepredvidljiv te je proces nestabilan.

To ne znači da su dijelovi proizvedeni takvim procesom neprihvatljivi. Jednostavno se ne zna kakvu će kvalitetu imati svaki od sljedećih komada. Mogu biti određeni i neredovni. Sposobnost procesa i njegovo ponašanje ne može se statistički uravnotežiti. Neki od takvih uzroka su izmjena alata, čovjek (znanje i iskustvo), temperatura, vlažnost, promjena smjene.

## **2.7 Statistički alati i metode**

Ovisno o karakteristikama procesa i karakteristikama proizvoda i postavljenim ciljevima pojedini statistički alati i metode kontrole mogu se koristiti u različitoj mjeri.

Osnovni statistički alati za statističku kontrolu procesa SPC-a definiraju se kao elementarne statističke metode ili sedam osnovnih alata za kontrolu kvalitete kojim trebaju upravljati svi zaposlenici u tvrtki.



---

To su:

1. Tabele i preglednici podataka
2. Histogram
3. Pareto dijagram (ABC dijagram)
4. Vremenski dijagram ili dijagram trendova
5. Dijagram uzroka i posljedica
6. Kontrolni list i upitnik (eng. checklist)
7. Dijagram raspodjele (distribucije)

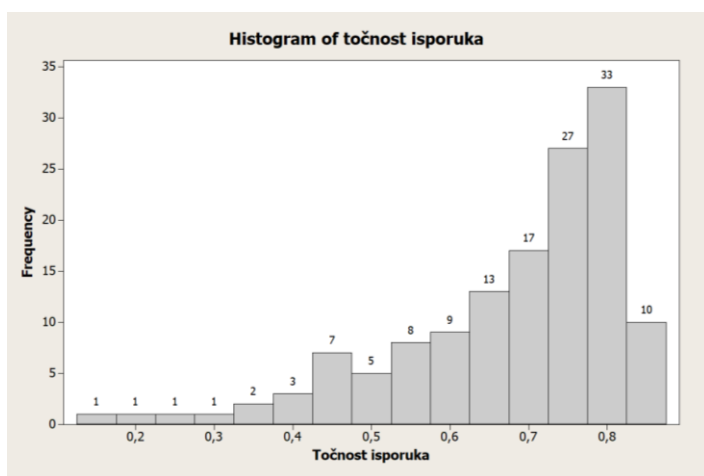
Statističke metode srednjeg stupnja težine su brainstorming, indeksi sposobnosti procesa i karakteristika proizvoda, tehnike uzorčenja i sabiranja podataka, kontrolni list i upitnik, FMEA metode, dijagram su ovisnosti. Statističke metode najvećeg stupnja težine su matematička statistička analiza (korelacije, trendovi, regresija...), multivarijantne analize operativnih istraživanja itd.

### 2.7.1 Tablice i preglednici podataka

Ovisno o svrsi i sadržaju statističke obrade je postupak koji je ovisan o opsegu prikupljanja i pripreme podataka. Podaci se mogu prikupljati na postojećim radnim i kontrolnim dokumentima, tabelarno na posebnim obrascima ili automatskim prikupljanjem podataka iz mjernih naprava ili uređaja. Podaci se zatim po potrebi strukturiraju u skupine povezanih podataka u skladu s svrhom analize podataka kako bi se dobilo više informacija i tako njihova obrada učinila što jednostavnijom i bržom. Potrebno je znati svrhu prikupljanja podataka kako bi se osmislila adekvatna tablica.

### 2.7.2 Histogram

Histogram se koristi za prikaz raspodjele podataka o frekvenciji pomoću dijagrama stupaca. Grafički prikazuje varijabilnost, raztres i raspodjelu promatranih podataka.



Slika 3. Histogram

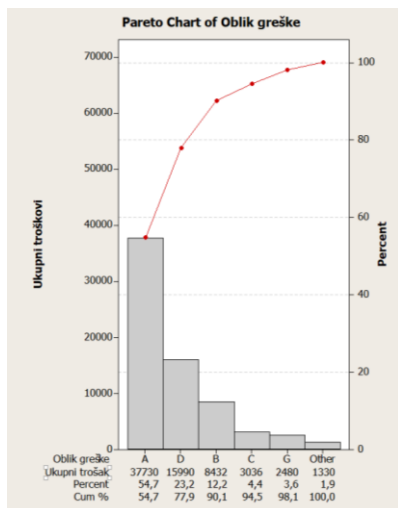
### 2.7.3 Pareto dijagram

V. Pareto je talijanski ekonomist koji je izjavio da 80 posto bogatstva Italije drži 20 posto populacije. Kasnije je Juran je upotrijebio Pareto pravilo i u druge aplikacije držeći se teze da 80 posto varijacije u procesu je uzrokovana od 20 posto varijabli. Tih 20 posto je nazvao vitalne varijable za razliku od ostalih koji su imali puno manje ukupnog utjecaja.

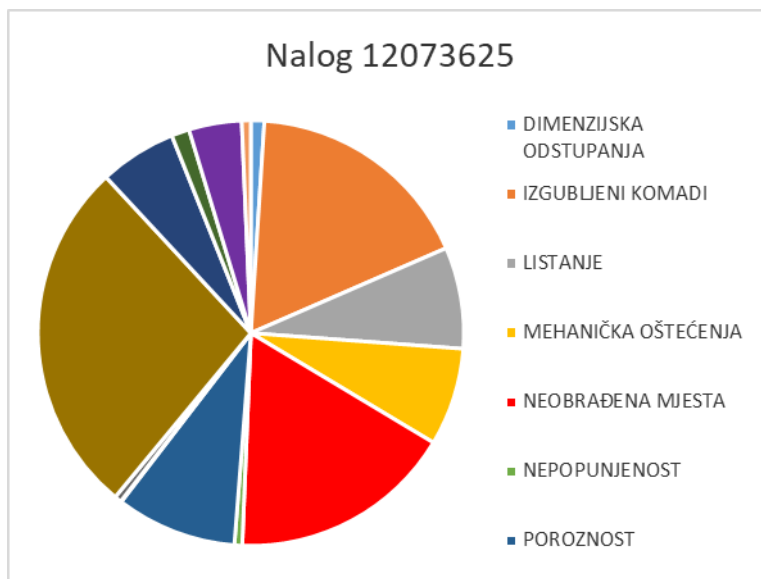
Pareto analiza također može koristiti vodeći kadar neke organizacije kako bi analizirali neki problem te istaknuli glavne uzroke.

Korištenjem Pareto dijagrama razlikujemo važne čimbenike od nevažnih. Korištenje Pareto dijagrama omogućuje se da se usredotoči na ona područja gdje možemo postići najveće moguće učinke.

Paretov dijagram u osnovi je dijagram stupaca u kojem je frekvencija pojedinačnih događaja navedena u silaznom redoslijedu.



Slika 4. Pareto dijagram



**Slika 5. Parteo dijagram u obliku pite**

#### 2.7.4 Vremenski dijagram ili dijagram trendova

Vremenski dijagram prikazuje kronološke promjene u vrijednostima parametara u procesu, karakteristikama proizvoda, trošku kvalitete i nizu poslovnih karakteristika. Koristeći osobno računalo takvi dijagrami su stekli popularnost. Vremenske karte otkrivaju obrasce koji se pojavljuju povremeno ili u određenim fazama procesa. Dijagram se konstruira unosom vrijednosti promatrane varijable u vrijeme promatranja u dijagramu. Primjer upotrebe vremenskog dijagrama je praćenje troškova kvalitete.

#### 2.7.5 Dijagram uzroka i posljedica

Dijagram uzroka i posljedica omogućuje prikazivanje mogućih uzroka posljedica koje mogu utjecati na ostvarenje određenog cilja. Posljedice s područja kvalitete su karakteristike proizvoda i problemi (pogreške) u proizvodnji i poslovanju. Proizvodni proces uključuje "brainstorming". To je jedna od uspješnijih metoda za identificiranje procesnih parametara koji imaju značajan utjecaj na karakteristike proizvoda.

#### 2.7.6 Kontrolni list i upitnik (eng. checklist)

Kontrolni list je namijenjen za bilježenje podataka i informacija u obliku unaprijed pripremljenog obrasca u kojem se "označavaju" opažanja. Dakle može biti korisno za korištenje prije početka procesa jer može poslužiti kao podsjetnik za sve što se treba provjeriti prije početka procesa rada. Korištenje takvog popisa korisno je za uklanjanje većih odstupanja u procesu. Svrha kontrolnog popisa stoga nije prikupljanje podataka za analizu, već služi kao podsjetnik za postizanje određene kvalitete proizvoda.

## 2.8 Indeksi sposobnosti i centriranosti

Distribucija – raztres procesa

Sigma =  $\sigma$  = standardni otklon

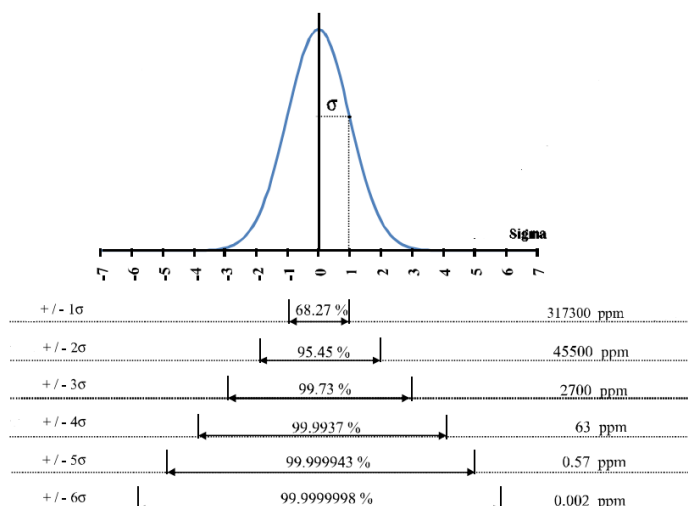
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Aritmetička sredina

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

$X_i$  - vrijednost

n- broj podataka (uzoraka)



Slika 6. Otklon procesa [7]

### 2.8.1 Općenito o procesnim indeksima

Sposobnost procesa je izraz koliko dobro promatrani proces funkcionira u odnosu na VOC. I to je predviđanje koliko će proces u budućnosti zadovoljiti zahtjeve kupaca. Sposoban proces je onaj u kojem gotovo sva mjerenja karakteristike proizvedene procesom spadaju unutar granica specifikacija.

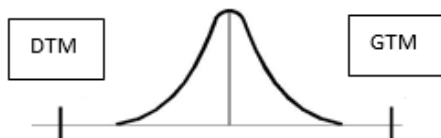
[7] J.S. Oakland: Statistical process control, 2003.

---

Izlaz (eng. output) iz stabilnog procesa može biti opisana kao statistička distribucija. Proces mora biti stabilan (statistički kontroliran) kako bi distribucija bila od pomoći za predviđanje budućih rezultata. Distribucija je opisana karakteristikama (statistika) koje su izračunati iz mjerenja uzoraka iz procesa.

Uspoređujući varijaciju (raztres) procesa sa specificiranim granicama, dobiva se jedna od tri situacije:

1.

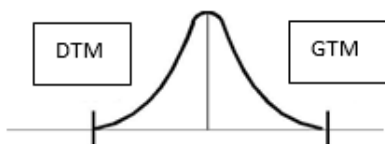


**Slika 7. Prvi slučaj usporedbe raztresca procesa i tolerancije**

$$6\sigma < (GTM - DTM)$$

Kod ovog slučaja može se reći da je proces stabilan te da će proizvod biti konstantno dobar. Također će kupac imati manje problema i dorada kao i veću sigurnost što će se pokazati višim profitom.

2.

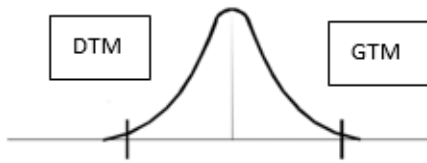


**Slika 8. Drugi slučaj usporedbe raztresca procesa i tolerancije**

$$6\sigma = (GTM - DTM)$$

Ako se u ovakvim procesima aritmetička sredina pomakne ulijevo ili udesno imamo lijevi ili desni kraj izvan navedenih granica. Takav proces treba pažljivo pratiti kako bi se otkrili pomaci od srednje vrijednosti. Izvrsni alati za to su kontrolne karte.

3.



**Slika 9. Treći slučaj usporedbe raztresa procesa i tolerancije**

$$6\sigma > (GTM - DTM)$$

Takav proces nije u stanju postići propisane granice bez obzira gdje leži aritmetička sredina raztresa.

U tom slučaju se može:

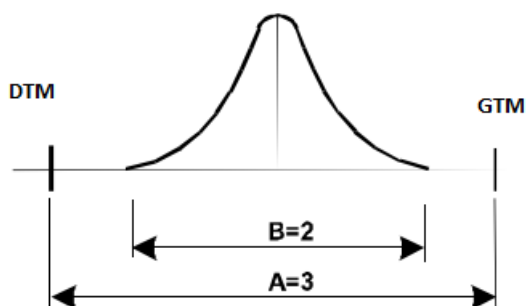
1. Promotriti i istražiti varijacije
2. 100% sortirajte izlaza iz procesa
3. Centrirati proces kako bi se smanjio izmet
4. Zaustaviti proces

Nakon stabilizacije procesa slijedi statistička evaluacija preko indeksa sposobnosti.

Indeks:

- Pp, Cp – kaže koliko je (potencijalno) dobar/stabilan proces
- Ppk i Cpk – kaže kakav je proces u stvarnosti

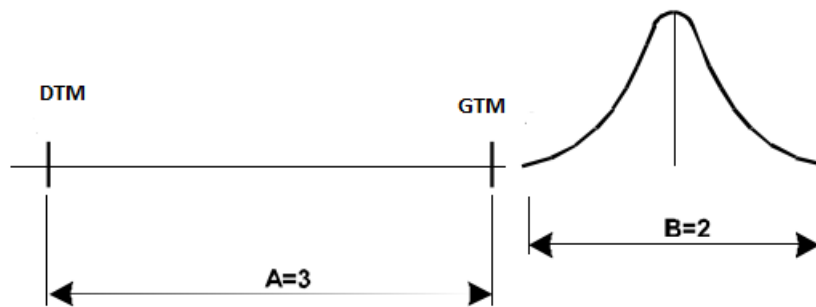
$$\text{Indeks sposobnosti} = \frac{\text{propisana širina procesa (GTM-DTM)}}{\text{stvarna širina procesa (6}\sigma\text{)}}$$



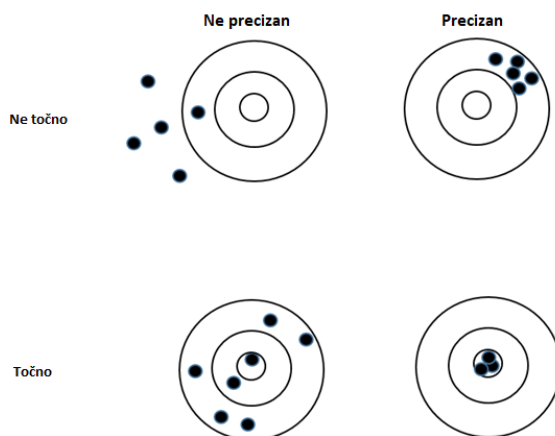
**Slika 10. Centriran proces**

$$(Pp, Cp) = \frac{A}{B} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Ako proces nije centriran onda je graf izgleda:



**Slika 11. Ne centriran proces**



**Slika 12. Slikovit prikaz ponovljivosti i obnovljivosti [3]**

Pod pretpostavkom da je proces centriran i računamo procesnim raztresom  $6\sigma$  može se zaključati:

**Tablica 1. Odnos Pp i ppm**

Kada je Pp	Broj slabih proizvoda (ppm)
0,60	71 800
0,90	6 900
1,00	2 700
1,33	63

[3] M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

1,67	0,6
2,00	2ppb (bilion)

Kada Pp = 1,33 zapravo govorimo o raztresu procesa unutar  $1,33 \times 3\sigma = +/-4\sigma$ .

Kada Pp = 1,67 zapravo govorimo o procesu raztresa unutar  $1,67 \times 3\sigma = +/-5\sigma$ .

Kada Pp = 2,00 govorimo o raztresu procesu unutar  $2,00 \times 3\sigma = +/-6\sigma$ .

## 2.8.2 Preračuni indeksa u procesima proizvodnje

Prirodne varijacije procesa (engl. Inherent process variation) su procesne varijacije koje nastaju samo zbog utjecaj prirodnih uzroka varijacije.

Varijacije unutar uzorka (engl. Within subgroup variation)  $\sigma_c$  – su procesne varijacije zbog varijacija unutar uzorka. Ukoliko je proces statistički kontroliran je ta varijacija približna aproksimacija prirodne procesne varijacije.

Može se izračunati iz kontrolnih karata ( $\bar{X} - R, \bar{X} - s$ ) po sljedećoj formuli

$$\sigma_c = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{s}}{c_4}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{m}$$

$\bar{R}$  - prosječni raztes

m – broj uzoraka

d<sub>2</sub> - koeficijent se izvuće iz tablice

**Tablica 2. Koeficijent d<sub>2</sub>**

Br.jed. u uzorku	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d <sub>2</sub>	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078

Raztres između uzoraka (eng. Between subgroup variation)

To je raztres procesa zbog varijacije između uzoraka. Ako je proces stabilan (statistički kontroliran) bi trebao biti jednak nuli.

Skupni procesni raztres (eng. Total process variation) –  $\sigma_p$

To je raztres zbog raztresa unutar uzoraka i raztresa između uzoraka. Ako proces nije stabilan taj će raztres sadržavati učinke specifičnih uzroka i prirodnih uzroka. Takvo raztres može se grubo izračunati pomoću "s" pri tome koristimo sva očitavanja/rezultate dobivene iz kontrolnih karata ili iz proučavanja procesa.



---

$$\sigma_p = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [3]$$

### 2.8.3 Kontrolne karte

Pomoću kontrolnih karata se grafički prati stanje proizvodnje ili karakteristike proizvoda na kraju proizvodnog procesa u određenom vremenskom razdoblju. Stoga se na dokumentiran način skreće pozornost na nepoželjno odstupanje, promjene ili poremećaje. Također se mogu vidjeti odstupanja od unaprijed određenih granica tolerancije.

S kontrolnim kartama analiziramo stabilnost i sposobnost proizvodnog procesa.

Pomoću kontrolnih karti mogu se identificirati i ukloniti specifični uzroci neskladne kvalitete.

Sastavni dio kontrolnih karata također bi trebao biti Procesni zapis ili dnevnik procesa koji bilježi interakcije na stroju, promjene ulaznih podataka, izmjene tehnoloških postavki u procesu.

Obično dnevnik procesa sadrži elemente kao što su oznake mjera, opis uzroka odstupanja, korektivne radnje, bilješka, datum i potpis.

### 2.8.4 Poboljšanje indeksa sposobnosti i smanjenje uporabe kontrolnih karata

#### 2.8.4.1 Pred serijska proizvodnja

Za nove komponente moraju se istražiti svi aspekti dizajna i sposobnosti proizvodnje prije serijske proizvodnje kako bi se identificirali i riješili problemi kvalitete koji bi mogli nastati tijekom proizvodne faze.

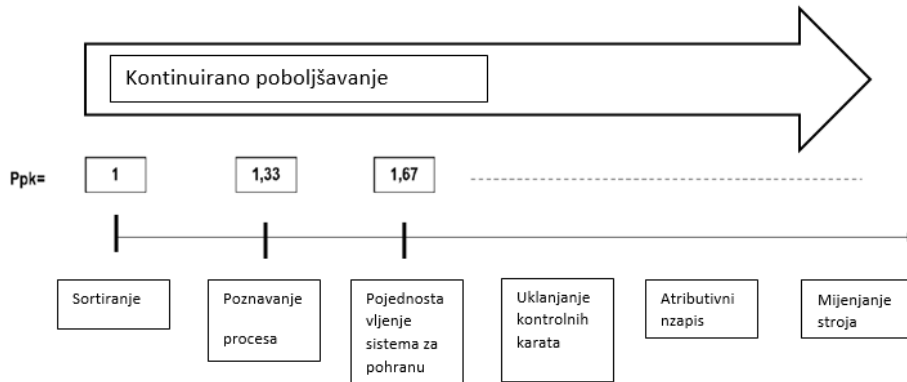
Studije potencijalnih sposobnosti omogućuju pridobivanje informacija kako bi se procijenila izvedljivost proizvodnog procesa.

Poboljšanje procesa se slijedi s potencijalnom sposobnosti procesa - Ppk indeks.

---

[3] M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

## 2.8.4.2 Serijska proizvodnja



**Slika 13. Proces uklanjanja SPC**

-Poznavanje procesa

Minimalni uvjet je Ppk 1.33. Nije potrebna daljnja dorada, popravak ili sortiranje.

-Pojednostavljenje sustava praćenja

Postoji povećanje Ppk.

Postiže se proces upravljanja kvalitetom i proces može biti stabilan i pouzdan. Planovi kontrole mogu biti pojednostavljeni: učestalost i veličina uzorka se mogu smanjiti

Ovaj korak se provodi kada je Ppk 1,67.

-Smanjenje uporabe kontrolnih karti

Kontinuirano poboljšanje procesa dovodi do povećanja Ppk.

Proces proizvodi iste proizvode s pomoću predviđanja i sposobnostima. Broj kontrolnih karata može se smanjiti.

Kontrolne karte koriste se samo kada je to potrebno.

-Atributivni zapis

Kontinuirano poboljšanje procesa dovodi do povećanja Ppk.

Kao sistem kontrole može se koristiti atributivno mjerenje.

-Zamjena stroja

Proces se više ne može poboljšati, Ppk se ne može povećati.

Kada poboljšanja u strojevima više nisu moguća, ona se mogu eliminirati u zamjenu za metode koje se mogu dodatno poboljšati. [9]

[9] Edukacija SPC, MSA

---

## 2.8.5 Vrste nadzornih karata

Imamo različite vrste kontrolnih karata.

Najčešće se koriste kontrolne karte za mjerljive (brojčane) karakteristike:

- $\bar{X}$ -R: karta srednje vrijednosti i raspona (2 do 10 jedinica u uzorku),
- $\bar{X}$ -S: karta srednjih vrijednosti i standardnih odklona (> 10 jedinica u uzorku),
- Karta srednjih vrijednosti (Median chart - gdje preračunavanje srednjih vrijednosti nisu prikladne)
- X - Rm: posebne X - R za razlike između susjednih mjerenja (individualna)

Kontrolne karte za opisne (atributivne karakteristike):

- np karta broja nesukladnih proizvoda
- p karta postotka nesukladnih proizvoda
- c karta broja greške na jednake uzorke
- u karta broja grešaka na različito veliko uzorke

Kontrolne karte upotrebljavaju djelatnici u autoindustriji (samokontrola, poslovođe prilikom nadziranja procesa, kontrolori u međufazi). Uporaba je stalna ili povremena za određeni proizvod ili proces.

Metoda i količina uzoraka te broj mjerenja po uzorku je bitan čimbenik pri određivanju stanja procesa i karakteristika proizvoda. Raširene su metode uzorčenja koje upotrebljava i propisuje automobilska industrija. Izvođenje evidentiranja sposobnosti i sposobnosti proizvodnog procesa pri serijskoj proizvodnji proizvoda se izvodi po unaprijed određenom postupku.

Ne postoji opće pravilo za odabir učestalosti i veličine uzorka mjerenja. Učestalost može ovisiti o troškovima i analizama uzoraka te od praktične uporabe.

Prvi korak u uvođenju kontrolnih kartica je definiranje realnih uzoraka koji su preduvjet za učinkovitost kontrolnih karata.

Uzorci se moraju odabrati tako da je mogućnost varijacije unutar jedinica jednog uzorka najmanja. Ako varijacije unutar uzorka predstavljaju varijacije između pojedinačnih jedinica uzorka u vrlo kratkom vremenu, to znači da bi dobili neobične varijacije u procesu između mjerenja uzorka koje je potrebno istražiti i poduzeti potrebne mjere. Priprema se uzorak koji se sastoji obično sastoji od 5 uzastopnih

proizvedenih proizvoda izrađeni s jednom steznom glavom, jednim alatom, jednim vretenom (kada se radi sa strojevima s više vretena). To znači da će se pojedinačni proizvodi unutar jednog uzorka proizvesti u vrlo kratkom vremenu pod vrlo sličnim uvjetima proizvodnje. Varijacije između uzoraka mjerenja bit će

prvenstveno zbog prirodnih učinaka na proces. Veličina uzorka mora ostati konstantna za sve uzorke.

Općenito frekvencija uzorkovanja na početku implementacije SPC-a je visoka i niža je s procesnom stabilizacijom.

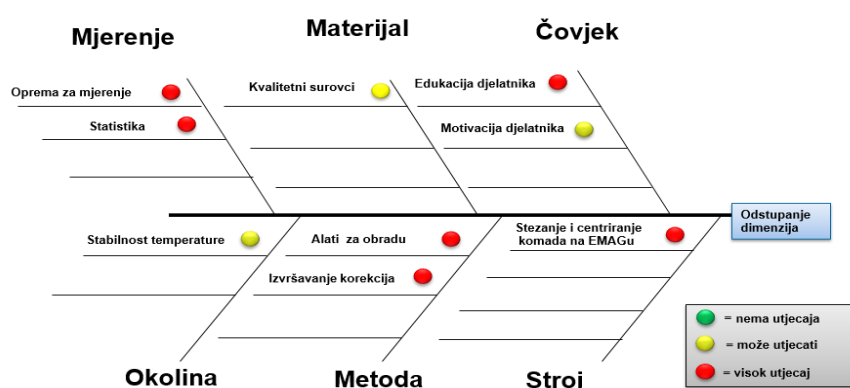
Uzorci se moraju izvaditi iz procesa prilično često i u pravo vrijeme kako bi rezultatima mogli pratiti potencijalne promjene u procesu. Neki tipični razlozi za promjenu procesa: zagrijavanje stroja, promjena prilikom izmjene, materijalne jedinice.

U fazi prije evidentiranja mjerenja obično se uzorci prate uzastopno ili u vrlo kratkim intervalima. Svrha ovoga je analizirati može li proces pokazati nestabilnost u tako kratkom vremenu. Kada proces postepeno pokazuje povećanu stabilnost (poboljšanje procesa) vremenski interval između pojedinih uzoraka može se produžiti. Učestalost uzorkovanja može biti: dva puta po smjeni, satu itd. <sup>[3]</sup>

## 2.9 Praktični primjeri statističke analize

### 2.9.1 Primjer 1

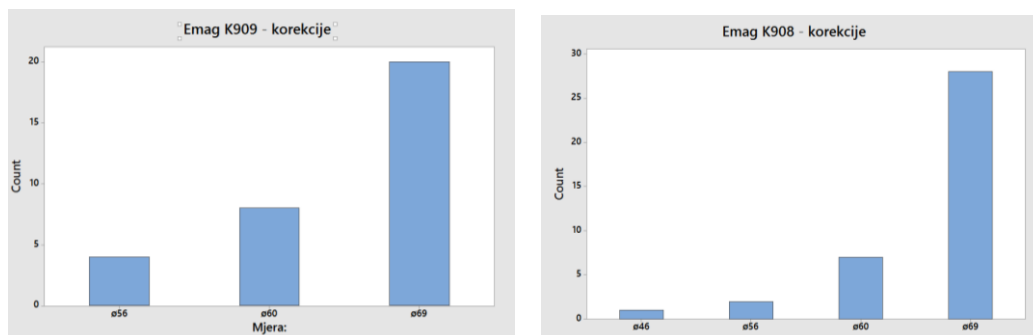
Prilikom početka novog projekta na aluminijskim zupčanicima koji se montiraju u automatski mjenjač ustanovljen je prevelik škart na dimenzijska odstupanja. Linija obrade se sastoji od strojeva koja rade pred obradu i strojeva za završnu finu obradu. Sastavljen je multidisciplinarni tim koji je zajednički definirao glavne faktore koji bi mogli utjecati na dimenzijska odstupanja u obliku Ishikawa dijagrama koje je trebalo ispitati.



Slika 14 Ishikawa

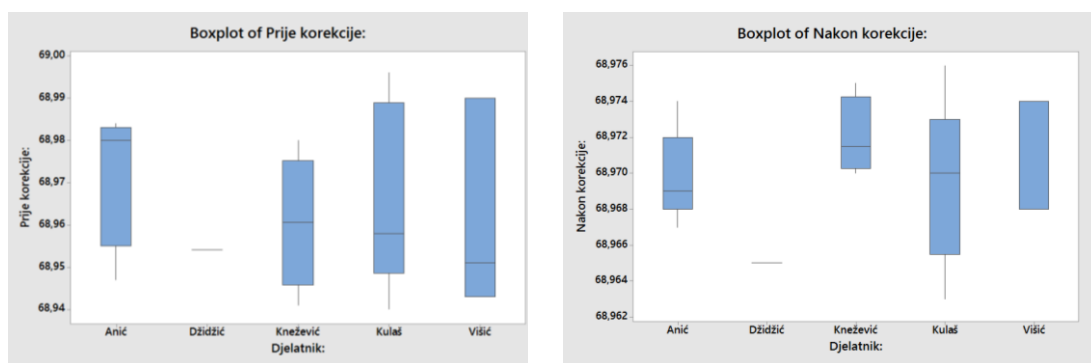
<sup>[3]</sup> M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*

Faza analize je započeta na način da je na svaki stroj postavljena lista na kojoj su se upisivali traženi podaci kao što su: dimenzija koja odstupa, temperatura emulzije, temperatura okoline, dimenzija prije korekcije te nakon korekcije itd. Period prikupljanja podataka je trajao tri tjedna. Iz tih tablica je bilo vidljivo da su najveći problemi (učestale korekcije) bili na dimenzijama Ø69g7, Ø56h8 i Ø60H7 na strojevima za pred obradu komada.



**Slika 15 Najčešće korekcije**

Iz grafova izrađenih na osnovu odrađenih korekcija po operaterima je vidljivo da svaki operater korigira na svoj jedinstven način.



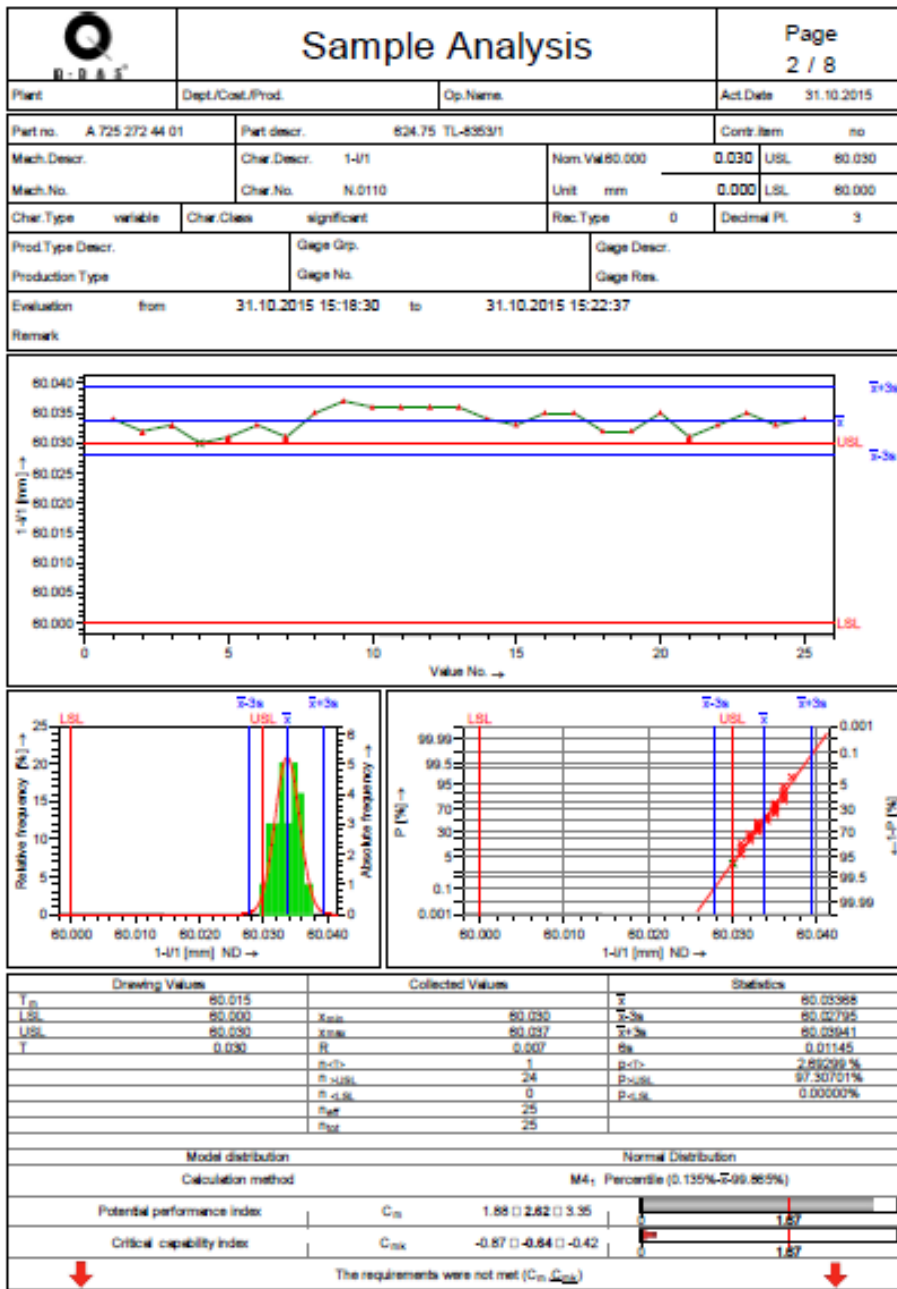
**Slika 16 Boxplot prije i poslije korekcije**

Većina operatera po prvi put vrše korekcije te zbog nedovoljno edukacije i iskustva korekcije odrađuju više puta kako bi mjera bila unutar specifikacije. Napravljena je dodatna edukacija djelatnika i upute za korekcije u svrhu što točnijeg izvršavanja korekcija.

Statistika za dimenzije Ø69g7 i Ø60H7 je odrađena te je vidljivo da proces nije stabilan.

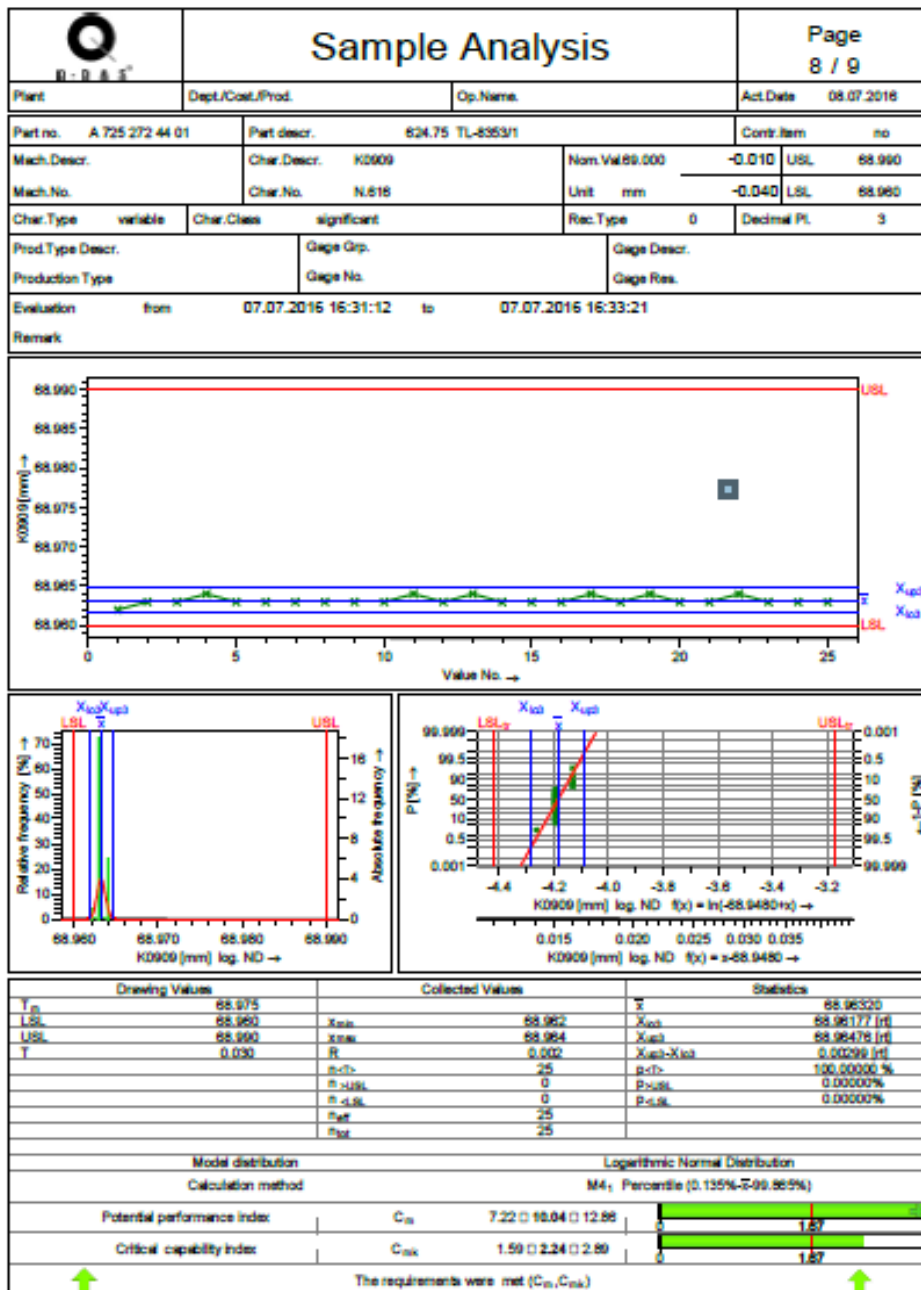


Slika 17 Statistika prije odrađenih korekcija



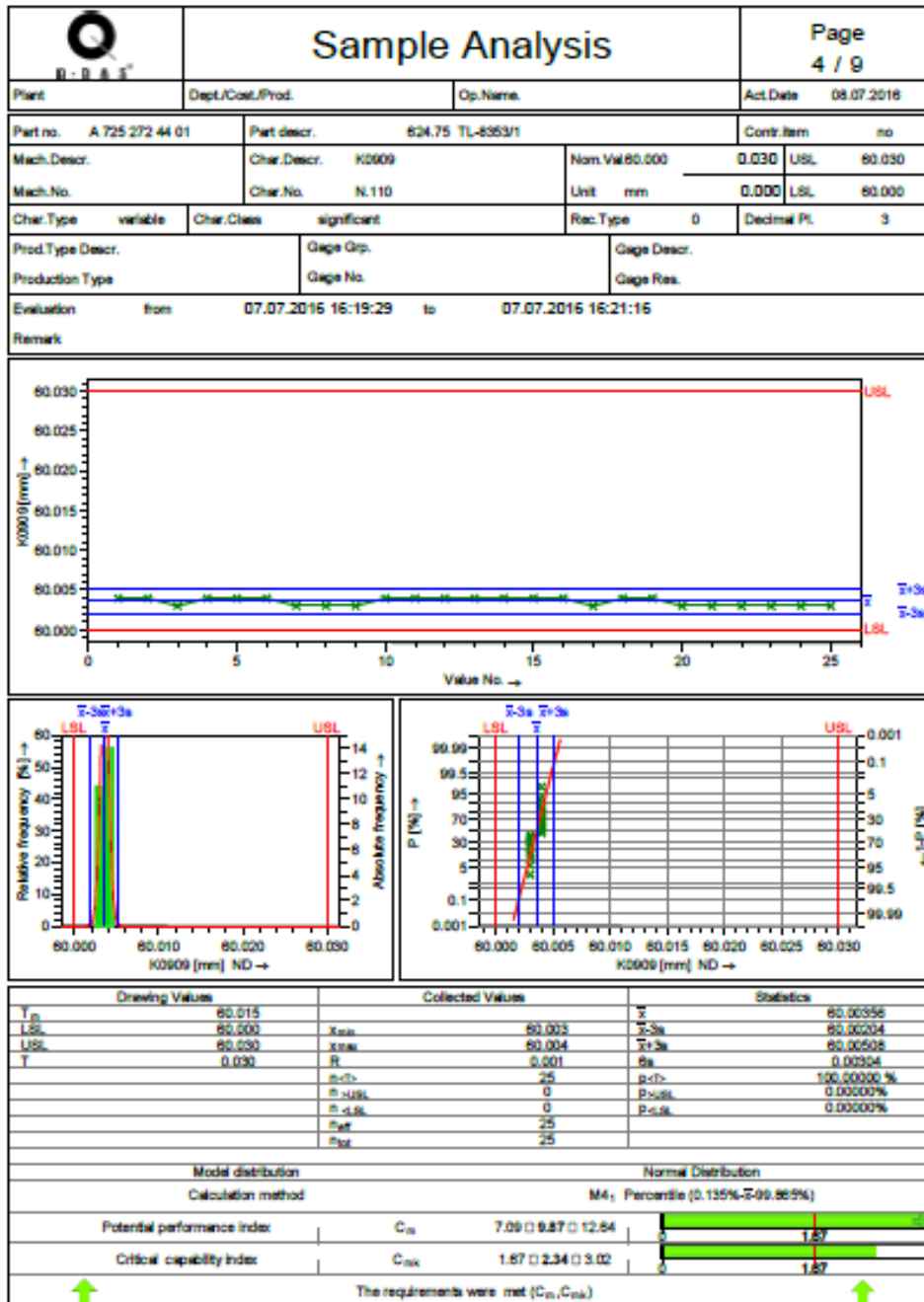
Slika 18 Statistika prije odrađenih korekcija

Nakon razdvajanja PKD kombiniranog alata za izradu  $\varnothing 69g7$  i  $\varnothing 60H7$  te korekcijama u stezanju/centriranju napravljena je ponovna statistika gdje su dobiveni zadovoljavajući rezultati ali također je još potrebno dodatno još centrirati proces.



Slika 19 Statistika nakon odrađenih korekcija

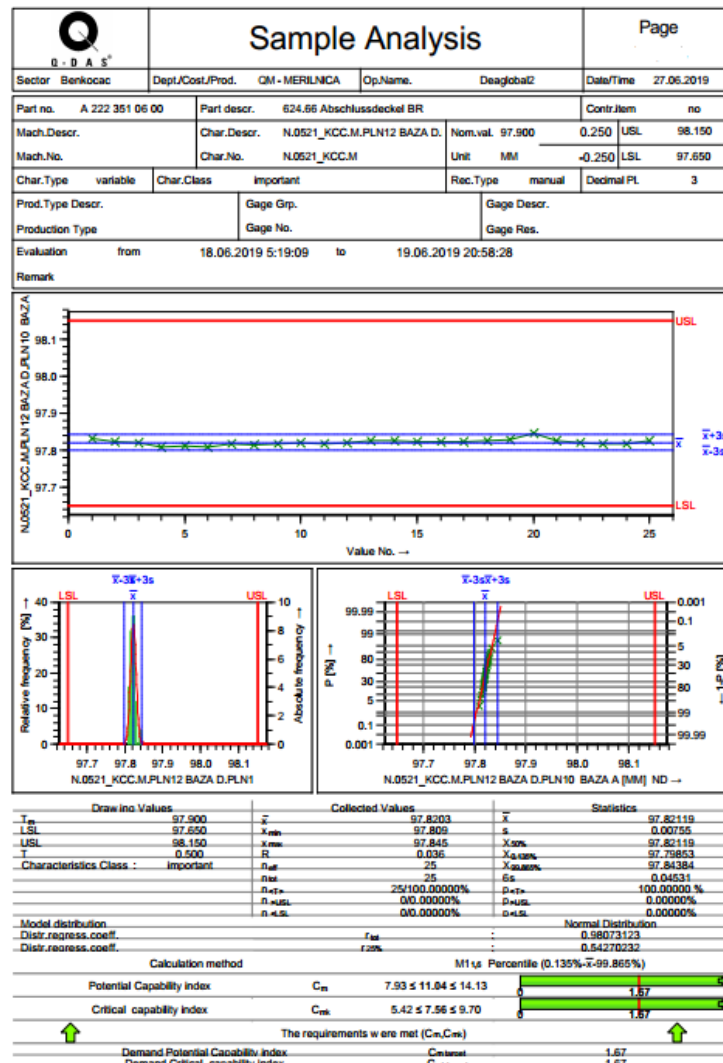




Slika 20 Statistika nakon odrađenih korekcija

## 2.9.2 Primjer 2

Odrađena je statistička analiza stroja na dimenziji 97.9 +/-0,25. Zbog promjene stroja na kojem se izrađuje proizvod bilo je potrebno odraditi ponovnu potvrdu stroja s kupcem (o svim promjenama unutar procesa kupac mora biti informiran). Proizvedeno je 25 komada po stegi te su isti izmjereni na CMM stroju za mjerenje (DEA). Putem programa Q-das moguće je automatski povući željene podatke te dobiti statistiku. Također je moguće i pomoću Minitaba odraditi statistiku ali isto bi zahtijevalo mnogo više vremena zbog toga jer bi se svi izmjereni podaci trebali ručno unositi u program.



Slika 21. Praktični primjer statističke analize promjena stroja

---

## 3. Analiza mjernog sustava

### 3.1 Zahtjevi za mjernu i kontrolnu opremu – ISO 9001:2015

„7.1.5 Resursi za praćenje i mjerenje

#### 7.1.5.1 Općenito

Organizacija mora odrediti i osigurati resurse potrebne za osiguranje valjanih i pouzdanih rezultata pri praćenju i mjerenju radi verifikacije sukladnosti proizvoda i usluga sa zahtjevima.

Organizacija mora osigurati da su resursi:

- a) prikladni za određenu vrstu aktivnosti praćenja i mjerenja koja se poduzima,
- b) održavani radi osiguranja njihove stalne prikladnosti za namjenu.

Organizacija mora sačuvati primjerene dokumentirane informacije kao dokaz prikladnosti resursa za praćenje i mjerenje za njihovu namjenu.“<sup>[1]</sup>

### 3.2 Zahtjevi za mjenu i kontrolnu opremu - IATF 16949:2016

„ 7.1.5.1.1 Analiza mjernog sustava

Moraju se primijeniti statistička istraživanja, analizu stvarne varijacije / odstupanja od rezultata svih vrsta sustava kontrole, instrumentacije i opreme za ispitivanje koji su identificirani u planu upravljanja.

Analitičke metode i kriteriji prihvaćanja moraju biti u skladu s metodama opisanim u referentnih priručnika za analizu mjernih sustava. Mogu se koristiti i druge analitičke metode i kriteriji za prihvatljivosti, ako su odobrene od strane kupca.

Zapisi o prihvaćanju klijenta alternativnih metoda se moraju čuvati, zajedno s rezultatima analize alternativnih mjernih sustava (vidi točku 9.1.1.1).

Napomena: Prioritet MSA studija neka se usredotočiti na kritične ili posebne karakteristike proizvoda ili proizvodnog procesa.

#### 7.1.5.2.1 Zapisi o kalibraciji / ovjeravanju

Organizacija mora imati DOKUMENTIRAN PROCES za upravljanje zapisa o kalibraciji / ovjeravanju.

---

[1] Norma ISO 9001 : 2015

---

Čuvani moraju biti zapisi o aktivnostima kalibracije / ovjere za sve mjerne (mjerača) mjerenje i ispitivanje opreme (uključujući relevantne opreme u osobne imovine radnika, opreme u vlasništvu kupca, opreme u vlasništvu dobavljača na lokaciji), potrebno je dokazati usklađenost sa internim zahtjevima, pravnim i regulatornim zahtjevima i zahtjevi kupaca.

Organizacija mora osigurati da aktivnosti kalibracije / ovjere i zapisi uključuju sljedeće podatke:

- a) revizija nakon tehničkih promjena, i utječu na mjerne sustave,
- b) čitanja izvan specifikacija dobili od kalibracije / ovjere,
- c) procjenu rizika za namjeravanu upotrebu proizvoda koja proizlazi iz mjerne opreme izvan specifikacija, ako se utvrdi da je bilo koji od komada mjerenje i ispitivanje opreme nekalibrirana ili oštećen tijekom rutinskog pregleda i umjeravanja ili tijekom upotrebe, moraju se čuvati zapisi o valjanosti prethodnih rezultata mjerenja s istim komadom mjerne opreme, uključujući i posljednji datum kalibracije, baza koja se koristi za kalibraciju (standard), i sljedećim datumom umjeravanja / kalibracije,
- d) Obavijest kupcima u slučaju sumnjive pošiljke proizvoda ili materijala,
- e) izjava o sukladnosti sa specifikacijama nakon kalibracije / ovjere,
- f) provjerite je li verzija računalnih programa (softvera), koji nadzire proizvod i proces odgovaraju specifikacijama,
- g) Zapisi aktivnosti umjeravanja / verifikacije i održavanja za sva mjerila (uključujući i opremu u osobnom vlasništvu zaposlenika, opreme u vlasništvu kupca i opreme u vlasništvu dobavljača na lokaciji),
- h) provjeru/ovjeru sa proizvodnjom povezane softverske opreme za kontrolu proizvoda i procesa (uključujući softver učitani na opremu u osobnom vlasništvu zaposlenika, opreme u vlasništvu klijenta ili opreme u vlasništvu davatelja usluga na licu mjesta). <sup>[2]</sup>

## 3.3 Općenito o mjernim sustavima

### 3.3.1 Uvod

Rezultati mjerenja se koriste sve češće za različite svrhe, npr. odluka o prilagodbi procesa sada sve više ovisi o rezultatima mjerenja koja se izvode u procesu. Mjerenja ili statistička obrada tih mjerenja se uspoređuju sa statističkim granicama procesa. Kada usporedba pokaže da se stvarni proces nalazi izvan tih granica potrebna je neka vrsta prilagodbe procesa. U suprotnom se proces ne može kontrolirati. Drugi primjer korištenja mjernih podataka može biti kada se uspoređuju dvije varijable i odnos između njih. Studije koje istražuju slične veze u sustavim i procesima opisao je dr. W.E. Deming kao primjere analitičkih studija. Općenito analitičke studije povećavaju znanje o sustavnim uzrocima koji utječu na stabilnost procesa. Analitičke studije su među najvažnijim u korištenju mjernih podataka jer uz njihovu pomoć bolje razumijemo procese. Prednost korištenja

---

[2] Norma IATF 16949 : 2016

---

statističkih postupaka s bazama podataka uvjetovana je kvalitetom korištenih podataka. Ako je kvaliteta podataka niska i rezultat korištenja statističkih postupaka bit će slab i obratno, ako je kvaliteta podataka visoka rezultat će također biti prikladan. Kako bi se osigurali visokokvalitetni rezultati korištenih statističkih postupaka potrebno je posebnu pozornost pridodati kvalitetnom prikupljanju podataka za obradu.

### 3.3.2 Kvaliteta mjernih podataka

Kvaliteta mjernih podataka ovisi o statističkim svojstvima višestrukih mjerenja dobivenih iz stabilnog mjernog sustava. Npr. Pretpostavimo da dobijemo mjerne podatke određene značajke iz stabilnog mjernog sustava. Ako su svi podaci „blizu“ referentnoj vrijednosti možemo reći da je kvaliteta podataka visoka i obratno.

Najčešće korišteni izrazi za određivanje kvalitete podataka:

- Odstupanje (eng. bias) – odnosi se na relativni položaj mjernih podataka u odnosu na referentnu vrijednost
- Discipacija (eng. variance) – odnosi se na raztres mjernih podataka

Jedan od najčešćih razloga loše kvalitete podataka je prevelik raztres. Raztres mjerenja je posljedica interakcije mjernog sistema i okoline u kojoj djeluje. Ako interakcija uzrokuje prekomjernu discipaciju kvaliteta podataka može biti tako niska da podaci mogu biti beskorisni. Kontrola mjernih sustava u mnogim slučajevima podrazumijeva samo promatranje i kontrolu varijacija. Posebna pozornost mora posvetiti proučavanju interakcija između mjernog sustava i okruženja u kojem djeluje kako bi se dobili dobri podaci. Bitno je proučiti u kojem okruženju radi sustav mjerenja kako bi se dobili samo prihvatljivi podaci. Ako kvaliteta podataka nije zadovoljavajuća, nešto se mora promijeniti. Obično se ova promjena postiže poboljšanim mjernim sustavom a ne promjenom podataka.

Greška mjerenja

$$Y = X + \xi$$

Y – izmjerena vrijednost

X – stvarna vrijednost

$\xi$  - greška mjerenja

---

### 3.3.3 Terminologija

C. Eisenhardt je 1963. godine imao tezu u kojoj kaže: „ Mjerenje je pripisivanje podataka/ vrijednosti stvarima kako bi se predstavio njihov međusobni odnos gledajući na određeno svojstvo.“ [4]

Mjerna priprava (eng. gage) je proizvoljan uređaj pomoću kojega dobijemo mjerenja. Često se koristi izraz gage za priprave koji se specifično upotrebljavaju u proizvodnom procesu uključujući i priprave ide/ne ide (mjerni kalibri).

Mjerni sistem je skup instrumenata ili mjernih uređaja, etalona, niza operacija, metoda, softwarea, djelatnika, okoline i pretpostavki s pomoću kojih određujemo jedinicu mjerenja ili izmjerenu vrijednost. Dakle cijeli proces je potreban da bi se dobila mjerenja.

Iz gornjih definicija možemo reći da je proces mjerenja u suštini proizvodni proces u kojem je izlazni rezultat mjerenje tj. izmjerena vrijednost.

### 3.3.4 Svrha MSA analize

Svrha MSA analize je procjena kvalitete mjernog sistema. Analize su korisne za svaki mjerni sustav i prvenstveno su namijenjene mjernim sustavima u industriji. Oni se prvenstveno koriste za mjerne sustave gdje se očitavanja mogu ponavljati na svakom mjerачu.

#### 3.3.4.1 Proces mjerenja

Kako bi se ovladalo svim varijacijama proizvoljnog procesa potrebno je znati:

- Što bi proces trebao raditi?  
Specifikacije i zahtjevi inženjera definiraju što bi proces trebao raditi.
- Što se može učiniti pogrešno?  
Svrha PFMEA (Analiza mogućih pogrešaka i njihovih posljedica u procesu) je predviđanje mogućih pogrešaka i predlaganje mjera za njihovo sprječavanje prije nego se dogode. Uz pomoć PFMEA definiramo što se sve može učiniti/dogoditi pogrešno.

Kako bi se ovladalo svim varijacijama proizvoljnog procesa mora znati: Što je proces?

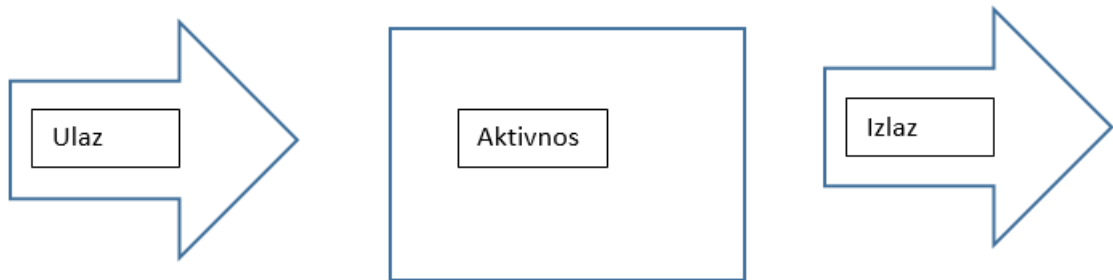
Ocjenjujući parametre ili rezultate procesa se utvrđuje kakav je proces rada. To se često naziva kontrolom. To je u osnovi pregled procesnih parametara, poluproizvoda, sastavljenih podsustava ili gotovih proizvoda pomoću pribora i mjerne opreme što omogućuje promatraču da potvrdi ili

---

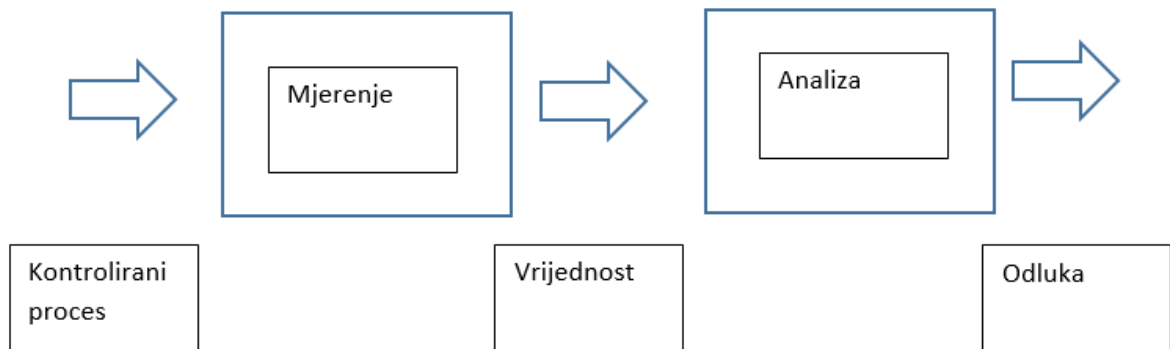
[4] M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.

---

poriče činjenicu da proces radi u kontroliranim (stabilnim) okolnostima s prihvatljivim odstupanjem od kupaca zahtjevima ili postavljenim ciljevima. Ovaj proces kontrole je u biti sam proces.



**Slika 22. Opća definicija procesa**



**Slika 23. Proces mjerenja <sup>[4]</sup>**

Mjerni instrument nije jedini faktor u procesu mjerenja. Vlasnik procesa mora ispravno koristiti opremu ali također mora imati znanje za tumačenje i analizu dobivenih rezultata. Stoga vodstvo treba jasno definirati aktivnosti, norme, obuku i potporu u procesu. Zadatak vlasnika procesa je da prati i kontrolira proces mjerenja kako bi se osigurali stabilni i ispravni rezultati mjerenja, što uključuje i analizu mjernog sustava.

#### **3.3.4.2 Statistička svojstva mjernih sustava**

Idealni mjerni sustav bi proizvodio samo „ispravna“ mjerenja kad god bi se koristio. Svako mjerenje bi bilo jednako referentnoj vrijednosti.

---

<sup>[4]</sup> M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.

---

Takav mjerni sustav bi imao raztres jednak nuli kao i otklon jednak nuli. Također bi sposobnost ne izlučivanja loših proizvoda bila jednaka nuli (sposoban bi bio izlučiti svaki loš proizvod).

Takvi sistemi se u praksi rijetko pronalaze. Realni mjerni sustavi imaju veći ili manji raztres, veći ili manji otklon te postoji vjerojatnost da nije moguće izdvojiti loš proizvod.

Različiti mjerni sustavi mogu imati različita svojstva. Neki od zahtjeva koje mora imati svaki sustav su:

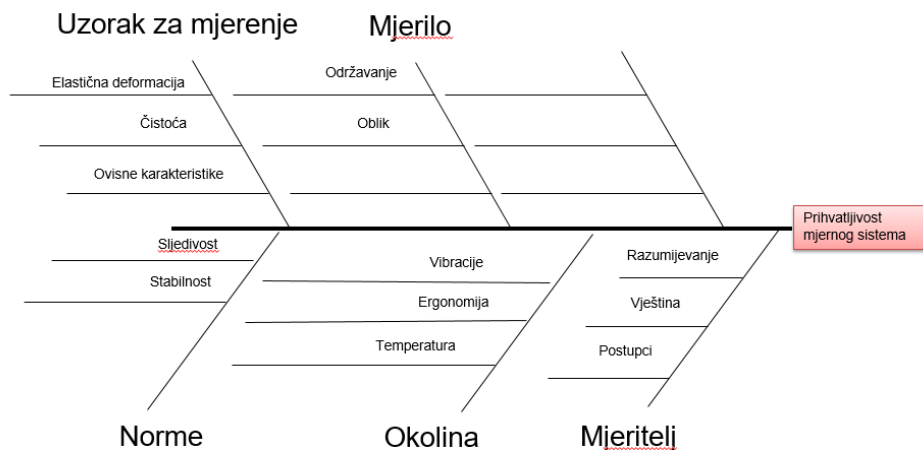
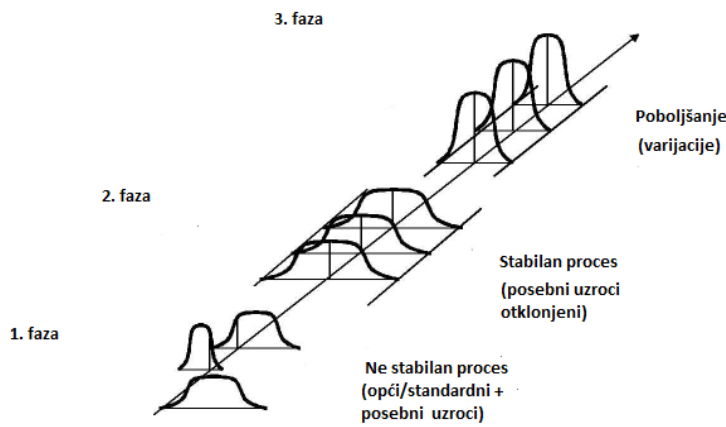
- Dovoljna točnost i osjetljivost. Točnost / skala mjerenja mora biti mala u smislu varijabilnosti procesa i određenih granica tolerancije. Opće pravilo je da točnost / mjerna skala mora podijeliti navedenu granicu tolerancije (ili tijek procesa) na deset ili više dijelova (pravilo 10 do 1). To je pravilo minimalni zahtjev za početak odabira mjernog uređaja.
- Mjerni sustav mora biti statistički kontroliran. To znači da je, u ponovljivim uvjetima, disperzija mjernog sustava samo posljedica prirodnih uzroka, ali ne i posebnih. To se može nazvati i statističkom stabilnošću, a najlakše je odrediti grafičkim metodama.
- Za kontrolu proizvoda, širenje mjernog sustava mora biti relativno malo u usporedbi s tolerancijom. Mjerni sustav mora biti procijenjen prema granici tolerancije.
- Da bi se proces obradio, raspršivanje mjernog sustava mora biti relativno malo u usporedbi s rasipanjem proizvodnog procesa. Potreban je mjerni sustav koji se temelji na raztres procesa ili / raztresa iz MSA studije. <sup>[9]</sup>

---

<sup>[9]</sup> Edukacija SPC, MSA



### 3.4.5 Uzroci varijabilnosti mjernog sustava



**Slika 24. Potencijalni uzroci raztresavanja - varijacije mjernog sustava [4]**

Budući da na mjerni sustav utječu različiti uzroci odstupanja, ne dobivaju se potpuno isti rezultati prilikom ponovljena mjerenja. Očitavanja se razlikuju zbog specifičnih (posebnih) i standardnih uzroka.

Učinci tih različitih uzroka odstupanja na mjerni sustav moraju se procijeniti kratkoročno i dugoročno.

---

[4] M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.

---

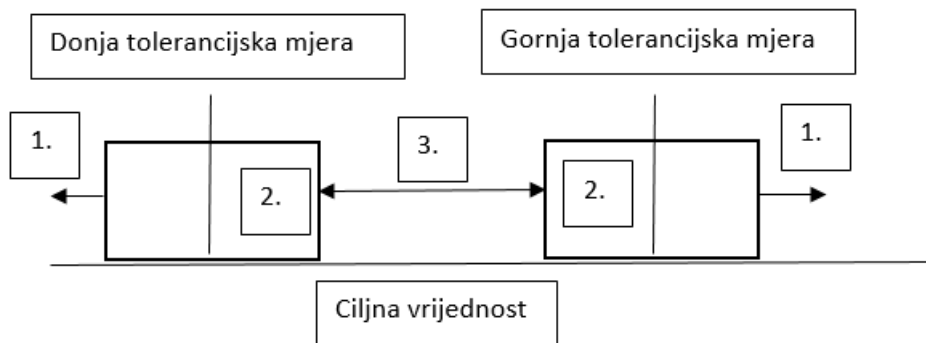
Sposobnost mjernog sustava je pogreška mjernog sustava u kraćem vremenskom intervalu.

$$\sigma^2_{\text{sposobnost}} = \sigma^2_{\text{otklon (linearnost)}} + \sigma^2_{\text{GRR}}$$

Djelovanje (eng. Performanse) mjernog sustava uključuje učinke svih razloga odstupanja tijekom dužeg vremenskog razdoblja.

$$\sigma^2_{\text{djelovanje}} = \sigma^2_{\text{sposobnost}} + \sigma^2_{\text{stabilnost}} + \sigma^2_{\text{stalnost}}^{[5]}$$

Učinci na odluke o proizvodu



**Slika 25. Tri područja odlučivanja** [4]

U području:

1. Loši proizvodi su prepoznati kao loši
2. Moguće su krive odluke
3. Dobri proizvodi su prepoznati kao dobri

Kako doći do cilja maksimalnog broja pravilnih odluka?

- Poboljšanje proizvodnog procesa: smanjenje raztresenosti procesa tako da proizvodi ne budu proizvedeni u području br.2.
- Poboljšanje mjernog sistema: smanjenje pogreške mjernog sistema tako da smanjimo područje 2. i svi proizvodi budu u području 3. i tako smanjimo mogućnost pogrešne odluke.

---

[5] D. C. Montgomery: *Introduction to statistical quality control*, 2009

[4] M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.

---

### 3.4.6 Mjerenje i osnove

Pri ocjenjivanju mjernog sustava je potrebno procijeniti tri osnovne stvari:

#### 1. Mjerni sustav mora pokazivati odgovarajuću osjetljivost

Ima li instrument ispravnu razlučivost? Obično se primjenjuje pravilo 10:1, koje navodi da osjetljivost mjernog sustava mora biti takva da može prikazati ili podijeliti toleranciju (razres procesa) na deset dijelova.

Je li rezolucija pravilna? U vezi s razlučivosti potrebno je provjeriti ima li mjerni sustav odgovarajuću osjetljivost za otkrivanje promjena proizvoda ili raztresa procesa.

#### 2. Mjerni sustav mora biti stabilan

Raztres mjernog sustava mora biti samo posljedica zbog uobičajenih uzroka (ne posebnih), u ponovljivim radnim uvjetima.

3. Statistička svojstva (pogreške) moraju biti konstantna tijekom očekivanog područja mjerenja i moraju odgovarati svrsi mjerenja (praćenje proizvoda ili procesa).

### 3.4.7 Vrste varijacija mjernih sustava

Često se pretpostavlja da su mjerni sustavi precizni. Na temelju toga su naknadno napravljene analize i zaključci. Zapravo postoje varijacije u svim mjernim sustavima koje utječu na pojedinačna mjerenja i posljedično na odluke koje iz njih proizlaze.

Pogreška sustava mjerenja može se podijeliti u pet osnovnih kategorija:

1. Otklon -> opisuje lokaciju raztresa
2. Stabilnost -> opisuje lokaciju raztresa
3. Linearost -> opisuje lokaciju raztresa
4. Ponovljivost -> opisuje širinu raztresa
5. Obnovljivost -> opisuje širinu raztresa

#### 3.4.7.2 Razlučivost mjernog sistema

Ako mjerni sustav nema ispravnu razlučivost, takvi sustavi ne mogu otkriti varijacije procesa ili kvantificirati vrijednosti izmjerenih značajki. U ovom slučaju, potrebno je koristiti "bolje" mjerne tehnike.

Ako mjerni sustav nije u stanju izmjeriti varijacije procesa zbog loše rezolucije, nije moguće provesti analizu takvog procesa. Razlučivost takvog sustava je neprihvatljiv. Također je neprihvatljivo ako nije moguće otkriti varijacije zbog specifičnih uzroka.

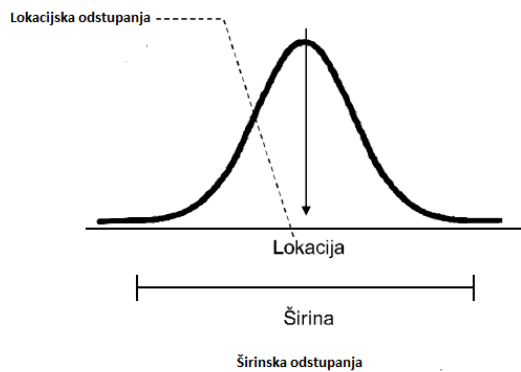
Rezolucija sustava trebala bi biti maksimalno 1/10 raztresa procesa i ne najviše 1/10 polja tolerancije

---

### 3.4.7.2 Raztres (odstupanja) mjernog sustava

Za većinu mjernih procesa, uobičajen raztres mjerenja opisan je kao normalna distribucija. Normalna distribucija je pretpostavka svih standardnih metoda analize mjernih sustava.

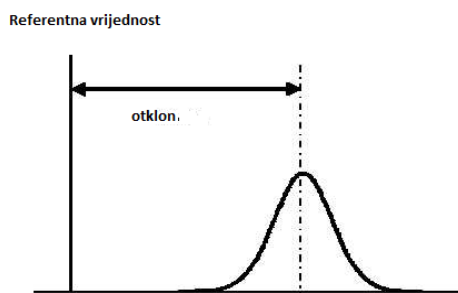
U praksi naravno nalazimo procese koji nemaju normalnu distribuciju. Ako u ovom slučaju pretpostavimo normalnu distribuciju, MSA metoda može povećati pogrešku mjernog sustava. Mjeritelj to mora odrediti i ispraviti procjenu za takve mjerne sustave.



**Slika 26. Svojstva raztresanja mjernog sistema** [4]

### 3.4.7.3 Lokacijska odstupanja

Otklon (engl. bias) je razlika između uočene srednje vrijednosti mjerenja i referentne vrijednosti iste karakteristike na istom mjeraču.



**Slika 27. Otklon** [4]

---

[4] M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010

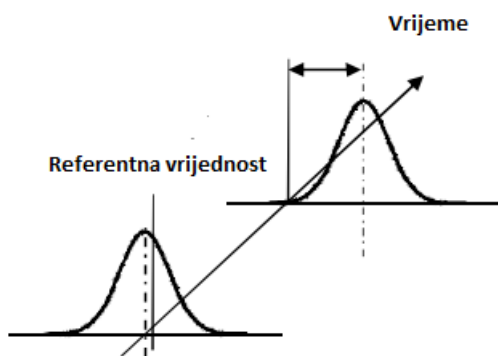
---

Referentna vrijednost je također poznata kao prihvatljiva vrijednost ili ciljna vrijednost.

Referentna vrijednost može se definirati kao srednja vrijednost granica s mjernom opremom veće točnosti.

Mogući uzroci prekomjernog odstupanja: opremu treba kalibrirati, dotrajali instrument, istrošeni referentni komad, pogrešno umjeren ili dotrajao nastavni etalon, loša kvaliteta instrumenta (oblik, prikladnost), pogreška linearnosti, pogrešna priprava za taj proizvod, različite mjerne metode (postavljanje, opterećenje, stezanje, tehnika), izmjerena je pogrešna karakteristika, okolno područje (temperatura, vlaga, vibracije, čistoća).

Stabilnost je ukupna razlika između mjerenja dobivenih s mjernim sustavom na istom etalonu ili granici u mjerenju svake karakteristike tijekom dužeg vremenskog razdoblja.



**Slika 28. Stabilnost** <sup>[4]</sup>

Promjena odstupanja (pristranosti) tijekom vremena.

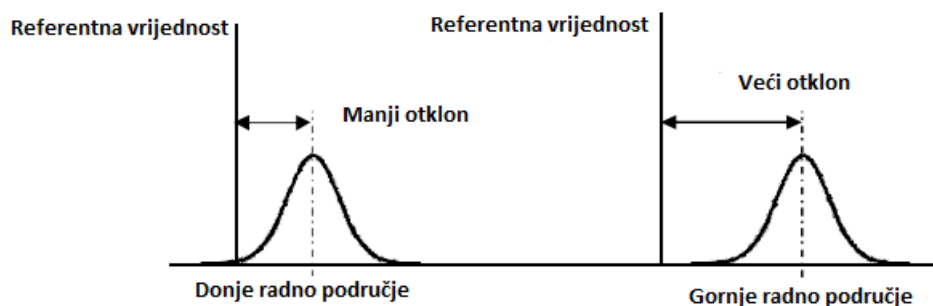
Mogući uzroci nestabilnosti: oprema treba umjeriti (smanjiti interval kalibracije), istrošeni instrument, normalno trošenje, loše održavanje (zrak, snaga, hidraulika, filtri itd.), istrošeni ili oštećeni referentni komadi, loša kvaliteta instrumenta (oblik, prikladnost), nedovoljno instrumenta, različite metode mjerenja (postavljanje, opterećenje, stezanje, tehnika), okoliš (temperatura, vlažnost, vibracije, čistoća).

Linearnost (ang. Linearity) je razlika vrijednosti otklona u odnosu na očekivani radni raspon kontrolne naprave.

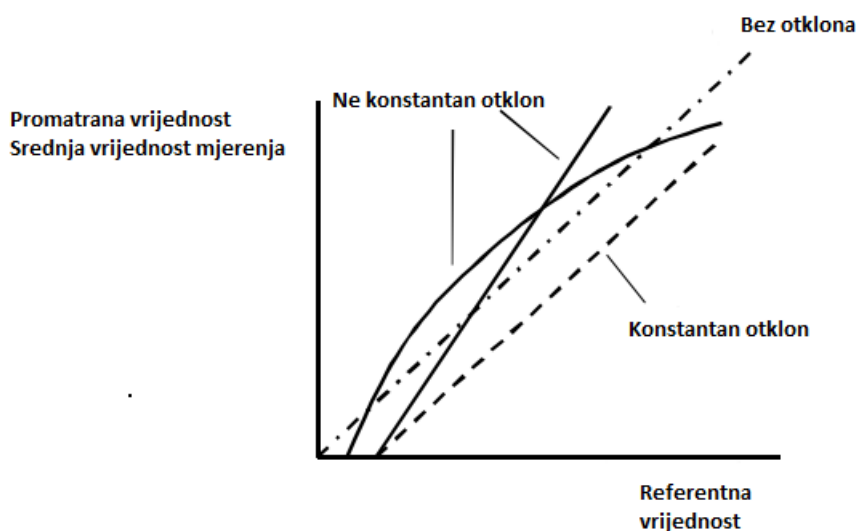
---

<sup>[4]</sup> M. Down, Grusca, F. Czupak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010

Također se može tumačiti i kao promjena otklona po njegovoj veličini. Ne linearnost može biti različita.



Slika 29. Linearnost <sup>[9]</sup>

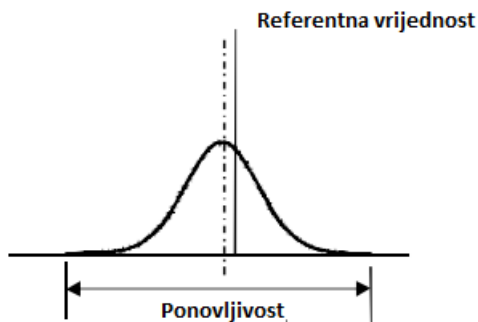


Slika 30. Linearnost (konstantan i ne konstantan) otklon <sup>[9]</sup>

#### 3.4.7.4 Širinska odstupanja

Ponovljivost (eng. Repeatability) je razlika u mjerenju iste karakteristike dobivenih s jednim mjernim instrumentom pri višekratnom mjerenju jednog mjeritelja. Naziva se također i odstupanje (varijacija) opreme (EV).

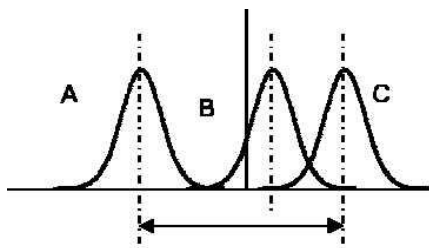
<sup>[9]</sup> Edukacija SPC, MSA



**Slika 31. Ponovljivost** <sup>[5]</sup>

Mogući uzroci za slabu ponovljivost su: razni raztresi unutar uzorka, instrumenta, standarda, metode, mjeritelja, okoliša, manjak tog instrumenta, neispravna mjerna priprava.

Obnovljivost (eng. Reproduceability) je razlika u srednjim vrijednostima mjerenja različitih mjerača (A, B, C) pomoću istog mjernog instrumenta (iste karakteristike mjere se na istom komadu).



**Slika 32. Obnovljivost**

Također se naziva odstupanje (varijacija) mjerača (AV).

Najčešće dolazi do odstupanja prilikom mjerenja s ručnim instrumentima. Tu može doći do izražaja sposobnost različitih mjeritelja. Nasuprot tome u automatiziranim mjernim procesima mjerni instrument nije glavni razlog za odstupanja.

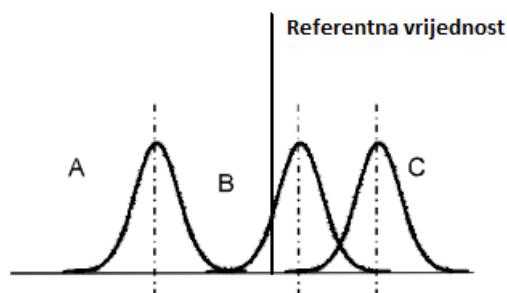
Mogući uzroci pogreške obnovljivosti su: razni raztresi između uzoraka, instrumenata (ako se koriste), standarda, metoda, brojila, okoliša, manjka ovog instrumenta, slab učinak treninga mjeritelja.

<sup>[5]</sup> D. C. Montgomery: *Introduction to statistical quality control*, 2009.

---

GRR ili Gage R&R je kombinacija otklona ponovljivosti i obnovljivosti mjernog uređaja. GRR je u suštini zbroj otklona unutar sustava i između sistemskih otklona.

$$\sigma^2_{\text{GRR}} = \sigma^2_{\text{ponovljivost}} + \sigma^2_{\text{reproduktibilnost}} \text{ [4]}$$



**Slika 33. Gage R&R**

#### 3.4.7.5 Sustavna odstupanja

Sposobnost mjernog sustava je kratkoročna studija odstupanja mjernog sustava (npr. GRR), ocijenjena na temelju kombinacije odstupanja zbog pogrešaka mjerenja (slučajnih i sustavnih). Može se jednostavno reći da sadrži: nepravilan otklon ili linearnost, ponovljivost i obnovljivost uključujući kratkoročnu stalnost.

$$\sigma^2_{\text{spособnost}} = \sigma^2_{\text{otklon (linearnost)}} + \sigma^2_{\text{GRR}} \text{ [4]}$$

Djelovanje (eng. performance) mjernog sustava je dugoročna studija odstupanja mjernog sustava (npr. metoda pomoću kontrolne karte) koja se procjenjuje na temelju kombinacije odstupanja zbog pogrešaka mjerenja (slučajnih i sustavnih) i uzima u obzir sve važne i specifične izvore odstupanja.

Stoga uključuje sposobnost (kratkoročne pogreške), stabilnost i stalnost.

$$\sigma^2_{\text{djelovanje}} = \sigma^2_{\text{spособnost}} + \sigma^2_{\text{stabilnost}} + \sigma^2_{\text{stalnost}} \text{ [4]}$$

---

[4] M. Down, Grusca, F. Czupak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.



---

U fazi 1 je u osnovi procjena kojom se potvrđuje da je mjerenje ispravna varijabla na ispravnom mjestu na proizvodu i u skladu s definiranim mjernim postupkom (također je potrebno potvrditi i priložiti, ako je primjenjivo. ). U ovoj fazi utvrđuju se kritični utjecaji na okoliš na mjerenje.

U ovoj fazi mogu se procijeniti učinci radnog okruženja na parametre mjernog sustava (npr. Odstupanje, linearnost, ponovljivost i usporedivost).

Odstupanja zbog otklona i linearnosti mjernog uređaja trebaju biti mala u odnosu na ponovljivost i obnovljivost.

Znanjem stečenim u ovoj fazi treba pružiti osnovne podatke za izradu programa održavanja mjerne opreme, kao i vrste ispitivanja koja će se provoditi u fazi 2.

Utjecaji na okoliš mogu utjecati na promjenu lokacije ili premještanje uređaja u kontrolirano okruženje.

U fazi 2: Ponovljeno praćenje ključnih uzroka odstupanja kako bi se održalo povjerenje u mjerni uređaj i mjerenja napravljena od strane uređaja, ili kako bi se utvrdilo da se uređaj s vremenom pogoršao.

#### **3.4.7.6 Odabir postupaka ispitivanja**

Općenito odabir ili razvoj postupaka testiranja, mjerenja i ispitivanja je sljedeći:

1. Je li u metodi potrebno koristiti etalon sljediv prema nacionalnom standardu? Ako da, koja je razina ovih standarda najprikladnija? Etaloni su bitni za određivanje/procjenu točnosti mjernog sustava. Ako se ne koriste etaloni, varijabilnost mjernog sustava uvijek se može odrediti, ali točnost se ne može odrediti s izvjesnom sigurnošću. Nedostatak takve sigurnosti može postati važan u slučaju problema između dobavljača i kupca koristeći različite ili identične sustave mjerenja.

2. Prilikom testiranja u fazi 2, moramo uzeti u obzir i tzv. "slijepa mjerenja" koje je radnik (operator) obavio na radnom mjestu (bez da su svjesni činjenice da testiramo mjerni sustav).

3. Troškovi testiranja

Općenito odabir ili razvoj postupka mjerenja-testiranja obuhvaća:

-Vrijeme potrebno za provođenje testa.

- Bilo koji pojam koji nije jasan mora se precizno opisati i specificirati. Na primjer, točnost, ponovljivost itd.

- Da li se mjerenja koje se izvode s tim mjernim sustavom uspoređuju s mjerenjima drugog mjernog sustava? Ako da barem jedna od metoda mora sadržavati uporabu etalona kao u fazi 1. Čak i ako se etaloni ne koriste, još uvijek

---

se može zaključiti funkcioniraju li sustavi skladno. Ako ne rade skladno, vjerojatno bez uporabe etalona, neće biti moguće definirati koji od sustava treba poboljšati.

- Koliko često treba testirati fazu 2? Odgovor se može temeljiti na statističkim svojstvima pojedinog mjernog sustava i posljedicama koje nepravilno testiranje mjernog sustava može imati zbog nepravilnog rada mjernog sustava. <sup>[9]</sup>

### 3.4.7.6 Priprema za analizu mjernog sustava

Kao i kod bilo koje studije ili analize, ovdje treba pažljivo planirati svaki korak i to:

1. Pristup koji se koristi mora se planirati. Na primjer uz pomoć inženjerskog pristupa, vizualnog promatranja ili proučavanja uređaja za mjerenje potrebno je odrediti utjecaj mjeritelja na umjeravanje ili uporabu mjernog uređaja. Primjer: za neke sustave utjecaj obnovljivosti je irelevantan i nepostojan; kada je potrebno pritisnuti gumb za pokretanje mjerenja kako bi se pokrenuo digitalni izlaz izmjerene vrijednosti.
2. Broj mjeritelja, broj uzoraka i broj ponovljenih mjerenja moraju biti unaprijed određeni.

U ovom koraku treba odrediti neke čimbenike:

Značaj karakteristike - kritične karakteristike zahtijevaju više mjerenja ili ponavljanja. Razlog tome je povećan interes za podatke za studiju ocjenjivanja mjernog sustava.

Oblik uzorka - veliki i teški uzorci zahtijevat će manji broj uzoraka i više ponavljanja.

3. S obzirom na to da je cilj dobiti ocjenu cjelokupnog mjernog sustava, dobro je odabrati mjeritelje koje obično koriste taj mjerni instrument u svakodnevnom radu.
4. Izbor uzorka za mjerenje vrlo je važan za pravilnu analizu i ovisi o studiji MSA, svrsi mjernog sustava i dostupnosti uzoraka koji predstavljaju proizvodni proces.

Ako nije moguće samostalno odrediti raztres procesa ili odrediti smjer procesa i prikladnost mjernog sustava za kontrolu proizvodnog procesa, mjerila uzorka moraju se odabrati iz proizvodnog procesa i moraju pokrivati cijelo područje proizvodnje. Za izračun raztresa procesa (TV), u jednadžbi PV-varijacije, izmjerene vrijednosti odabrane za MSA TV studiju su pokazatelji smjera procesa i prikladnosti mjernog sustava.

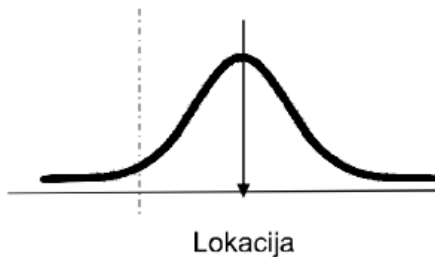
Ako odabrani uzorci za mjerenje ne predstavljaju proizvodni proces, TV se ne smije uzeti u obzir pri ocjenjivanju priprave

5. Mjerni instrument mora imati razlučivost koja omogućuje barem izravno očitavanje vrijednosti od 1/10 očekivanog raspona procesa za određenu

---

<sup>[9]</sup> Edukacija SPC, MSA

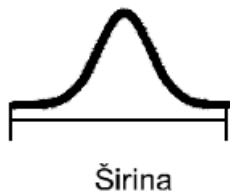
- 
- karakteristiku. Na primjer, Ako je varijacija karakteristike 0,001 mjerni instrument mora imati rezoluciju od 0,0001.
- Potrebno je osigurati da mjerna metoda (mjerač i instrument) doista mjeri željenu dimenziju karakteristike i da je proces uvijek identičan.
  - Analiza rezultata – kriteriji prihvatljivosti <sup>[9]</sup>



**Slika 34. Greške lokacije varijabilne** <sup>[4]</sup>

Pogreške lokacije obično se izvode analizom otklona i linearnosti.

Općenito otklon ili linearnost mjernog sustava je neprihvatljivo ako se jako razlikuju od nule ili prelaze dopuštenu pogrešku definiranu postupkom umjeravanja mjernog uređaja. U takvim slučajevima mjerni sustav mora se ponovno umjeravati ili korigirati kako bi se pogreške svele na najmanju moguću mjeru.



**Slika 35. Greška širine varijabilne** <sup>[4]</sup>

Kriterij koji definira grešku širine izražava se kao postotak razresa ili tolerancije procesa. Konačni kriteriji prihvatljivosti su specifični za mjerni sustav i okolinu u kojoj mjerni sustav radi i mora biti dogovoren s kupcem.

---

<sup>[9]</sup> Edukacija SPC, MSA

<sup>[4]</sup> M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010

---

Za mjerne sustave koji su dizajnirani za analizu procesa primjenjuje se sljedeće pravilo prihvatljivosti:

Greška:	Opis:
<10%	Mjerni sistem je prihvatljiv
10% do 30%	Mjerni sistem je uvjetno prihvatljiv
>30%	Mjerni sistem je potrebno poboljšati. Potrebno identificirati glavne uzroke te ukloniti iste.

Broj razreda mjerenja –ndc (eng. Number of distinct categories) mora biti veći ili jednak 5.

Za atributivne karakteristike kriteriji prihvatljivosti nisu propisani i ovise o riziku ili utjecaju na proizvodni proces ili krajnjeg kupca.

### 3.5.1 Primjer varijabilne analize mjernog sustava CMM mjernog uređaja

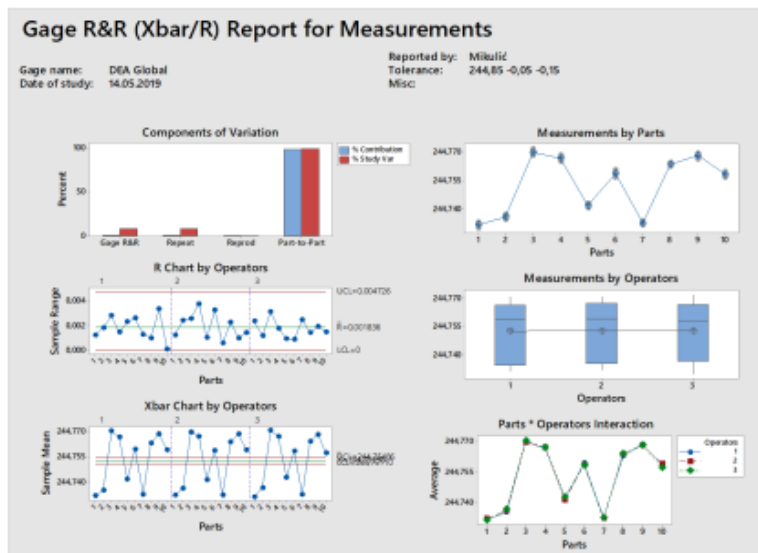
Primjer je iz proizvodnje dijelova od aluminija u automobilskoj industriji. Napravljena je varijabilna analiza mjernog sistema 3D koordinatnog mjernog uređaja DEA za dimenziju 244.85-0.05/-0.15 aluminijskog odljevka koji je strojno obrađen. Uzeto je deset komada te su isti označeni brojevima od jedan do deset. Tri kontrolora su tri puta izmjerili komade na istom uređaju. Dobiveni rezultati su ubačeni u Excel tablicu te je analiza mjernog sistema odrađena u Minitabu te je prebačena u obrazac. Rezultat analize je da je mjerni uređaj zadovoljavajuć (R&R, %EV, %AV i NDC unutar zelenih granica)

#### Analiza ponovljivosti i obnovljivosti mjernog sustava Gage Repeatability and Reproducibility analysis

GBR QM 035  
ver. 03/2013  
str. 1/2  
05.06.2019

Ime / customer	TL 8469	Ime	007	Ime / author	Anita Mikulić	Datum mjerenja / measurement date	14.05.2019	
Ime subjekta / part name	Steuergehäuse M250	Ime / part no	624.81	Ime materijala / drawing no	A.250.015.01.00	Ime analize / analysis date	17.05.2019	
Ime funkcionalne opreme / control equipment	DEA	Ime funkcionalne opreme / equipment name	Global	Operator 1 / operator 1	Zvonimir Čirjak	Operator 2 / operator 2	Jasmin Čirjak	
Operatori / operators					Mate Margarić			
Dimenzija / characteristic / part/drawing characteristic	244.85-0.05/-0.15 (N°1816)	Ime tolerancija / tolerance limit	244,7	244,8	Ime komada / parts number	10	Ime ponavljanja / repetitions number	3

Analiza utjecaja mjernog sustava na rezultate mjerenja / Gage R&R:		dobro, prihvatljivo	potrebno, komaditi potpuno prihvatljivo, komaditi neprihvatljivo	ne prihvatljivo, ne dopušteno
% R&R	% R&R = 8,98%	✓	% R&R 0% 10% 20% 30% 40% → 100%	
% Ponovljivost / % EV	% EV = 8,98%	✓	% EV 0% 10% 20% 30% 40% → 100%	
% Reprodukibilnost / % AV	% AV = 0,00%	✓	% AV 0% 10% 20% 30% 40% → 100%	
broj razlikovanih kategorija / number of distinct categories	NDC = 15	✓	NDC < 4	od 4 - 5



Zaključak / Conclusion:  
Measuring system is acceptable.

Status: ✓

Minitab Session Window report:

### Gage R&R Study - XBar/R Method

#### Gage R&R for Measurements

Gage name: DEA Global  
Date of study: 14.05.2019  
Reported by: Mikulic  
Tolerance: 244.85 -0,05 -0,15  
Misc:

#### Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000012	0,81
Repeatability	0,0000012	0,81
Reproducibility	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0001447	99,19
Total Variation	0,0001459	100,00

#### Gage Evaluation

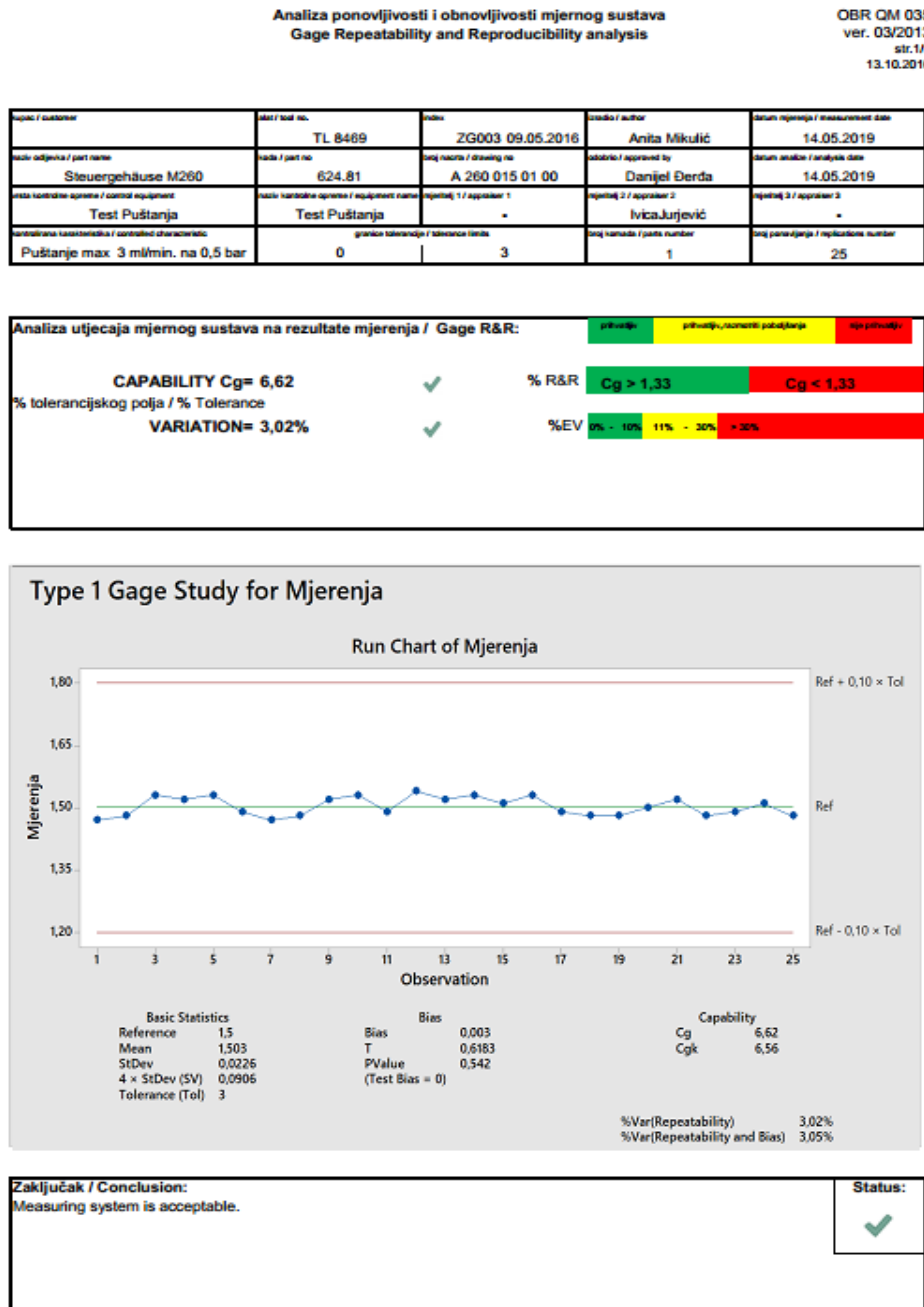
Source	StoDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0010847	0,0065082	8,98
Repeatability	0,0010847	0,0065082	8,98
Reproducibility	0,0000000	0,0000000	0,00
Part-To-Part	0,0120299	0,0721796	99,60
Total Variation	0,0120787	0,0724724	100,00

Number of Distinct Categories = 15

Slika 36 Varijabilna analiza mjernog sustava za CMM mjerni uređaj

### 3.5.2 Primjer varijabilne analize mjernog sustava za test puštanja

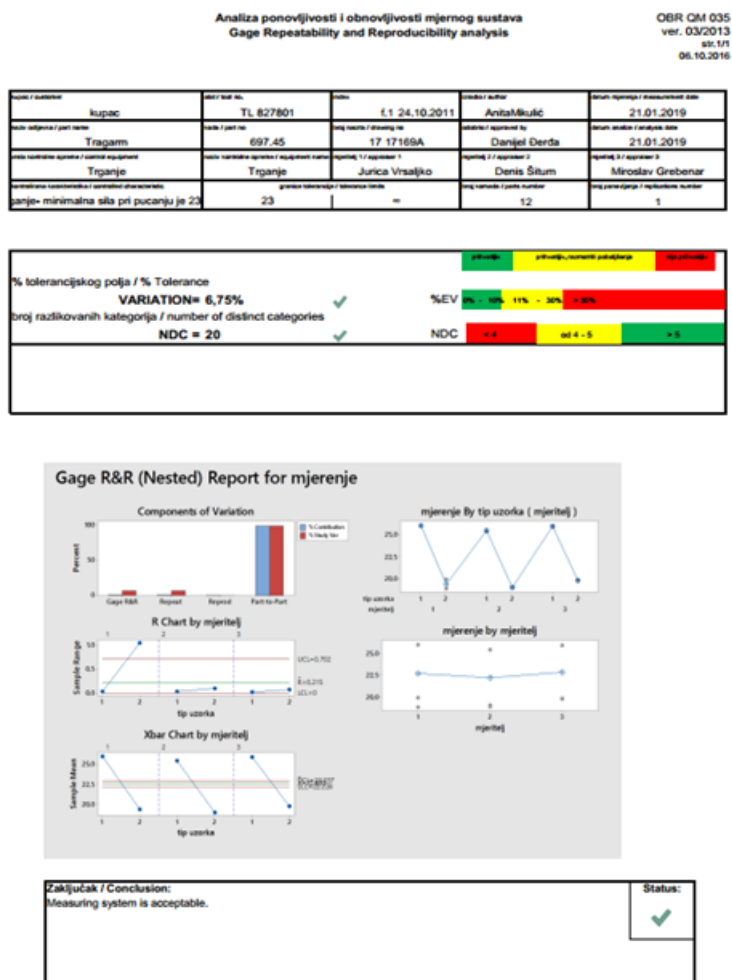
U ovom primjeru je odrađena varijabilna analiza mjernog sistema za test puštanja. Uzorak se testira dvadeset i pet puta na uređaju za test puštanja. Dobiveni rezultati se unesu u Minitab te se odradi analiza. Vidljivo na slici ispod da MSA zadovoljava:  $c_g$  i  $\text{var}\%$  se nalaze u zelenom području.



Slika 37 Varijabilna analiza mjernog sustava za test puštanja

### 3.5.3 Primjer varijabilne analize mjernog sustava za destruktivne metode

Kod destruktivnih metoda kao što je npr. test trganja ili moment test također tri kontrolora testiraju min. 10 uzoraka. Definiraju se različiti tipovi uzoraka te se ravnomjerno rasporede po mjeriteljima. U primjeru ispod je odrađena analiza mjernog sistema za test trganja gdje je zadan zahtjev kupca za minimalnom silom pucanja. Dobiveni rezultati su uneseni u Minitab. Rezultati analize kažu da je mjerni sistem sposoban, zadovoljava uvjet NDC i EV%.



Slika 38 Varijabilna analiza mjernog sustava za test trganja



---

### 3.5.4 MSA atributivno

Atributivna analiza mjernog sustava se izvodi za utvrđivanje sposobnosti mjernih trnova i očne kontrole.

Primjer je iz proizvodnje dijelova od aluminijske industrije. Mjerilo na kojem se radila analiza je mjerna čeljust za kontrolu promjera  $\varnothing 81 \pm 0.1$  koja ima stranu ide (eng. go) i ne ide (engl. no go). Među dvadeset uzoraka koji se testiraju trebaju biti dobri i loši komadi na mjeru koju testiramo. Komadi su označeni od jedan do dvadeset ali kontrolori ne smiju vidjeti oznake. Komadima je potrebno pripisati realnu vrijednost ili standard (dobar ili loš). Analiza se vrši nasumičnim redoslijedom. Rezultati koji su kontrolori dobili se prebacuju u Minitab gdje se odradi provjera sposobnosti račve. Cilj je 100% mjerna sposobnost. Manji rezultat znači da će dobri komadi biti odvojeni u škart i obrnuto. Dozvoljeno da se dobar komad baci u škart (uvjetno), no ni u kojem slučaju slab komad ne smije biti klasificiran kao dobar.

Rezultat Kappa je:

Kappa 0 → mjerni sistem je neupotrebljiv

Kappa < 0,7 → mjerni sistem treba korekciju

Kappa 0,7 – 0,9 → mjerni sistem upotrebljiv, korekcija ovisi o važnosti karakteristike te o klasifikaciji komada (dobar označen kao loš i obrnuto)

Kappa > 0,9 → mjerni sistem je dosta dobar (ukoliko loš komad nije klasificiran kao dobar).

U primjeru ispod je vidljivo da je mjerni sistem sposoban – 95% i kappa 0.94

MSA atributivno (OČNO-MT)- IZVJEŠĆE (MSA attribute-gauge - report)		OBR.QM 76 Verzija 01/2015			
		strana 1/2			
Ime kontrolnoga trna (control gauge name):	Ø81 ±0.1 (N"228)				
Datum analize (date of analyse):	07.05.2018				
Administrator (administration):	Mikulić				
toleranca kont. trna (gauge tolerance):					
Razno (miscellaneous):					
REZULTAT (result):					
redosljed uzorka br. sample sequence No.	standard	Tereza Čirjak appraiser 1	Tereza Čirjak appraiser 1	Marko Bulić appraiser 2	Marko Bulić appraiser 2
1.	G	G	G	G	G
2.	G	G	G	G	G
3.	G	G	G	G	G
4.	G	G	G	G	G
5.	G	G	G	G	G
6.	G	G	G	N	G
7.	N	N	N	N	N
8.	G	G	G	G	G
9.	G	G	G	G	G
10.	G	G	G	G	G
11.	G	G	G	G	G
12.	G	G	G	G	G
13.	G	G	G	G	G
14.	G	G	G	G	G
15.	N	N	N	N	N
16.	G	G	G	G	G
17.	G	G	G	G	G
18.	G	G	G	G	G
19.	N	N	N	N	N
20.	G	G	G	G	G
<b>Between Appraisers</b>					
<b>Assessment Agreement</b>					
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI		
20	19	95.00	(75.13; 99.87)		
* Matched: All appraisers' assessments agree with each other.					
<b>Fleiss' Kappa Statistics</b>					
Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs. > 0)	
G	0.937467	0.0577350	16.2374	0.0000	
N	0.937467	0.0577350	16.2374	0.0000	
<b>MERILNI SISTEM JE (measuring system is): OK</b>					
Napomena: (remark)	u sistemu mjerila se spremaju obe datoteke (MINITAB, pdf) archived MINITAB file and pdf file with status				

<b>MSA atributivno (OČNO-MT)- IZVJEŠĆE</b> (MSA attribute-gauge - report)		OBR.Q/M 76 Verzija 01/2015	
		strana 2/2	
Ime kontrolnoga trna (control gauge name):		Ø81 ±0.1 (N°228)	
Datum analize (date of analyse):		07.05.2018	
Administrator (administration):		Mikulić	
toleranca kont. trna (gauge tolerance):			
Razno (miscellaneous):			
<b>REZULTAT (result):</b>			
redosljed uzorka br. sample sequence No.	standard	Marko Bulić appraiser 3	Marko Bulić appraiser 3
1.	G	G	G
2.	G	G	G
3.	G	G	G
4.	G	G	G
5.	G	G	G
6.	G	G	G
7.	N	N	N
8.	G	G	G
9.	G	G	G
10.	G	G	G
11.	G	G	G
12.	G	G	G
13.	G	G	G
14.	G	G	G
15.	N	N	N
16.	G	G	G
17.	G	G	G
18.	G	G	G
19.	N	N	N
20.	G	G	G
<b>Between Appraisers</b>			
<b>Assessment Agreement</b>			
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
20	19	95,00	(75,13; 99,87)
* Matched: All appraisers' assessments agree with each other.			
<b>Fleiss' Kappa Statistics</b>			
Response	Kappa	SE Kappa	Z Pivs > 0)
G	0,937467	0,0577350	16,2374 0,0000
N	0,937467	0,0577350	16,2374 0,0000
<b>MERILNI SISTEM JE (measuring system is): OK</b>			
Napomena: (remark)		u sistemu mjerila se spremaju obe datoteke (MINITAB, pdf) archived MINITAB file and pdf file with status	

Slika 39. Analiza mjernog sustava - atributivno

## 4. ZAKLJUČAK

U visoko konkurentnom okruženju automobilske industrije i proizvodnje, organizacije imaju izazov s važnim ciljevima gdje treba: omogućiti visokokvalitetne proizvode koji zadovoljavaju očekivanja kupaca, proizvoditi održivu količinu te isporučiti na vrijeme.

Kako bi se postigli gore navedeni ciljevi razvio se standard IATF 16949:2016 sustava upravljanja kvalitetom koji je pružio smjernice industrijama. Specifična očekivanja od standarda IATF 16949:2016 podržana su alatima kvalitete. Ako se pravilno primjenjuju, temeljni alati kvalitete su metode i tehnike s dodanom vrijednošću koje omogućuju organizaciji postizanje sva tri cilja.

Osnovni alati kvalitete podupiru očekivanja norme IATF 16949:2016. Oni su APQP, PPAP, MSA, FMEA i SPC.

U ovom radu je posvećena posebna pozornost na statističku kontrolu procesa i analizu mjernog sustava. Statistička kontrola procesa je metoda za mjerenje i nadzor kvalitete prilikom proizvodnje. Korištenjem statističkih alata se želi smanjiti varijacija unutar procesa koja utječe na poboljšanje kvalitete i smanjenje troškova kao i zadovoljstvo kupaca.

Uz upotrebu analize mjernog sustava se može dokazati da određena mjerna oprema ima sposobnost mjeriti određenu dimenziju te da mjeritelj nema utjecaja na krajnji rezultat.

Poznavanje i korištenje ovih statističkih metoda je važno za samu organizaciju kako bi implementirala IATF 16949:2016 te time pokazala kako je sposobna sudjelovati i konkurirati u svijetu automobilske industrije.

## 5. Literatura

- [1] Norma ISO 9001 : 2015
- [2] Norma IATF 16949 : 2016
- [3] M. Down, T. Kerkstra, P. Cvetkovski, D. Benham: *Statistical process control (Second edition)*
- [4] M. Down, Grusca, F. Czubak, S. Stahley, D. Benham: *Measurement and system analysis*, lipanj 2010.
- [5] D. C. Montgomery: *Introduction to statistical quality control, 2009.*
- [6] D. Hoyle: *Automotive quality sistem handbook, 2000.*
- [7] J.S. Oakland: *Statistical process control, 2003.*
- [8] T. Lazibat: *Upravljanje kvalitetom*
- [9] *Edukacija SPC, MSA*

