

Koncept uvođenja 6 sigma metodologije u poduzeće Feroimpex d.o.o.

Brumen, Dominik

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:235:738066>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-17**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dominik Brumen

Zagreb, 2019. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr. sc. Hrvoje Cajner, doc.

Student:

Dominik Brumen

Zagreb, 2019. godina

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

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Hrvoju Cajneru na savjetima i pomoći prilikom pisanja rada.

Također, zahvaljujem se poduzeću Feroimpex d.o.o. na ustupljenima podacima i mogućnosti snimanja stanja proizvodnje. Posebne zahvale zaposlenicima Danielu Franzu Grgečiću, Darku Džebi, Borisu Kralju, Vladimiru Hajtoku i Velimiru Džaniću na pomoći i pruženim informacijama prilikom boravka u poduzeću.

Posebne zahvale upućujem obitelji i djevojci zbog podrške i razumijevanja tijekom dosadašnjeg studija.

Dominik Brumen



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: **Dominik Brumen** Mat. br.: 0035200416

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Koncept uvođenja 6 sigma metodologije u poduzeće Feroimpex d.o.o.**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The concept of implementation of six sigma methodology in Feroimpex d.o.o. company**

Opis zadatka:

Šest sigma je metodologija koja uspostavlja model sustavnog upravljanja kvalitetom proizvoda i usluga. Kao rezultat je konkurentnije poslovanje kroz smanjenje troškova proizašlih iz nesukladnosti u samim poslovnim ili proizvodnim procesima. Uvođenjem šest sigma metodologije proces sadrži značajno manje nesukladnosti te se postiže veća razina kvalitete i, posljedično, smanjenje troškova.

Koristeći DMAIC metodologiju razraditi koncept uvođenja 6 sigma u poduzeće Feroimpex d.o.o. za odabrani segment poslovanja. U radu koristiti realne podatke iz sustava dobivene snimanjem postojećeg stanja.

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. Hrvoje Cajner, doc.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. ŠEST SIGMA METODOLOGIJA	2
3. POVIJEST I RAZVOJ ŠEST SIGMA	4
3.1. Područja primjene	5
3.2. Razvoj primjene	6
4. STATISTIČKA POZADINA	8
4.1. Normalna raspodjela	8
4.2. $1,5\sigma$ pomak	11
5. ŠEST SIGMA METRIKA	13
5.1. Sposobnost procesa	13
5.2. Potencijalna sposobnost (C_p)	15
5.2.1. Demonstrirana izvrsnost (C_{pk})	16
5.3. Broj nesukladnosti	16
5.3.1. DPU (Defects per unit)	17
5.3.2. DPO (Defects per opportunity)	17
5.3.3. DPMO (Defects per million opportunities)	17
6. IMPLEMENTACIJA ŠEST SIGMA	18
6.1. Uloge prilikom implementacije	19
6.1.1. Vođa	19
6.1.2. Prvak	20
6.1.3. Majstor crnog pojasa	20
6.1.4. Crni pojas	20
6.1.5. Zeleni pojas	20
6.1.6. Žuti pojas	20
6.2. Šest Sigma metodologije	21

6.2.1. DMAIC.....	21
6.2.2. DMADV	23
7. PRIMJER PRIMJENE METODOLOGIJE	24
7.1. DEFINE faza	24
7.2. MEASURE faza	25
7.3. ANALYZE faza.....	25
7.4. IMPROVE faza.....	26
7.5. CONTROL faza.....	27
8. IMPLEMENTACIJA ŠEST SIGMA U PROIZVODNI PROCES PODUZEĆA FEROIMPEX D.O.O.	28
8.1. Poduzeće Feroimpex d.o.o.	28
8.2. Implementacija DMAIC metodologije	29
8.2.1. DEFINE faza	29
8.2.2. MEASURE faza.....	31
8.2.3. ANALYZE faza.....	35
8.2.4. IMPROVE faza.....	37
8.2.5. CONTROL faza.....	41
9. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44

POPIS SLIKA

Slika 1.	Šest sigma logo	2
Slika 2.	Povezanost sigma razine i troška kvalitete[1].....	5
Slika 3.	Rezultati implementacije 6 σ u GE[1].....	5
Slika 5.	Razne krivulje normalne raspodjele[7]	9
Slika 6.	Vrijednosti parametra z kod jedinične normalne raspodjele[2]	10
Slika 7.	Utjecaj 1,5 σ pomaka[2]	11
Slika 8.	Razlika između procesa pod kontrolom i izvan kontrole[12]	14
Slika 9.	Izgled krivulje normalne raspodjele ovisno o indeksu C _p [10].....	15
Slika 10.	Položaj krivulje normalne raspodjele ovisno o indeksu C _{pk} [13]	16
Slika 11.	Hijerarhija uloga prilikom implementacije[14]	19
Slika 12.	DMAIC metodologija[15]	22
Slika 13.	DMADV metodologija[15].....	23
Slika 14.	Pareto dijagram zabilježenih grešaka[16].....	24
Slika 15.	Konstruirana stezna glava[16]	27
Slika 16.	Valjak ležaja[17].....	28
Slika 17.	Željezničke komponente[17]	28
Slika 18.	CNC tokarilica[17].....	28
Slika 19.	Peći za kaljenje[17].....	28
Slika 20.	Sona zupčanik tip 7568	30
Slika 21.	Katalog grešaka za vizualnu kontrolu 1. dio.....	32
Slika 22.	Katalog grešaka za vizualnu kontrolu 2. dio.....	32
Slika 23.	Greške visina i hrapavost na zupčanicima.....	33
Slika 24.	Pareto dijagram rezultata mjerenja.....	34
Slika 25.	Ishikawa dijagram za grešku visine dijela	36
Slika 26.	Trenutna i nova proizvodna ćelija	38
Slika 27.	Vizualni podsjetnik za pravilno mjerenje	39
Slika 29.	5S faze[19].....	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vjerojatnost pojave sukladnih karakteristika ovisno o sigma razini[5]	11
Tablica 2. Utjecaj $1,5\sigma$ pomaka na udio nesukladnih dijelova[2]	12
Tablica 3. Iznos DPMO i indeksa C_{pk} za razne sigma razine	17
Tablica 4. FMEA[16].....	25
Tablica 5. Parametri provedenog pokusa[16]	26
Tablica 6. SIPOC dijagram procesa	29
Tablica 7. Dijagram projekta implementacije	31
Tablica 8. Rezultati provedenog mjerenja	33
Tablica 9. Provedena FMEA analiza	35

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
σ	-	Standardna devijacija
μ	-	Očekivana vrijednost
σ^2	-	Varijanca
α_3	-	Koeficijent asimetrije
α_4	-	Koeficijent zaobljenosti
x_i	-	Vrijednost i-tog podatka
\bar{x}	-	Vrijednost promatranog podatka
n	-	Broj mjerenih podataka
z	-	Parametar kod transformacije normalne raspodjele
T	-	Tolerancijsko polje
USL	-	Gornja granica zahtjeva
LSL	-	Donja granica zahtjeva
C_p	-	Potencijalna sposobnost
C_{pk}	-	Demonstrirana sposobnost
DPU	-	Broj nesukladnosti po jedinici
DPO	-	Broj nesukladnosti po mogućnosti
DPMO	-	Broj nesukladnosti na milijun mogućnosti
RPN	-	Vrijednost prioriteta rizika

SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je “Koncept uvođenja Šest sigma metodologije u poduzeće Feroimpex d.o.o.”. U radu je predstavljena Šest sigma kao metodologija kojoj je cilj sustavno upravljanje kvalitetom proizvoda i usluga. Opisane su osnovne značajke metodologije te njezina pozadina na području statistike. Navedene su metodologije, uloge sudionika te metrike i alati koje se koriste prilikom implementacije. Nakon teoretskog dijela metodologije razrađen je koncept uvođenja na odabrani proizvodni proces u poduzeću Feroimpex d.o.o.

U prvome dijelu rada nalaze se podaci o osnovnim postavkama Šest sigma metodologije te njezinom nastanku i razvoju kroz godine. Obradena je njezina statistička pozadina te metrika sposobnosti procesa i broja nesukladnosti.

Drugi dio rada govori o uvjetima koji su bitni kako bi se implementacija mogla uspješno provesti. Navedene su uloge voditelja timova u Šest sigma projektu te njihov djelokrug. Opisane su dvije razrađene metodologije koje se slijede prilikom uvođenja, DMAIC i DMADV.

U trećem dijelu predložen je kratak primjer implementacije u poduzeću PSG Industrial Institute. Nakon toga detaljno je razrađen koncept uvođenja Šest sigma koristeći DMAIC metodologiju u poduzeće Feroimpex d.o.o.

Ključne riječi: Šest sigma, DMAIC, Kvaliteta, Pobljšanje procesa.

SUMMARY

The theme of this paper is “The concept of implementaiton of Six sigma methodology in Feroimpex d.o.o. company”. In this paper Six sigma is presented as a methodology whose purpose is a systematic control of product and service quality. The basic features of the methodology and its background in the field of statistics are briefly described. Furthermore, the methodologies, participant roles, metrics and tools used during implementation are mentioned. After the theoretical part of the methodology, the concept of implementation in a selected production process was developed in Feroimpex d.o.o. company.

In the first part of the paper there are data on the basic characteristics of Six Sigma methodology and its emergence and development throughout the years. Its statistical background has been worked out, as well as the metrics of the process's ability and the number of defects.

The second part of the paper discusses the conditions that are essential for a successfully conducted implementation. The roles of team leaders in the Six Sigma project are listed, as well as their scope. Two elaborate methodologies, DMAIC and DMADV, that are being followed during the implementation are then described.

In the third part, a brief example of implementation at PSG Industrial Institute is presented. Subsequently, the Six Sigma implementation concept using DMAIC methodology is developed in Feroimpex d.o.o. company.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, Quality, Process improvement.

1. UVOD

Suvremeno tržište prisiljava tvrtke da kritički razmatraju i kontinuirano unapređuju način na koji posluju budući da se promjene događaju sve brže, inovacija je sve više, a konkurencija sve veća. Upravo su te značajke posljedica sve većih zahtjeva kupaca koji žele svoj proizvod ili uslugu dobiti po što pristupačnijoj cijeni, uz visoku razinu kvalitete te isporučene u što kraćem roku. Ne gledajući na kvalitetu u smislu sukladnosti sa unutarnjim potrebama tvrtke, već kao vrijednost koja je dodana proizvodu tijekom proizvodnje, ona pomaže tvrtkama da ostvare veći profit tako što poboljšavaju produktivnost i zadovoljstvo kupaca. Razina kvalitete ukazuje na razliku između potencijalnog stanja maksimalne dodane vrijednosti i trenutnog stanja u kojem se tvrtka nalazi. Razlika između ta dva stanja predstavlja čisti gubitak koji se generira tijekom procesa, pa zbog te razlike kvaliteta postaje najvažniji zahtjev kupaca. Cijena i rok isporuke postaju direktno ovisni o kvaliteti jer s porastom iste generirani gubitci se smanjuju. Tako se cijena smanjuje jer se njome ne trebaju pokriti suvišni gubitci, a rok isporuke se skraćuje jer je duljina procesa smanjena eliminiranjem tih istih gubitaka[1].

Jedna od metodologija kojom se može odgovoriti na zahtjeve suvremenog tržišta i kupca je Šest sigma. Njezin cilj je ostvariti poboljšanje procesa uz podizanje razine kvalitete tako što se uzroci nedostataka pronalaze i eliminiraju. Šest sigma metodologija stavlja upravo kupca u središte zbivanja, pa on postaje jedina osoba kvalificirana za definiranje kvalitete. U nastavku rada razradit će se osnove Šest sigma metodologije i alata koje ista koristi, te će se provesti njezina implementacija u poduzeće Feroimpex d.o.o. kako bi se dobio uvid u prednosti kojima implementacija rezultira.

2. ŠEST SIGMA METODOLOGIJA

Šest sigma (6σ) metodologija je skup alata i vještina koje za cilj imaju ostvariti poboljšanje procesa, bilo uslužnog ili proizvodnog, tako što eliminiraju nesukladnosti i minimiziraju varijabilnost. Šest sigma koristi statističke alate kojima se obrađuju podaci o procesu te se tako otkrivaju i uklanjaju uzroci nesukladnosti i varijabilnosti. Nesukladnosti su za metodologiju sva odstupanja od onoga što kupac, koji je u centru pažnje metodologije, traži od usluge ili proizvoda. Sigma (σ) je grčko slovo koje u statistici predstavlja standardnu devijaciju, odnosno prosječno odstupanje svakog mjenog podatka od aritmetičke sredine. Za određivanje varijabilnosti procesa glavna je mjera upravo standardna devijacija, budući da broj standardnih devijacija (σ) koje se nalaze unutar unaprijed definiranih granica tolerancije govori o učestalosti mogućih nesukladnosti. Proces koji obavlja svoju funkciju na 6σ razini stvara 3,4 nesukladnosti na milijun mogućnosti uzimajući u obzir iskustveni pomak od $\pm 1,5\sigma$ [2].



Slika 1. Šest sigma logo

Karakteristike koje definiraju 6σ metodologiju su[3]:

- Kontinuirani naponi da se postigne stabilan i predvidljiv proces minimiziranjem varijabilnosti njegovog izlaza ključni su za uspjeh.
- Procesi koji se promatraju imaju karakteristike koje mogu biti mjerene, analizirane, poboljšane i kontrolirane.
- Za uspjeh u ostvarivanju kontinuiranog napretka u kvaliteti potrebna je predanost cijele organizacije, a posebice vodećeg menadžmenta.

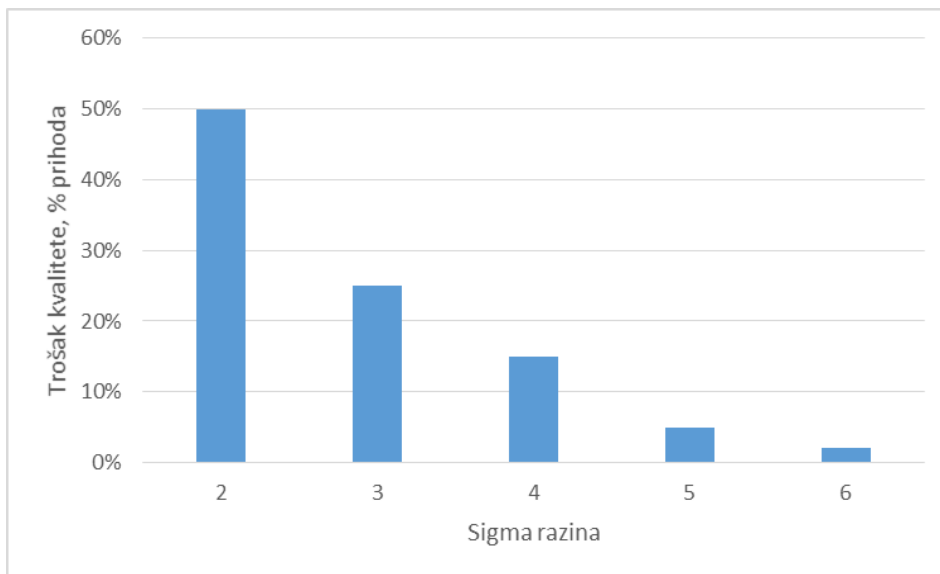
Upravo su te karakteristike ono što razlikuje ovu metodologiju od ostalih kojima se želi postići poboljšanje kvalitete. Stavljajući naglasak na strastveno vodstvo tvrtke koje odluke donosi promišljeno na temelju verificiranih podataka dobivenih statističkim metodama, mogu se postignute promjene jasno kvantificirati i uspoređivati s prvotnim stanjem. Postignute promjene rezultiraju procesom s kraćim ciklusom uz manje varijabilnosti što podiže razinu kvalitete i ultimativno povećava zadovoljstvo kupca proizvodom ili uslugom.

3. POVIJEST I RAZVOJ ŠEST SIGMA

Početak 6σ metodologije vezana je uz američku tvrtku Motorola. 1970-ih godina japanska tvrtka Matsushita preuzela je Motorolinu tvornicu za proizvodnju Quasar televizora. Nakon preuzimanja uočili su mnogo nedostataka u načinu proizvodnje, a to se prvenstveno odražavalo na broj grešaka koje su se pojavljivale na televizorima. Koristeći istu tehnologiju, konstrukcije i radnu snagu, novo vodstvo uspjelo je smanjiti troškove proizvodnje, a broj grešaka pao je na 1/20 početnih. Tada je Motoroli postalo jasno da je problem bio u njima i njihovom menadžmentu, što je dovelo do priznanja jednog od izvršnih direktora da je njihova kvaliteta bila očajna. Nakon ovih spoznaja Motorola počinje ulagati u obrazovanje svojih zaposlenika, prvenstveno na području statistike. 1980-ih godina Bill Smith, jedan od inženjera u Motoroli koji je radio na području kvalitete, analizirao je sakupljene podatke o unaprijeđenoj proizvodnji Quasar televizora. Shvatio je da ako se želi postići ispravnost proizvoda od 99%, distribucije kritičnih komponenti istog proizvoda moraju biti toliko uske da su udaljenje 6 standardnih devijacija (σ) od graničnih tolerancija koje kupac postavlja. Razvijanjem te ideje, metodologija je dobila ime Šest sigma (6σ). Motorola je nakon toga započela s implementacijom metodologije zadavši kao krajnji cilj postizanje manje od 3,4 nesukladnosti na milijun mogućnosti. 1988. godine Motorola je primila svoju prvu nagradu za kvalitetu Malcolm Baldrige National Quality Award, nakon čega su odlučili podijeliti metodologiju s ostatkom svijeta osnutkom Šest sigma Istraživačkog Centra u Chicagu[3].

Nakon što je Motorola započela sa implementacijom 1986. godine, tvrtka je počela poslovati sa sve većim prihodom te je ostvarivala sve veće uštede. Primjera radi, 1994. godine objavljeno je kako su od početka implementacije uštedjeli 1,4 milijarde \$. Postignuti rezultati privukli su pažnju ostalih tvrtki, prvenstveno Allied Signala i General Electrica. Jack Welch, izvršni direktor General Electrica u to doba, odlučio je implementirati 6σ metodologiju kako bi kvalitetu uskladio sa potrebama poslovanja. Adaptirajući metodologiju i primjenjujući je kroz cijelu tvrtku putem organiziranih timova, GE je kroz raspon od 5 godina od početka implementacije ostvario uštedu od 12 milijardi \$. Počeli su provoditi istraživanja kojima su utvrdili da ih je razlika između 3 ili 4 sigma razine, na kojoj su proizvodili na početku, i 6 sigma razine godišnje koštala između 8 i 12 milijardi dolara. Taj su trošak nazvali troškom kvalitete budući da se svaka greška kod proizvoda ili usluge plaća i treba biti uklonjena.

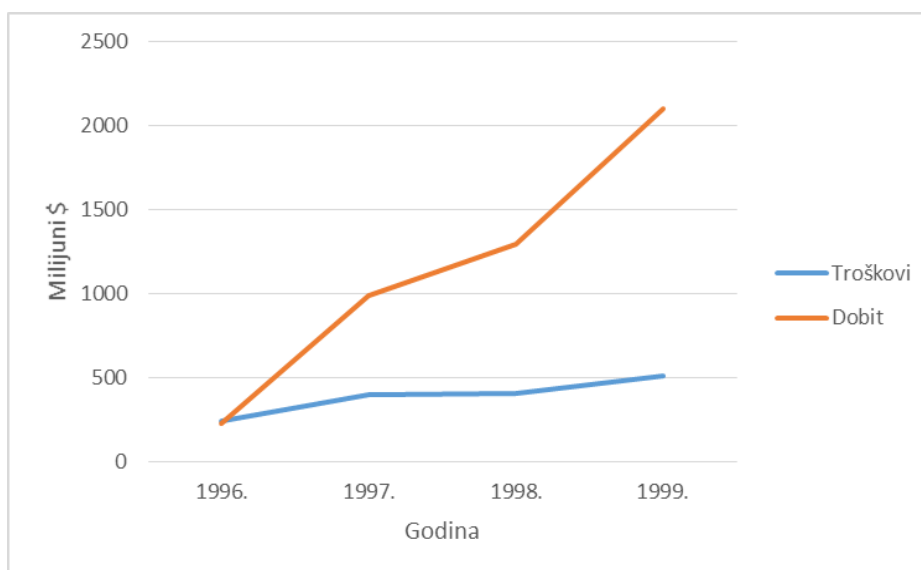
Utvrđeno je kako za tvrtke koje posluju na 3 sigma razini troškovi za uklanjanje grešaka iznose između 25 i 40% prihoda, dok na 6 sigma razini oni iznose manje od 5%. Povezanost troška kvalitete i sigma razine prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Povezanost sigma razine i troška kvalitete[1]

3.1. Područja primjene

Upravo je GE, na čelu s Jackom Welchom, javnom promidžbom svojih pozitivnih iskustava s implementacijom 6 σ postao zaslužan za globalnu promociju metodologije. Objavom postignutih rezultata prikazanih na Slici 3., zadobili su pažnju ostalih tvrtki iz različitih grana gospodarstva.



Slika 3. Rezultati implementacije 6 σ u GE[1]

Među prvima koji su odlučili slijediti GE bili su Texas Instruments, IBM, Kodak, Allied Signal, John Deer, Whirlpool i Lockheed Martin. Danas gotovo dvije trećine organizacija sa liste 500 najbogatijih (Fortune 500) koristi 6σ metodologiju.

Metodologija se primjenjuje na području[2]:

- Proizvodnje (Texas Instruments je do danas ostvario 500 milijuna \$ uštede)
- Građevinarstva (Tinjin Xianyi Construction je smanjio vrijeme potrebno za izgradnju za 26,2% i otpad stvaran prilikom gradnje za 67%)
- Financija (Bank of America je povećala zadovoljstvo klijenata za 10,4% i smanjila žalbe klijenata za 24%)
- Logistike (kako bi se ostvarila pravovremena isporuka bez grešaka)
- Zdravstva (Anderson Cancer Center je smanjio vrijeme pripreme pacijenta za 40 minuta)

3.2. Razvoj primjene

Iako se u početku smatralo kako se beneficije metodologije mogu samo ostvariti u većim tvrtkama (preko 500 zaposlenih), u današnje se vrijeme 6σ sve više uvodi u tvrtke male i srednje veličine. To je moguće angažiranjem različitih uloga (pojaseva) i alata primjerenih za veličinu i potrebe tvrtke. Time svaki djelatnik tvrtke od direktora, preko voditelja odjela, pa do pojedinog radnika postaje zadužen za provođenje 6σ koncepta u svom radu[3].

U suvremeno doba dolazi do razvoja Lean i Šest sigma metodologije, koja kombinira 6σ fokus na uklanjanje nesukladnosti odnosno varijacija unutar procesa, te Lean filozofiju proizvodnje koja uklanja gubitke (prekomjernu proizvodnju, transport, čekanja, suvišne pokrete, zalihe, prekomjernu obradu, škart i neiskorišteni potencijal radnika) koji ne dodaju vrijednost proizvodu ili usluzi. Kombinacijom dvije dobiva se balansiran i organiziran proces sa smanjenim proizvodnim troškovima, poboljšanom kvalitetom, bržim ciklusom proizvodnje, većim uštedama i jačom konkurentnošću[4].

Što je LEAN i Šest sigma?



Slika 4. Lean i Šest sigma[8]

4. STATISTIČKA POZADINA

Cilj 6σ metodologije je postići proces koji gotovo pa ne izbacuje nesukladne dijelove ili usluge. Točnije proces bi trebao imati 3,4 nesukladna dijela na milijun mogućnosti. Kako bi se to postiglo aritmetička sredina mjerenih obilježja treba biti udaljena 6 standardnih devijacija od najbliže granice tolerancije uzimajući u obzir pomak od $\pm 1,5\sigma$. Podloga cijele teorije je da mjerena obilježja slijede normalnu raspodjelu podataka, međutim moguće je proučavati i podatke koje ne slijede u potpunosti ovu raspodjelu.

4.1. Normalna raspodjela

Normalna raspodjela je statistička teoretska raspodjela vjerojatnosti kontinuirane varijable. Abraham de Moivre prvi je definirao ovu raspodjelu kao graničnu formu binomne raspodjele, ali ju je javno prvi upotrijebio Carl Friedrich Gauss, pa je stoga još nazivamo i Gaussovom raspodjelom[5].

Razvijanjem binomne raspodjele u red dobiva se izraz funkcije gustoće vjerojatnosti normalne raspodjele:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{za} \quad -\infty \leq x \leq +\infty$$

Svojstva funkcije gustoće vjerojatnosti su:

1. $f(x) \geq 0$ za svaki x
2. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$
3. $\int_{x_1}^{x_2} f(x) dx = P(x_1 \leq x \leq x_2)$

Jasno je vidljivo da postoje dva parametra funkcije, pa se ista označava sa $N\{\mu, \sigma^2\}$. μ predstavlja očekivanu vrijednost funkcije koja se najčešće zamjenjuje aritmetičkom sredinom podataka. σ^2 predstavlja varijancu, odnosno kvadratno odstupanje pojedinog podatka od očekivane vrijednosti.

Varijanca normalne raspodjele računa se pomoću izraza:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

gdje je:

n - broj mjerenih podataka

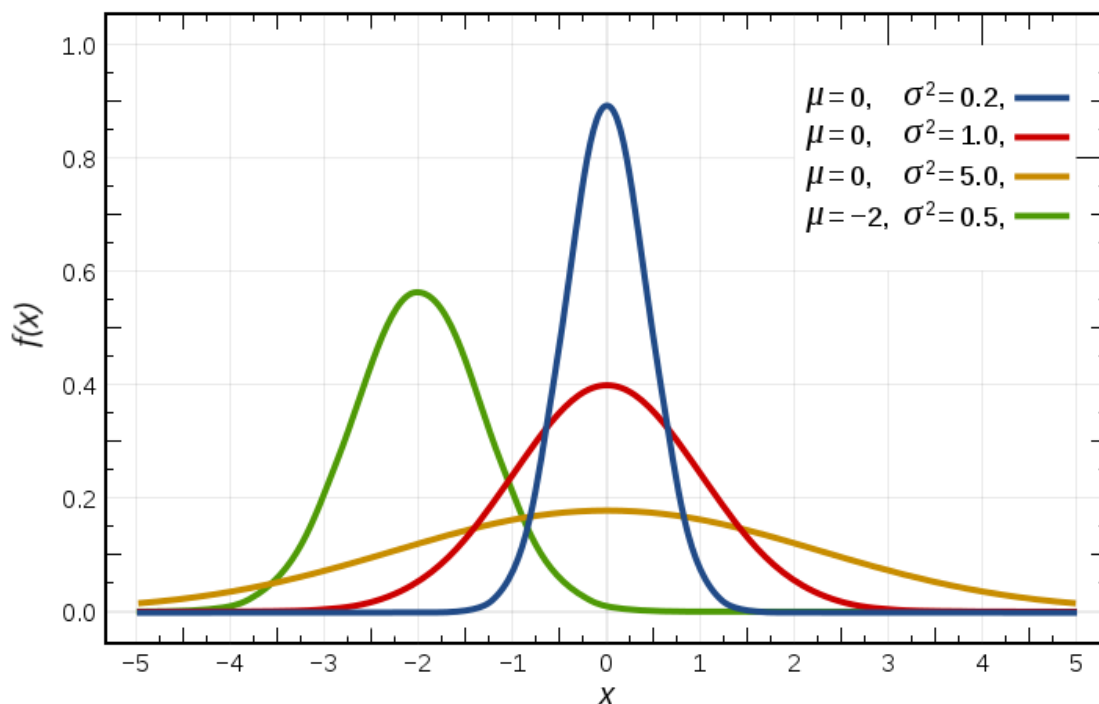
μ - očekivana vrijednost podataka (aritmetička sredina)

x_i - vrijednost i -tog podatka mjerenja

Iz varijance normalne raspodjele možemo izračunati standardno odstupanje:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

Na Slici 5. može se vidjeti kako je koeficijent asimetrije funkcije gustoće (α_3) jednak 0, što označava simetričnu raspodjelu oko očekivane vrijednosti (μ). Posljedica simetričnosti funkcije je da su aritmetička sredina, medijan i mod raspodjele jednaki. Koeficijent zaobljenosti funkcije (α_4) jednak je 3.



Slika 5. Razne krivulje normalne raspodjele[7]

Površina ispod krivulje normalne raspodjele odgovara vjerojatnosti pojave promatrane karakteristike unutar zadanih granica. Te se vjerojatnosti izračunavaju z-transformacijom normalne raspodjele na jediničnu normalnu raspodjelu s parametrima $\mu=0$ i $\sigma^2=1$.

Funkcija gustoće vjerojatnosti jedinične normalne raspodjele je stoga:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}z^2}; \quad \mu = 0; \quad \sigma^2 = 1$$

Izraz za izračun vrijednosti parametra z glasi:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

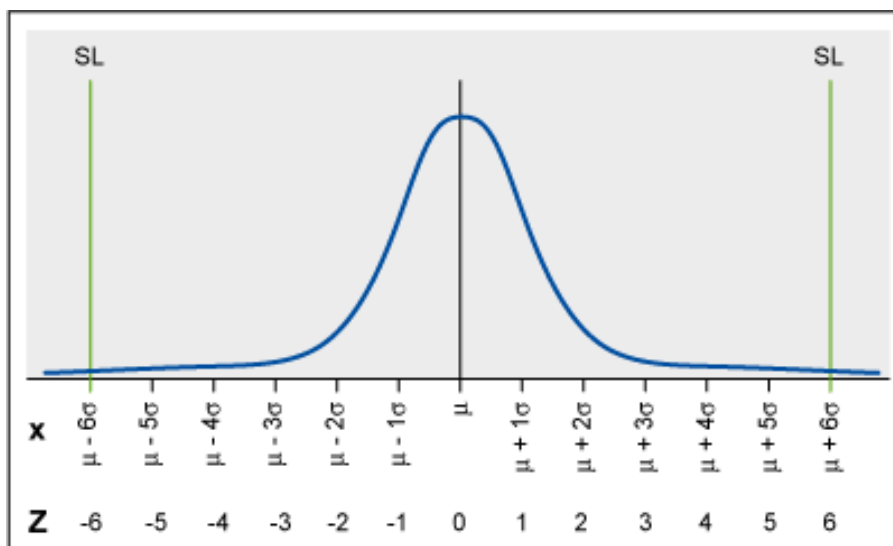
gdje je:

σ - standardna devijacija

μ - očekivana vrijednost podataka (aritmetička sredina)

x - vrijednost promatranog podatka

Vrijednosti parametra z su bezdimenzionalne (nisu izražene fizikalnim jedinicama) i njima se izražava koliko je standardnih devijacija promatrana vrijednost x udaljena, i na koju stranu, od svoje očekivane vrijednosti μ . Ako je $z < 0$, tada je x za $|z|$ standardnih devijacija manji od μ , a ako je $z > 0$, tada je x za z standardnih devijacija veći od μ . To je jasno prikazano na Slici 6.



Slika 6. Vrijednosti parametra z kod jedinične normalne raspodjele[2]

Vrijednosti jedinične normalne raspodjele su tabelirane, pa je time olakšan izračun spomenutih vjerojatnosti pojave promatrane karakteristike. U Tablici 1. prikazane su vjerojatnosti pojave sukladnih karakteristika za pojedine sigma razine.

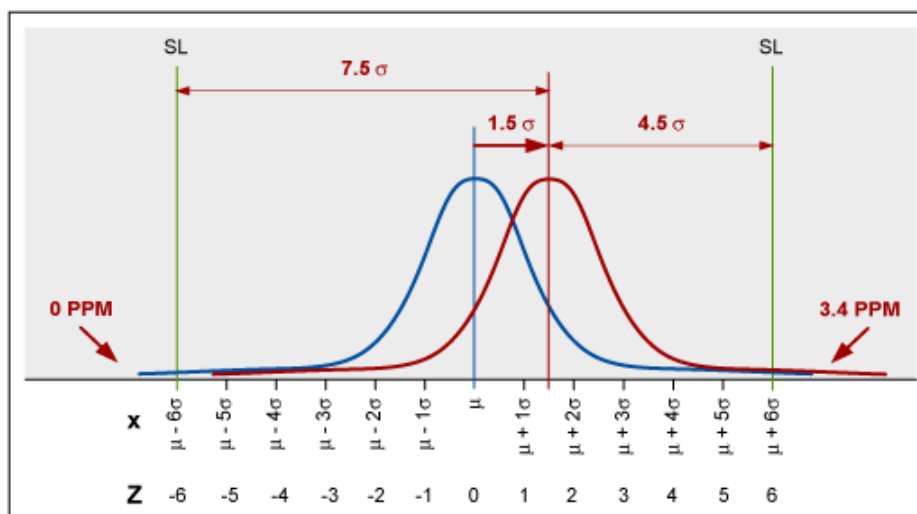
Tablica 1. Vjerojatnost pojave sukladnih karakteristika ovisno o sigma razini[5]

Sigma razina	Vjerojatnost pojave sukladnih karakteristika
1	68,27%
2	95,45%
3	99,73%
4	99,9937%
5	99,999943%
6	99,9999998%

4.2. 1,5 σ pomak

Gledajući Tablicu 1. vidljivo je kako bi 6 σ metodologija zapravo trebala zagovarati da broj nesukladnih dijelova bude 2 na milijardu mogućnosti. Međutim, znanstvenici su dugoročnim praćenjem procesa shvatili kako očekivana izlazna vrijednost nekog procesa počinje s vremenom odstupati od početne. Razlog tome su razni nepredviđeni uzroci koji rezultiraju pogoršanjem učinka procesa tijekom vremena. Budući da se 6 σ projekti većinom provode kroz kraće razdoblje (par mjeseci), uvodi se 1,5 σ pomak kako bi se spriječilo podcjenjivanje razine grešaka koje se mogu susresti u stvarnom radu. Na taj se način ostvaruje kompenzacija razlike između stvarnog rada te djelomičnog praćenja rada procesa.

Uključivanjem 1,5 σ pomaka, očekivana vrijednost (μ) pomiče se prema jednoj od granica tolerancija. Valja napomenuti kako obje granice zadržavaju početni položaj, odnosno ostaju udaljene 6 standardnih devijacija od prvotne očekivane vrijednosti. Zbog pomaka granice više nisu simetrične oko očekivane vrijednosti, već je, kraća udaljenost granice od nove očekivane vrijednosti 4,5 σ , dok duža iznosi 7,5 σ , kao što je vidljivo na Slici 7.

Slika 7. Utjecaj 1,5 σ pomaka[2]

Na novodobiveni proces može se referirati kao $4,5\sigma$ proces, čija je karakteristika da na milijun mogućnosti generira 3,4 nesukladna dijela. U Tablici 2. prikazana je posljedica $1,5\sigma$ pomaka na promjenu udjela nesukladnih dijelova za pojedine sigma razine.

Tablica 2. Utjecaj $1,5\sigma$ pomaka na udio nesukladnih dijelova[2]

Sigma razina	Sigma (sa $1,5\sigma$ pomakom)	Postotak nesukladnih	Postotak sukladnih
2	0,5	31%	69%
3	1,5	6,7%	93,3%
4	2,5	0,62%	99,38%
5	3,5	0,023%	99,977%
6	4,5	0,00034%	99,99966%
7	5,5	0,0000019%	99,9999981%

5. ŠEST SIGMA METRIKA

Postoje dva ključna pokazatelja uspješnosti promatranog procesa koje metodologija 6σ koristi, a to su sposobnost procesa i broj nesukladnosti.

5.1. Sposobnost procesa

Pojam procesa definiran je kao jedinstvena kombinacija alata, materijala, metoda i ljudi uključenih u stvaranje nekog mjerljivog izlaza[9]. Cilj svakog procesa je stvaranje izlaza koji se nalazi unutar željenih granica, odnosno zadovoljava svog potražitelja. U svakom procesu postoje razne varijacije koje ne mogu biti eliminirane, ali se mogu mjeriti, pratiti, smanjivati i kontrolirati. Upravo je to svrha 6σ metodologije, stvaranje procesa s minimalnim varijacijama.

Sposobnost procesa je statistička mjera mogućnosti procesa da dosljedno proizvodi dijelove unutar određenih granica kroz vrijeme. Stoga, proces će biti sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak rasponu procesa, pa je temeljni uvjet sposobnosti[10]:

$$T \geq 6 \times \sigma$$

Raspon zahtjeva (T) je područje između gornje (USL) i donje granice zahtjeva (LSL):

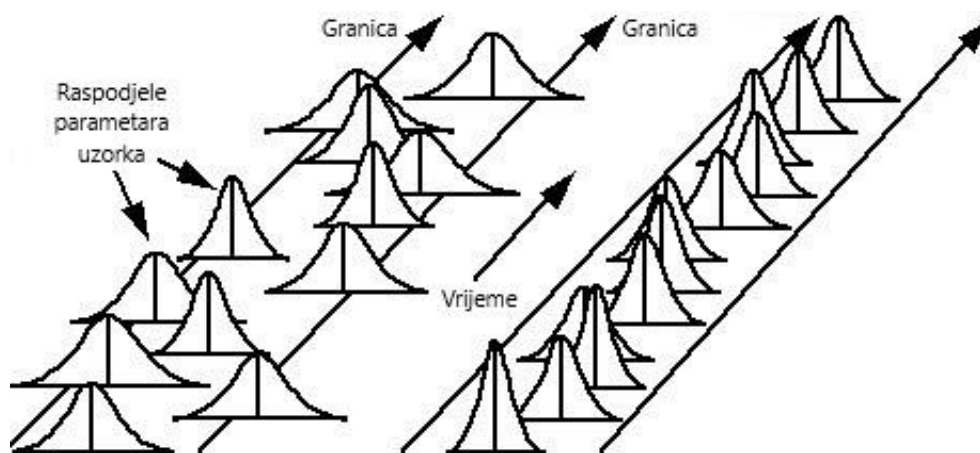
$$T = USL - LSL$$

Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja ($6 \times \sigma$) u odnosu na sredinu procesa, čime pokriva 99,73% površine ispod normalne raspodjele kojom se aproksimira proces.

Analiza same sposobnosti procesa sastoji se od dva koraka[11]:

1. Dovođenje procesa u stanje statističke kontrole na razuman period vremena.
2. Uspoređivanje dugoročnog učinka procesa sa dugoročnim zahtjevima menadžmenta ili inženjera.

Prvi korak podrazumijeva utvrđivanje i odstranjivanje izvora značajnih odstupanja procesa, odnosno uspostavljanje kontinuiteta izlaznih podataka procesa unutar granica na duže vrijeme. Primjer procesa koji je izvan kontrole prikazan je na Slici 8. lijevo, a onoga koji je pod kontrolom desno.



Slika 8. Razlika između procesa pod kontrolom i izvan kontrole[12]

Drugi korak analize sposobnosti zapravo uključuje proračun indeksa sposobnosti. Jednom kada je završeno dovođenje procesa pod kontrolu, indeksi se računaju kako bi se mogla mjeriti kvaliteta proizvedenih dijelova. Indeksi sposobnosti procesa su mjera kojom se kvantificira odnos između stvarnog učinka procesa i postavljenih zahtjeva.

Sam proračun indeksa sposobnosti temelji se na pretpostavkama[10]:

- Raspodjela podataka može se aproksimirati normalnom raspodjelom.
- Proces koji se razmatra je stabilan i bez značajnih uzroka varijacija (pod kontrolom).
- Pouzdana procjena sposobnosti može se donijeti samo temeljem praćenja procesa primjenom odgovarajuće kontrolne karte.

Računanje sposobnosti procesa koji nije pod kontrolom rezultira nepouzdanim procjenama, pa se stoga treba izbjegavati.

Tvrtka Ford izvršila je podjelu indeksa sposobnosti prema vremenu odvijanja procesa, pa postoji određivanje[10]:

- a) u duljem vremenskom razdoblju
- b) preliminarna sposobnost procesa
- c) u kratkom vremenskom razdoblju

U nastavku će se obraditi računanje sposobnosti procesa u duljem vremenskom razdoblju budući da se tijekom tog razdoblja mogu pojaviti svi mogući utjecaji varijacija procesa. Preporuka trajanja mjerenja podataka je 20 proizvodnih dana.

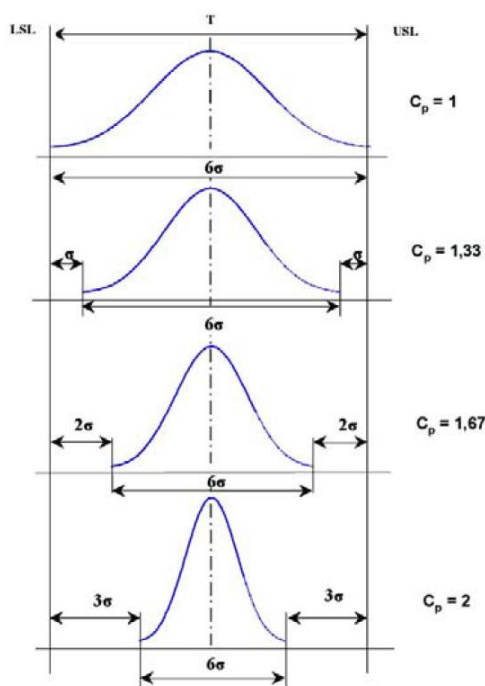
5.2. Potencijalna sposobnost (C_p)

Indeks C_p opisuje omjer raspona tolerancijskog polja u odnosu na stvarno rasipanje podataka.

Izraz za izračun ovog indeksa je:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{T}{6\sigma}$$

Iznos indeksa C_p neposredno pokazuje je li proces sposoban. Proces se može klasificirati sposobnim ako je $C_p \geq 1$. Ukoliko je iznos indeksa jednak 1, širina tolerancijskog polja jednaka je rasponu procesa, pa se unutar granica nalazi 99,73% površine ispod krivulje normalne raspodjele. U razvijenim zemljama zahtjeva se minimalna vrijednost indeksa $C_p=1,33$. Pojedine kompanije podižu zahtjev na $C_p=1,67$ odnosno $C_p=2$, čemu teži 6σ metodologija. Na Slici 9. vidljivo je kako se porastom iznosa indeksa C_p smanjuje rasipanje procesa.



Slika 9. Izgled krivulje normalne raspodjele ovisno o indeksu C_p [10]

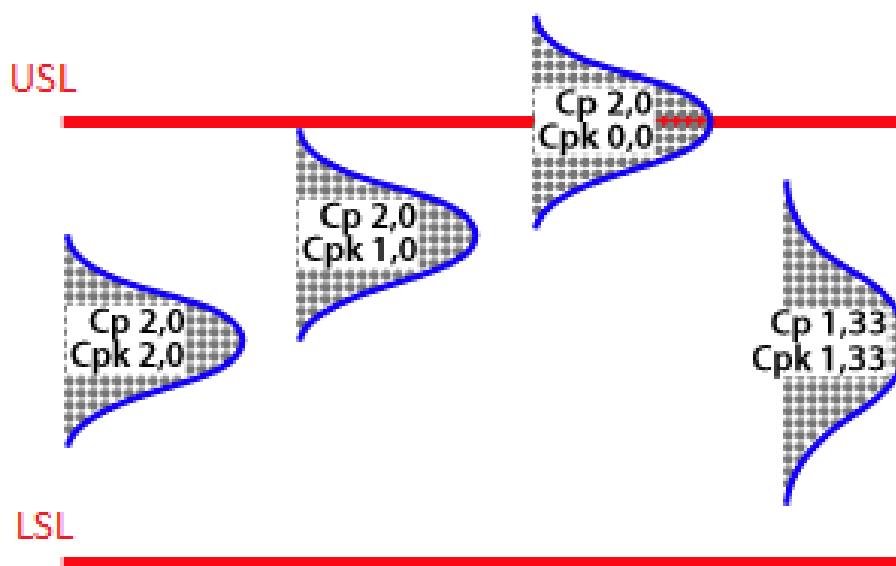
5.2.1. Demonstrirana izvrsnost (C_{pk})

Indeksom demonstrirane izvrsnosti mjeri se udaljenost očekivane vrijednosti od najbliže granice zahtjeva, bilo gornje ili donje, uzimajući u obzir polovicu rasipanja procesa (3σ). Drugim riječima, ovaj indeks utvrđuje centriranost procesa, koju indeks C_p ne pokazuje.

Izraz za izračun vrijednosti indeksa glasi:

$$C_{pk} = \min \left[C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

Proces je pomaknut prema granici specifikacije manjeg iznosa indeksa, kao što je vidljivo na Slici 10. $1,5\sigma$ pomak vezan je upravo uz dugoročno smanjenje vrijednosti C_{pk} za 0,5. Ukoliko je iznos $C_{pu}=C_{pl}$, proces je idealno centriran. Iznos manji od 1 ukazuje na pojavu nesukladnosti u procesu. Prihvatljivi iznosi su svi veći od 1, a u modernim poduzećima minimalan je iznos 1,5.



Slika 10. Položaj krivulje normalne raspodjele ovisno o indeksu C_{pk} [13]

5.3. Broj nesukladnosti

Kako bi se odredila uspješnost procesa na temelju broja nesukladnosti koje se pojavljuju, koriste se metrike DPU, DPO i DPMO. Odabir odgovarajuće metrike pomaže u procjeni kvalitete funkcioniranja procesa u odnosu na očekivanja kupca.

5.3.1. DPU (Defects per unit)

DPU predstavlja udio nesukladnih jedinica koje se pojavljuju u promatranom uzorku. Računa se kao omjer broja nesukladnih jedinica u uzorku i ukupnog broja jedinica u istom.

$$DPU = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{ukupan broj jedinica u uzorku}}$$

5.3.2. DPO (Defects per opportunity)

DPO nam govori koji je omjer između broja nesukladnih jedinica u uzorku i ukupnog broja mogućih nesukladnosti.

$$DPO = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{moguće nesukladnosti} \times \text{broj jedinica u uzorku}}$$

5.3.3. DPMO (Defects per million opportunities)

DPMO je glavna metrika za Šest sigma metodologiju. Definira broj nesukladnih jedinica na milijun mogućnosti prisutnih u uzorku. DPMO standardizira broj nesukladnih jedinica na razini mogućnosti, pa je stoga koristan jer se mogu uspoređivati procesi s raznim složenostima. Za izračun DPMO-a potrebno je poznavati broj nesukladnih jedinica u uzorku i DPO.

$$DPMO = DPO \times 1000000$$

U Tablici 3. prikazan je iznos DPMO te kratkoročne i dugoročne vrijednosti indeksa C_{pk} u ovisnosti o sigma razini uključujući $1,5\sigma$ pomak.

Tablica 3. Iznos DPMO i indeksa C_{pk} za razne sigma razine

Sigma razina	Sigma (sa $1,5\sigma$ pomakom)	DPMO	Postotak nesukladnih	Kratkoročni C_{pk}	Dugoročni C_{pk}
2	0,5	308538	31%	0,67	0,17
3	1,5	66807	6,7%	1	0,5
4	2,5	6210	0,62%	1,33	0,83
5	3,5	233	0,023%	1,67	1,17
6	4,5	3,4	0,00034%	2	1,5
7	5,5	0,019	0,0000019%	2,33	1,83

6. IMPLEMENTACIJA ŠEST SIGMA

Nakon više od dva desetljeća primjena metodologije, utvrđeno je kako se za kvalitetnu implementaciju potrebno fokusirati na nekolicinu stavki od velikog značaja. Te su stavke slijedeće[1]:

1. Rukovodstvo. Ključna uloga rukovodstva je stvaranje jasne vizije za uspješnu provedbu Šest sigma metodologije i prijenos te vizije kroz cijelu organizaciju. Njihova primarna odgovornost je postavljanje Šest sigma ciljeva i napredaka koji se slažu sa dugoročnim ciljem poduzeća. To se postiže modificiranjem organizacije na način da slijeđenje Šest sigma načela svakom zaposleniku postaje rutina. Takvo ponašanje potiče se stvaranjem novih radnih mjesta, odjela, poticaja, nagrada i priznanja.
2. Infrastruktura. Potrebno je stvaranje infrastrukture koja podupire i omogućuje provođenje metodologije kroz cijelo poduzeće.
3. Komunikacija i svijest. Poduzimaju se koraci kako bi se sve razine poduzeća povezale. Njeguje se okružje koje potiče promjenu i kreativnost. Za uspješnu implementaciju potrebna je suradnja različitih odjela i njihovih zaposlenika, pa je međusobna komunikacija neizbježna.
4. Povratni sustav informacija od sudionika procesa. Bilo da se radi o kupcu, dobavljaču ili zaposleniku, potrebno je razvijati metode koje prikupljaju informacije i mišljenja istih o procesu u koji su uključeni.
5. Povratni sustav informacija iz procesa. Okosnica za ostvarivanje kontinuiranog napretka je praćenje ponašanja i uspješnosti procesa prikupljanjem izlaznih podataka.
6. Odabir projekta. Potrebno je odabrati pravi projekt kako bi se osiguralo ostvarenje cilja na pojedinoj razini organizacije uz pomoć zaposlenika s određenom razinom znanja.
7. Implementacija projekta. Za uspješnu provedbu Šest sigma projekta zaduženi su timovi na čelu s raznim „pojasevima“ ovisno o razini implementacije.

Za uočiti je kako se jedino potpunom predanošću cijeloga poduzeća i svih sudionika procesa može ostvariti zacrtani cilj.

6.1. Uloge prilikom implementacije

Jedna od velikih inovacija koju je Šest sigma donijela je uključivanje cijeloga poduzeća u svoje projekte unapređenja. Svrha toga je promoviranje Šest sigma načina razmišljanja kroz cijelu organizaciju kako bi ono postalo navika svakog zaposlenika.

Kako bi se to ostvarilo razvijena je hijerarhijska podjela koja pokriva sve razine organizacije. Svaka razina sastoji se od različitih timova s točno zacrtanim zadaćama. Na čelu svakog tima su vođe koje posjeduju određenu razinu znanja i vještina potrebnih za provođenje projekta na toj razini. Prikaz hijerarhije preuzete iz borilačkih vještina, prikazan je na Slici 11.



Slika 11. Hijerarhija uloga prilikom implementacije[14]

6.1.1. Vođa

Vođe su voditelji poslovanja čija je zadaća uspostavljanje poslovnih ciljeva i Šest sigma projekata kojima se ti ciljevi ispunjavaju. Oni razvijaju strategiju za provođenje pojedinog projekta i odabiru voditelje timova. Zaduženi se za stvaranje okružja u kojem je moguća komunikacija između timova, treniranje zaposlenika te ostvarivanje ciljeva. Aktivno sudjeluju u svakom projektu, a sam uspjeh projekta uvelike ovisi o njihovoj predanosti i uloženom vremenu.

6.1.2. Prvak

Prvaci projekta su menadžeri koji su zaduženi za upravljanje procesima velike važnosti za Šest sigma projekt. Njihova zadaća je ostvarivanje i održavanje kontinuiranog napretka procesa. Koordiniraju voditelje svih timova, osiguravaju napredak svih grana procesa i rade na uklanjanju prepreka za uvođenje Šest sigma razmišljanja u organizaciju.

6.1.3. Majstor crnog pojasa

Majstori crnog pojasa su pojedinci odgovorni za prevođenje zadanih globalnih ciljeva u Šest sigma strategije za pojedine odjele poduzeća. Predvodnici su unapređenja Šest sigma vještina unutar organizacije za sve hijerarhijski podređene „pojaseve“. Njihova krajnja odgovornost je osiguranje kvalitete, vrijednosti i održanja svakog projekta. Zaduženi su za stvaranje kulture koja cijeni otvorenost, kreativnost i napredak.

6.1.4. Crni pojas

Crni pojasevi su vođe projekata i mentori podređenih „pojaseva“. Imaju odgovornost izvršavanja specifičnih projekata i provjeravanja ostvarenih rezultata. Zaduženi za implementaciju i održavanje provedenih promjena. Vrlo su svestrani budući da su vješti u statističkoj analizi i upoznati s velikim brojem Šest sigma alata.

6.1.5. Zeleni pojas

Zeleni pojasevi su motori svih Šest sigma projekata. Odgovorni su za određivanje opsega primjene projekta, vođenje tima, pozivanje u pomoć kada je potrebno, upravljanje sučeljima i osiguravanje održivih rezultata. Njihov cilj je prilagođavanje Šest sigma vrijednosti pojedinim radnim okruženjima i problemima.

6.1.6. Žuti pojas

Žuti pojasevi posjeduju specifična znanja o karakteristikama pojedinih procesa i pružaju pomoć u održavanju ostvarenih napredaka. Odgovorni su za kvalitetu rada i rezultata ostvarenih u projektu. Igraju ključnu ulogu u prevođenju ostvarenih dobiti na ostala područja poslovanja nakon što je određeni projekt završen.

6.2. Šest Sigma metodologije

Metodologija Šest sigma fokusirana je na donošenje odluka za poboljšanje procesa temeljenih na provjerenim podacima. Ključno je prepoznati koji dio procesa je kritičan za kvalitetu istog kako bi se iz njega mogli izvući pripadajući podaci. Odluke koje se donose posljedica su detaljne statističke analize tih podataka. Sve odluke potrebno je kontinuirano provoditi te nalaziti nove načine za unapređenje procesa.

Kako bi se osiguralo slijedenje takvog načina primjene, razvijene su dvije metodologije:

1. DMAIC, koja se koristi u projektima poboljšanja postojećih poslovnih procesa.
2. DMADV, koja se koristi u projektima kojima se stvaraju novi proizvodi ili procesi.

6.2.1. DMAIC

DMAIC metodologija je ciklus poboljšanja, optimiziranja i stabilizacije postojećih procesa kroz 5 faza, a temelji se na podacima. Ime metodologije je skraćenica za 5 faza: Define, Measure, Analyse, Improve i Control. Kako bi primjena bila uspješno provedena potrebno je uključiti sve faze u danom redoslijedu.

1. DEFINE (Definiraj). Svrha ove faze je jasno definiranje poslovnog procesa, cilja primjene projekta, sudionika projekta, metrike kojom se može opisati uspješnost procesa i kupčevih zahtjeva. Neki od alata koji se koriste u ovoj fazi su: mapiranje toka vrijednosti, određivanje karakteristika kritičnih za kvalitetu (CTQ – Critical to Quality) i glas kupca (VOC – Voice of the Customer).
2. MEASURE (Izmjeri). Svrha ove faze je određivanje polazne osnove za daljnje unapređenje. To znači da se prikupljaju podaci kojima se može odrediti u kojem je trenutnom stanju proces kako bi se kasnije mogli usporediti s podacima o stanju nakon provedenih metoda poboljšanja. Zadatak timova je da odaberu prikladne podatke koji najbolje opisuju promatranu karakteristiku procesa i način prikupljanja tih podataka. Može se reći kako je ova faza srce DMAIC metodologije budući da je nemoguće ostvariti značajno poboljšanje bez kvalitetnih podataka. Neki od alata koji se koriste su: Pareto dijagrami, procjena sposobnosti procesa, deskriptivna statistika i „rudarenje“ podataka.

3. ANALYZE (Analiziraj). Svrha ove faze je identifikacija glavnih uzroka nesukladnosti na temelju prikupljenih podataka. Suradnjom timova prvo se popisuju svi potencijalni uzroci određenih posljedica, a zatim se izdvaja nekolicina glavnih uzroka te se proučava njihov utjecaj na metriku procesa. Neki alati koji se koriste su: FMEA analiza, Ishikawa dijagram i oluja mozgova (brainstorming).
4. IMPROVE (Unaprijedi). Svrha ove faze je odabir, testiranje i implementacija rješenja kojima se ostvaruje poboljšanje procesa. Primijenjena rješenja moraju eliminirati ključne uzroke nesukladnosti određene u prethodnoj fazi. Do rješenja se dolazi suradnjom cijelog tima kako bi se od svih predloženih odabralo optimalno rješenje. Alati koji se ovdje koriste su: planiranje i analiza pokusa (DOE – Design of Experiments), metode operacijskih istraživanja (npr. teorija igara) i simulacijski modeli.
5. CONTROL (Kontroliraj). Svrha ove faze je ugraditi promjene i osigurati njihovu održivost u procesu. U ovoj fazi izmjenjuju se načini rada, kvantificiraju i utvrđuju ostvarene prednosti, prati se napredak i službeno završava projekt. Alati koji se koriste su: kontrolne karte, 5S i Poka-yoke.

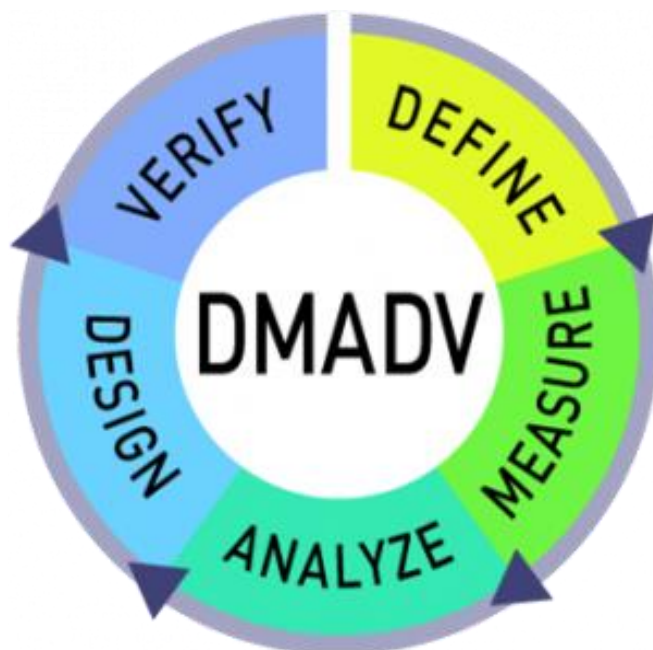


Slika 12. DMAIC metodologija[15]

6.2.2. DMADV

DMADV metodologija koristi se pri stvaranju novog procesa ili zamjeni neadekvatnog procesa. Cilj je kreirati proces koji u sebi ima implementirane Šest sigma vrijednosti. Takav proces razumije potrebe i očekivanja svojih kupaca od početka svoje konstrukcije kako bi kasnije mogao poslovati na visokoj razini kvalitete. Ime metodologije je skraćeno za 5 faza: Define, Measure, Analyze, Design i Verify. Kako bi primjena bila uspješno provedena potrebno je uključiti sve faze u danom redosljedu.

1. DEFINE (Definiraj). Definiraju se ciljevi koji se žele postići konstrukcijom novog procesa. Ti ciljevi moraju biti sukladni sa zahtjevima kupaca i ukupnom strategijom tvrtke.
2. MEASURE (Izmjeri). Odabiru se i mjere podaci koji najbolje opisuju karakteristike proizvoda kritične za kvalitetu.
3. ANALYZE (Analiziraj). Vršiti se analiza na temelju prikupljenih podataka kako bi se razvile razne alternative novih ili postojećih procesa i odabrala najbolja alternativa.
4. DESIGN (Konstruiraj). Obavlja se konstrukcija alternative koja je u prethodnoj fazi odabrana kao najbolja.
5. VERIFY (Provjeri). Kako bi se obavila provjera konstrukcije, ona se stavlja u probni rad. Novi proizvodni proces se implementira i predaje vlasnicima.



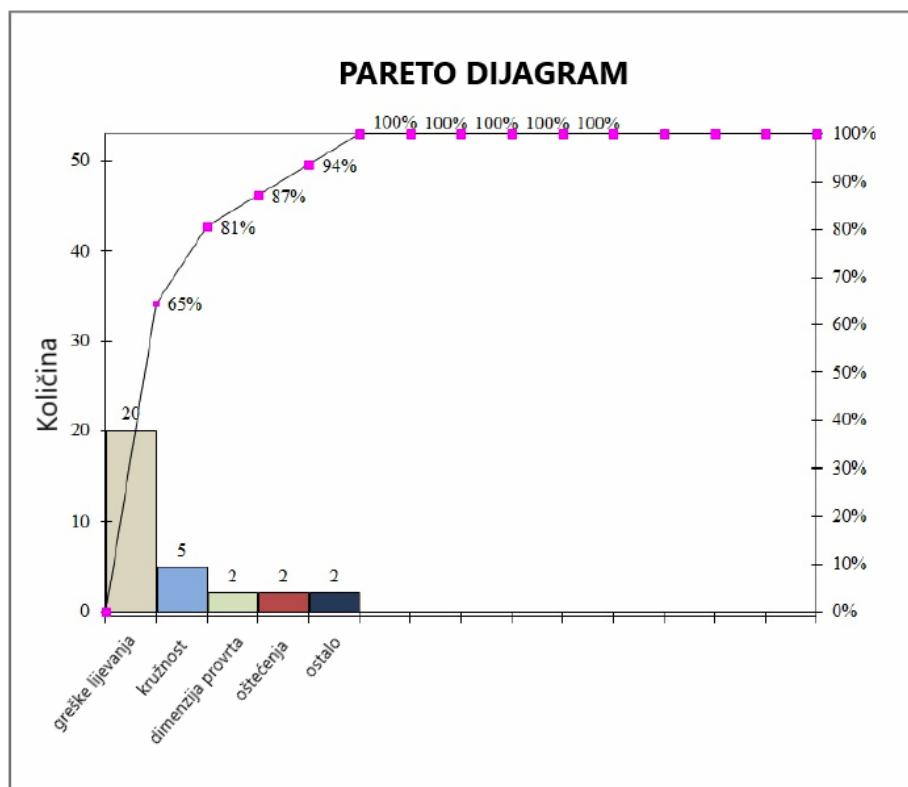
Slika 13. DMADV metodologija[15]

7. PRIMJER PRIMJENE METODOLOGIJE

Kao kratak primjer primjene 6 sigma metodologije i rezultata koji se mogu postići obradit će se studija koja je izvršena u PSG Industrial Institute pogonu za proizvodnju raznih vrsti pumpa. Uz pomoć DMAIC faza pokušalo se uočiti koji proizvod ne postiže zadovoljavajuću razinu kvalitete i koji su uzroci toga, te se analizom tih podataka nastojalo poboljšati proces proizvodnje tog dijela[16].

7.1. DEFINE faza

U „Define“ fazi uspostavila se komunikacija s kupcima kako bi se otkrilo koji su modeli pumpa najtraženiji i kakva su iskustva kupaca s proizvodom. Uočeno je da gotovo 80% prodaje čine centrifugalne pumpe i potopne pumpe, pa se za svrhu studije odlučilo detaljnije proučiti proces proizvodnje potopnih pumpi. Dio potopnih pumpi koji ima najveći broj grešaka je stupanjsko kućište. Analizom 750 proizvedenih stupanjskih kućišta, kao najčešći problemi navedene su greške prilikom lijevanja, kružnost dijela i dimenzija provrta nakon strojne obrade. Pomoću Pareto dijagrama dobiven je uvid u postotak koji pojedine greške čine.



Slika 14. Pareto dijagram zabilježenih grešaka[16]

Budući da se lijevanje odvija u sestrinskoj tvrtki, upućeno im je upozorenje na greške koje se pojavljuju, pa se kao glavni problem uzela kružnost dijela.

7.2. MEASURE faza

U „Measure“ fazi korišteni su podaci dobiveni iz mjerenja 750 dijelova te se pokušalo utvrditi koliko je proces proizvodnje uspješan, odnosno koliko nesukladnih dijelova generira, te na kojoj se sigma razini nalazi. Iz 750 ispitanih dijelova ukupno je nesukladnih bilo 31 što ukazuje da udio nesukladnih dijelova u odnosu na broj ispitanih (DPU) 0,0413. U obzir je uzeto 5 mogućnosti koje stvaraju nesukladne dijelove, pa udio nesukladnih dijelova u odnosu na mogućnosti koje dovode do nesukladnosti u uzorku (DPO) iznosi 0,00827. Iz toga proizlazi da je broj nesukladnih dijelova na milijun mogućnosti (DPMO) 8266,67. Temeljem tog broja može se zaključiti da se proces trenutno nalazi na 3,90 sigma razini što je značajno manje nego 6 sigma razina kojoj se teži.

7.3. ANALYZE faza

Kako bi se pokazala ozbiljnost greške kružnosti te njezin utjecaj na sigma razinu procesa urađena je FMEA analiza. U FMEA analizi navedene su sve greške koje se mogu pojaviti te su u obzir uzete njihove posljedice, uzorci i metode kojima se mogu uočiti greške kako bi se izračunala vrijednost prioriteta rizika (RPN). Iz provedene analize uočeno je kako je vrijednost prioriteta rizika za grešku kružnosti najveća i iznosi 252. Time je opravdan odabir greške kružnosti kao glavni fokus na početku provedbe DMAIC metodologije.

Tablica 4. FMEA[16]

Naziv procesa	Potencijalna greška	Potencijalna posljedica	Ozbiljnost	Pojavljivost	Primjetljivost	RPN
Vanjsko tokarenje	Kružnost	Nemogućnost montaže	9	7	4	252
	Hrapavost i ogrebotine	Trošenje dijela	7	4	5	140
Tokarenje provrta	Dimenzije provrta	Neispravan rad vratila, ogrebotine	6	4	5	120
Lijevanje	Poroznost	Neispravna površina	8	6	5	240

U suradnji s tehnolozima i operaterima strojeva izdvojena su 3 glavna uzroka: istrošenost alata, tlak prihvata stezne glave i dubina rezanja.

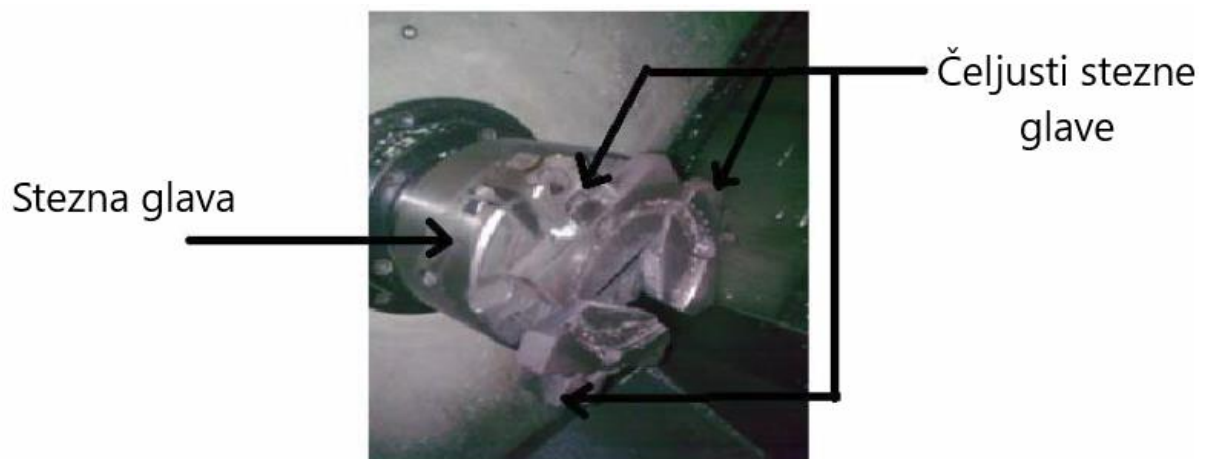
7.4. IMPROVE faza

Nakon što su u prethodnoj fazi utvrđeni glavni uzroci koji dovode do greške kružnosti, idući korak je poboljšavanje procesa proizvodnje i eliminiranje tih grešaka. Kako bi se to ostvarilo planiran je i proveden pokus kojim su korišteni različiti iznosi parametara tlaka prihvata stezne glave, dubine rezanja i istrošenosti alata prilikom obrade, te su mjereni izlazni podaci o kružnosti. Na temelju pokusa utvrđeno je da je odstupanje od kružnosti minimalno (iznosi 0,01 mm) kada je tlak prihvata 12 bara, dubina rezanja 2 mm i istrošenost alata maksimalno 15 ili 16 μm .

Tablica 5. Parametri provedenog pokusa[16]

Broj pokusa	Tlak prihvata stezne glave (bar)	Dubina rezanja (mm)	Istrošenost alata (μm)	Kružnost (mm)
1	12	2	15	0.01
2	12	2	16	0.01
3	12	3	15	0.04
4	12	3	16	0.03
5	13	2	15	0.02
6	13	2	16	0.02
7	13	3	15	0.04
8	13	3	16	0.03

Uočeno je da su čeljusti koje se koriste na steznim glavama neprikladne za ovu vrstu proizvoda. Stezne čeljusti bile su male debljine (5 mm), pa su operateri zbog ograničene površine prihvata primjenjivali velike tlakove. Upravo zbog toga dolazilo je do neravnomjerne raspodjele tlaka na površini i deformacija koje su dovodile do greške kružnosti. Zbog toga je konstruirana stezna glava s povećanom površinom prihvata kako bi tlak bio ravnomjerno raspodijeljen.



Slika 15. Konstruirana stezna glava[16]

Također, kako bi se eliminirale greške nastale prilikom lijevanja, predloženo je zapošljavanje tima za nerazorna ispitivanja.

7.5. CONTROL faza

Kako bi se osigurala kontinuirana provedba predloženih rješenja voditelji proizvodnje trebaju pratiti operatere i kontrolirati pridržavaju li se novih režima proizvodnje. Potrebno je osigurati prostoriju u kojoj bi tim za nerazorna ispitivanja provodio kontrolu dijelova koji dolaze iz procesa lijevanja i izuzimao nesukladne dijelove iz proizvodnje. Ako bi se uspješno eliminirala greška kružnosti sigma razina bi porasla na 3,97.

8. IMPLEMENTACIJA ŠEST SIGMA U PROIZVODNI PROCES PODUZEĆA FERIOIMPEX D.O.O.

Kako bi se demonstrirala uspješnost metodologije na realnome primjeru razradit će se koncept uvođenja u poduzeće Feroimpex d.o.o. Snimanjem realnog stanja bit će odabran određen segment poslovanja na kojem će se izvršiti implementacija pomoću DMAIC metodologije.

8.1. Poduzeće Feroimpex d.o.o.

Poduzeće Feroimpex započelo je s radom 1976. godine kao mala bravarska radionica baveći se proizvodnjom vijaka i opruga. Danas je to moderno poduzeće s više od 360 zaposlenih, prisutno na hrvatskom i europskom tržištu. Proizvodni program obuhvaća proizvodnju ležajeva, dijelova za automobilsku i željezničku industriju, proizvodnju alata, te komponente ležajeva za vjetroelektrane. Tehnologija poduzeća uključuje strojnu obradu (tokarenje, glodanje, brušenje, bušenje, piljenje, blanjanje) i toplinsku obradu[17].



Slika 16. Valjak ležaja[17]



Slika 17. Željezničke komponente[17]



Slika 18. CNC tokarilica[17]



Slika 19. Peći za kaljenje[17]

8.2. Implementacija DMAIC metodologije

Prilikom snimanja stanja proizvodnje uočeno je kako je kod velike većine proizvoda glavni problem pojave škarta greška na otkivku koji se naručuje kao polazni materijal za obradu od drugih poduzeća. Greške koje se najčešće pojavljuju su nedostatak i neujednačenost dodatka materijala za obradu na otkivku. Na pojavu tih grešaka nemoguće je utjecati, već se jedino može obavljati reklamacija škartnih dijelova kako bi se pokrili nastali troškovi prilikom obrade takvih dijelova. Iz tog razloga je za implementaciju odabran proces obrade zupčanika kod kojega je dobavljač otkivaka pouzdan, pa veći udio čine greške koje se pojavljuju iz drugih razloga.

8.2.1. DEFINE faza

Za implementaciju metodologije odabran je proces obrade Sona zupčanika tip 7568. Kako bi se bolje upoznao proces izrađen je SIPOC dijagram (Supplier-Input-Process-Output-Customer/Dobavljač-Ulaz-Proces-Izlaz-Kupac).

Tablica 6. SIPOC dijagram procesa

Dobavljač	Ulaz	Proces	Izlaz	Kupac
Poduzeće Sona	Broj komada	Zaprimanje narudžbe	Sona zupčanik tip 7568	Poduzeće Sona
	Rok isporuke	Zaprimanje otkivaka		
	Način pakiranja	Tokarenje		
		Skidanje srha		
	Otkivak zupčanika za obradu	Konzerviranje, pakiranje		
	Isporuka			

Proces započinje zaprimanjem narudžbe od poduzeća Sona u kojoj je jasno specificiran broj komada koji se naručuje, način pakiranja i rok isporuke. Kada se narudžba potvrdi Sona isporučuje otkivke koji ulaze u proces kako polazni materijal. Tada kreće tokarenje otkivaka, a nakon toga skidanje srha. Izlaz iz procesa je zupčanik koji se pakira i konzervira prema napucima Sone. Zadnji korak procesa je isporuka kupcu odnosno Soni.



Slika 20. Sona zupčanik tip 7568

Šest sigma metodologija fokusira se na kupca i njegove zahtjeve za proizvod. Kako bi se ti zahtjevi odredili i za ovaj proces korišten je alat VOC (engl. Voice of the customer - Glas kupca). Kupac koji je određen u prethodnom koraku, Sona, zahtjeva isporuku 100% ispravnih komada budući da se zupčanici kasnije koriste kod automobila i svaka greška može rezultirati ozljedama ljudi i stvaranjem iznimno velikih troškova. Zbog toga prilikom narudžbe Sona šalje nacrt dijela na kojem su naznačene kote koje treba mjeriti na komadima. Za svaku kotu je naznačeno mjeri li se na svakom komadu ili uzorkovanjem.

Nakon što su definirani zahtjevi kupca, idući korak je određivanje karakteristika proizvoda koje su kritične za ostvarivanje tih zahtjeva. Pomoću alata CTQ (engl. Critical to Quality - Kritični za kvalitetu) dolazi se do zaključka kako su te karakteristike upravo mjere koje treba kontrolirati na proizvedenim komadima. Posebnu pažnju treba pridati mjerama koje je potrebno 100% kontrolirati, odnosno na svakom komadu. Kako bi sve mjere bile ispravne potrebno je razraditi tehnološki proces kojim će se komadi izraditi, postaviti operatera na stroju koji će znati pravilno primijeniti tehnologiju te osigurati pouzdanu kontrolu komada.

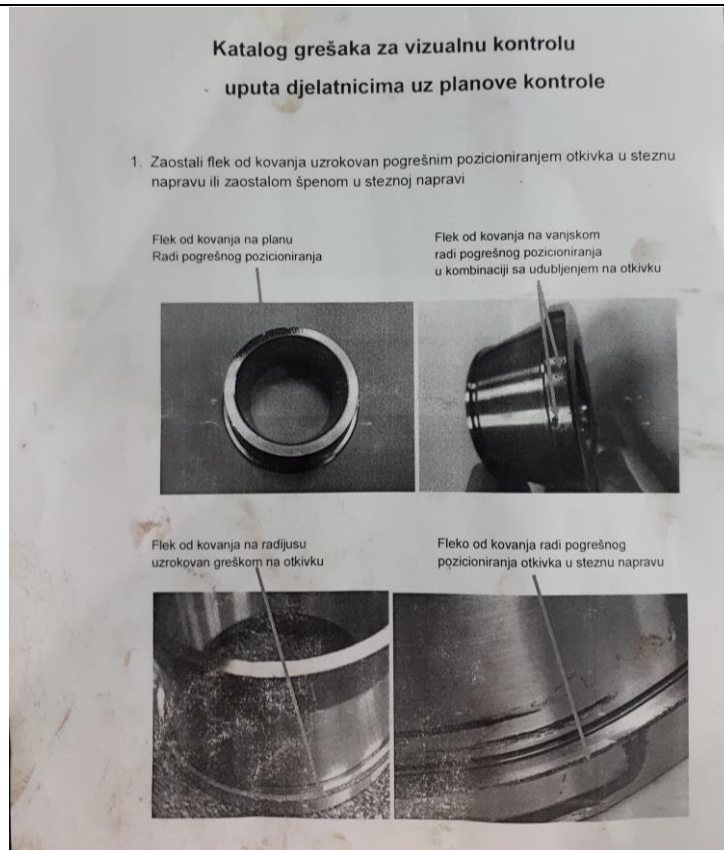
Završni korak ove faze je začetak Šest sigma projekta u kojemu su jasno definirani problem procesa te ograničenja, cilj i sudionici projekta. Pregled projekta dan je u Tablici 7.

Tablica 7. Dijagram projekta implementacije

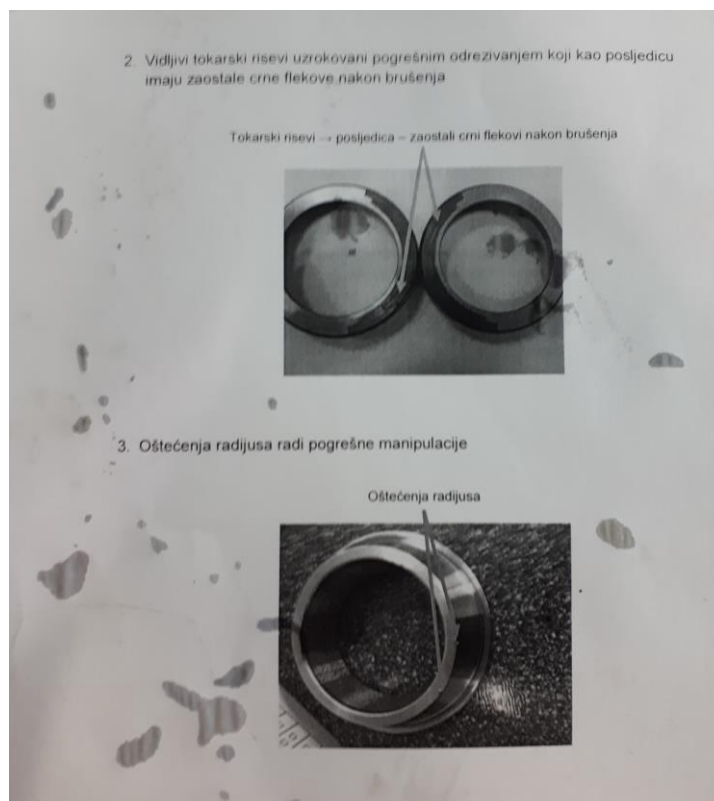
Naziv projekta: Sona zupčanik - Feroimpex			
Problem	Ograničenja	Cilj	Sudionici
U poduzeću Feroimpex obrađuju se Sona zupčanici. Prilikom obrade pojavljuje se veći broj škarta.	Troškovi proizvodnje ne smiju se povećati. Predložena poboljšanja razmatrat će se teoretski te je moguće da će u budućnosti biti realizirana.	Utvrđiti koje vrste grešaka uzrokuju škart. Predložiti rješenja za smanjivanje učestalosti pojave tih grešaka.	Dominik Brumen, Daniel Franz Grgečić, Darko Džeba, Boris Kralj

8.2.2. MEASURE faza

Kako bi se moglo utvrditi trenutačno stanje procesa potrebno je prikupiti podatke o istom. U slučaju procesa obrade zupčanika bilježi se ukupan broj škarta koji se pojavio te se zapisuje greška koja je to uzrokovala. Mjerenje se vrši pomoću mjernih instrumenata (mjerne ure/komparatori) koje šalje poduzeće Sona, a svaki instrument umjeren je točno za određen proizvod, u ovome slučaju zupčanik tip 7568. Uz mjerenje obavlja se i vizualna kontrola nakon obrade prema naputcima sa Slika 20. i 21. kako bi se uočile „fleke” nastale zbog kovanja ili oštećenja nastala zbog pogrešne manipulacije. Sva mjerenja prvo obavlja operater na stroju, odvaja škartne komade te zapisuje koja greška je uzrok škarta. Nakon toga odjel kontrole obavlja dodatan pregled komada. Na temelju podataka dobivenih mjerenjem moći će se uočiti udjeli pojedinih grešaka, te prevladava li koja greška nad ostalima. Također, pomoću istih podataka moći će se odrediti sigma razina na kojoj se proces trenutačno nalazi kako bi se utvrdila njegova uspješnost.



Slika 21. Katalog grešaka za vizualnu kontrolu 1. dio



Slika 22. Katalog grešaka za vizualnu kontrolu 2. dio

Serijski zupčanici kod kojih su se podaci mjerili sadržavali su ukupno 1406 komada od kojih je 1353 komada bilo ispravno, dok je 53 komada klasificirano kao škart. Greške koje su uzrokovale škartne komade su visina dijela (Slika 23. lijevo), hrapavost dijela (Slika 23. desno) te greške otkivka. Broj pojedinih grešaka te njihovi udjeli dani su u Tablici 8.

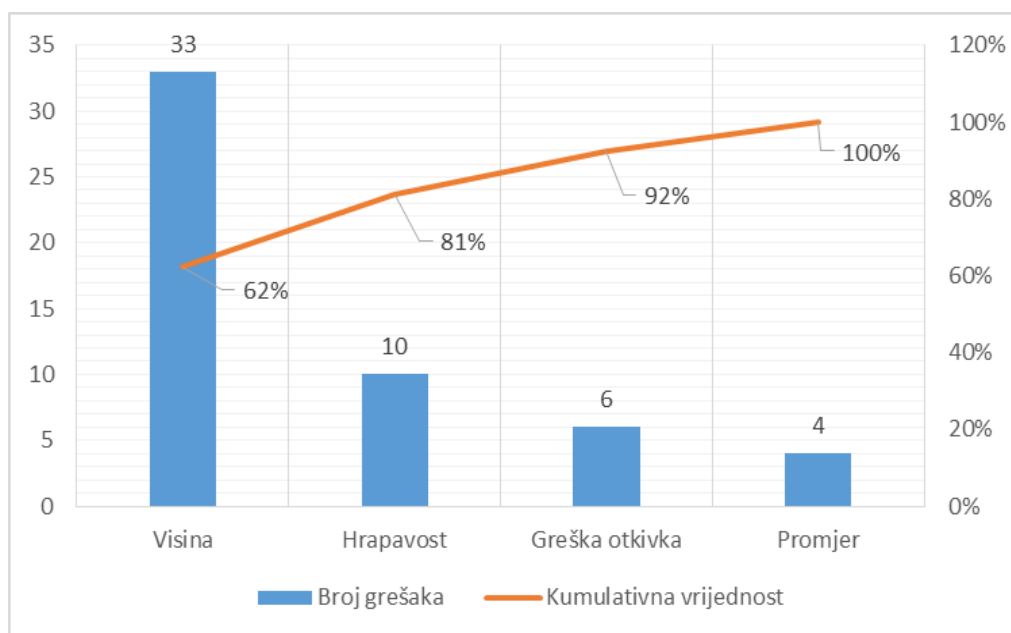


Slika 23. Greške visina i hrapavost na zupčanicima

Tablica 8. Rezultati provedenog mjerenja

Ukupan broj proizvedenih zupčanika = 1406				
Naziv greške	Broj komada s navedenom greškom	Postotni udio greške	Kumulativna frekvencija greške	Kumulativni postotni udio greške
Visina	33	62	33	62
Hrapavost	10	19	43	81
Greška otkivka	6	11	49	92
Promjer provrta	4	8	53	100

Temeljem dobivenih podataka jasno je vidljivo kako većinu grešaka čini visina sa 33 komada i udjelom od čak 62%. Slijede ju hrapavost sa 10 komada i udjelom od 19%, greška otkivka sa 6 komada i udjelom od 11% te promjer provrta sa 4 komada i udjelom od 8%. Putem Pareto dijagrama dobiven je jasan grafički prikaz dobivenih rezultata mjerenja.



Slika 24. Pareto dijagram rezultata mjerenja

Nakon što je izvršeno mjerenje moguće je utvrditi trenutno stanje procesa. Kako bi se izračunalo na kojoj se sigma razini nalazi odredit će se metrike DPU, DPO i DPMO. Podaci potrebni za izračun su broj nesukladnih komada (53), ukupan broj komada (1406) te broj mogućih nesukladnosti (4, vrste grešaka koje se pojavljuju).

$$DPU = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{ukupan broj jedinica u uzorku}} = \frac{53}{1406} = 0,0377$$

DPU prikazuje udio nesukladnih jedinica u promatranom uzorku i iznosi 0,0377.

$$DPO = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{moguće nesukladnosti} \times \text{broj jedinica u uzorku}} = \frac{53}{4 \times 1406} = 0,009424$$

DPO prikazuje udio nesukladnih jedinica u ukupnom broju mogućih nesukladnosti u uzorku i iznosi 0,009424

$$DPMO = DPO \times 1000000 = 0,009424 \times 1000000 = 9424$$

DPMO prikazuje broj nesukladnih jedinica koje će se pojaviti u procesu na milijun mogućnosti i iznosi 9424.

Uzimajući Tablicu 3. moguće je uočiti kako se proces sa 9424 nesukladnosti na milijun mogućnosti nalazi između 3 i 4 sigma razine. Točnije, koristeći *Kalkulator sigma razine* [2] moguće je utvrditi da se proces nalazi na 3,85 sigma razini. Trenutna razina daleko je niža od 6 sigma i proces generira relativno veliku količinu škarta, pa će se stoga analizirati uzroci nastajanja ovih grešaka kako bi se predložili načini poboljšanja procesa i smanjenja broja nastalih grešaka.

8.2.3. ANALYZE faza

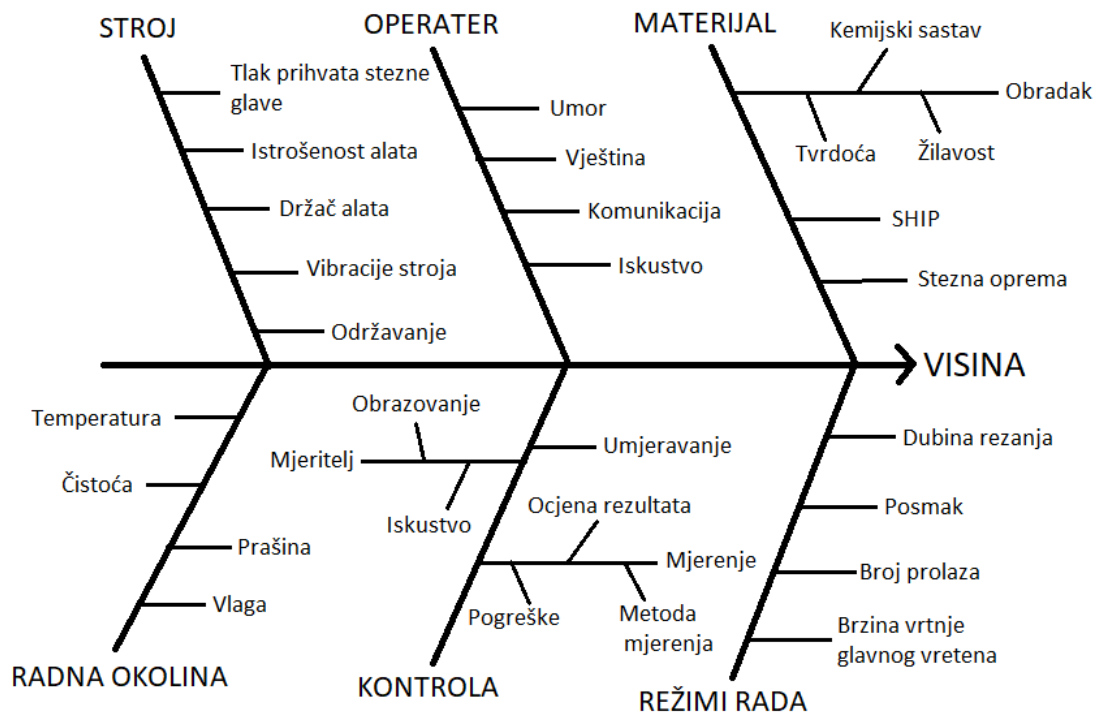
Kako bi se mogle predložiti metode poboljšanja potrebno je utvrditi glavne uzroke pojave pojedinih grešaka. U suradnji sa sudionicima projekta provedena je FMEA analiza kako bi se za zabilježene greške otkrile potencijalne posljedice i uzroci, te proračunale vrijednosti prioriteta rizika (RPN). Vrijednost prioriteta rizika izračunava se umnoškom ozbiljnosti, učestalosti i primjetljivosti pojedine greške. Što je veći iznos RPN greška ima ozbiljnije posljedice, češće se pojavljuje i teže ju je primijetiti. Rezultati provedene analize dani su Tablici 9.

Tablica 9. Provedena FMEA analiza

FMEA								
Proces	Pot. greška	Pot. posljedica	Ozbiljnost	Pot. uzrok	Učestalost	Detekcija	Primjetljivost	RPN
Vanjsko tokarenje	Visina	Nemogućnost brušenja, otežana montaža	10	Pucanje pločice, korekcije alata	8	Mjerni instrumenti	2	160
	Hrapavost	Povećano trenje, gubitci	10		4		3	120
Unutarnje tokarenje	Promjer provrta	Neispravna montaža na vratilo, greške u radu	10		2		2	40
Kovanje	Otkivak	Nemogućnost obrade, viz. šteta	10	Temperatura prilikom kovanja, centriranost alata	3	Vizualna kontrola, prilikom stezanja	4	120

Sve zabilježene greške posjeduju maksimalnu ozbiljnost budući da se zupčanik koristi kod automobila i ako se dio sa greškom ugradi uzrokuje iznimno velike troškove. Greška visine dijela posjeduje najveću vrijednost prioriteta rizika (160) budući da se najčešće pojavljuje, ali ju je lakše primijetiti. Slijede ju greška otkivka i hrapavost, sa istom vrijednošću prioriteta rizika (120), koje se rjeđe pojavljuju, ali ih je teže primijetiti. Greška promjera provrta ima najmanju vrijednost prioriteta rizika (40) budući da se iznimno rijetko pojavljuje i lako ju je primijetiti.

Greška visine pokazala se kao najveća prepreka za kvalitetu proizvoda, pa je provedena detaljnija analiza uzroka te greške. Prateći tok obrade na radnom mjestu, zajedno sa sudionicama projekta izrađen je Ishikawa dijagram (Slika 25.) u kojem su navedeni svi mogući uzroci greške visine dijela. Uočeno je da je uzrok pojave grešaka hrapavosti i promjera provrta identičan, međutim pločica koja obavlja vanjsko tokarenje i tokari površinu na kojoj se mjeri visina obrađuje veću količinu površine. Zbog toga dolazi do njenog bržeg trošenja, pa se greška visine pojavljuje češće nego ostale.



Slika 25. Ishikawa dijagram za grešku visine dijela

Prateći rad operatera i tijek procesa obrade uočeno je kako se greške najčešće pojavljuju zbog pucanja ili istrošenosti reznog alata te prekomjernih korekcija alata. Zadatak operatera na stroju je prepoznati kada je pločica istrošena te promijeniti vrh ili cijelu pločicu. Velik utjecaj na brzinu trošenja i opterećenje reznog alata imaju zadani režimi rada. Ukoliko se promjena ne učini pravovremeno dolazi do neispravne obrade ili pucanja pločice. Također, uslijed trošenja pločice operateri često vrše brojne korekcije alata kako bi produljili njegov radni vijek. Primijećeno je da operateri znaju zaboraviti koliko su korekcija alata napravili i koje su vrijednosti koristili prilikom korekcije što ponovno dovodi do neispravne obrade dijela i pojave škarta. Do navedenih grešaka prilikom rada na stroju dolazi zbog nedostatka iskustva, komunikacije i vještine operatera.

Operateri strojeva su ujedno i mjeritelji budući da na radnome mjestu posjeduju mjerne instrumente kojima provjeravaju zadane dimenzije. Samim time veća je vjerojatnost pojave pogrešnih mjerenja zbog nedovoljnog iskustva i obrazovanja o mjernim metodama i načinu mjerenja.

Analizirajući izrađeni dijagram i zabilježena opažanja izdvojeno je nekoliko glavnih uzroka:

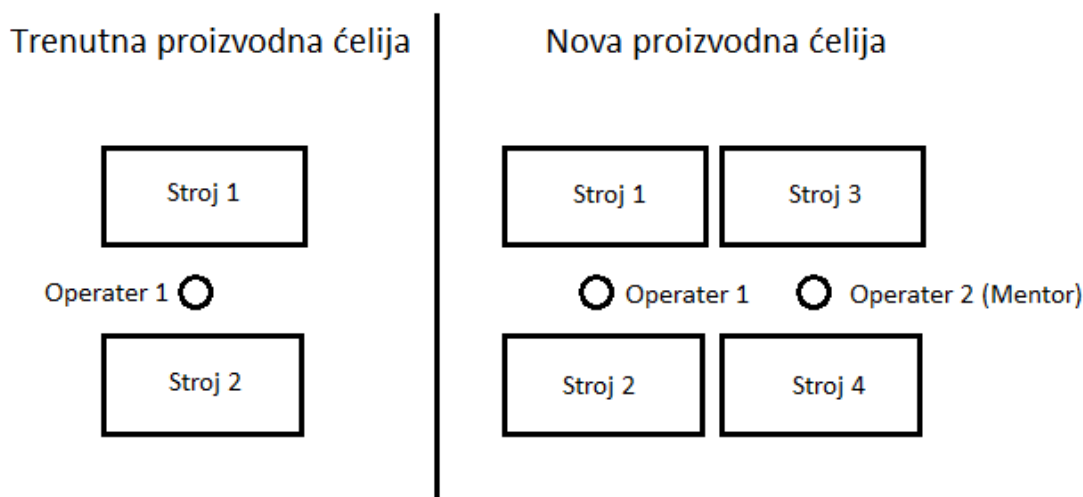
- Vještina, komunikacija i iskustvo operatera
- Obrazovanje i iskustvo mjeritelja
- Istrošenost, pucanje i korekcije reznog alata

8.2.4. IMPROVE faza

Kako bi se smanjio broj grešaka koje se pojavljuju zbog navedenih uzorka predložena su sljedeća poboljšanja:

- 1) Prvo poboljšanje koje se predlaže je promjena proizvodne ćelije. Trenutna proizvodna ćelija sastoji se od dva stroja na kojima radi jedan operater. Ukoliko je taj operater neiskusniji često radi više pogrešaka kao što su neprepoznavanje istrošenosti alata koje dovodi do pucanja pločica, te prevelik broj napravljenih korekcija. Nova proizvodna ćelija sastojala bi se od četiri stroja i dva radnika. Jedan od radnika bio bi iskusniji i preuzeo ulogu mentora za drugog neiskusnijeg. Takvim rasporedom ne bi se gubilo vrijeme i zaustavljala proizvodnja kako bi neiskusniji radnik tražio savjete i odgovore na probleme koje susreće prilikom rada. Mentor može radniku tijekom

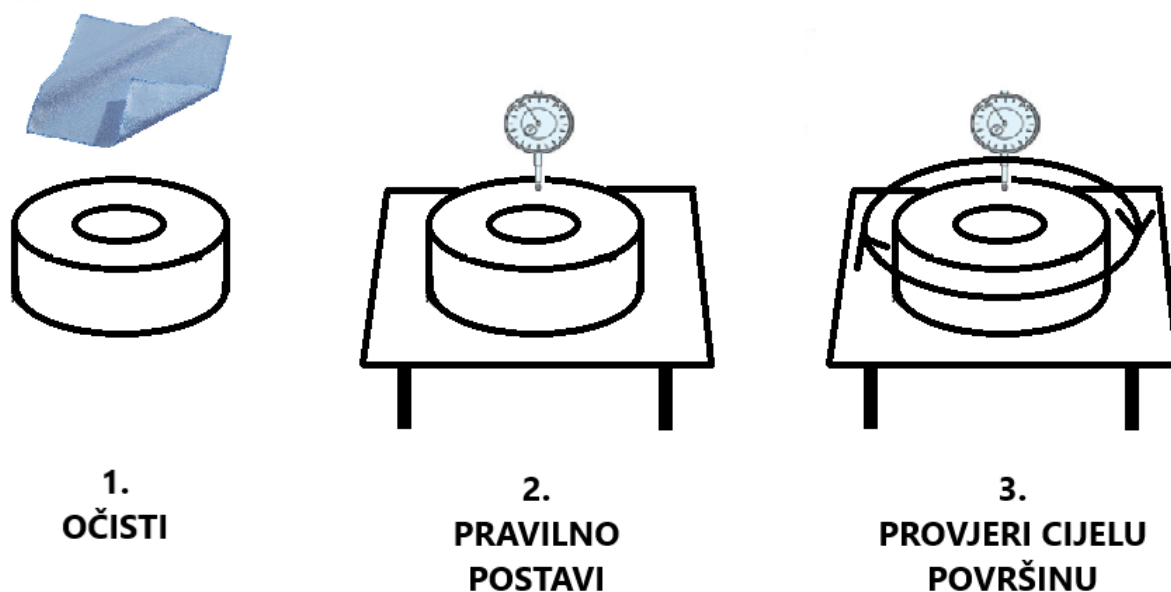
samog proizvodnog procesa davati savjete kako bi postao sigurniji u svoj rad i ispravio pogrešan način rada. Bez potrebe za zaustavljanjem procesa ne dolazi do pada produktivnosti. Nije potrebno promijeniti izgled svih ćelija, već samo nekoliko gdje bi neiskusni radnici mogli duže razdoblje učiti od mentora i uhodavati se u proizvodni proces.



Slika 26. Trenutna i nova proizvodna ćelija

- 2) Drugo poboljšanje fokusira se na eliminiranje grešaka koje operateri rade prilikom kontrole dijelova. Česta pogreška koja se događa je da radnici zaborave očistiti emulziju i ostatke odvojenih čestica s dijela, pa dobivaju pogrešne rezultate mjerenja. Misleći da je uzrok tomu istrošenost alata unose nepotrebne korekcije koje dodatno pogoršavaju stvar. Druga pogreška su neispravno provedena mjerenja gdje operater ne rotira dio koji mjeri za 360°, pa kontrolira samo dio visine ili promjera dijela. Moguće je da dio ne zadovoljava traženu dimenziju unutar tolerancija na nekom drugom području i spada u škart, a radnik klasificira komad kao ispravan. Ukoliko kontrola ne uoči grešku isporučuje se neispravan komad, što može rezultirati reklamacijom cijele serije i nepotrebnim povećanjem troškova. Kako bi se ove greške izbjegle predlaže se uvođenje vizualnih podsjetnika na stolove za mjerenje kako bi se podsjetilo operatere da:

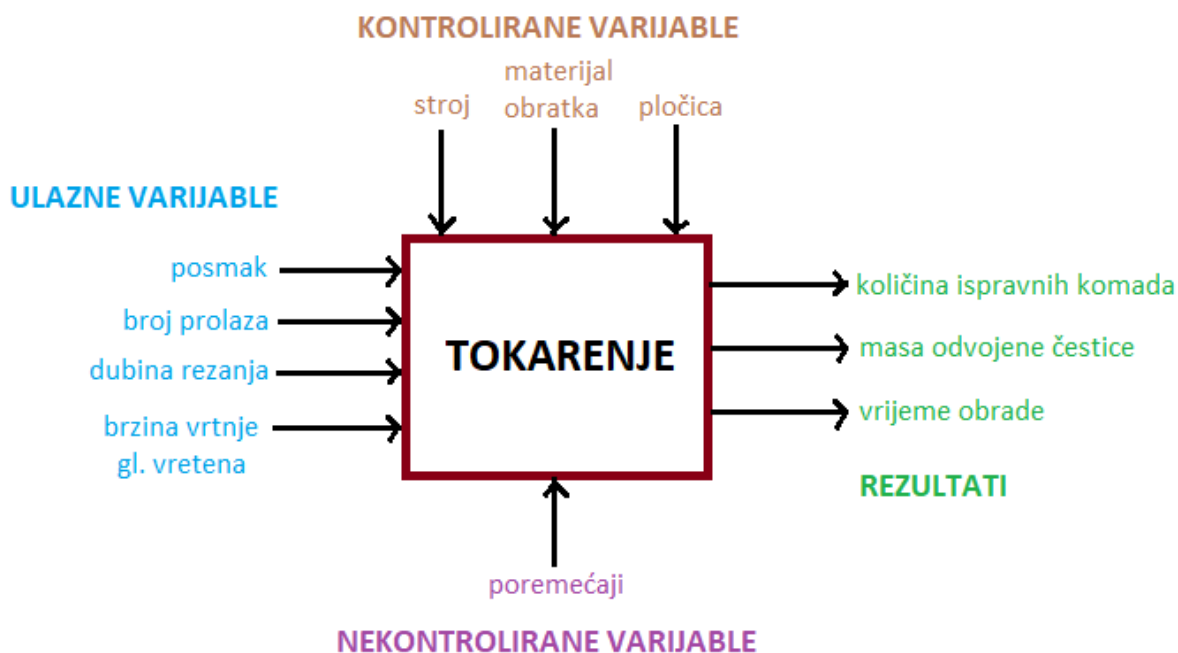
1. Očiste i obrišu komad nakon završetka obrade,
2. Pažljivo polože na mjerni stol,
3. Pravilno izvrše mjerenje rotiranjem komada za 360°.



Slika 27. Vizualni podsjetnik za pravilno mjerenje

Uvođenjem prvog predloženog rješenja, iskusniji radnici također mogu provjeravati način mjerenja drugog operatera iz ćelije, te ga ispravljati u pogrešnome radu kako bi razvio ispravne navike. Time promjena izgleda ćelije može pozitivno utjecati na smanjenje utjecaja dva uzroka grešaka.

- 3) Treće poboljšanje odnosi se na pokušaj optimiziranja režima rada kako bi se smanjila brzina trošenja pločica, a samim time produljio njihov vijek trajanja. Način na koji bi se odredili optimalni režimi rada bio bi provođenjem pokusa. Ulazne varijable u pokusu bile bi posmak, broj prolaza i dubina rezanja alata, te brzina vrtnje glavnog vretena. Kao izlazna varijabla mjerio bi se broj ispravnih komada koje pločica može proizvesti prije potpune istrošenosti. U obzir treba uzeti i vrijeme potrebno za izradu komada kako ne bi došlo do značajnog pada produktivnosti. Ukoliko se pokus ispravno provede povećao bi se broj ispravnih komada koje pločica može proizvesti te smanjila brzina trošenja pločice. Posljedica toga je manji broj pucanja pločica i provođenja korekcija alata čime se smanjuje mogućnost operatera da učini pogrešku u radu.



Slika 28. Model predloženog pokusa

Ukoliko se greške visine i hrapavosti dijela te promjer provrta poboljšanjima u potpunosti eliminiraju, u cijeloj seriji od 1406 komada teoretski bi se pojavilo samo 6 grešaka otkivka. Tada bi ukupan broj nesukladnosti bio 6, dok bi broj komada u uzorku (1406) i broj mogućih grešaka (4) ostali isti. DPU, DPO i DPMO metrika bi tada iznosila:

$$DPU = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{ukupan broj jedinica u uzorku}} = \frac{6}{1406} = 0,00427$$

$$DPO = \frac{\text{broj nesukladnih jedinica u uzorku}}{\text{moguće nesukladnosti} \times \text{broj jedinica u uzorku}} = \frac{6}{4 \times 1406} = 0,001067$$

$$DPMO = DPO \times 1000000 = 0,001067 \times 1000000 = 1067$$

Pomoću *Kalkulatora sigma razine procesa*[2], utvrđeno je kako bi se poboljšani proces sa 1067 nesukladnosti na milijun mogućnosti nalazio na 4,57 sigma razini što je značajan napredak u odnosu na početno stanje procesa.

8.2.5. CONTROL faza

Zadaća ove faze je osigurati da se predložena poboljšanja ugrade i održe u proizvodnji. Kako bi to bilo moguće potrebno je promijeniti načine rada odnosno razviti nove ispravne navike kod operatera. Alat koji se predlaže za ostvarivanje tih ciljeva je 5S, koji se sastoji od slijedećih 5 faza[18]:

1. Sortiranje. Identifikacija stvari koje ometaju protočnost rada i uzrokuju pojavu grešaka, te njihova eliminacija iz radnog prostora.
2. Red. Sistematsko slaganje stvari koje se koriste u radu tako ih se može lako pronaći i jednostavno koristiti. Svaki predmet koji se koristi u radi ima svoje mjesto, što rezultira boljom organizacijom radnog mjesta.
3. Čišćenje. Stvari i radni prostor treba održavati i čistiti. Potrebno kontinuirano čistiti kako bi se razvila navika.
4. Standardizacija. Uspostavljanje standardnih rutina koje se pretvaraju u navike. Najbolje je provoditi ovu fazu postavljanjem pisanih standarda i uočljivih natpisa.
5. Samodisciplina. Prilagođavanje novonastalim uvjetima i shvaćanje važnosti održanja novog načina rada.



Slika 29. 5S faze[19]

Faze koje su iznimno bitne za održavanje i uvođenje novog načina rada u predloženim poboljšanjima su standardizacija i samodisciplina. Primjena predloženih vizualnih natpisa kojima se radnika upozorava na provođenje pravilnog načina mjerenja primjer je standardizacije procesa mjerenja i pokušaja stvaranja novih ispravnih navika. Kroz fazu samodiscipline operater treba shvatiti važnost obavljanja rada na novi ispravan način i promicati takav način rada kroz cijelo poduzeće.

Također, predlaže se daljnje mjerenje i bilježenje količine škartnih komada i karakteristika zbog kojih je komad označen kao škart. Poželjno je i zapisivanje rednog broja škartnog komada u proizvodnom procesu kako bi se dobila poveznica sa okvirnim brojem ispravnih komada koje pločica može proizvesti. Dobiveni podaci uspoređuju se s brojem ispravnih komada koje bi pločica trebala proizvesti temeljem predloženog pokusa.

9. ZAKLJUČAK

Šest sigma metodologija već dugi niz godina dokazuje svoju vrijednost u brojnim svjetskim kompanijama. Fokusirajući se na kupca i njegove zahtjeve od proizvoda ili usluga revolucionirala je način na koji se proizvodni proces sagledava. Cilj metodologije je podići kvalitetu procesa tako da se broj nesukladnosti smanji na 3,4 na milijun mogućnosti. Putem razrađenih koraka DMAIC ili DMADV faza proces se analizira te se pronalaze njegove slabosti kako bi se shvatile neiskorištene mogućnosti procesa i podigla razina kvalitete. Koristeći pritom razne vrste statističkih alata, odluke o načinima poboljšanja donose se temeljem provjerenih podataka o stanju procesa. Kvalitetnijim i pouzdanijim proizvodom tvrtke postaju konkurentnije na tržištu i privlače veći broj kupaca, čime posljedično raste njihova dobit.

Konceptom implementacije Šest sigma metodologije u poduzeće Feroimpex jasno je prikazan način funkcioniranja te mogući rezultat koji se postiže. Koristeći DMAIC metodologiju moguće je razraditi postepenu strategiju poboljšanja procesa (KAIZEN). S obzirom na zahtjeve na kvalitetu od strane naručitelja (nulti defekt) samim primicanjem 6 sigma razini kvalitete za pretpostaviti je da će proces biti značajno poboljšan.

Definiranjem cilja projekta može se započeti s prikupljanjem prikladnih podataka kojima se dobiva uvid u realno stanje procesa i nesukladnosti koje se u njemu pojavljuju. Temeljem tih podataka moguće je odrediti uzroke pojave pojava nesukladnosti i pronaći optimalne promjene kojima će se proces unaprijediti. Ključ svake implementacije je osiguravanje da će se predložena poboljšanja uvesti i održati u samome procesu.

LITERATURA

- [1] Pyzdek, T., Keller, P.: The Six Sigma Handbook 3E, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.
- [2] <https://www.isixsigma.com/> (zadnji pristup: 18.2.2019.)
- [3] Baird, C.: The Six Sigma Manual for Small and Medium Businesses, Atlantic Publishing Group, Inc., 2009.
- [4] <https://www.leansixsigmainstitute.org/> (zadnji pristup: 11.2.2019.)
- [5] Cajner, H.: Inženjerska statistika – predavanja
- [6] <https://www.qualitydigest.com/> (zadnji pristup: 12.2.2019.)
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma (zadnji pristup: 12.2.2019.)
- [8] <http://epbsi.com/> (zadnji pristup: 12.2.2019.)
- [9] <https://quality-one.com/> (zadnji pristup: 12.2.2019.)
- [10] Runje, B.: Kontrola kvalitete – predavanja
- [11] Pyzdek, T., Keller, P.A.: Quality Engineering Handbook, Marcel Dekker, Inc., 2003.
- [12] <http://www.npd-solutions.com/> (zadnji pristup: 13.2.2019.)
- [13] <http://www.statisticalprocesscontrol.info/index.html> (zadnji pristup: 14.2.2019.)
- [14] <https://www.sixsigma-institute.org/index.php> (zadnji pristup: 14.2.2019.)
- [15] <https://www.sixsigmadaily.com/> (zadnji pristup: 14.2.2019.)
- [16] Prabu, K., Makesh, J., Naveen Raj, K., Devadasan, S.R.: Six Sigma implementation through DMAIC: a case study, Inderscience Enterprises Ltd., 2013.
- [17] http://feroimpex.hr/?page_id=3306&lang=hr-2 (zadnji pristup: 16.2.2019.)
- [18] Štefanić, N.: Proizvodni menadžment – predavanja
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/5S_\(methodology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/5S_(methodology)) (zadnji pristup: 18.2.2019.)

PRILOZI

I. CD-R disc