Kontrola kvalitete u postupku izrade ventila

Stipić, Maria Magdalena

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:235:640608

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Maria Magdalena Stipić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Biserka Runje
Dr. sc. Amalija Horvatić Novak

Student:

Maria Magdalena Stipić

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Biserki Runje i komentorici dr.sc. Amaliji Horvatić Novak na savjetima i pruženoj pomoći te djelatnicima i vlasniku poduzeća IMG Zagreb d.o.o. na suradnji prilikom izrade ovog rada.

Hvala mojim roditeljima, braći i dečku što su mi bili velika podrška.

Maria Magdalena Stipić

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: **Maria Magdalena Stipić** Mat. br.: 0035201476

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Kontrola kvalitete u postupku izrade ventila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Quality control in the valve manufacturing process**

Opis zadatka:

Proizvodni program poduzeća IMG iz Zagreba uključuje izradu visokotlačnih i niskotlačnih ventila. Upravljanje kvalitetom u Poduzeću provodi se sukladno normi ISO 9001:2015 što je potvrđeno certifikatom ISO 9001:2015.

U cilju stalnog poboljšavanja kvalitete potrebno je provesti analizu postojećeg sustava kontrole kvalitete izrade ventila. Na odabranim proizvodima, za ključne karakteristike, provesti statističku kontrolu kvalitete te predložiti moguća poboljšanja postojećeg sustava.

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

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:
Prof. dr. sc. Biserka Runje

Komentor:
Dr. sc. Amalija Horvatić Novak

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS OZNAKA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VI
1. UVOD 1
2. OSNOVE KONTROLE KVALITETE 2
2.1. Kontrola kvalitete 2
2.2. Razvoj kontrole kvalitete 3
2.2.1. Statistička kontrola kvalitete 3
2.2.2. Cjelovita kontrola kvalitete 3
2.2.3. Pouzdanost proizvoda i bezdefektna proizvodnja 4
2.2.4. Osiguranje kvalitete 4
2.2.5. Just-In-Time 5
2.2.6. Cjelovito upravljanje kvalitetom 7
2.2.7. Šest sigma 8
2.3. Mjeriteljstvo i norme 11
2.3.1. Bitni pojmovi u mjeriteljstvu 11
2.3.2. Norme 14
2.4. Troškovi kvalitete 15
3. ALATI KVALITETE 17
3.1. Brainstorming 17
3.2. Histogram 18
3.3. Dijagram toka 19
3.4. Pareto dijagram 20
3.5. Dijagram uzroka i posljedica 22
3.6. Dijagram raspršenosti 23
3.7. Kontrolni list 24
3.8. Kontrolne karte 24
4. KONTROLA KVALITETE U PROCESU IZRADE VENTILA 26
4.1. O poduzeću 26
4.2. Visokotlačni igličasti ventil 26
4.2.1. Tok proizvodnje za visokotlačni ventil 30
4.3. Analiza postojećeg sustava kontrole kvalitete 32
4.4. Statistička kontrola kvalitete na odabranim dijelovima visokotlačnog ventila 34
4.5. Prijedlog poboljšanja postojećeg sustava kontrole kvalitete 37
4.5.1. Pareto dijagram za poluproizvode i gotovi proizvod 37
4.5.2. Korištenje kontrolnih karata 38
4.5.3. Dijagram toka za lakše praćenje procesa kontrole kvalitete 38
4.5.1. JIT metoda za unapređenje cjelokupnog procesa proizvodnje 39
5. ZAKLJUČAK 41

LITERATURA 43
PRILOZI 45

POPIS SLIKA

Slika 1 Shematski prikaz kontrole [1] ... 2
Slika 2 "5S" metodologija ... 6
Slika 3 Odnos troškova i kvalitete u okviru sigma koncepta [1] ... 9
Slika 4 Shematski prikaz definicije i formule mjerenja [1] ... 12
Slika 5 Sustavne pogreške [7] ... 13
Slika 6 Slučajne pogreške [7] ... 13
Slika 7 Troškovi kvalitete [10] ... 16
Slika 8 Histogram ... 19
Slika 9 Primjer jednostavnog dijagrama toka ... 20
Slika 10 Primjer Pareto dijagrama [12] ... 21
Slika 11 Jednostavna shema Ishikawa dijagrama ... 22
Slika 12 Dijagram raspršenosti [1] ... 23
Slika 13 Komponente i izgled visokotlačnog ventila [13] ... 26
Slika 14 Različite izvedbe ulaznih i izlaznih priključaka ventila [13] ... 27
Slika 15 Moguće izvedbe vretena ventila [13] ... 27
Slika 16 Izometrijski prikaz visokotlačnog ventila [13] ... 28
Slika 17 Sklopni crtež visokotlačnog ventila [13] ... 29
Slika 18 Skladište poluproizvoda ... 30
Slika 19 Tok proizvodnje - skladište sirovina, pila, tokarilice i glodalica ... 31
Slika 20 Mjesto montaže gotovih proizvoda ... 31
Slika 21 Mjerna lista [13] ... 32
Slika 22 Ispitni list za tlačnu kontrolu ventila [13] ... 33
Slika 23 Koraci statističke kontrole kvalitete [1] ... 34
Slika 24 Udio nesukladnih proizvoda unutar proizvedenih serija naglavka ventila [13] ... 35
Slika 25 Udio nesukladnih proizvoda unutar proizvedene serije kućišta ventila [13] ... 35
Slika 26 Dijagram uzroka i posljedica za pojavu škartnih dijelova u procesu izrade visokotlačnog igličastog ventila ... 36
Slika 27 Dijagram toka za kontrolu gotovog ventila ... 39

POPIS OZNAKA

Oznaka	**Opis**
T_g	gornja granica tolerancije
T_d	donja granica tolerancije
I_g	mjera na gornjoj granici tolerancije
I_d	mjera na donjoj granici tolerancije
l	stvarna mjera/mjerena veličina
j	jedinica mjere
m	multiplikator
a	odsječak na osi y
b	koeficijent smjera pravca
GKG	gornja kontrolna granica
DKG	donja kontrolna granica
$\bar{X}$	aritmetička sredina
$\bar{X}_i$	aritmetička sredina i –tog uzorka
k	broj uzoraka jednake veličine
σ	standardna devijacija
n	veličina uzorka

SAŽETAK

Tema ovog rada je analiza te prijedlog poboljšanja postojećeg sustava kontrole kvalitete u procesu izrade ventila u poduzeću IMG Zagreb d.o.o.. Upravljanje kvalitetom u navedenom poduzeću provodi se sukladno normi ISO 9001:2015. U teoretskom dijelu obrađene su osnove kontrole kvalitete te je dan pregled metoda i alata za upravljanje kvalitetom. U praktičnom dijelu rada promatran je kompletni proces izrade ventila te koraci koji se provode za kontrolu kvalitete. Na temelju podataka o proizvodnji za prošlu godinu, napravljena je analiza podataka te je konstruiran dijagram uzroka i posljedica koji bi trebao poslužiti kao osnova za provedbu predloženih poboljšanja. Na kraju je dan zaključak u kojem su navedeni preporučeni alati i metode za unapređenje kontrole kvalitete koji bi trebali rezultirati manjim brojem nesukladnih proizvoda i većom kvalitetom cjelokupnog proizvodnog procesa.

Ključne riječi: kontrola kvalitete, dijagram uzroka i posljedica, *Just-In-Time* metoda, proizvodnja ventila

SUMMARY

The aim of this paper is to analyse existing and to give improvement proposal for quality control system in the valve manufacturing process at company IMG Zagreb d.o.o.. In this company quality management is conducted according to international norm ISO 9001:2015. Theoretical part of the paper examines basics of quality control and gives an overview of methods and tools for quality management. Practical part observes whole valve manufacturing process and quality control process. Based on manufacturing data from last year, analysis is made as well as Cause and Effect Diagram which should be used as principle for implementation of proposed improvements. Conclusion describes recommended methods and tools for improvement of quality control that should result in decreased number of nonconformities and increased quality of the manufacturing process.

Key words: quality control, Cause and Effect Diagram, Just-In-Time method, valve manufacturing

1. UVOD

Trenutno živimo u povijesnom razdoblju u kojem se promjene u svim aspektima proizvodnje događaju vrlo brzo. Gotovo se svakodnevno razvijaju novi, inovativni proizvodi, patenti te proizvodni principi kojima je svrha olakšati i ubrzati proizvodnju kako bi kupac što prije dobio traženi proizvod. No, nameće se pitanje kvalitete proizvoda koji su produkt takve masovne proizvodnje, nije bitno samo isporučiti proizvod već je potrebno da on ispunjava minimalne zahtjeve kvalitete.

Kvaliteta nije moderan pojam, već kroz povijest su razni obrtnici brinuli o kvaliteti svojih proizvoda kako bi mogli biti barem jednako dobri ako ne i bolji od konkurencije. Velika usmjerenost ka kvaliteti počinje nakon Drugog svjetskog rata u Japanu, državi koja se htjela što prije oporaviti i plasirati se na tržište kao sila koja je sposobna proizvoditi robu visoke kvalitete unutar zahtijevanih rokova. Budući da je Japanu to pošlo za rukom, i druge velesile su počele primjenjivati ne samo njihove principe proizvodnje već i njihove metode kontrole kvalitete, jer to je bilo ono bitno što je Japan razlikovalo od drugih.

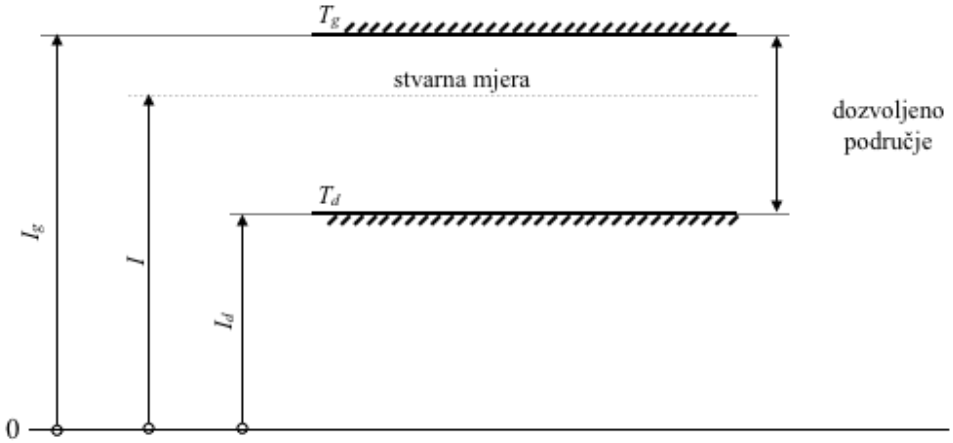
Danas svjedočimo masovnoj proizvodnji koja teži u potpunosti reducirati količinu škarta, budući da svaki škartni proizvod znači gubitak za poduzeće. Uz kontrolu kvalitete proizvoda vrše se i kontrole procesa kako bi se točno ustanovilo na kojem dijelu proizvodnog procesa dolazi do nastajanja grešaka te kako bi se taj dio što prije ispravio.

2. OSNOVE KONTROLE KVALITETE

Kako bi se razumjela svrha kontrole kvalitete, potrebno je razumjeti osnovne pojmove koji se pojavljuju prilikom promatranja i analiziranja kvalitete nekog sustava, procesa ili proizvoda. Bitno je odrediti način kojim će se upravljati kvalitetom u proizvodnji te donijeti zaključke o tome kako ona utječe na ekonomsku situaciju cijelog promatranog poduzeća. Prilikom provedbe kontrole, promatraju se atributivne i mjerljive značajke kvalitete.

2.1. Kontrola kvalitete

Kontrola kvalitete se može definirati kao niz postupaka koji za cilj imaju utvrditi u kakvom su odnos stvarna mjera neke veličine i dozvoljeno područje za koje su unaprijed utvrđene tolerancijske granice. U užem smislu, tehnička kontrola je segment organizacijske strukture koji je usko vezan za proizvodnju. Tehnička kontrola se provodi putem tehničke dokumentacije određenog proizvoda te putem normi, bile one interne ili opće, kako bi se osigurali proizvodi i dijelovi tražene i prihvatljive kvalitete.



Slika 1 Shematski prikaz kontrole [1]

Na gornjoj slici prikazane su iduće veličine:

- T_g – gornja granica tolerancije
- T_d – donja granica tolerancije
- I_g – mjera na gornjoj granici tolerancije
- I_d – mjera na donjoj granici tolerancije
- I – stvarna mjera

Prema tome, prihvatljive su one mjere koje se nalaze u području između gornje i donje granice tolerancije [Slika 1]. Očekivano je da se niz vrijednosti za određenu mjerenu veličinu ponaša prema nekoj od statističkih distribucija.

2.2. Razvoj kontrole kvalitete

Kako bi se razumjeli alati i metode kvalitete koji se koriste u današnje vrijeme, potrebno je pogledati presjek razvoja kontrole kvalitete kroz povijest budući da neke od predlaganih metoda nisu pokazale učinkovitost u primjeni. Također, poznavanje velikog broja različitih metoda i principa, te načina njihovog provođenja i kako djelovanja, utjecat će na odluku o pristupu prema kvaliteti za promatrani proces ili sustav.

2.2.1. Statistička kontrola kvalitete

Iako je kvaliteta oduvijek igrala vrlo bitnu ulogu u proizvodnji, tek je početkom 20. stoljeća razvojem statističke kontrole kvalitete postaje znanstvena disciplina. Rezultat je to potreba tijekom I. svjetskog rata kada su se proizvodile velike serije u kojima su se pojavljivao veliki broj neispravnih proizvoda. Tada se u tvornice uvode nove pozicije, kontrolori kvalitete koji imaju zadatak pratiti proizvodnju te minimizirati broj nesukladnih proizvoda. Kako se to pokazalo kao dobra politika poslovanja, nastavila se primjenjivati i nakon rata razvojem čega dolazi do statističke kontrole kvalitete koja uvodi novost u vidu načina provođenja kontrole budući da više nema potreba za uzorkovanjem svih jedinica. Naime, uočeno je kako su varijabilnost proizvodnog procesa i varijabilnost proizvoda povezane što znači da će se smanjiti varijabilnost proizvodnog procesa ako se poduzmu mjere za smanjenje varijabilnosti proizvoda.

2.2.2. Cjelovita kontrola kvalitete

Kao što je poznato Japan je nakon II. svjetskog rata stradao te su morali pronaći način za oporavak ekonomije i gospodarstva. Njihove tvornice uvode cjelovitu kontrolu kvalitete (eng. *Total Quality Control* – TQC) kojoj je cilj minimizirati greške i smanjiti gubitke i troškove zaliha, a povećati produktivnost. Cjelovita kontrola kvalitete se provodi na pet razina (menadžment, razvoj i konstrukcija, nabava i distribucija, proizvodnja i kooperacija) te može uspjeti samo ako se ispune sljedeći preduvjeti [1]:

1) Ispunjavanje zahtjeva kupca.
2) Prihvaćanje načela cjelovite kontrole kvalitete.
3) Sudjelovanje svih radnika u poduzeću.
4) Svesrdna podrška menadžmenta tvrtke.
5) Učinkovita kontrola troškova kvalitete.

2.2.3. Pouzdanost proizvoda i bezdefektna proizvodnja

Pouzdanost proizvoda i bezdefektna proizvodnja su dva vrlo ambiciozna pokreta kvalitete koja nisu u potpunosti zaživjela ali imaju utjecaja na pokrete koji su trenutno aktualni. Pouzdanost proizvoda bi podrazumijevala ispitivanje svojstava svih proizvoda te bi se na temelju toga donosili zaključci o kvaliteti. Iako se taj princip čini ispravnim, pogotovo u razvoju novih proizvoda, do problema dolazi prilikom samog ispitivanja. Trebalo bi provesti veliki broj ispitivanja za sve dijelove opreme u svim predviđenim uvjetima rada.
Bezdefektna proizvodnja (eng. *Zero Defects*) teži potpunoj eliminaciji škarta što bi rezultiralo smanjenjem gubitaka te u konačnici povećanjem dobiti. Prednost je što je primjenjiva na sve grane proizvodnje no u stvarnosti je neizvediva. Današnji trendovi počivaju na toj ideji, a jedna od najpopularnijih metoda kvalitete koja implementira bezdefektnu proizvodnju je "šest sigma" (eng. *Six Sigma*).

2.2.4. Osiguranje kvalitete

Prema općeprihvaćenoj definiciji, osiguranje kvalitete je sustav svih aktivnosti radi osiguravanja svih potrebnih pretpostavki i dokazivanja da se cjelokupni poslovi upravljanja kvalitetom provode ispravno [2]. Takav sustav podrazumijeva postojanje normi i načela proizvodnje koji će garantirati da finalni proizvod zaista posjeduje tražene kvalitete. Međunarodnu normu sustava kvalitete ISO 9001:2015 koristi veliki broj država, a pokriva osiguranje kvalitete u cjelokupnom proizvodnom i/ili uslužnom procesu, od narudžbe do isporuke gotovog proizvoda/usluge. Prema toj normi definirano je sedam temeljnih načela upravljanja kvalitetom (eng. *Quality Management Principles* – QMPs). Ta načela su [3]:

QMP 1. **Usmjerenost prema kupcima** – da bi poduzeće uspješno poslovalo, potrebno je poznavati želje i očekivanje kupaca kako bi bili sigurni da proizvod ili usluga posjeduje kvalitete koje kupac očekuje.

QMP 2. **Vodstvo** - u poduzećima koja žele postići najvišu kvalitetu proizvoda ili usluga, upravljanje kvalitetom počinje od vrha, tj. lideri i glavni menadžeri su ti koji inzistiraju na promjenama u poduzeću koje vode prema višoj razini kvalitete. Oni bi trebali motivirati zaposlenike i stvoriti takve uvjete rada u kojima je kvaliteta primarni cilj.

QMP 3. **Angažman zaposlenika** – zaposlenici su ti koji manipuliraju sirovinom te daju vrijednost gotovom proizvodu. Potrebno je stvoriti radnu okolinu u kojoj su zaposlenici potaknuti na rad koji rezultira proizvodom ili uslugom visoke kvalitete. Bitan je odnos prema zaposlenicima te poticanje komunikacije između svih slojeva unutar poduzeća što bi značilo da bi svi trebali biti uključeni u davanje prijedloga za poboljšanje i unaprjeđenje postojećeg sustava.

QMP 4. **Procesni pristup** – cjelokupno poduzeće mora biti organizirano kao skup povezanih procesa. Takav pristup nudi mogućnost sagledavanja svih aspekata poduzeća, uočavanje nedostataka te planiranje i implementaciju poboljšanja.

QMP 5. **Poboljšanja** – uspješne organizacije su orijentirane prema kontinuiranom poboljšavanju, ulažu sredstva u nove tehnologije te kontinuirano obrazuju svoje zaposlenike.

QMP 6. **Donošenje odluka bazirano na podacima** – kako bi se poboljšanja mogla provoditi te kako bi se mogao procijeniti utjecaj poboljšanja na poduzeće, potrebno je voditi evidenciju svih provedenih radnji na temelju koje se mogu donijeti zaključci o odnosu prijašnjeg i novog stanja.

QMP 7. **Upravljanje odnosima** – osim odnosa prema kupcima te odnosima unutar poduzeća, bitno je graditi i održavati dobre odnose s partnerima, dobavljačima i sl..

2.2.5. Just-In-Time

Metoda proizvodnje *Just-In-Time* (hrv. točno na vrijeme, dalje: JIT) također potječe iz Japana te je prvi put primijenjena u tvornici Toyota. JIT metodologija podrazumijeva smanjenje troškova koji nastaju zbog prekomjerne proizvodnje i zaliha. Cilj je proizvoditi točno tražene količine i isporučiti ih kupcu u traženo vrijeme uz potpunu kontrolu kvalitete. Kako bi se takva metodologija uvela te kako bi ona imala utjecaja na kvalitetu proizvoda potrebno je u potpunosti prihvatiti i primijeniti načela JIT-a u svim segmentima poduzeća te organizirati proizvodnju prema pravilima. Kod organizacije radnog procesa, primjenjuje se takozvani "5S" koji se sastoji od 5 koraka koji vode do uspješne organizacije.

Slika 2 "5S" metodologija

Na slici [Slika 2] koraci koje je potrebno primijeniti prilikom implementacije metodologije "5S". Ti koraci[1] su:

1. Organizirati – kako bi se proizvodnja nesmetano odvijala, potrebno je s radnog mjesta ukloniti sve nepotrebne alate i materijale.
2. Sistematizirati – radno mjesto i okolinu preurediti tako da svaki element ima svoju poziciju te da je ona točno definira.
3. Očistiti – čista radna okolina prevenira mogućnost da nečistoće utječu na kvalitetu proizvoda te osigurava sigurno i ugodno radno mjesto.
4. Normirati – postavljenje internih normi putem kojih se prati napredak, također norme služe i za održavanje novih uspostavljenih pravila rada.
5. Održavati – primjenjivati sve navedene korake, odnosno održavati disciplinu.

Prema navedenim koracima, vidljivo je da je za implementaciju takve metodologije potrebna odlična komunikacija na svim razinama te su potrebni zaposlenici koji su spremni prihvatiti

[1] Koraci su nazvani japanskim riječima koje započinju slovom «s»: Seiri (hrv. organizirati), Seiton (hrv. sistematizirati), Seiso (hrv. očistiti), Seiketsu (hrv. normirati) i Shitsuke (hrv. održavati)

takav način rada te ga primjenjivati. Uspješna implementacija dokazano[2] rezultira smanjenjem troškova što je cilj svakog proizvodnog poduzeća.

2.2.6. Cjelovito upravljanje kvalitetom

Cjelovito upravljanje kvalitetom (eng. *Total Quality Management* – dalje TQM) predstavlja menadžerski model koji je orijentiran na zaposlenike. TQM podrazumijeva uključenost i odanost zaposlenika na svim razinama kako bi se održali visoki standardi rada i kvalitete poduzeća. Kao i svi ostali modeli i pokreti kvalitete, također ima za cilj smanjiti udio nesukladnih proizvoda i usluga te postavlja granicu tolerancije od 1 greške na 1000000 proizvedenih jedinica ili usluga. Model je usmjeren ka kupcu te se teži poboljšanju koje je na razini očekivanja kupca. Kako bi implementacija TQM-a bila uspješna, bitne su sljedeće stavke [1]:

- Kompanijska kultura – poticati i razvijati zajedništvo organizacije s ciljem poboljšanja kvalitete.
- Kontinuirano poboljšanje – neprestano raditi na poboljšanjima proizvodnje i kvalitete.
- Usmjerenost prema kupcima – svako poboljšanje kvalitete mora rezultirati većim zadovoljstvom kupca.
- Uloga menadžmenta – vrhovni menadžment mora donijeti odluku o provođenju TQM-a te stvoriti pozitivnu atmosferu kako bi se postigla uspješna provedba.
- Praćenje troškova – menadžment prije implementacije mora procijeniti troškove TQM-a te ih kontinuirano pratiti kako bi se ustanovilo da li je takva metoda isplativa.
- Donošenje odluka – potrebno je vršiti mjerenja te na temelju njih donositi odluke o kvaliteti.
- Metodologija i alati – ako se koriste provjerene i ispravne metode i alati, greške koje nastaju u sustavu bit će na vrijeme uočene i otklonjene.
- Uključenost radnika – radnike treba poticati na aktivnu suradnju i uključenost, odnosno radnici bi trebali biti ti koji će ukazati na eventualne probleme u kvaliteti.
- Izobrazba radnika – kako se primjenjuju nove metode i alati, potrebno je i kontinuirano obrazovati radnike.

[2] Metodologiju je prvi put primijenio stručnjak Taiichi Ohnoa u proizvodnom pogonu Toyote. Prije primjene "5S" Toyota se nalazila u vrlo lošoj situaciji te nije mogla konkurirati tada dominantnoj američkoj industriji. Osim te metode, Ohnoa je također uočio kako postoji tzv. "7 gubitaka" koji znatno utječu na povećanje troškova te je uveo sustav "guranja" proizvodnje putem Kanban kartica.

Iz navedenog je vidljivo kako model cjelovitog upravljanja kvalitetom ima sličnosti sa sedam temeljnih načela upravljanja kvalitetom prema ISO normi 9001:2105. Vidljivo je kako je u oba slučaja izrazito cijeni odnos prema zaposlenicima te odnos prema kupcima. Također oba naglašavaju bitnu ulogu menadžmenta u motiviranju zaposlenika i provođenju odluka koje se donose na temelju analize postojećih podataka. TQM naglašava bitnost provođenja provjerenih metoda i alata u proizvodnji kako bi se greške sustava što lakše uočile i ispravile. S druge strane QMP za eliminaciju grešaka u sustavu predlaže procesni pristup koji olakšava uočavanje grešaka te njihovo ispravljanje.

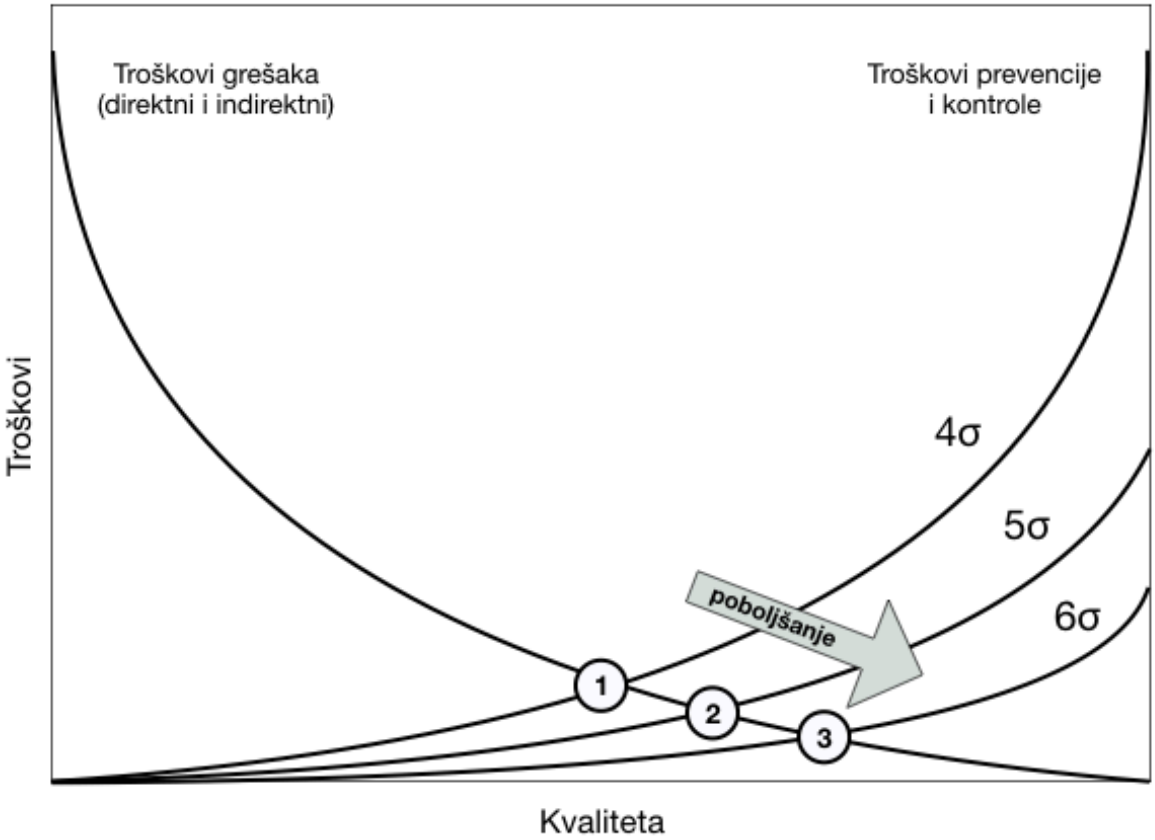
Unatoč tome, postoje brojne kritike i istraživanja koja tvrde kako TQM nema značajan utjecaj na kvalitetu te kako su često troškovi uvođenje i provođenja TQM-a zapravo veći od koristi koje bi trebale biti ostvarene njegovom provedbom [4].

2.2.7. Šest sigma

Metoda "šest sigma" (eng. *Six Sigma* – 6σ) je također rezultat uvođenja promjena poslovanja i proizvodnje u velikoj kompaniji. Inženjer Bill Smith je osmislio i prvi put uveo tu metodu u američku tvrtku Motorola. Kada su se troškovi poduzeća znatno smanjili te su se pokazale velike uštede u proizvodnji, veliki broj poduzeća je metodu počelo primjenjivati. Jedan od najpoznatijih primjera uspješne implementacije je svakako poduzeće General Electrics (GE) gdje je tada radio jedan od vodećih menadžera u svijetu, Jack Welch. Nakon provedbe metode GE je ostvario impresivan rezultat od približno dvije milijarde dolara uštede na troškovima u 1999. godini [5]. Ono što razlikuje metodu 6σ od ostalih je što se ona primjenjuje kod procesa koji su već pod kontrolom, dakle glavni uzrok nesukladnih i nezadovoljavajućih proizvoda je otklonjen.

Sami naziv metode potječe iz statističke analize gdje sigma (grč. σ) označava standardnu devijaciju - prosječno rasipanje od srednje vrijednosti, koja je najčešće aritmetička sredina. Te dvije vrijednosti daju najbitnije podatke o varijabilnosti procesa. Aritmetička sredina pokazuje centriranost procesa, a standardna devijacija je pokazatelj rasipanja procesa. Kako bi se metoda mogla provoditi, prvo je potrebno prikupiti i obraditi velike količine podataka koji daju informacije o trenutnom stanju procesa te na temelju toga uvidjeti u kojim dijelovima procesa postoje mogućnosti za poboljšanjem. Također, obradom i praćenjem podataka, moguće je dobiti zaključke o trendu promatranih parametra u budućnosti. Za razinu kvalitete u vrijednosti šest sigma dopušteno je odstupanje od srednje vrijednosti za iznos ± 1,5 σ zbog

prihvaćanja prirodne raspršenosti procesa. U prijevodu bi to značilo da je na milijun izvedenih događaja[3] dopušteno 3,4 defekta[4].



Slika 3 Odnos troškova i kvalitete u okviru sigma koncepta [1]

Glavna pretpostavka koncepta šest sigma je da visoka kvaliteta može rezultirati niskim troškovima [Slika 3]. Naravno, u početku je potrebno uložiti resurse kako bi se takav koncept uveo no nakon primjene dobije se takav rezultat. Jedna od prednosti šest sigma je i da se takav koncept ne mora uvesti u cijelu organizaciju već postoje faktori prema kojima se odabiru ključni procesi ili projekti čija se poboljšanja žele postići. Ti faktori su [6]:

- utjecaj na organizacijsku učinkovitost
- vjerojatnost uspjeha
- utjecaj na zaposlenike
- srodnost s globalnom strategijom
- financijski rezultat.

[3] Događaj predstavlja krajnji rezultat procesa, proizvod ili uslugu, ovisno o djelatnosti poduzeća.
[4] Defekt predstavlja rezultat procesa koji ne zadovoljava uvjete kupca ili nepravilnost unutar procesa koja daje nezadovoljavajući rezultat.

Dakle, nije nužno da cijela organizacija bude na šest sigma razini. U većini slučajeva je dovoljno da se varijacija smanji do 4 sigma, a da se najbitniji i najutjecajniji procesi i projekti smanje na šest sigma razinu koja zahtijeva dodatna znanja i vještine, a samim time i veće ulaganje u početku implementacije [Slika 3].

Prilikom provedbe šest sigma, organiziraju se manji timovi ljudi zaduženi za provedbu. U timovima postoji stroga hijerarhija uloga te svaka uloga ima svoje zadatke i ciljeve. Unatoč hijerarhijskom poretku, ključ za uspjeh je dobra međusobna suradnja i komunikacija. Poželjno je da se u timovima nalaze zaposlenici iz različitih odjela jer su za provedbu potrebne različite vještine. Na vrhu piramide upravljanja je član uprave koji je ujedno i voditelj sigma projekta. On je zadužen za određivanje ciljeva i upravljanje projektom te poticanje ostalih razina na rad i međusobnu suradnju. Ostali zaposleni se razmještaju prema prijašnjim iskustvima s provedbom šest sigma te prema vještinama i znanjima koje posjeduju.

Postoje tri temeljna elementa šest sigma modela:

1. unaprjeđenje procesa
2. dizajniranje/redizajniranje procesa
3. upravljanje procesima.

Za provedbu tih elemenata koriste se dvije projektne metodologije, DMAIC i DMADV. Skraćenice predstavljaju početna slova engleskih naziva faza za svaku od metodologija: DMAIC(eng. *Define, Mesure, Analyse, Improve, Control*) i DMADV(eng. *Define, Measure, Analyse, Design, Verify*).

Projekta metodologija DMAIC služi za unaprjeđenje procesa, odnosno pronalazi i eliminira uzrok velike varijabilnosti procesa. Faze DMAIC metodologije su:

1. Utvrđivanje – pronalaženje problema i grešaka te određivanje cilja projekta i očekivanja kupaca.
2. Mjerenje – mjerenje značajki trenutnog stanja procesa kako bi se utvrdila sposobnost.
3. Analiza – obrada prikupljenih podataka na temelju kojih se dobivaju zaključci o uzrocima trenutnog stanja koje se želi poboljšati.
4. Poboljšanje – pomoću podataka dobivenih analizom, odrediti poboljšanja te unaprijediti ili optimizirati proces. Potrebno je provesti probni rad koji služi za praćenje uvedenih poboljšanja te promatranja utjecaja na novo stanje procesa.
5. Kontrola – pratiti novo stanje te bilježiti eventualna odstupanja koja uzrokuju defekte.

Projekta metodologija DMADV provodi se prilikom konstrukcije novih proizvoda ili za oblikovanje novih procesa. Faze DMADV metodologije su:

1. Utvrđivanje – prema očekivanjima kupca i sukladno strategiji poduzeća, odrediti ciljeve za konstrukciju.
2. Mjerenje – mjerenje značajki koje utječu na kvalitetu.
3. Analiza – izrada mogućih varijanti proizvoda, usluge ili procesa te pronalazak optimalne kombinacije potrebnih karakteristika s ciljem dobivanja zadovoljavajućeg rješenja.
4. Oblikovanje – izrada detaljnog dizajna te optimizacija korištenjem računalnih simulacija.
5. Verifikacija – dobivanje verifikacije za dizajn na temelju koje se provodi probni rad.

Iz danog pregleda razvoja kvalitete, vidljivo je da se u zadnjih 100 godina pogled i pristup prema kvaliteti mijenjao u skladu s karakteristikama doba, odnosno stanja na tržištu. Trenutno je razdoblje u kojem se prvenstveno koriste šest sigma alati i metode uz znanja i spoznaje iz statističke analize.

2.3. Mjeriteljstvo i norme

Prilikom kontrole kvalitete, potrebno je pravilno provesti mjerenje te poštovati određene norme kako bi rezultati mjerenja bili ispravni te kako bi se mogli koristiti za daljnje postupke upravljanja i praćenja kvalitete.

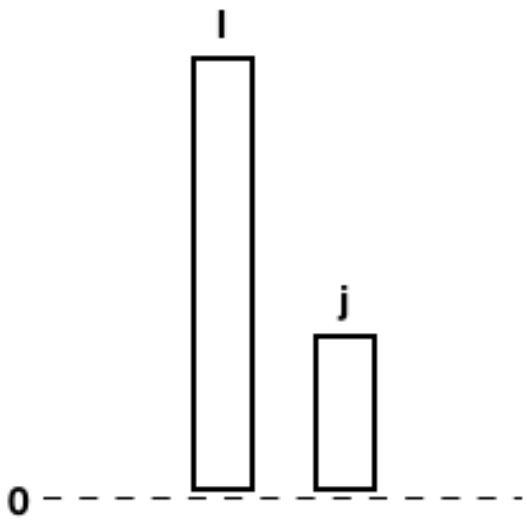
2.3.1. Bitni pojmovi u mjeriteljstvu

"Mjerenje je proces eksperimentalnog dobivanja jedne ili više vrijednosti veličine koje se mogu razumno pripisati veličini" [7]. Prilikom mjerenja, uspoređuju se dvije istovrsne veličine pod uvjetom da je jedna od njih utvrđena jedinicom mjere. Usporedba je dana sljedećim izrazom [1]:

$$m = \frac{l}{j} \tag{2.1}$$

- $l = mjerena\ veličina$
- $j = jedinica\ mjere$
- $m = multiplikator$ (pokazuje koliko puta utvrđena jedinica mjere ulazi u mjerenu veličinu.

Dana formula i definicija su grafički prikazane slikom [Slika 4]:



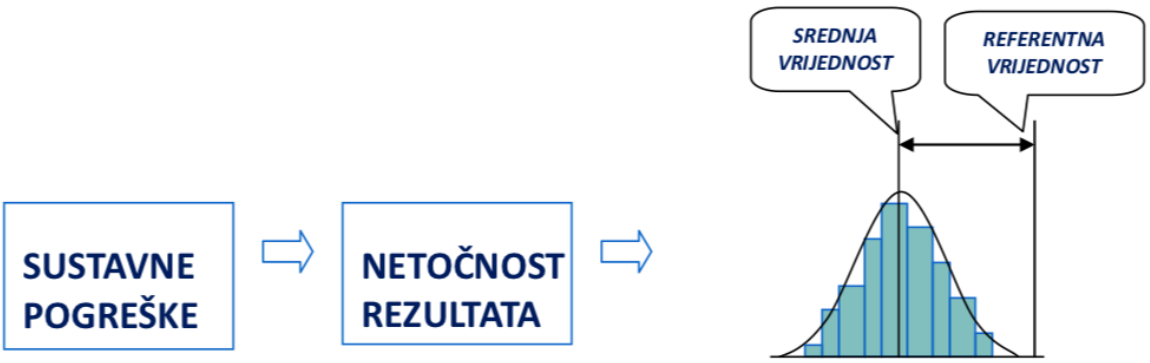
Slika 4 Shematski prikaz definicije i formule mjerenja [1]

Mjerna pogreška je razlika između izmjerene vrijednosti veličine i referentne vrijednosti veličine[8]. Kada bi se matematički gledalo, mjerna pogreška bi bila:

$$POGREŠKA = POGREŠNO - TOČNO \tag{2.2}$$

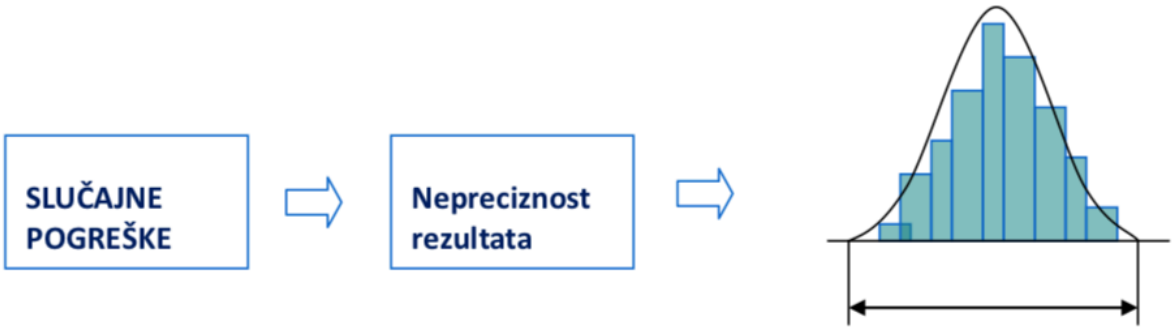
Prema uzroku nastajanja, pogreške se dijele na sustavne, slučajne i grube pogreške.

- Sustavne pogreške su stabilne tijekom ponovljenih mjerenja iste veličine ili se mijenjaju na predvidiv način. Mogu nastati kao posljedica neodgovarajuće metode mjerenja te neispravnosti mjernih uređaja. Zbog toga su dobivene pogreške funkcijski vezane za mjerene vrijednosti te budući da su uzroci sustavnih grešaka poznati, potrebno je njihovo uklanjanje. Također, funkcijske pogreške dovode do netočnosti rezultata, tj. razlike dobivenog rezultata mjerenja i referentne vrijednosti.



Slika 5 Sustavne pogreške [7]

- Slučajne pogreške mogu biti uzrokovane bilo kojim razlogom koji utječe na mjerenje neke varijable. Tijekom ponovljenih mjerenja, takve pogreške se mijenjaju na nepredvidiv način te se njihov uzrok ne može otkriti niti odrediti pa samim time ne može se ni otkloniti. Uglavnom nastaju zbog nepredvidivih promjena na mjerilima, mjerama ili samom objektu mjerenja, a mogu biti i rezultat utjecaja okoline na navedeno. Slučajne pogreške utječu na varijabilnost rezultata mjerenja, a ne na srednju vrijednost pa time povećavaju rasipanje. Nepreciznost rezultata mjerenja posljedica je slučajnih pogrešaka.



Slika 6 Slučajne pogreške [7]

- Grube pogreške su mogu biti uzrokovane bilo kojim razlogom koji kontinuirano utječe na mjerenje neke varijable tijekom ponovljenih mjerenja. Takve greške se detektiraju kad rezultati mjerenja iste veličine značajno odstupaju u odnosu na ostale rezultate. Uzrok je uglavnom nepažnja mjeritelja, loš izbor mjernog postupka, primjena neodgovarajuće mjerne opreme i instrumenata i sl.. Takve greške daju netočan rezultat koji može u potpunosti iskriviti rezultate mjerenja. Prednost je što se takve pogreške lako uočavaju u analizi podataka jer značajno odstupaju pa se takva mjerenja odbace i ponove. Ponekad je teško razlučiti radi li se o slučajnoj ili gruboj pogrešci pa se

koriste određeni statistički testovi za na temelju kojih se definiraju kriteriji za grube pogreške. Neki od testova koji se koriste su: 3s test, Grubbsov test i Dixonov test.

"**Mjerna nesigurnost** je parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini" [7]. Budući da se ne može reći da je mjerenje u potpunosti idealno, mjerna nesigurnost je uvijek prisutna zbog djelovanja slučajnih čimbenika (nesavršenost mjernog uređaja, neiskustvo i nesavršenost mjernih osjetila, fizikalne značajke okoline) te ograničenih mogućnosti ispravljanja sustavnih djelovanja (utjecaj mjeritelja pri očitavanju analogne skale, nesigurnost vrijednosti referentnog etalona, itd). Dakle, potrebno je procijeniti mjernu nesigurnost kako bi se rezultati dobiveni u različitim mjeriteljskim laboratorijima mogli uspoređivati. Ona se kao poseban faktor piše uz rezultat mjerenja te opisuje rasipanje vrijednosti rezultata koje se mogu pripisati mjerenoj veličini uz određenu vjerojatnost. Mjerna nesigurnost može se procijeniti na više načina, a neki od njih su: [1]

- Prema normi TS 21748:2017
- GUM metoda
- MSC metoda.

2.3.2. Norme

Prilikom nuđenja proizvoda i usluga, potrebno je ispoštovati ne samo zahtjeve kupca već i međunarodno postavljene norme koje služe kao garancija kvalitete. Normizacija podrazumijeva kreiranje, izdavanje i primjenu normi specifičnih za dani proizvod ili uslugu.

Norma predstavlja dokument donesen konsenzusom i odobren od strane priznatog tijela, koji za opću i višekratnu upotrebu daje pravila, upute ili značajke djelatnosti ili njihove rezultate radi postizanja najboljeg stupnja uređenosti u danome kontekstu [8]. Norme su izrazito bitne za održavanje i osiguravanje kvalitete te se njihovom implementacijom postiže: zaštita kupaca, osigurava se ispravno izvršavanje djelatnosti, formira se prostor za dogovor između kupca i proizvođača te se postiže ujednačena kvaliteta proizvoda i usluga.

Općenito, norme se mogu podijeliti na [1]:

1. norme za proizvode – odnose se na kvalitetu i sigurnost roba i usluga
2. norme za procese – odnose se na uvjete proizvodnje, pakiranja, skladištenja i poboljšavanja proizvoda ili usluga

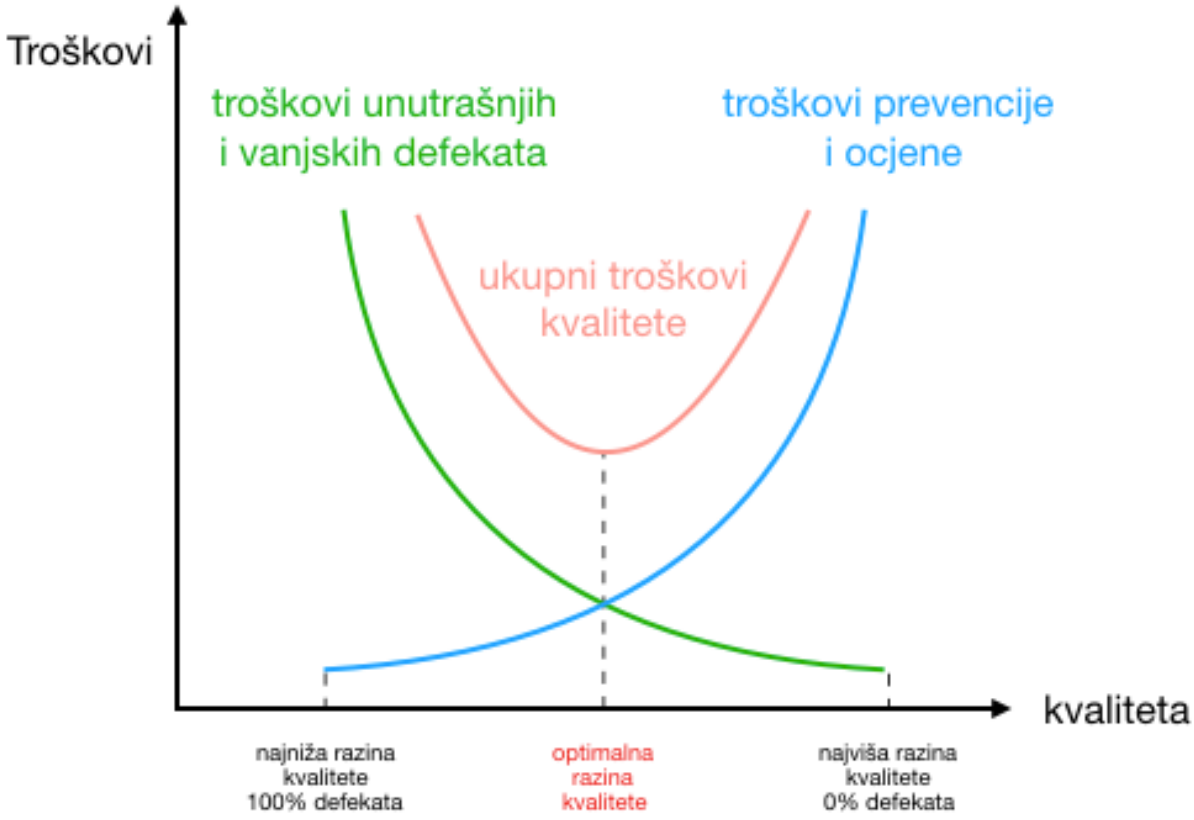
3. norme za sustave upravljanje koje se odnose na organizacijski okvir za realizaciju zahtjeva utvrđenih normama za proizvode i/ili normama za procese.

2.4. Troškovi kvalitete

Kada se za neki proizvod kaže da je kvalitetan, pretpostavka je i da taj proizvod nije jeftin. Prilikom ulaganja u kvalitetu potrebno je koristiti metodologiju troškova kvalitete koji se odnose na cjelokupni proces proizvodnje. Američko društvo za kvalitetu (ASQ) podijelilo je troškove kvalitete u četiri kategorije [9]:

- **Troškovi prevencije** su oni troškovi koji služe za prevenciju i izbjegavanje problema s kvalitetom. Do tih troškova dolazi u fazama konstrukcije, implementacije i održavanja proizvoda. Troškovi prevencije pokrivaju planiranje kvalitete proizvoda i procesa te nabavu mjernih alata i uređaja. Također, prevencijski trošak je i izobrazba zaposlenika jer oni imaju veliki utjecaj na krajnji proizvod. Trebalo bi kontinuirano provoditi obrazovanje zaposlenih na svim razinama, od menadžera i konstruktora do tehničara, jer svaka od tih razina ima veliki utjecaj na krajnji proizvod ili uslugu.
- **Troškovi ocjene** se odnose na troškove koji nastaju tijekom procesa mjerenja i nadgledanja proizvodnje kako bi se osigurala kvaliteta proizvoda prema specifikacijama. Takvi troškovi su usko povezani u odnosu prema dobavljačima i kupcima. Ulaznu sirovinu i robu potrebno je kontrolirati kako bi bili sigurni da posjeduje dogovorene karakteristike. Krajnji proizvod je potrebno testirati u eksploatacijskim uvjetima kako bi se sa sigurnošću moglo reći da ispunjava zahtijevane uvjete. Preduvjet za kvalitetan proizvod je i konstantno praćenje kvalitete za koje se mogu angažirati i vanjske ispitne institucije kako bi se uklonila mogućnost neispravnosti opreme ili subjektivnosti prilikom mjerenja i ocjenjivanja kvalitete.
- **Troškovi unutrašnjih defekata** rezultat su nesukladnih proizvoda koji su otkriveni tijekom unutarnje kontrole kvalitete, odnosno prije nego je proizvod isporučen kupcu. Postoje dvije vrste defekata: škartni proizvodi te proizvodi koji se mogu doraditi. Škart predstavlja apsolutni gubitak, odnosno neupotrebljiv proizvod za koji su uloženi resursi. Proizvodi koji se mogu doraditi također nose dodatne troškove, no u slučaju uspješne dorade, može doći do isporuke što u krajnjem slučaju ne znači potpuni gubitak za poduzeće. U slučajevima pojave defekata potrebno je provesti dodatna ispitivanja kako bi se pronašao uzrok te posebno ispitati materijal i uzeti u obzir da je možda uzrok defektima loša kvaliteta polaznog materijala.

- **Troškovi vanjskih defekata** predstavljaju zadnju skupinu troškova koja može biti poprilično neugodna jer nesukladan proizvod otkriva kupac. Takvi troškovi se pojavljuju kada isporučeni proizvod ne odgovara ugovorenim zahtjevima. Tada je potrebno obraditi reklamaciju kupca te ponuditi opciju zamjene ili servisa neispravnog proizvoda ovisno o tome što je garantirano jamstvenim listom.



Slika 7 Troškovi kvalitete [10]

Slika 7 prikazuje odnos navedenih troškova te kako oni utječu na kvalitetu proizvoda. Svako proizvodno poduzeće mora pronaći povoljan omjer troškova i kvalitete sukladno s mogućnostima i uvjetima poslovanja pa se tako i granica optimalne kvalitete pomiče u lijevo ili u desno. Nove tehnologije i metodologije poput šest sigma imaju tendenciju pomicanja prema najvišoj razini kvalitete te proizvodnji s minimalnim udjelom škarta. No u nekim industrijama i područjima je to teško izvedivo pa se mora prihvatiti određeni postotak defekata ali sve dok bitno ne narušava kvaliteta proizvoda.

3. ALATI KVALITETE

Prilikom provođenja kontrole proizvoda, dobivaju se velike količine podataka budući da se unutar serija mora provoditi višestruka dimenzijska kontrola, ovisno o prethodno određenim uvjetima. Dobivene podatke potrebno je statistički obraditi kako bi se na temelju toga dobile vrijednosti koje služe za utvrđivanje trenutnog stanja sustava proizvodnje te se na temelju njih planiraju poboljšanja sustava i procesa proizvodnje, a pritom se koristi sedam osnovnih alata kvalitete (eng. *Seven Basic Quality Tools*):

1. histogram
2. dijagram toka
3. Pareto dijagram
4. dijagram uzroka i posljedica
5. dijagram raspršenosti
6. kontrolni list
7. kontrolne karte.

Navedenih sedam alata su osnovni, odnosno tradicionalni alati kvalitete uz koje se u današnje vrijeme također koristi i *brainstorming* [1].

3.1. Brainstorming

"*Brainstorming* je po prvi put kao termin upotrijebljen 1938. Godine kada je Alex F. Osborne u poduzeću u kojem je tada radio osmislio proces u organiziranog davanja rješenja za određeni problem. Sama ideja potječe od Hindu učitelja iz Indije koji već stoljećima koriste metodu "Prai-Barshana" koja u prijevodu znači ispitivati van svojih okvira. Prijevod termina *brainstorm* bi u principu značio oluja mozgova, odnosno korištenje intelekta većeg broja ljudi koji istovremeno razmišljaju i daju rješenja danog problema što je i glavno pravilo ove metode." [11]

Optimalna veličina tima za ovu metodu je šest do dvanaest članova u kojem su jednako zastupljeni muškarci i žene. Kod većih grupa moglo bi doći do problema da bi neki članovi tima u masi ostali pasivni te ne bi mogli istaknuti svoja mišljenja, a isto tako bilo bi potrebno puno više vremena što često nije opcija, jer su ideje potrebne što prije. Proces počinje upoznavanjem članova i predstavljanjem problema što vodi moderator. Tijekom provođenja

metoda, moderator također vodi brigu da se ne ulazi u analizu problema već samo da se nude rješenja. Naravno, za očekivati je da neće sva rješenja biti dobra i upotrebljiva no to je i poanta cijele metode, što više različitih mišljenja i pogleda na istu stvar. Jedna osoba, koja ne sudjeluje u davanju ideja, je zadužena za bilježenje ideja tako da ih cijeli tim može vidjeti u svakom trenutku.

Kroz godine su se razvila mnoga pravila i upute za *brainstorming*, no postoje 4 esencijalna pravila kojih se uvijek treba pridržavati [11]:

1. Tijekom proces, nije dopušteno kritizirati, osuđivati, procjenjivati ili braniti dana rješenja. Cilj je sakupiti što više ideja povezanih s problemom koje će se kasnije detaljnije pregledati, raspraviti i prihvatiti ili odbaciti.
2. Potrebno je ohrabrivati ljude na slobodu razmišljanja u smislu da ne postoji ideja koja bi mogla biti pretjerana, previše "divlja" odnosno da nema limita prilikom davanja ideja te bi svaka trebala biti izrečena. Lakše je kasnije izbaciti ideje koje su možda neprikladne nego ponovno smišljati nove.
3. Kod ove metode je kvantiteta bitnija od kvalitete te je za očekivati da će se u tolikom broj osim dobrih rješenja, naći i onih koja su u potpunosti beskorisna.
4. Osim smišljanja novih, poželjno je i nadograđivanje već izrečenih ideja. Svaki član može nešto nadodati, poboljšati ili kombinirati neke od prethodno izrečenih ideja.

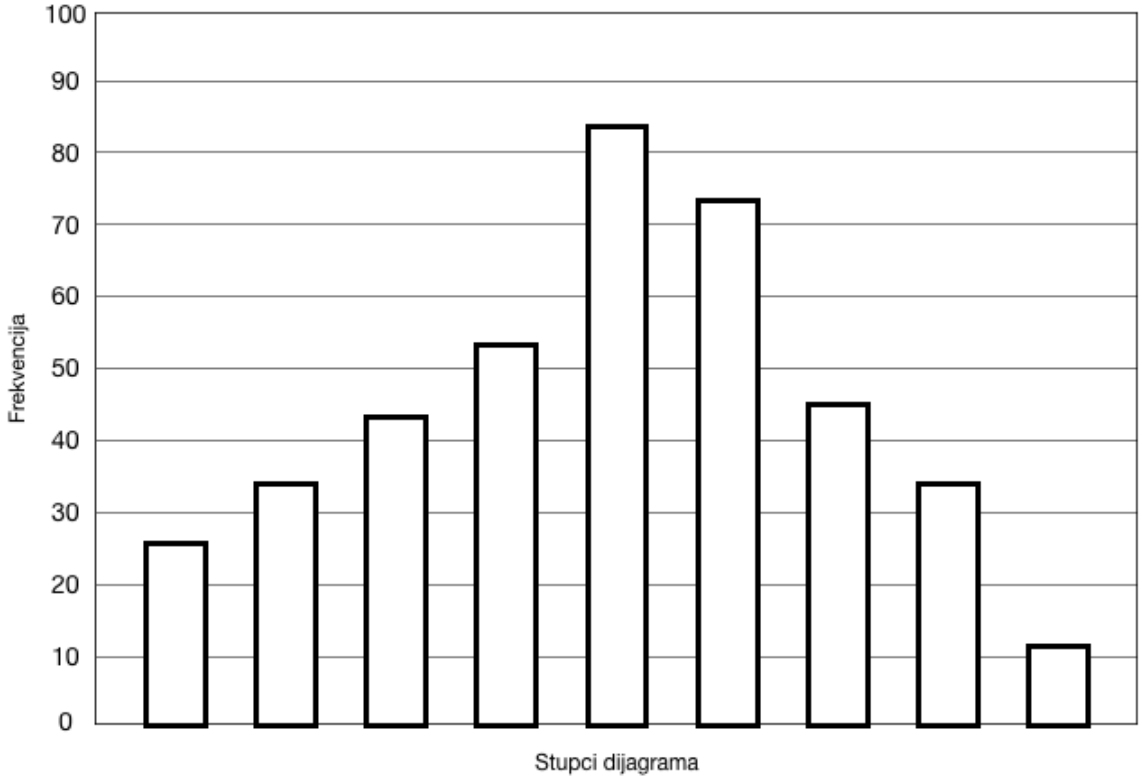
Dakle, radi se o metodi koja pokušava izvući što kreativnije i što originalnije ideje, no kao i svaka druga metoda ima svoje nedostatke. Prilikom davanja nisu svi jednako otvoreni i spremni na suradnju, često zbog straha da bi mogli biti ismijani ili kritizirani. Također, u suprotnom slučaju može doći do generiranja velikog broja beskorisnih ideja ako se dogodi da se tim pomalo "zaigra" prilikom postupka. To se događa kada sudionici nisu iskusni u takvim metodama te ako nije odrađena dobra priprema i predstavljanje ideja.

3.2. Histogram

Histogram je vizualni alat koji se koristi za prikazivanje frekvencija nekih rezultata koji variraju kroz vrijeme promatranja, a služi za proučavanje značajki variranja.

Histogrami se koriste za prikazivanje rezultata mjerenja zabilježenih mjernom listom. Nakon što se utvrde tolerancijske granice, potrebno je podijeliti raspon dobivenih mjera u razrede te dobivene rezultate mjerenja rasporediti u razrede. Time se dobiva grafički prikaz stanja odnosno učestalosti ponavljanja (frekvencije) prema određenim razredima. Histogram na slici

8 je normalne distribucije. Takva distribucija opisuje normalne rezultate mjerenja, dok npr. kontrolne karte služe za prikaz varijabilnosti podataka tijekom vremena. Poželjno je u praksi kombinirati ta dva alata kako bi se dobili objektivni rezultati te kako ne bi došlo do prikrivanja bitnih pokazatelja kvalitete.

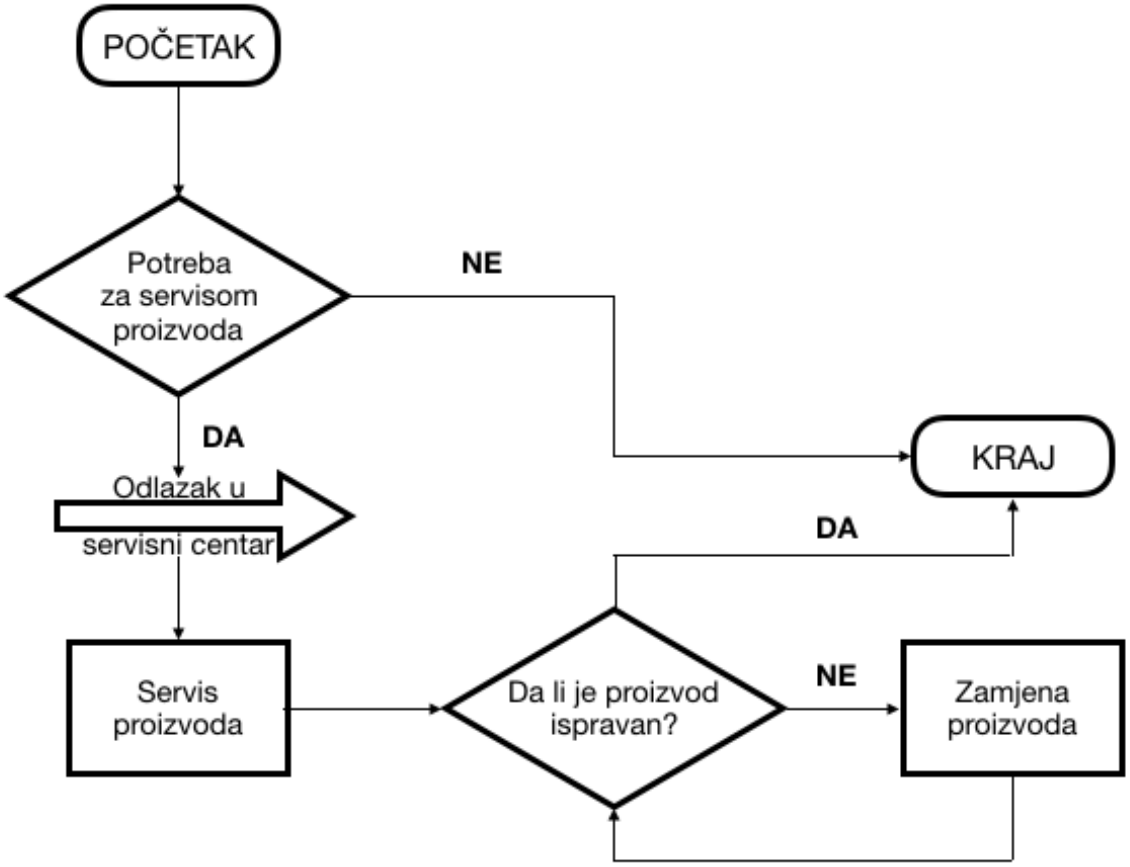


Slika 8 Histogram

3.3. Dijagram toka

Dijagram toka (eng. *Flow Chart*) predstavlja grafički prikaz procesa putem koraka koji su razrađeni različitim simbolima te njihov slijed. Slikom 9 prikazan je jednostavan dijagram toka.

Različiti oblici koji se koriste u dijagramima toka označavaju različite aktivnosti i stanja unutar nekog procesa. Postoje standardi prema kojima se određeni oblici koriste no za posebne situacije i stanja, mogu se koristiti i oblici prema slobodnom izboru. Svaki od koraka unutar dijagrama toka je povezan strelicama koje upućuju na daljnje korake. Uz to, karakteristično je i da se unutar dijagrama naiđe na petlju odlučivanja. Na slici 9 petljom se ispituje potreba za servisom uređaja i ako je odgovor potvrdan, provodi se servis i daljnji koraci za ispitivanje ispravnosti uređaja nakon servisa. Ako je odgovor negativan, odnosno uređaj je ispravan, nad njim nije potrebno vršiti nikakve operacije.



Slika 9 Primjer jednostavnog dijagrama toka

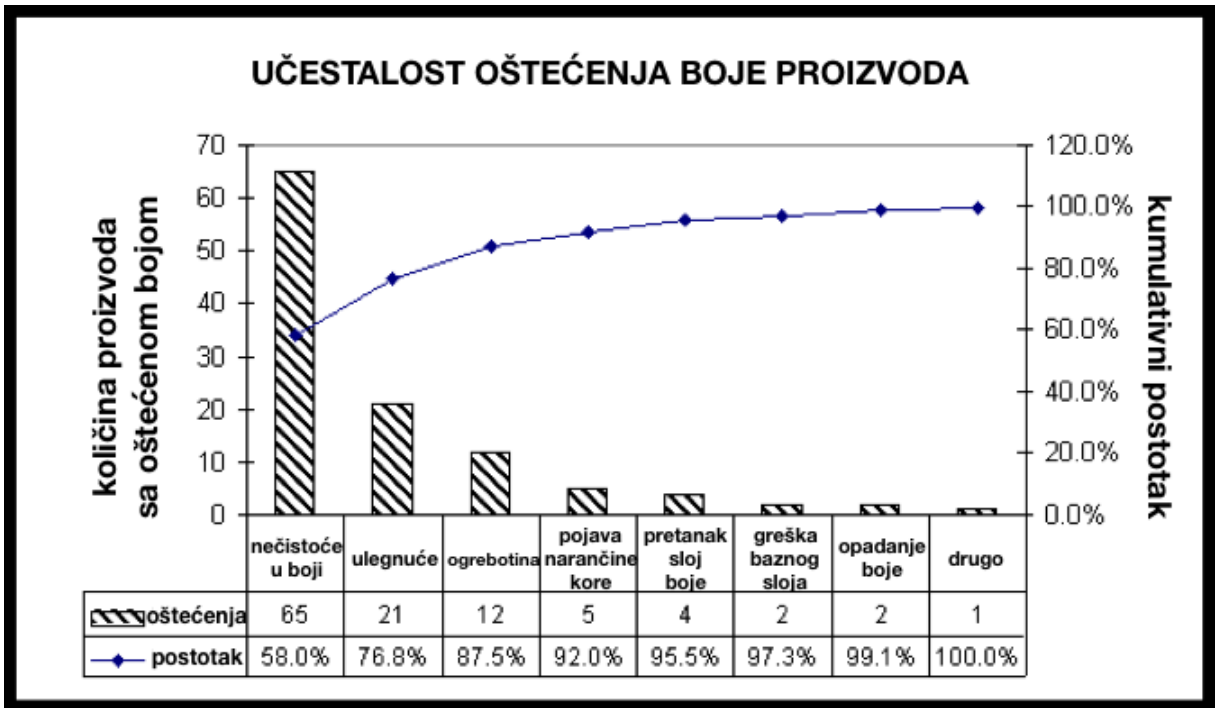
Dijagrami toka koriste za razumijevanje trenutnog stanja nekog procesa te je pomoću njih moguće uvidjeti u kojim dijelovima su moguća poboljšanja. Osim toga, moguće ih je koristiti kada je potrebna bolja komunikacijama među ljudima uključenim u isti proces. Kod složenih procesa, ako se dijagram toka ispravno napravi, mogu se uočiti nepotrebni koraci koji mogu usporavati cjelokupni proces. Prilikom provođenja kontrole kvalitete, vrlo jasno i jednostavno se može koristiti za postupke nakon uočavanja nekog nedostatka ili greške. Ako se na primjer radi o grešci u proizvodnji koju je moguće ispraviti daljnjom obradom, dijagram toka sugerira iduće korake te kontrolu koju je potrebno obaviti ukoliko bi se utvrdilo da li je dobiveni proizvod zadovoljavajuće kvalitete.

3.4. Pareto dijagram

Ovaj alat dobio je naziv po načelu talijanskog ekonomista Vilfreda Pareta koje se zasniva na tvrdnji kako raspodjela uzroka i posljedica nije jednaka nego tvrdi da samo relativno mali broj faktora znatno utječe na veliki postotak ukupnih uzroka. Dakle, ideja je klasificirati uzroke prema važnosti te eliminirati one koji se konstantno pojavljuju, ne obazirući se na one manje bitne. U brojkama je Pareto načelo poznato i pod nazivom 80/20

prema čemu je 80 % posljedica uzrokovano samo iz 20 % uzroka. Ako se gleda primjer proizvodnje, tada se može reći da 80 % škartnih proizvoda proizlazi iz samo 20 % konkretnih uzroka, dok su ostali uzroci zanemarivi.

Pareto dijagram se izrađuje na temelju provedene ABC analize prema kojoj se uzroci razvrstavaju prema učestalosti te se tim redoslijedom trebaju i rješavati. Prvo je potrebno riješiti se uzročnika A koji ima najveći utjecaj, zatim B, C i tako redom. Pri tome se ne rješavaju svi, nego kao što je već rečeno načelom, samo onih koji kumulativno sadrže 80 % posto svih grešaka.

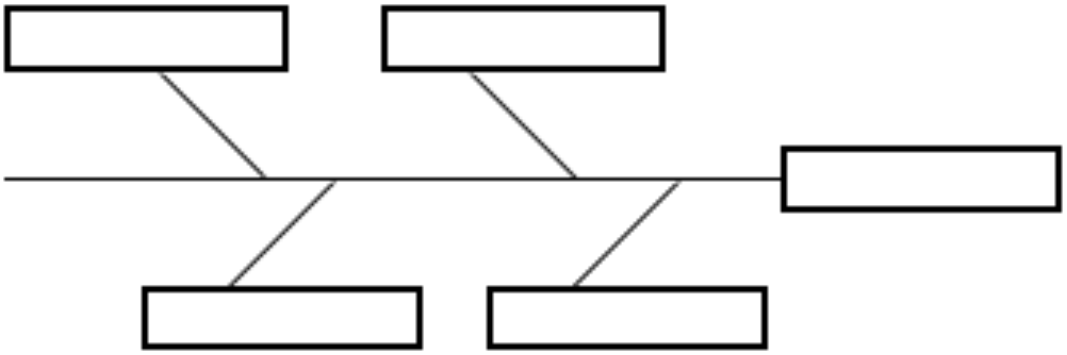


Slika 10 Primjer Pareto dijagrama [12]

Slika 10 prikazuje Pareto dijagram koji prikazuje učestalost oštećenja boje na nekom proizvodu. Ustanovljeno je da postoji ukupno osam uzroka zbog kojih dolazi do oštećenja boje. ABC analizom je prvo napravljen dijagramski prikaz koji pokazuje opadajući trend. Plava linija je kumulativni dijagram iz kojeg je vidljivo kako prva tri uzroka čine preko 80 % ukupnih oštećenja. Ovakav podatak bi u proizvodnji značio da je potrebno smanjiti pojavu baš ta prva tri uzroka, kako bi se smanji ukupni broj proizvoda s oštećenom bojom.

3.5. Dijagram uzroka i posljedica

Metodu uzroka i posljedica osmislio je japanski stručnjak za kontrolu kvalitete Kaoru Ishikawa sredinom 20. stoljeća pa se prema njemu dijagram koji se koristi u ovoj metodi zove i Ishikawa dijagram. U literaturi se može pronaći i naziv dijagram "riblja kost" jer sami oblik podsjeća na kostur ribe.



Slika 11 Jednostavna shema Ishikawa dijagrama

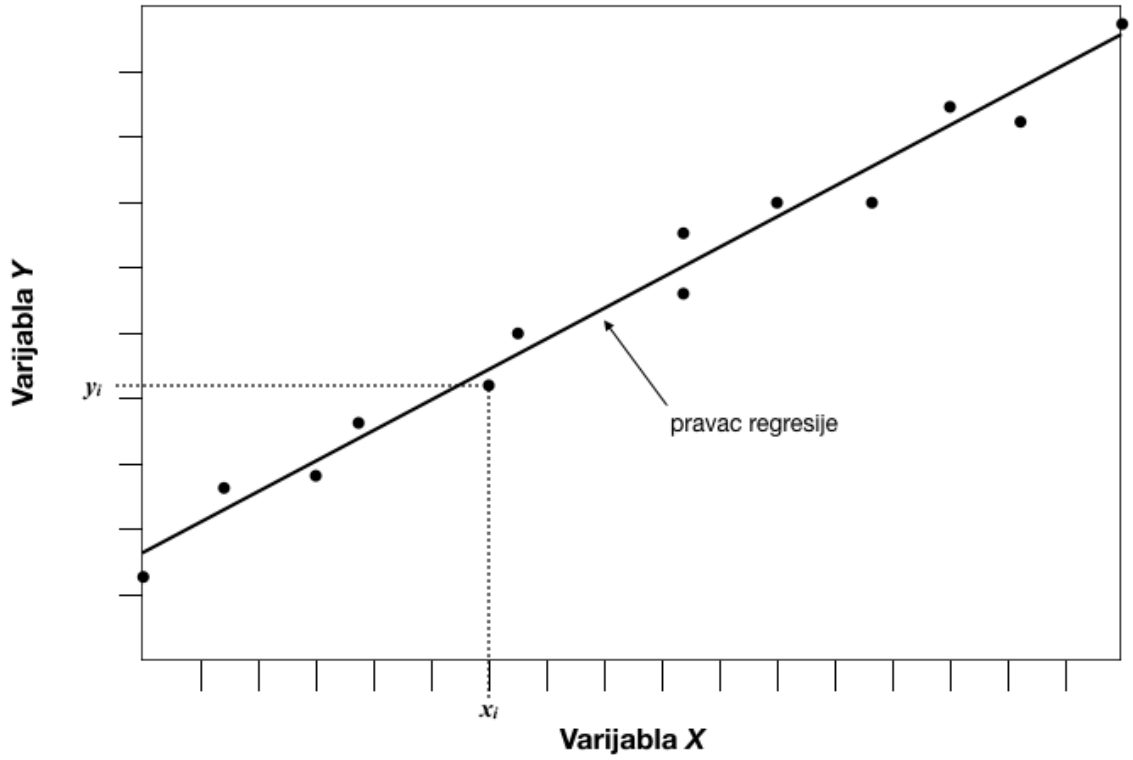
Koncept same metode je prilično jednostavan, svaka posljedica je rezultat djelovanja različitih čimbenika [1]. Cilj je riješiti problem sistemskim ispitivanjem i analizom procesa kako bi se otkrile mogući uzroci problema. Kada je u pitanju kontrola kvalitete unutar proizvodnih pogona, postoje neki uobičajeni uzroci problema kao što su okolina, materijal, metoda mjerenja, utjecaj čovjeka te mjerna oprema.

Prilikom korištenja ovog alata kvalitete, prvo je potrebno sastaviti radni tim koji je upoznat s problemom te procesom unutar kojeg se problem nalazi. Tim bi trebao imati moderatora, odnosno voditelja koji bi bio zadužen za upoznavanje s problemom te vođenje kroz postupke metode. Idući korak je traženje uzroka problema kada se pomoću već navedenog *brainstorma* daju ideje i svoja mišljenja o mogućim uzrocima. Grupiranje uzroka je idući korak, kada se stave svi uzroci na stol potrebno ih je rasporediti u nekoliko kategorija te odvojiti one koji se ne mogu svrstati niti u jednu grupu. Tek tada slijedi crtanje kostura dijagrama na način da se naprave četiri do šest glavnih grupa unutar kojih dodaju potencijalni uzročnici. Unutar svake od grupa su moguće dodatne podjele ako se uoči potreba za njima. Tijekom cijelog procesa, članovi tima su slobodni dodavati i nadopunjavati već iznesene tvrdnje, a na voditelju je da ih na to konstantno podsjeća. Kada se dijagram popuni, dobiva se cjelokupni prikaz na temelju kojeg članovi tima rangiraju uzroke prema važnosti te se odlučuje o koracima koji će se poduzeti za rješavanje uočenih uzročnika problema.

Ova metoda je korisna pogotovo ako se koristi s drugim alatima i metodama, primjerice uz Pareto dijagram. Rezultat koji se dobije daje veliku i jasnu sliku o uzroku problema te vodi ka rješavanju problema.

3.6. Dijagram raspršenosti

Dijagram raspršenosti promatra odnos dviju varijabli, odnosno dokazuje zavisnost i tip zavisnosti među njima. Prilikom korištenja dijagrama raspršenosti, bitno je poznavati značenje pojmova korelacija i regresija. Korelacija pokazuje postojanje zavisnosti među varijablama dok se pomoću regresije kvantitativno izražava intenzitet te zavisnosti.



Slika 12 Dijagram raspršenosti [1]

U dijagram rasipanja [Slika 12] unose se vrijednosti varijabli *X* i *Y* te se formira niz uređenih parova (x_1, y_1), (x_2, y_2),..., (x_n, y_n) koji su predočeni točkama. Korelacija među točkama može biti pozitivna ili negativna. Kod negativne korelacije, povećanjem jedne varijable smanjuje se vrijednost druge varijable dok se kod pozitivne korelacije povećanjem vrijednosti jedne, povećava kao što je i na slici 12. Pravac regresije interpolira te točke tako da odražava linearnu povezanost među varijablama *X* i *Y*. Budući da je prikazuje približnu zavisnost među varijablama, pomoću njega se može odrediti nepoznata vrijednost jedne varijable ako je druga poznata.

Pravac regresije ima jednostavnu matematičku formulu:

$$y = a + bx \tag{3.1}$$

pri čemu je a odsječak na osi y, a b označava koeficijent smjera pravca. Njihove vrijednosti se dobivaju metodom najmanjih kvadrata. Ova metoda većinom zahtjeva dobro poznavanje matematike i statistike jer je od presudnog značaja prepoznati jakost veze među varijablama jer se na temelju nje donosi zaključak o pouzdanosti korelacije.

Dijagram raspršenosti koristi se kada se traži potencijalni uzrok problema te kada se treba odrediti da li postoji korelacija između dvije varijable. Uglavnom se koristi nakon metode Ishikawa kada su utvrđeni uzroci nastajanja defekta pa se promatra postojanje eventualne povezanosti između dva ili više uzroka.

3.7. Kontrolni list

Kontrolni list predstavlja najrasprostranjeniji i najkorišteniji alat za praćenje kvalitete tijekom proizvodnje. Njime su dane stavke koje je potrebno prekontrolirati u određenim periodima i fazama proizvodnje. Pomoću njega je moguće učinkovito prikupiti tražene informacije. Služe kako bi se uočili problemi koji se javljaju povremeno ili periodično. Osim osnovnog kontrolnog lista koji služi za prikupljanje podataka, postoji i potvrdni list putem kojeg se bilježe tražene značajke kvalitete. Bitno je da list sadrži sve bitne karakteristike koje dovode do neispravnih proizvoda. Osnovni list se dizajnira tako da su navedene svi koraci procesa kontrole na temelju kojih se ona provodi. Kada se izvrši neki od koraka, potrebno je ispuniti polje te nastaviti s idućim predviđenim korakom kontrole.

Kontrolni listovi su jednostavan alat za korištenje koji ako se koristi pomoću drugih alata, npr. histogramski prikaz, može dati realno stanje kvalitete proizvoda te ukazati na ključne nedostatke procesa koji rezultira proizvodima smanjene i nezadovoljavajuće kvalitete.

3.8. Kontrolne karte

Kontrolne karte grafički pokazuju kako se promatrani parametri mijenjaju u određenom vremenskom intervalu. U kontrolne karte se unose vrijednosti mjerenja nekog parametra te se dobiva vizualni prikaz o trendu kretanja. Proučavanjem i usporedbom kontrolnih karata moguće je ustanoviti radi li se o očekivanim i normalnim odstupanjima od mjere ili je došlo do neke veće greške čiji uzrok treba utvrditi. Prilikom korištenja kontrolne karte, bitno je da kontrolor nasumično uzima uzorke iz zadnje proizvedene serije budući da se

pomoću njih prate varijacije procesa u vremenu. Budući da značajke kvalitete mogu biti mjerljive i atributivne, i kontrolne karte se dijele na:

1. Kontrolne karte za mjerljive značajke (npr. dužina, širina, temperatura, tlak, gustoća) kvalitete – koriste se: karton praćenja kvalitete, x – karta, $\bar{x} - R$ kontrolna karta, $\tilde{x} - R$ kontrolna karta, kontrolna karta za individualna mjerenja, itd.
2. Kontrolne karte za atributivne značajke (kvaliteta se temelji na procjeni poput "dobar – loš", "zadovoljava – ne zadovoljava" , itd.) kvalitete – koriste se:
   - Kontrolne karte za praćenje kvalitete putem grešaka (c -karta za praćenje broja defektnih proizvoda po uzorku i u -karta za praćenje grešaka po jedinici proizvoda) i
   - Kontrolne karte za praćenje kvalitete putem loših jedinica proizvoda (p –karta koja prati omjer škartnih jedinica proizvoda u uzorku i np -karta koja prati broj škartnih jedinica proizvoda u uzorku)

Svaka kontrolna karta sastoji se od tri osnovne granice:

- Središnja linija – (eng. *central line* – CL)
- Gornja kontrolna granica – GKG (eng. *upper control limit* – UCL)
- Donja kontrolna granica – DKG (eng. *lower control limit* – LCL)

U kontrolnu kartu unose se aritmetičke sredine određenog broja uzoraka k, od kojih se svaki sastoji od nekoliko nasumično odabranih jedinica. Središnja linija se utvrđuje računanjem aritmetičke sredine aritmetičkih sredina uzoraka, tj.:

$$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} \tag{3.2}$$

Kontrolne granice se dobivaju iz teorije vjerojatnosti, odnosno prema normalnoj raspodjeli uzoraka:

$$GKG/DKG = \frac{\bar{X} \pm 3\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{3.3}$$

odnosno nalaze se u rasponu od:

$$\bar{X} \pm 3\sigma \tag{3.4}$$

Ako se dogodi da su podaci uneseni u kartu van statističkih granica, to znači da je došlo do značajnog odstupanja. U tom slučaju se kaže da proces "nije pod kontrolom". Tada je potrebno kontinuirano pratiti i kontrolirati proces da se ustanovi uzrok varijacije te se on otkloni. Kada su podaci unutar granica, kaže se da je proces "pod kontrolom", tj. sustav je stabilan što znači da varira samo pod utjecajem slučajnih utjecaja koji su karakteristični za sami proces.

4. KONTROLA KVALITETE U PROCESU IZRADE VENTILA

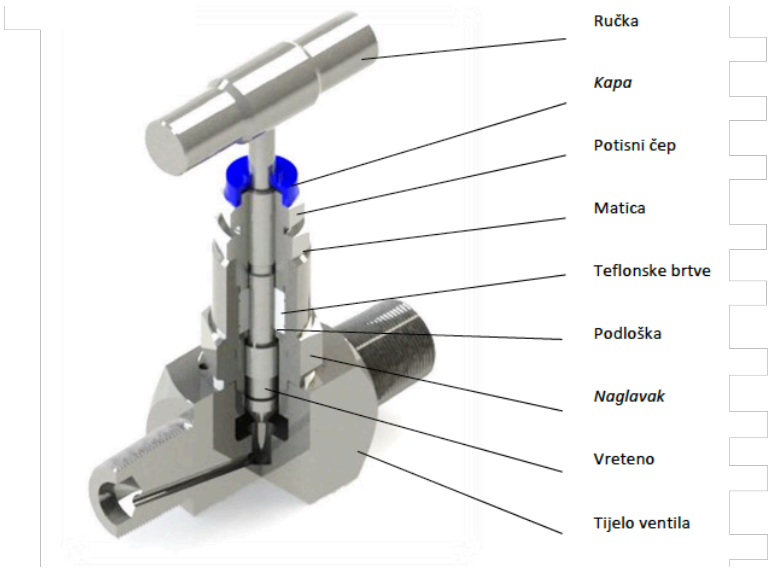
Promatran je proizvodni proces te sustav kontrole kvalitete u poduzeću IMG ZAGREB d.o.o.. U nastavku rada će se na temelju podataka dobivenih u poduzeću provesti analiza i prijedlog poboljšanja postojećeg sustava kontrole kvalitete te statistička kontrola kvalitete za ključne karakteristike na odabranim proizvodima.

4.1. O poduzeću

"Tvrtka IMG ZAGREB d.o.o. osnovana je 1988. te je specijalizirana za proizvodnju i servis cijevnih armatura, visokotlačnih ventila, blokova, cijevnih spojnica te raznih drugih proizvoda od nehrđajućeg čelika. Tvrtka prema dogovoru nudi i proizvodnju proizvoda drugih materijala namijenjenih za petrokemijsku, farmaceutsku ili prehrambenu industriju. Poduzeće zapošljava 40 djelatnika. Tvrtka je 2005. godine uvela sustav upravljanja kvalitetom ISO 9001:2000, a od 2008. godine je certificirana prema EU direktivi 97/23 EC PED za ventile i hermeto spojnice." [13]

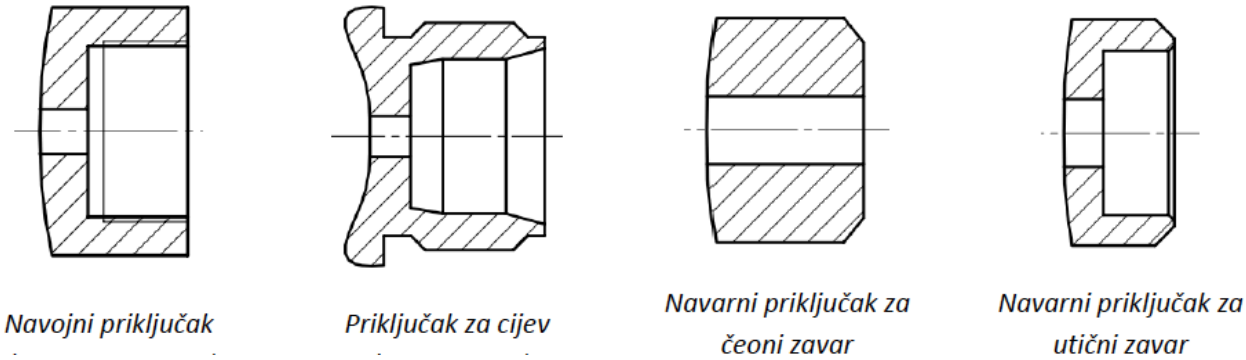
4.2. Visokotlačni igličasti ventil

Najveći dio proizvodnog programa čine visokotlačni igličasti ventili koji su široko primjenjivi. Visokotlačni ventil je u standardnoj izvedbi konstruiran da podnese tlak od 413 bar (4,13 x 10^7 Pa) te temperaturu od 230 °C. Takav ventil se sastoji od devet komponenti:



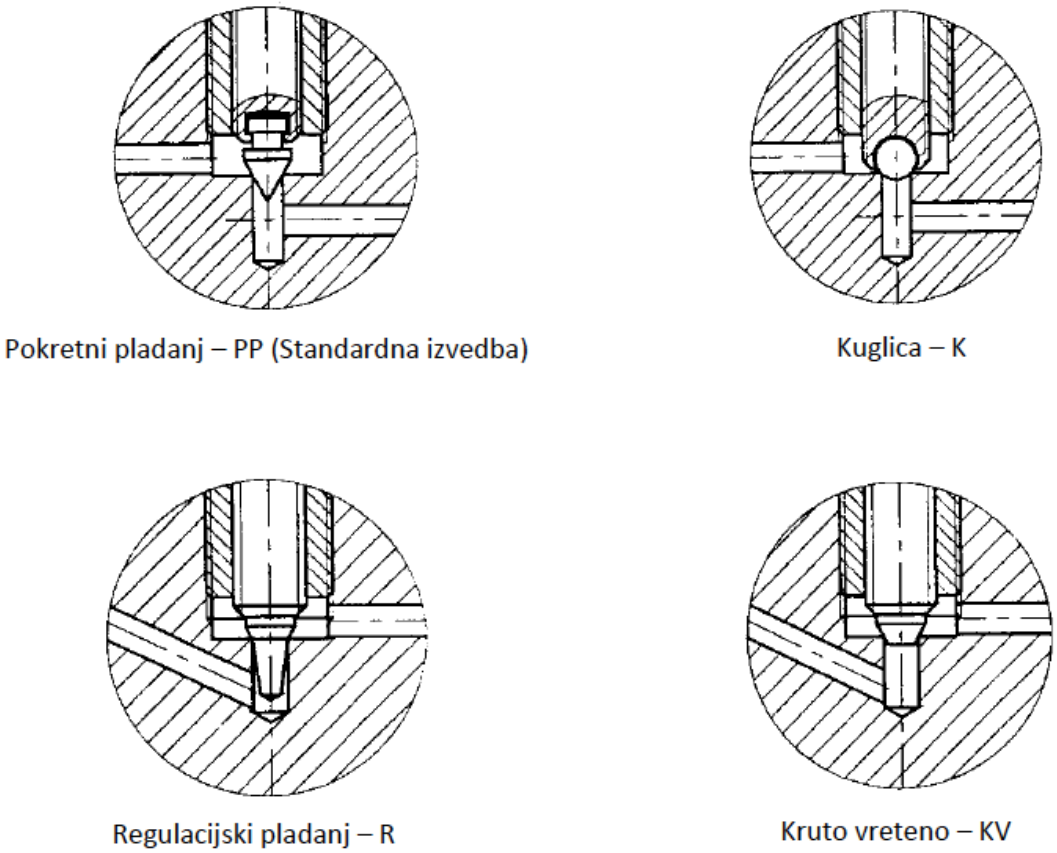
Slika 13 Komponente i izgled visokotlačnog ventila [13]

Ako postoji zahtjev za većim tlakovima, koristi se specijalna konstrukcija bez naglavka te tada radni tlak iznosi 689 bar (6,89 x 10^7 Pa), dok je radna temperatura 400 °C. Osim razlike u naglavku, standardni i specijalni ventil se razlikuju prema brtvi. Na standardni ventil se montira teflonska brtva, dok se na specijalni montira grafitna brtva. Najčešće su izrađeni od nehrđajućeg čelika Č4573. Prilikom narudžbe, postoji mogućnost odabira različitih izvedbi ulaznih i izlaznih priključaka ventila.

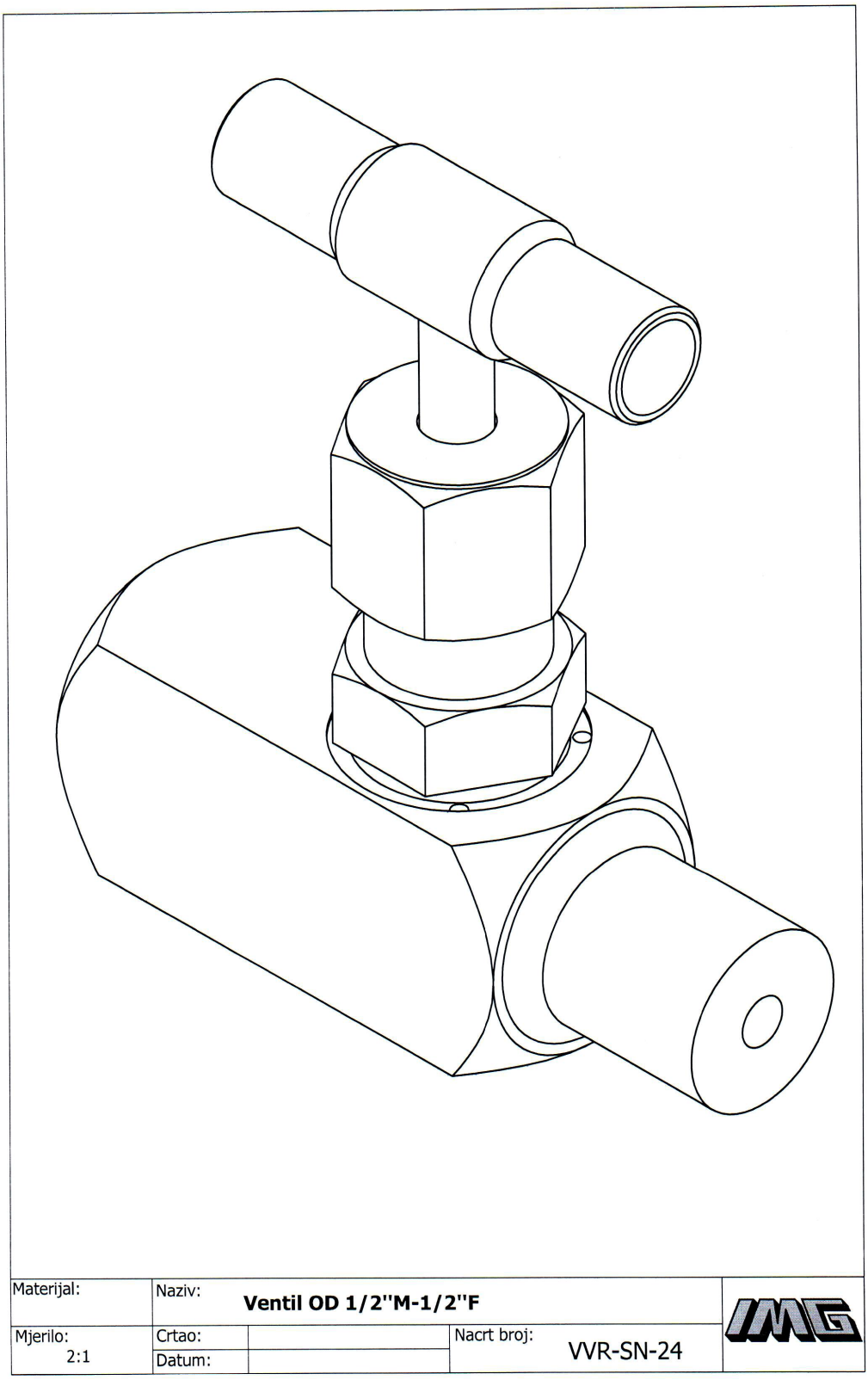


Slika 14 Različite izvedbe ulaznih i izlaznih priključaka ventila [13]

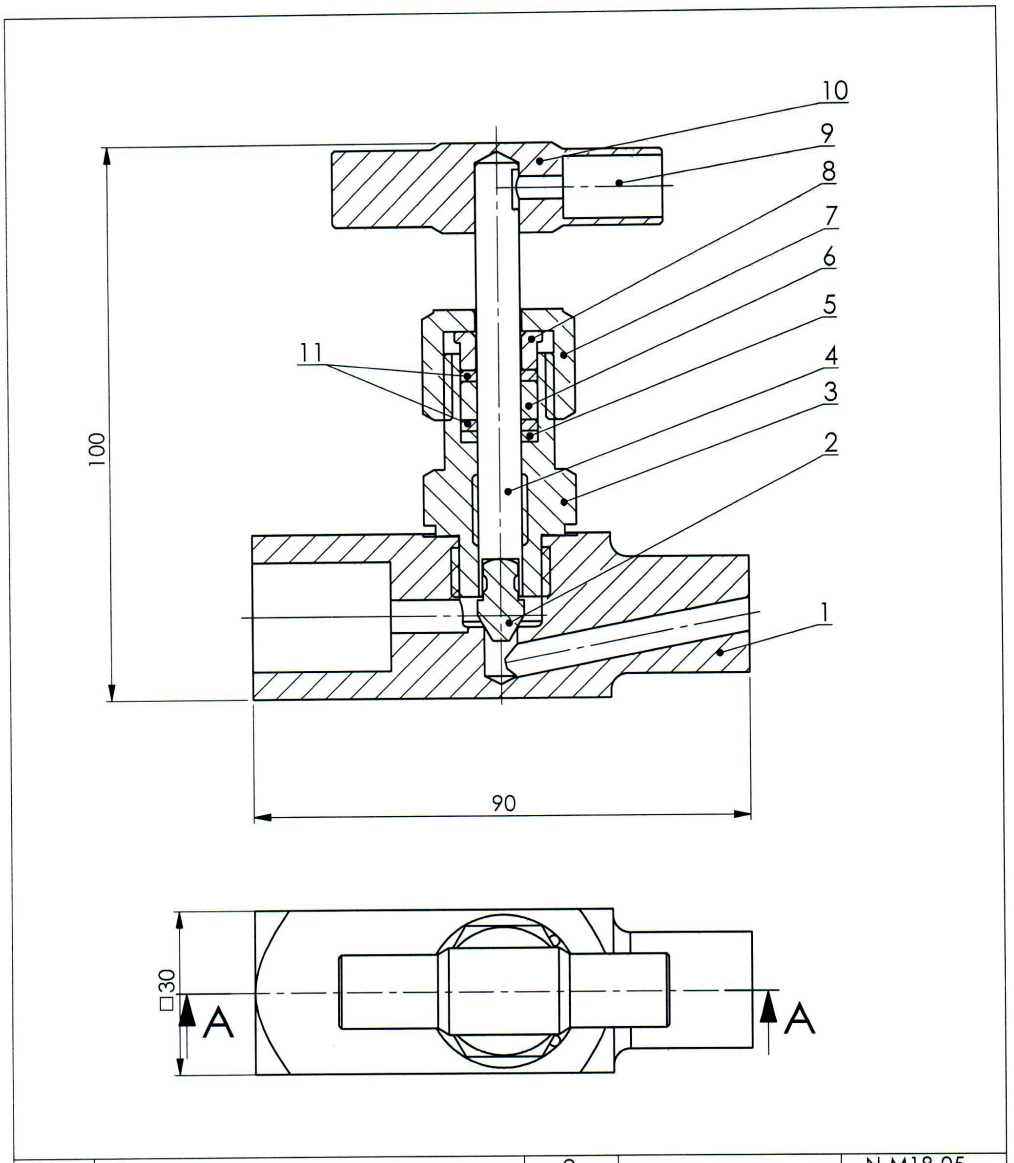
Također, ovisno o namjeni i potrebama kupca, moguće su i različite izvedbe vretena ventila.



Slika 15 Moguće izvedbe vretena ventila [13]



Slika 16 Izometrijski prikaz visokotlačnog ventila [13]



Pozicija	Naziv	Komada	Dimenzije	Nacrt broj
11.	Brtva	2		N-M18-05
10.	Ručica	1		N-M18-11
9.	Vijak	1		
8.	Čep	1		N-M18-10
7.	Matica	1		N-M18-09
6.	Brtva	1		N-M18-08
5.	Pločica	1		N-M18-07
4.	Naglavak	1		N-M18-01
3.	Vreteno	1		N-M18-PP
2.	Pladanj	1		N-M18-02
1.	Tijelo ventila	1		VVR-SN-24-1

Materijal:	Naziv: **Ventil 1/2"M-1/2"F**		IMG
Mjerilo: 1:1	Crtao:	Nacrt broj: VVR-SN-24	
	Datum:		

Slika 17 Sklopni crtež visokotlačnog ventila [13]

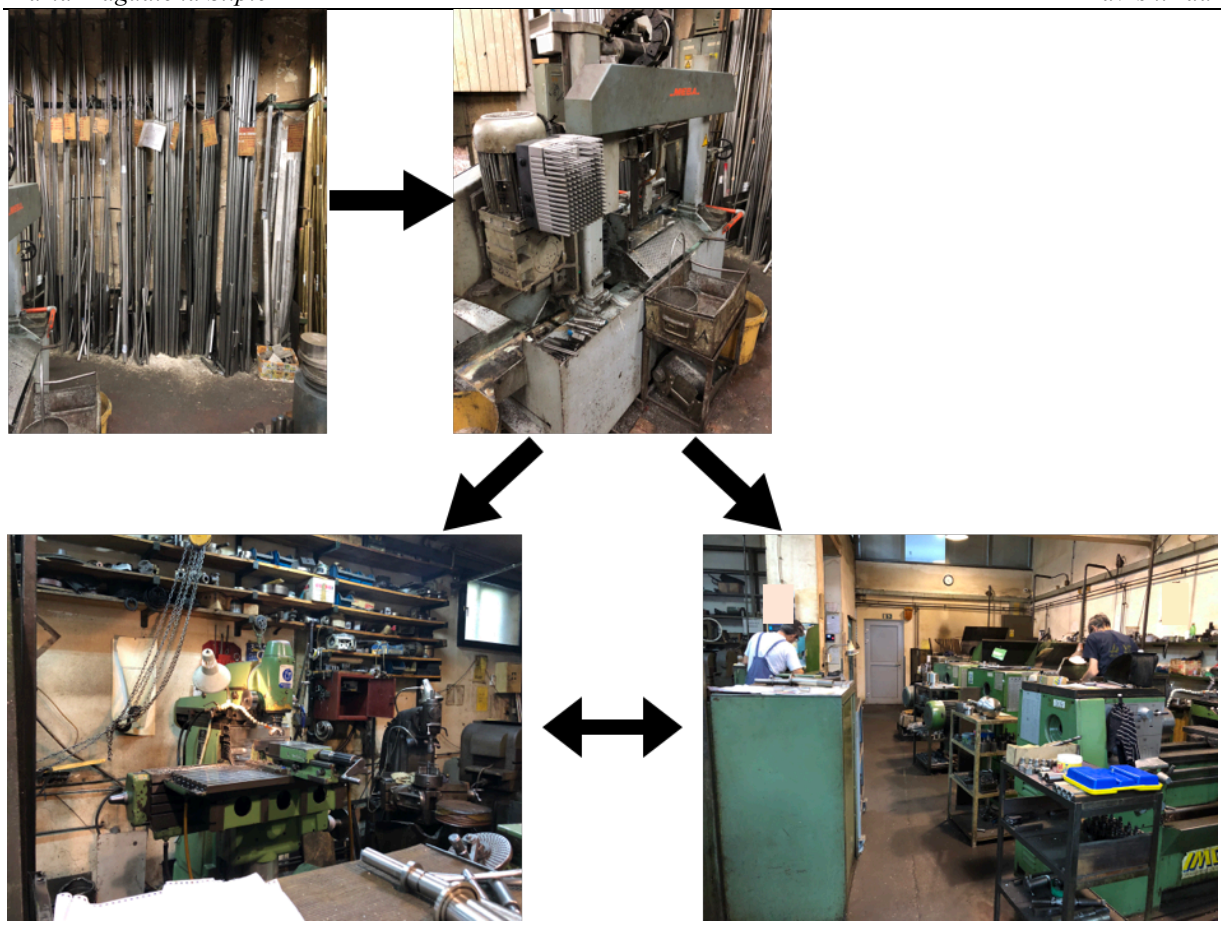
4.2.1. Tok proizvodnje za visokotlačni ventil

Poduzeće nema skladište gotovih proizvoda nego se svaki ventil montira tek nakon što dođe narudžba kupca. Kada je serija gotovo, odmah se isporučuje kupcu, bez skladištenja. Kada se zaprimi narudžba, prvo slijedi provjera stanja dijelova ventila na skladištu poluproizvoda a ako se utvrdi da određeni dijelovi nedostaju, slijedi proizvodnja. Tok proizvodnje bi se mogao prikazati pomoću idućih koraka:

1. Izrada ponude na temelju upita kupca.
2. Izrada narudžbenice prema kojoj se izdaje nalog za proizvodnju i montažu.
    - Provjerava se stanje skladišta, ako na skladištu postoji dovoljan broj dijelova za traženu seriju onda se proizvodi dijelovi povlače iz skladišta poluproizvoda.

Slika 18 Skladište poluproizvoda

- Ako se na skladištu poluproizvoda ne nalazi dostatan broj dijelova, zadaje se nalog za proizvodnju. Prvo se iz skladišta sirovina izuzimaju sirovine koje se po potrebi režu na pili. Nakon toga slijedi obrada sirovine. Ovisno o veličini serije, obrada se vrši ili tokarskom stroju i glodalici ili na CNC uređaju koji se nalazi na drugoj lokaciji. Nakon obrade, svaki poluproizvod se dimenzijski kontrolira i ako odgovara nacrtnim dimenzijama odlazi ili u skladište poluproizvoda ili direktno u montažu, ovisno o dostupnosti ostalih dijelova.



Slika 19 Tok proizvodnje - skladište sirovina, pila, tokarilice i glodalica

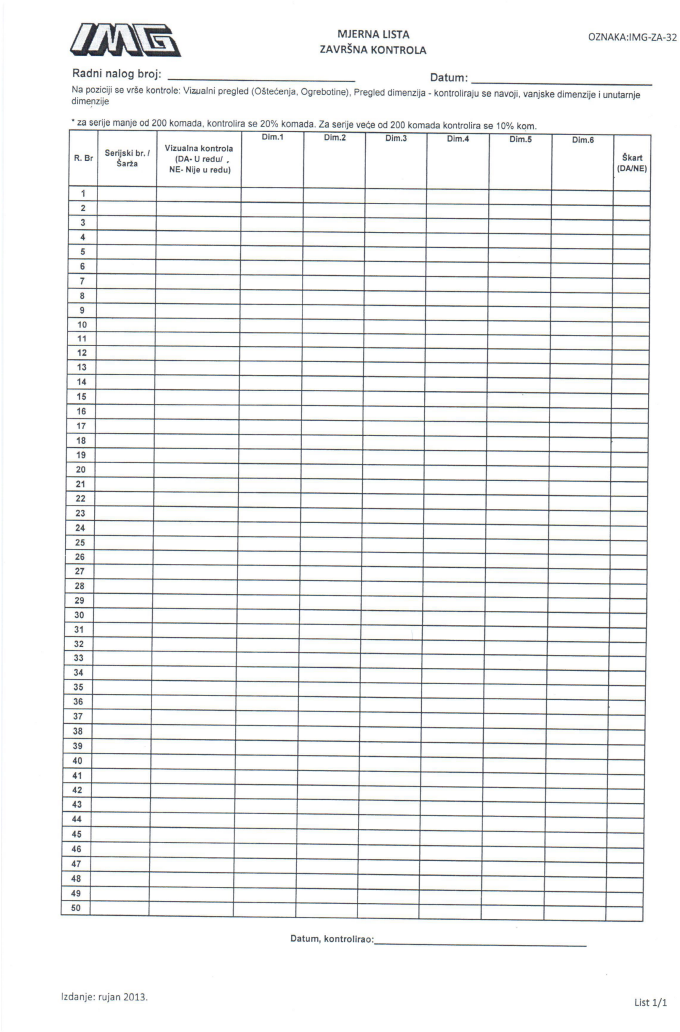
- kada se dobije potreban broj ispravnih poluproizvoda, slijedi montaža.

Slika 20 Mjesto montaže gotovih proizvoda

Nakon montaže svaki ventil prolazi tlačnu probu te se na temelju nje izdaje jamstveni list i certifikat. Kada je serija gotova, izrađuje se otpremnica i faktura nakon čega se otvoreni nalog zatvara.

4.3. Analiza postojećeg sustava kontrole kvalitete

Prilikom proizvodnje visokotlačnog igličastog ventila, kontrola kvalitete se provodi na dva načina. Po završetku obrade poluproizvoda provodi se vizualni pregled kako bi se detektiralo postojanje eventualnih oštećenja ili ogrebotina te se kontrolira dimenzijska točnost izratka pomoću pomičnog mjerila. Škartom se smatra onaj poluproizvod koji nakon obrade odstupa od dimenzijskih tolerancije te se naknadnom obradom ne mogu dobiti tražene mjere. Kod dijelova ovakvih ventila, nema posebnih zahtjeva hrapavosti površina, niti tolerancija mjera i oblika pa se te karakteristike niti ne kontroliraju. Prema odredbama poduzeća za serije manje od 200 komada kontrolira se 20 % izradaka, dok se za one veće od 200 kontrolira 10 % dobivenih poluproizvoda. Dobiveni rezultati upisuju se u mjernu listu.



IMG

MJERNA LISTA
ZAVRŠNA KONTROLA

OZNAKA:IMG-ZA-32

Radni nalog broj: _____ Datum: _____

Na poziciji se vrše kontrole: Vizualni pregled (Oštećenja, Ogrebotine), Pregled dimenzija - kontroliraju se navoji, vanjske dimenzije i unutarnje dimenzije

* za serije manje od 200 komada, kontrolira se 20% komada. Za serije veće od 200 komada kontrolira se 10% kom.

R. Br	Serijski br. / Šarža	Vizualna kontrola (DA- U redu/ , NE- Nije u redu)	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Škart (DA/NE)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									

Datum, kontrolirao:_____

Izdanje: rujan 2013.

List 1/1

Slika 21 Mjerna lista [13]

Pošto se izvrši montaža ventila, on se podvrgava tlačnoj probi. Ulazni dio ventila se montira na vodenu pumpu putem koje se narine tlak od 900 bar koji je 2,2 puta veći od dopuštenog radnog tlaka standardnog ventila. Pod tim tlakom se ventil drži 10 min te se promatra dolazi li do pada tlaka ili curenja vode tijekom ispitivanja. Ako se uoči da je došlo do pada tlaka ili da dolazi do procurivanja, ventil se razmontira i traži se uzročnik curenja. Nikada se ne otpisuje cijeli ventil kao škartni proizvod već se samo zamijeni onaj dio koji je uzrokovao pad tlaka ili curenje ispitnog medija. Tlačna proba provodi se na svakom ventilu, neovisno o broju komada u seriji.

IMG

ISPITNI LIST
TLAČNA KONTROLA

OZNAKA:
IMG-ZA-038

Radni nalog broj: _____ Datum: _____

Proizvodi se ispituju prema radnoj uputi IMG-RU-01. Ispituje se svaka pozicija

Ispitni uvjeti:

ISPITNI MEDIJ:	VODA	MANOMETAR:	
TEMPERATURA MEDIJA:	19°C	SOBNATEMPERATURA:	22°C
ISPITNI UREĐAJ	IMG - VODENA PUMPA		

R. Br	Serijski broj	Radni tlak [bar]	Ispitni tlak [bar]	Vrijeme ispitivanja	Ispravan [Da/Ne]	Potpis
1				10'		
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

Kontrolirao:		Potpis:	

Izdanje 01, 12.01.2012.

Listova: 1 List: 1

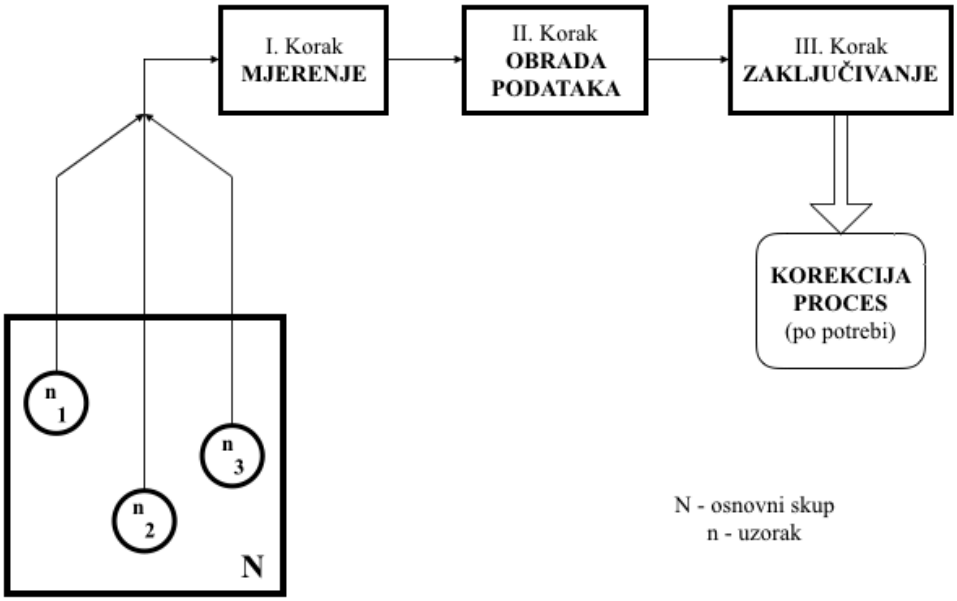
Slika 22 Ispitni list za tlačnu kontrolu ventila [13]

Ispravni ventili se pakiraju te se isporučuju kupcu uz certifikat i jamstveni list. Ta dva dokumenta su završni stadij kontrole kvalitete koji potvrđuju da su isporučeni proizvodi ispravni te da ispunjavaju sve zahtjeve kupca.

Poduzeće ne vodi nikakvu statističku obradu kojom bi pratilo kontrolu kvalitete budući da su usko specijalizirani za proizvodnju visokotlačnih ventila te je to njihov najprodavaniji proizvod pa smatraju kako je proizvodnja već dovoljno "uhodana" te da nema potrebe za praćenjem trendova kvalitete proizvoda.

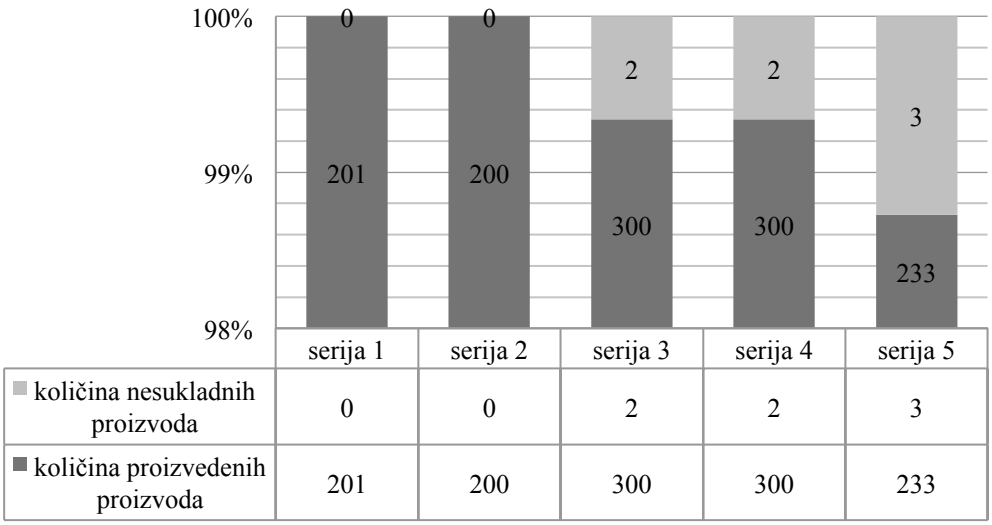
4.4. Statistička kontrola kvalitete na odabranim dijelovima visokotlačnog ventila

Po izradi svake serije proizvoda i poluproizvoda, trebala bi se vršiti statistička kontrola kvalitete koja bi služila za uočavanje nedostataka i ocjenjivanje trenutnog stanja sustava ili procesa te za odabir i implementaciju poboljšanja. Princip statističke kontrole kvalitete je jednostavan, iz skupa proizvoda potrebno je uzeti određeni broj onih koji će se mjeriti. Na temelju dobivenih mjera se obrađuju podaci te se donose zaključci o stanju procesa i korekcijama ako su potrebne. Postupak je jednostavno prikazan i na slici 23.



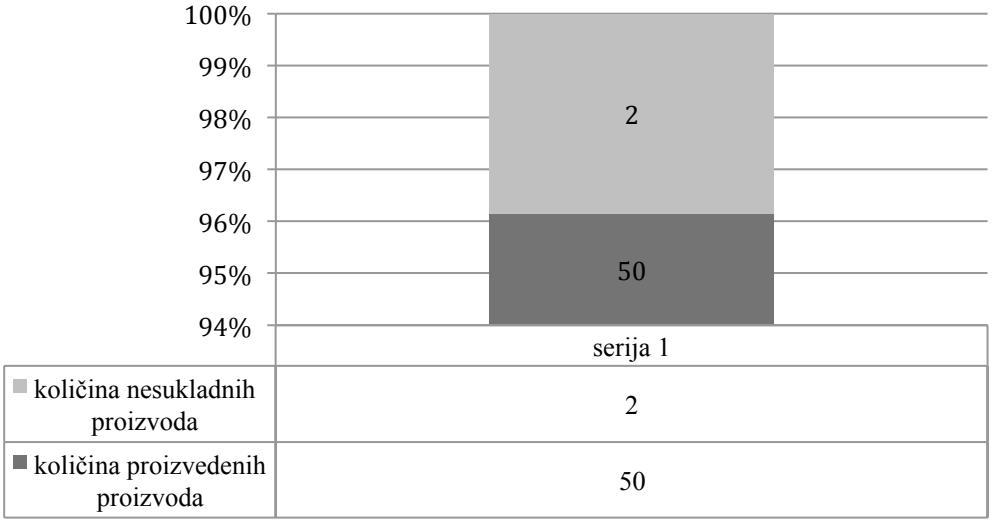
Slika 23 Koraci statističke kontrole kvalitete [1]

Prema podacima poduzeća za prošlu godinu, slikama 24 i 25 dani su prikazi količine škartnih proizvoda po proizvedenim serijama za naglavak i kućište ventila. Tad je proizvedeno pet serija naglavka ventila te samo jedna serija kućišta ventila.



Slika 24 Udio nesukladnih proizvoda unutar proizvedenih serija naglavka ventila [13]

Kao što je vidljivo iz slike 24, u prve dvije serije nije došlo do pojave nesukladnih komada. U drugoj i trećoj seriji, koje su bile iste veličine (300 naglavaka ventila), pojavila su se po dva nesukladna proizvoda što u postotcima iznosi 0,67 % nesukladnih proizvoda unutar serije. U zadnjoj seriji proizvedeno je 233 komada, od čega su tri bila nesukladna, odnosno udio nesukladnih proizvoda je 1,29 %.



Slika 25 Udio nesukladnih proizvoda unutar proizvedene serije kućišta ventila [13]

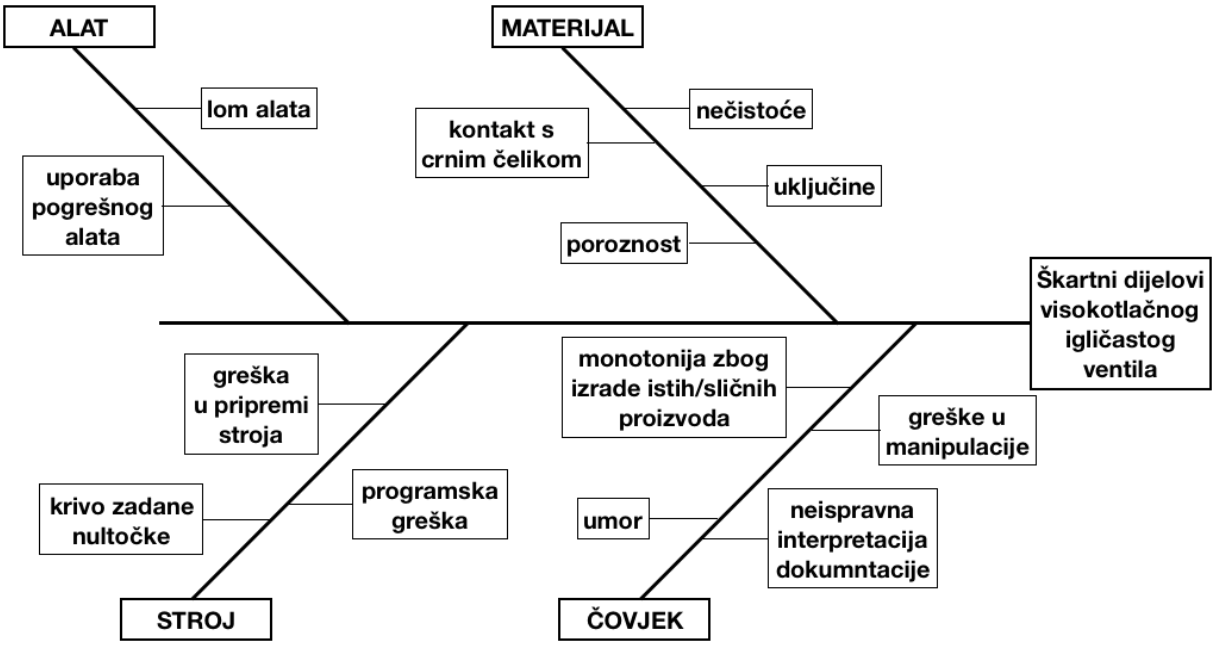
Slika 25 prikazuje odnos ukupno proizvedenih i nesukladnih kućišta ventila. Od ukupno 50 proizvedenih kućišta ventila, dva su bila nesukladna, tj. 4 %.

Da bi se mogao tražiti uzrok nesukladnih proizvoda potrebno je poznavati tehnološki proces izrade za oba dijela.

Pri proizvodnji naglavka ventila, prvo se na pili iz sirovine reže komad na zadanu dimenziju. Zatim se obradak namješta na CNC stroju na kojem se tokari i narezuje navoj. Nakon toga slijedi okretanje obratka te ponovno tokarenje i narezivanje navoja. U završnoj obradi se obradak čisti i polira.

Kod proizvodnje kućišta ventila, također je potrebno prvo pilom izrezati obradak zadanih dimenzija. Nakon namještanja na CNC stroju, obradak se tokari te se potom glodalicom buši. Potom se skidaju bridovi te se obradak polira i čisti.

Promatranjem i analizom procesa proizvodnje te u suradnji s djelatnicima poduzeća uočeni su mogući uzroci nesukladnih proizvoda na temelju čega je izrađen dijagram uzroka i posljedica, odnosno Ishikawa dijagram koji je primjenjiv za oba dijela budući da se u proizvodnji koriste isti ili slični postupci i alati.



Slika 26 Dijagram uzroka i posljedica za pojavu škartnih dijelova u procesu izrade visokotlačnog igličastog ventila

Na slici 26 prikazan je dijagram uzroka i posljedica za promatrani slučaj pojave škartnih dijelova u procesu izrade visokotlačnog igličastog ventila. Greške koje nastaju kao posljedica stroja su zapravo usko vezane s utjecajem čovjeka koji je zadužen za pripremu i namještanje stroja. Osim toga, često su neispravni proizvodi direktno uzrokovani monotonijom posla i umorom, te greškama u manipulaciji obratkom. Kada dođe do pojave škarta zbog krive interpretacije tehničke dokumentacije, potrebno je ustanoviti da li je došlo do krivog shvaćanja nacrta od strane operatera ili je nacrt dvosmisleno i neispravno zadan. Budući da se skladište sirovina u poduzeću nalazi unutar pogona, mogući su kontakti nehrđajućeg čelika s

crnim čelikom što uzrokuje smanjenje kvalitete materijala. Sirovine bi trebalo kontrolirati prilikom preuzimanja kako bi se smanjio udio nekvalitetnog polaznog materijala. Osim toga, bitan je materijal i izbor alata budući da neispravan alat rezultira lomom koji utječe na kvalitetu obratka. Zbog toga je potrebno provjeriti alat te uskladiti parametre alata sa zadanim parametrima obrade. Na temelju izrađenog dijagrama uzroka i posljedica trebalo bi voditi statističku kontrolu kojom bi se utvrdilo u kolikom omjeru pojedini uzroci utječu na dobivanje škartnih proizvoda.

4.5. Prijedlog poboljšanja postojećeg sustava kontrole kvalitete

Iako prema danim podacima izgleda da proces izrade visokotlačnog igličastog ventila dobro funkcionira, postoje opcije za poboljšanje kvalitete i sustava kontrole kvalitete.

4.5.1. Pareto dijagram za poluproizvode i gotovi proizvod

Prvi prijedlog za poboljšanje sustava kontrole kvalitete je Pareto dijagram koji je zapravo nastavak na dobiveni dijagram uzroka i posljedica. Potrebno je pratiti proizvodnju te u postojeću mjernu listu [Slika 21] dodati još jedan stupac u koji bi se unosio uzrok neispravnog proizvoda. Budući da se radi o manjim serijama, podatke bi trebalo skupljati tijekom više serija te pomoću njih izraditi Pareto dijagram. Na temelju dobivenog dijagrama dobio bi se uvid u najčešće uzroke te bi daljnji koraci bili usmjereni prema uklanjanju tih uzroka. Za svaki od uzroka postoje prikladni postupci i rješenja koja bi utjecala na smanjenje škarta. Neki od mogućih postupaka i rješenja za navedene uzroke su:

- Čovjek – ulaganje u edukacije zaposlenih, promjena načina rada (rad s više kraćih stanki za odmor).
- Stroj – uvođenje liste za dodatnu provjeru stroja (za svaki proizvod bi trebalo definirati pozicije i nultočke od strane inženjera te po tome namještati stroj prije svake obrade).
- Materijal – skladište sirovina odvojiti od proizvodnje te dodatno kontrolirati sirovine prilikom preuzimanja.
- Alat – kao i za strojeve, koristiti posebnu listu kojom će biti definirani parametri obrade i materijal alata kao ne bi došlo do loma.

Također bi bilo potrebno izraditi Pareto dijagram za gotove proizvode budući da se za njih ne vodi evidencija o škartu, nego ventil ide na demontažu ako se utvrdi da je tijekom tlačne

probe došlo do propuštanja ispitnog medija. Tijekom demontaže bi se moglo bilježiti koji dio je uzrokovao propuštanje te je zamijenjen. Pomoću ta dva Pareto dijagrama, u cijelosti bi se utvrdili glavni razlozi pojave škarta te bi se na temelju toga provele promjene i poboljšanja u proizvodnji.

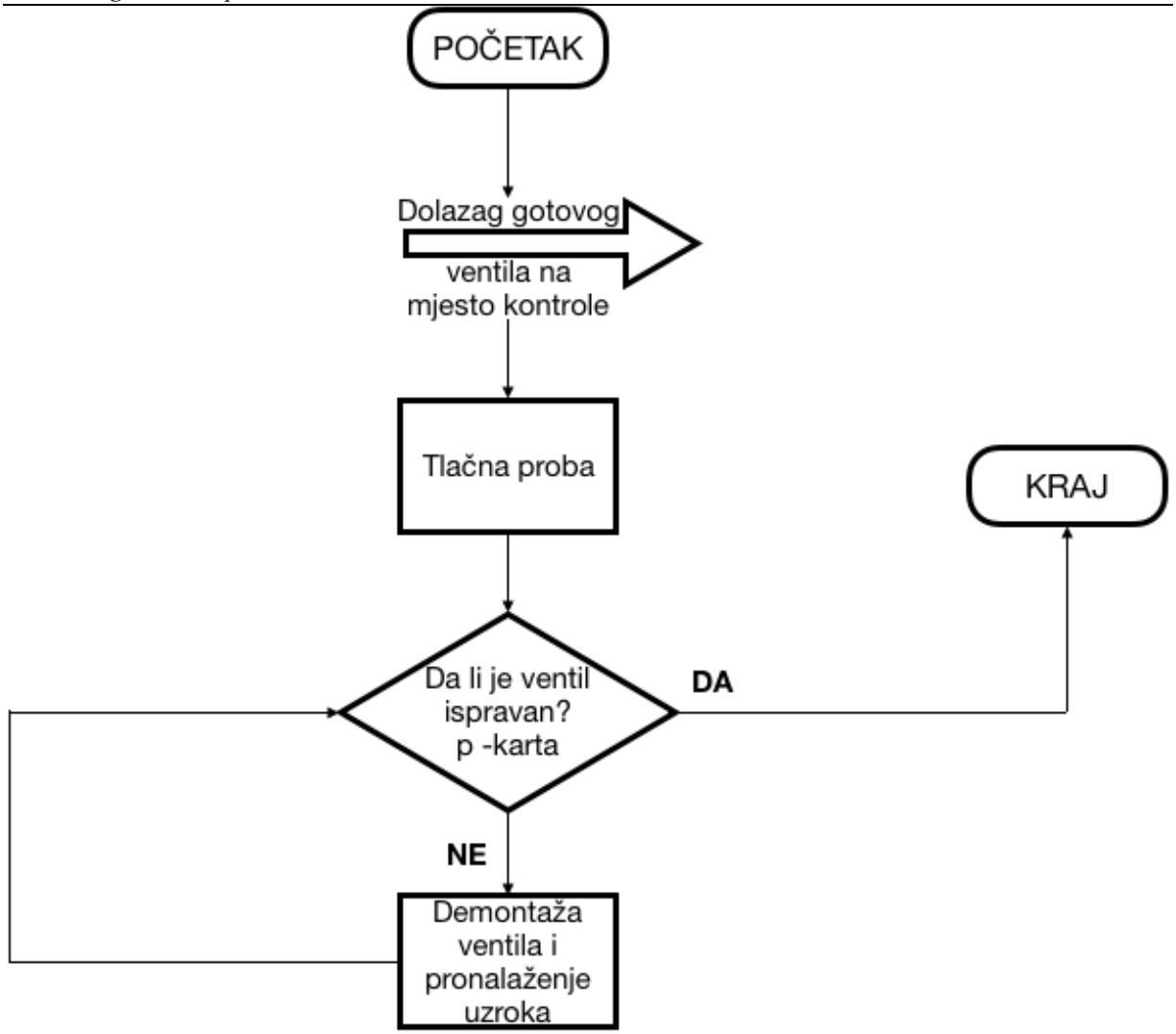
4.5.2. Korištenje kontrolnih karata

Uporabom kontrolnih karata mogli bi se pratiti trendovi u proizvodnji za svaki od dijelova te u konačnici za gotovi proizvod. Budući da se dijelovi, odnosno poluproizvodi proizvode u manjim serijama, moguća je upotreba $\overline{x} - R$ ili $\tilde{x} - R$ kontrolne karte. Ukoliko se radi o serijama kada je $n \leq 10$, potrebno je koristiti $\tilde{x} - R$ kontrolnu kartu koja prati kretanje medijana, što je puno brže od računanja aritmetičkih sredina uzoraka. No ako se radi o većim serijama ili se utvrde velika odstupanja te se pojave vrijednosti van kontrolnih granica, potrebno je provesti kontrolu koristeći $\overline{x} - R$ kontrolnu kartu.

Također bi bilo korisno putem p –karte pratiti atributivne značajke gotovog proizvoda te kao rezultat ispitivanja bilježiti da li je proizvod ispravan ili ne. Ukoliko proizvod ne bi bio ispravan, proveli bi se navedeni koraci demontaže i otkrivanja uzroka.

4.5.3. Dijagram toka za lakše praćenje procesa kontrole kvalitete

Kako bi se navedeni koraci za praćenje kontrole kvalitete lakše provodili i primjenjivali, pogotovo na početku implementacije, može se koristiti dijagram toka koji pokazuje korake u sustavu kontrole [Slika 27]. Kada gotovi ventil dođe na mjesto kontrole, izvršava se tlačna proba. Na temelju dobivenih rezultata, za svaku seriju, izrađuje se p –karta putem koje se prate neispravni proizvodi. Nakon što se zabilježe podaci, neispravni proizvodi mogu ići na demontažu gdje se pronalazi i otklanja uzrok. Nakon toga se ponovno provodi tlačna proba no sada se rezultati više ne bilježe u p –kartu budući da su te pojave već unesene. Kada svi ventili prođu tlačnu probu, serija ide u isporuku. Zbog trenutnog sustava upravljanja kvalitetom, dobiva se dojam kako grešaka na gotovim proizvodima nema, no one postoje ali se daljnjim ispitivanjima eliminiraju te se proizvod popravlja i izlazi iz proizvodnje kao ispravan. Na ovaj način bi se dobio uvid u stvarno stanje kvalitete gotovih proizvoda te bi se moglo vidjeti koliko zapravo demontaža te traženje i uklanjanje uzroka vremenski utječu na završetak i isporuku serije.



Slika 27 Dijagram toka za kontrolu gotovog ventila

4.5.1. JIT metoda za unapređenje cjelokupnog procesa proizvodnje

Budući da poduzeće nema skladišta gotovih proizvoda nego se montaža i proizvodnja provode tek nakon narudžbe kupca, preporuka je potpuna implementacija JIT metode koristeći pritom "5S" korake. Organiziranjem bi se s radnih mjesta uklonio sav nepotrebni sadržaj te bi se uvela digitalizacija budući da se trenutno sustav proizvodnje vodi putem papira i kartica. Uvođenjem digitalizacije olakšalo bi se statističko praćenje kvalitete budući da trenutno postoje brojni računalni sustavi koji obrađuju takve podatke. Zatim bi se sistematizirala radna okolina, odnosno označilo bi se mjesto za svaki alat i element koji se koriste u proizvodnji ili montaži. Budući da čistoća okoline utječe na kvalitetu proizvoda, uvelo bi se svakodnevno održavanje čistoće radnog mjesta i radne okoline. To se odnosi i na skladište sirovina koje bi trebalo redovito čistiti i održavati. Postavljanjem internih normi

pratio bi se napredak implementiranih rješenja. Tako bi se moglo vidjeti koliki je utjecaj korištenja novih alata i metoda na kvalitetu proizvoda. Norme bi služile i za održavanje novih načina i principa rada te kao podsjetnik na djelatnike što se od njih očekuje. Na kraju je bitno održavati disciplinu, tj. poticati zaposlenike da prihvate promjene te ih se drže.

5. ZAKLJUČAK

Promatranjem i analizom procesa izrade te kontrole kvalitete ventila u poduzeću IMG Zagreb d.o.o. dobivena je slika o trenutnom stanju sustava kontrole kvalitete. Na temelju podataka provedena je analiza za ispitivanje uzroka nastanka nesukladnih jedinica te je konstruiran dijagram uzroka i posljedica iz kojeg je vidljivo kako su prepoznata četiri bitna uzroka nastajanja nesukladnih poluproizvoda i proizvoda. Boravkom u poduzeću i uvidom u cijeli proces proizvodnje, od dobave i rezanja sirovina do montaže gotovog proizvoda i isporuke, uočene su mogućnosti poboljšanja sustava koje bi se odrazile i na kvalitetu proizvoda.

Predlaže se primjena JIT metodologije, odnosno "5S" metode, kojom bi se cjelokupno poduzeće reorganiziralo te bi se utvrdile norme i pravila za sve segmente poduzeća. Implementaciju "5S" metode bi trebalo započeti od vrha, odnosno ljudi u vrhovnom menadžmentu, u ovom slučaju direktor i glavni inženjer, bi trebali svojim primjerom utjecati na ostatak poduzeća. Bitno je zaposlenike motivirati da prihvate nove principe rada i organizacije radnog prostora jer samo zadovoljni i motivirani zaposlenici daju najbolje rezultate na radnom mjestu. Predlaže se i investicija u digitalizaciju podataka budući da se trenutno proizvodnja prati putem listova i kartica. Digitalizacija bi omogućila da se u svakom trenutku može pristupiti podacima o trenutnom stanju u proizvodnji za svaki obradak, poluproizvod ili proizvod. Tako bi se također skratilo vrijeme potrebno za analizu podataka budući da bi se podaci automatski pohranjivali u bazu.

Što se tiče samog sustava kontrole kvalitete, prvo je potrebno istražiti u kojem točno omjeru uzroci evidentirani dijagramom uzroka i posljedica utječu na količinu škarta u proizvodnji. Dobiveni podaci bi se obradili Pareto analizom te bi se tražio način da se njihov utjecaj smanji. Prema razgovoru s djelatnicima, ustanovljeno je da je u velikoj mjeri uzrok škarta čovjek što znači da bi rad trebao biti organiziran tako da je radno vrijeme isprekidano s više kraćih stanki za odmor. Također je bitno zaposlenike konstantno educirati i usavršavati, tj. inženjerima omogućiti odlazak na seminare i predavanja o upravljanju proizvodnjom i kontrolom kvalitetom, a zaposlenike u proizvodnji i montaži educirati o novim postupcima, metodama i alatima. Osim praćenja uzroka nastanka škarta, predlaže se i statistička kontrola kvalitete putem kontrolnih karata kojima bi se pratili trendovi i odstupanja unutar serija poluproizvoda i proizvoda tijekom određenog vremena.

Kako bi se mogla provoditi predložena statistička kontrola kvalitete, koja uključuje praćenje proizvodnje, bilježenje i obradu podataka te evidencije putem kontrolnih karata, predlaže se uvođenje novog radnog mjesta inženjera zaduženog za kontrolu kvalitete. Potrebna je kompetentna osoba koja poznaje sve navedene alate i metode te je spremna na provedbu i održavanje istih.

Iako se čini da je orijentacija na kvalitetu skupa te kako je potrebno uložiti određene resurse kako bi se provodile, održavale i pratile promjene kontrole kvalitete, iz danih pregleda i podataka o raznim inozemnim kompanijama vidljivo je kako se takav pristup u konačnici isplati. Promjene bi trebale rezultirati manjom količinom škarta, kraćim vremenom isporuke te manjim troškovima.

LITERATURA

[1] Banovac E., Kozak D., Maglić L.: Osnove, metode i alati kvalitete, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu Sveučilišta J.J. Strossmayera, Osijek, 2011.

[2] Đurašević Ž. Osiguravanje kvalitete U: Inženjerski priručnik IP4, Proizvodno Strojarstvo, Treći svezak, Ogranizacija proizvodnje, 1. izd., Zagreb: Školska knjiga, 2002., str. 237-268.

[3] https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/pub100080.pdf (datum pristupa: 05.09.2019.)

[4] Česovar, T.: CHARACHTERISTICS OF USING TOTAL QUALITY MANAGMENT AND ITS INFLUENCES ON COMPANIES' BUSINESS PERFORMANCES, Ekonomski pregled, 61(9-10), str 534-558. Dostupno na: https://hrcak.srce.hr/59631

[5] General Electrics, Annual Report, 1999. Dostupno na: https://www.nrc.gov/docs/ML0037/ML003719179.pdf

[6] Evans, J. R., Lindsay, M. L., An Introduction to Six Sigma & Process Improvement, Thomas South-Western, 2005

[7] Runje B.: Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja, FSB Zagreb, 2014

[8] https://www.hzn.hr/default.aspx?id=147 (datum pristupa: 12.08.2019.)

[9] https://asq.org/quality-resources/cost-of-quality (datum pristupa: 18.08.2019.)

[10] https://www.researchgate.net/figure/Cost-of-Quality-Graphical-Representation-Many-of-the-COQ-costs-are-hidden-and-very_fig2_317428436 (datum pristupa: 20.08.2019.)

[11] http://home.snu.edu/~jsmith/library/body/v26.pdf (datum pristupa: 22.08.2019.)

[12] https://www.moresteam.com/toolbox/pareto-chart-manufacturing.cfm (datum pristupa: 25.08.2019.)

[13] Interni podaci poduzeća IMG ZAGREB d.o.o.

[14] Lazibat T., Bakoić T.: Šest sigma sustav za upravljanje kvalitetom, Poslovna izvrsnost 1 (1), str. 55-66

Dostupno na: https://hrcak.srce.hr/38522

[15] Klepić Hečimović B., (2013.). Primjena metodologije Six Sigma & Lean u proizvodnji, *Svijet po mjeri,* 2(2)
Dostupno na: https://www.svijet-kvalitete.com/index.php/upravljanje-kvalitetom/2349-primjena-metodologije-six-sigma-lean-u-proizvodnji

[16] https://www.sixsigmadaily.com/what-is-dmadv/
(datum pristupa: 24.07.2019.)

[17] Dusman F., Stančec R.: Odabrana poglavlja iz kontrole kvalitete, FSB, Zagreb, 1983.

[18] Neyestani B.: Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations
Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/315656326_Seven_Basic_Tools_of_Quality_Control_The_Appropriate_Techniques_for_Solving_Quality_Problems_in_the_Organizations

[19] https://www.lecturio.de/magazin/brainstorming-sinnvoll-nutzen/
(datum pristupa: 22.08.2019.)

[20] https://www.6sigma.us/etc/what-is-ishikawa-fishbone-diagram/
(datum pristupa: 22.08.2019.)

[21] https://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_03.htm
(datum pristupa: 22.08.2019.)

PRILOZI

I. CD-R disc