

# Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom u ljevaonicama

---

**Glavinić, Ivan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:459951>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

Ivan Glavinić

ZAVRŠNI RAD

Sisak, svibanj 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

Ivan Glavinić

TRADICIONALNI ALATI UPRAVLJANJA KVALITETOM U  
LJEVAONICAMA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: doc.dr.sc. Tin Brlić

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada:

1. prof.dr.sc. Zoran Glavaš, predsjednik
2. doc.dr.sc. Tin Brlić, član
3. doc.dr.sc. Ivan Jandrlić, član
4. prof.dr.sc. Ljerka Slokar Benić, zamjenski član

Sisak, svibanj 2022.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF METALLURGY

IME: Ivan  
PREZIME: Glavinić  
MATIČNI BROJ: LJ-19-2

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

## IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni / diplomski / doktorski rad pod naslovom:

Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom u ljevaonicama

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak, 5.5.2022.

(vlastoručni potpis)

*Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.*



KLASA: 602-04/22-04/14  
URBROJ: 2176-78/22-04- 77

Sisak, 27. travnja 2022.

Temeljem točke IX. Naputka o završnom radu i završnom ispitu Pravilnika o studiranju na preddiplomskim studijima i diplomskom studiju Metalurškog fakulteta i članka 23. Statuta Metalurškog fakulteta, Fakultetsko vijeće na svojoj 10. redovitoj sjednici od 27. travnja 2022. godine (t. 4), a na prijedlog Povjerenstva za nastavu, donosi sljedeću

## O D L U K U

### o odobravanju teme, imenovanju voditelja i Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada

#### I.

Studentu preddiplomskog sveučilišnog izvanrednog stručnog studija *Ljevarstvo* **IVANU GLAVINIĆU** (LJ-19-2) za voditelja završnog rada pod naslovom "Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom u ljevaonicama" ("Traditional quality improvement tools in foundries") imenuje se **doc.dr.sc. Tin Brlić**.

#### II.

Studentu iz točke I. ove Odluke imenuje se Povjerenstvo za ocjenu i obranu završnog rada u sastavu:

1. prof.dr.sc. Zoran Glavaš, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – predsjednik,
2. doc.dr.sc. Tin Brlić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – član,
3. doc.dr.sc. Ivan Jandrlić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – član,
4. prof.dr.sc. Ljerka Slokar Benić, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet – zamjenska članica.

#### III.

Ova Odluka stupa na snagu danom donošenja.

#### IV.

Protiv ove Odluke može se uložiti prigovor Fakultetskom vijeću Metalurškog fakulteta u roku 8 dana od dana primitka iste.

#### Dostavljeno:

- 1 x Ivan Glavinić
- 4 x voditelj, članovi Povjerenstva
- 1 x Studentska referada
- 1 x Tajništvo
- 1 x pismohrana Fakultetskog vijeća
- 1 x pismohrana

Dekanica Metalurškog fakulteta

  
prof.dr.sc. Zdenka Zovko Brodarac

## ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru mog završnog rada doc.dr.sc. Tinu Brliću na stručnom vođenju, savjetima, pomoći, trudu i utrošenom vremenu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci i pomoći. Također se zahvaljujem svim nastavnicima Metalurškog fakulteta na suradnji i stečenom znanju, a posebno se zahvaljujem svojoj djevojci koja je bila uz mene tijekom cijelog školovanja.

# SAŽETAK

## **Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom u ljevaonicama**

Osiguranje kvalitete ima veliku važnost kako bi se osigurala jednaka kvaliteta proizvoda u cijelome svijetu. Za unaprijeđivanje i održavanje trenutne kvalitete određenog proizvoda ili procesa često se koristi sedam tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom. U ljevačkoj industriji vrlo često se tradicionalni alati za upravljanje kvalitetom koriste kako bi se konstantno unaprijeđivali i poboljšavali postojeći procesi ili proizvodi loše kvalitete tijekom proizvodnje. U ovom završnom radu opisana je primjena sedam tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom u ljevaonicama. Pregled korištenja tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom prikazan je na problemima koji se javljaju u industriji lijevanja različitih metalnih proizvoda i odljevaka. Na primjerima pojave problema u procesima i raznih grešaka na proizvodima lijevanja objašnjena je važnost korištenja tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom u ljevaonicama.

Ključne riječi: kvaliteta, tradicionalni alati upravljanja kvalitetom, kontrola kvalitete, ljevaonice

# ABSTRACT

## **Traditional quality improvement tools in foundries**

Quality assurance has a great importance because it assures equal quality of products all over the world. Improvement and maintenance of product and process quality are usually achieved by using seven traditional quality management tools. Traditional quality management tools are very often used in the foundries to continually improve current processes and to analyze non-compliant products during production. The application of traditional quality management tools in foundries is described and explained in this paper. Further, there is a review of tools used to solve issues that occur during the production of different metal castings. The importance of the implementation of traditional quality management tools in foundries is explained through the examples of process issues and product failures.

Keywords: quality, traditional quality management tools, quality control, foundries

## **POPIS SLIKA**

- Slika 1. Dijagram toka procesa
- Slika 2. Ispitna lista za kontrolu mjere izradka
- Slika 3. Ispitni list za utvrđivanje mjesta i broja nepravilnosti
- Slika 4. Ishikawa dijagram
- Slika 5. Kontrolna karta
- Slika 6. Stabilan proces
- Slika 7. Nestabilan proces
- Slika 8. Histogram
- Slika 9. Pareto dijagram
- Slika 10. Dijagram rasipanja
- Slika 11. Klasifikacija postupaka proizvodnje odljevaka prema vrsti kalupa i modela
- Slika 12. Shematski prikaz faza proizvodnje odljevaka u jednokratnim pješčanim kalupima
- Slika 13. Primjer tablice plana kontrole kvalitete u ljevaonicama
- Slika 14. Dijagram toka procesa proizvodnje odljevaka
- Slika 15. Obrazac za prikupljanje podataka pri proizvodnji košuljica cilindra
- Slika 16. Ishikawa dijagram za greške na odljencima
- Slika 17. Kontrolna karta za promjer Ø20H9
- Slika 18. Histogram analize škartu prema vrstama grešaka na odljencima
- Slika 19. Pareto analiza ljevačkih grešaka
- Slika 20. Dijagram rasipanja na primjeru ovisnosti čvrstoće i temperature kokile

## **POPIS TABLICA**

- Tablica 1. Ljevačke greške u ljevaonici - podaci za izradu Pareto dijagrama



# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod.....  | 1  |
| 2. Pojam kvalitete.....   | 2  |
| 2.1. Razvoj sustava upravljanja kvalitetom.....                                   | 2  |
| 2.1.1. Povijest kvalitete.....  | 2  |
| 2.2. Sustav upravljanja kvalitetom prema normi ISO 9001:2015.....                 | 3  |
| 2.3. Implementacija sustava upravljanja kvalitetom u industriji.....              | 4  |
| 3. Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom.....                                | 6  |
| 3.1. Dijagram toka procesa.....   | 7  |
| 3.2. Obrazac za prikupljanje podataka.....  | 8  |
| 3.3. Dijagram uzrok-posljedica (Ishikawa dijagram).....                           | 10 |
| 3.4. Kontrolne karte.....   | 11 |
| 3.5. Histogram.....   | 13 |
| 3.6. Pareto dijagram.....   | 14 |
| 3.7. Dijagram rasipanja.....  | 15 |
| 4. Kontrola kvalitete u ljevaonicama.....   | 17 |
| 4.1. Greške na odljevcima.....  | 19 |
| 4.2. Kontrola kvalitete odljevaka.....  | 20 |
| 5. Primjena sedam tradicionalnih alata upravljanja kvalitetom u ljevaonicama..... | 23 |
| 5.1. Primjena dijagrama toka procesa u ljevaonici.....                            | 23 |
| 5.2. Primjena obrazaca za prikupljanje podataka u ljevaonici.....                 | 24 |
| 5.3. Primjena dijagrama uzrok-posljedica (Ishikawa dijagram) u ljevaonici.....    | 25 |
| 5.4. Primjena kontrolnih karata u ljevaonici.....                                 | 26 |
| 5.5. Primjena histograma u ljevaonici.....  | 27 |
| 5.6. Primjena Pareto dijagrama u ljevaonici.....                                  | 27 |
| 5.7. Primjena dijagrama rasipanja u ljevaonici.....                               | 29 |
| 6. Zaključak.....   | 30 |
| 7. Literatura.....  | 31 |
| 8. Životopis.....   | 33 |

## 1. UVOD

Sustav upravljanja kvalitetom predstavlja okvir za procese i postupke te usklađivanje radnji usmjerenih na osiguranje kvalitete. Prvenstveni cilj sustava upravljanja kvalitetom je zadovoljstvo kupaca kvalitetom proizvoda ili usluge, pri čemu uspješan sustav upravljanja kvalitetom dovodi do ostvarenja strateških ciljeva, povećanja dobiti, smanjenja troškova, zadovoljstva zaposlenika, dobavljača, društvene zajednice i ostalih [1].

Razvoj sustava upravljanja kvalitetom počinje još u antičko doba postavljanjem minimalnih kriterija za kvalitetu građevinskog materijala u svrhu osiguranja trajnosti građevina, a daljnji razvoj je uslijedio pojavom obrtničkih udruženja i postavljanja jasnih kriterija za stavljanje proizvoda u prodaju. Industrijska revolucija i masovna proizvodnja potaknule su uvođenje sustava upravljanja kvalitetom i primjenu alata za poboljšanje procesa i proizvoda poslovne organizacije, što je postalo izuzetno važno porastom globalizacije, odnosno jačanjem konkurencije i povećanjem zahtjeva kupaca [2].

Poznati su različiti alati za poboljšanje kvalitete, od tradicionalnih alata upravljanja kvalitetom do složenih alata koji daju vrlo detaljnu analizu problema. Tradicionalni alati za upravljanje kvalitetom jednostavni su za primjenu, a mogu se upotrijebiti za rješavanje velikog broja različitih problema. Također, omogućuju analizu kvalitete proizvoda i procesa kroz vizualizaciju podataka, što olakšava nadzor nad procesima i procjenu uspješnosti poduzetih korektivnih mjera [3]. U industrijskoj proizvodnji, između ostalog i u ljevaonicama, kvalitetom se upravlja reguliranjem procesnih parametara, koji se podešavaju nakon analize dobivenih rezultata primjenom različitih alata [4].

Cilj završnog rada bio je napraviti pregled i opis tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom u svrhu poboljšanja kvalitete procesa i proizvoda u ljevačkoj industriji. Detaljnije su pojašnjeni i opisani primjeri primjene ovih alata u ljevačkoj industriji kao kompleksne organizacije s nizom složenih procesa i proizvoda kod kojih se uvode različite metode kontrole i analiza kako bi se spriječila proizvodnja nesukladnih proizvoda. Primjena sedam tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom u ljevačkoj industriji pokazuje se kao jedan od vrlo bitnih faktora za osiguranje kvalitete procesa i proizvoda u ljevaonicama.

## **2. POJAM KVALITETE**

Jedna od najčešćih i najjednostavnijih definicija kvalitete je da je kvaliteta zadovoljstvo kupca, međutim postoji mnogo različitih definicija. Sa stajališta potrošača, kvaliteta je razina do koje određeni proizvod ili usluga zadovoljava potrebe korisnika, dok je sa stajališta proizvođača mjera koja pokazuje koliko je vlastiti proizvod ili usluga postigla uspjeh na tržištu. Kvaliteta sa stajališta tržišta je mjera ispunjavanja zahtjeva kupaca od strane različitih proizvođača istovrsnih proizvoda ili usluga. U ISO normi kvaliteta je definirana kao ukupnost svojstava i obilježja proizvoda ili usluga koje se odnose na njegovu sposobnost da zadovolji izražene ili pretpostavljene potrebe. Sustav kvalitete uključuje ustrojstvo, odgovornosti, postupke, procese i sredstva za obavljanje odgovornosti upravljanja kvalitetom i ispunjavanje svih zahtjeva čime se osigurava postizanje poslovnih ciljeva. Osiguranje kvalitete je skup sustavnih radnji koje su unaprijed utvrđene, a kojima se osigurava da proizvod ili usluga zadovoljavaju utvrđene zahtjeve za kvalitetu. Kontrola kvalitete podrazumijeva sve izvedbene postupke i radnje koje se upotrebljavaju da bi se ispunili zahtjevi za kvalitetu [5,6].

### **2.1. Razvoj sustava upravljanja kvalitetom**

Razvoj sustava upravljanja kvalitetom doprinosi razvoju poduzeća i postizanju poslovnih uspjeha, što je cilj svake poslovne organizacije. Ispunjavanjem zahtjeva sustava upravljanja kvalitetom, postižu se bolji poslovni rezultati kroz analize postojećeg stanja i stalno poboljšavanje.

Razina sustava upravljanja kvalitetom očituje se na troškovima poslovanja, prihodima te konkurentnosti tvrtki na ciljanom tržištu. Uspješan sustav upravljanja kvalitetom znači minimiziranje troškova, jer se smanjuje broj grešaka i propusta u procesu proizvodnje, a s druge strane povećavaju se prihodi jer su zahtjevi kupca ispunjeni [2]. Za uspješno poslovanje bitno je pružiti očekivanu vrijednost proizvoda, ali i uključiti korisnika u proces stvaranja i isporuke proizvoda ili usluge [7].

Sve izraženija tržišna konkurencija, liberalizacija međunarodne trgovine i globalizacija, zahtjeva od tvrtki stalno praćenje tržišnih trendova, unaprijeđenje proizvoda ili usluga, s cijenom proizvoda koja je prihvatljiva za ciljano tržište, a uspješan sustav upravljanja kvalitetom je temelj uspješnog poslovanja [8].

#### **2.1.1. Povijest kvalitete**

Prva pravila vezana za kvalitetu proizvoda napisana su 2100. godine prije nove ere, kada je babilonski kralj Hamurabi donio Zakon o zaštiti kupaca i malih poduzetnika od prijevara, no smatra se da pravi razvoj sustava upravljanja kvalitetom počinje u razdoblju od 13. do 19. stoljeća kada su obrtnici bili organizirani u cehove unutar kojih su postojala stroga pravila za kvalitetu proizvoda i inspekcije kao dokaz kvalitete.

Na početku 19. stoljeća u vrijeme industrijske revolucije razvijaju se veliki tvornički sustavi u kojima je cilj što veća produktivnost. Krajem 19. stoljeća inženjeri planiraju proizvodnju, a zaposlenici moraju proizvesti što više komada nekog proizvoda, što zbog monotonosti dovodi do velikog broja grešaka zbog čega se uvode inspekcijski odjeli [9].

Početak 20. stoljeća pojavljuje se procesni pristup u upravljanju kvalitetom kao skup aktivnosti koje imaju ulazna sredstva, koja mu dodaju vrijednost i koja daju izlazna sredstva, te se razvija statistička kontrola procesa i PDCA (eng. Plan-Do-Check-Act) krug. Tijekom Drugog svjetskog rata američki inženjer Edwards Deming radi na poboljšanju kvalitete u američkim tvornicama gdje odgovornost za kvalitetu stavlja na menadžment, no svoj rad nastavlja u Japanu gdje je uz dva američka stručnjaka, Josepha Juran i Armanda Feigenbauma, postavio tri osnovna načela za uspješno upravljanje kvalitetom: planiranje, kontrola i poboljšanje. Feingbaum je zagovarao koncept potpune kontrole kvalitete (eng. Total quality control - TQC) kod kojeg je kvaliteta sastavni dio organizacije, a fokus je stavljen na zadovoljstvo kupaca, dok je Juran isticao važnost sudjelovanja svih zaposlenika u postizanju ciljeva kvalitete [2].

Nakon Drugog svjetskog rata japanski proizvodi bili su sinonim za lošu kvalitetu, stoga se intenzivno radilo na poboljšanju sustava te do 70-tih godina 20. stoljeća njihovi proizvodi postaju kvalitetniji od američkih [9]. Kaoru Ishikawa, poznati japanski teoretičar, postavlja upravljanje kvalitetom u svim procesima i aktivnostima kao preduvjet za uspješno poslovanje, razvija uzročno-posljedični dijagram, te definira sedam tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom [10]. Razvijen je i model upravljanja TQM (eng. Total quality management) prema kojemu svi odjeli unutar organizacije teže ka ostvarivanju kvalitete [9].

80-tih godina prošlog stoljeća američke kompanije prihvaćaju japanske strategije u upravljanju kvalitetom kako bi smanjili udio neispravnih komada i zaostajanje za japanskim proizvođačima. 1987. godine uvode se nagrade za kvalitetu "Malcom Baldrige National Quality Award", te je objavljena ISO 9000 norma pod nazivom „Sustavi kvalitete – model osiguranja kvalitete u dizajnu, razvoju, proizvodnji, instalaciji i servisiranju proizvoda“.

21. stoljeće je stoljeće globalizacije i velike konkurencije, što znači da o kvaliteti proizvoda ovisi opstanak na tržištu, jer kupci odabiru proizvode najviše kvalitete bez obzira na porijeklo, stoga je neophodno stalno poboljšavanje sustava upravljanja kvalitetom i praćenje svjetskih trendova [9].

## **2.2. Sustav upravljanja kvalitetom prema normi ISO 9001:2015**

Kako bi se proizvod mogao plasirati na međunarodno tržište, tvrtka mora posjedovati certifikat za sustav upravljanja kvalitetom koji izdaje akreditirana certifikacijska tvrtka ukoliko su ispunjeni svi zahtjevi norme ISO 9001:2015. To znači da organizacija mora uspostaviti, dokumentirati, primijeniti i održavati sustav upravljanja kvalitetom, koji osim što osigurava kontinuirano poboljšavanje rada organizacije, pruža klijentima sigurnost u kvalitetu proizvoda ili usluga.

Prva verzija međunarodne serije normi ISO 9000 za izgradnju i upravljanje sustavima kvalitete izdana je 1987. godine, a do sada su napravljene četiri revizije norme: ISO 9001:1994, ISO 9001:2000, ISO 9001:2008, te najnovija ISO 9001:2015. Revizije se izrađuju na temelju potreba korisnika i iskustva organizacija u primjeni prethodne verzije, a s ciljem poboljšanja sustava upravljanja kvalitetom i poboljšanja konkurentnosti na tržištu [5].

Najvažnije izmjene donesene u reviziji iz 2015. godine odnose se na upravljanje rizicima, procesni pristup upravljanju, te jasno definiranje odgovornosti i ovlasti u organizaciji. Uvodi se objedinjen pojam „dokumentarna informacija“ za dokumente, priručnike, dokumentirane postupke i zapise, razmatranje pojma „kontekst organizacije“, te promjene u terminologiji.

Norma za sustav upravljanja kvalitetom temelji se na sedam osnovnih načela:

1. usmjerenost na kupca – organizacija mora razumjeti sadašnje i buduće zahtjeve kupaca,
2. vodstvo – vodstvo tvrtke je odgovorno za postavljanje ciljeva i održavanje motiviranosti djelatnika,
3. uključenost ljudi – potpuno uključivanje djelatnika u ostvarenje ciljeva donosi maksimalnu i obostranu korist,
4. procesni pristup – pri određivanju aktivnosti za ostvarivanje ciljeva uzima se u obzir svaki pojedini proces,
5. stalno poboljšavanje – donosi veću sposobnost za ispunjavanje zahtjeva kupca,
6. činjenični pristup u donošenju odluka – odluke temeljene na dostupnim podacima i informacijama,
7. obostrano koristan odnos s dobavljačima – dobar odnos s dobavljačima donosi koristi za obje tvrtke [5,6].

### **2.3. Implementacija sustava upravljanja kvalitetom u industriji**

Pri uvođenju sustava upravljanja kvalitetom u različite industrije potrebno je:

- utvrditi procese koji su potrebni za rad organizacije i za sustav upravljanja kvalitetom,
- odrediti slijed i međusobno djelovanje tih procesa,
- odrediti kriterije i metode kojima će se osigurati učinkovito odvijanje procesa i upravljanje tim procesima,
- osigurati dostupnost svih resursa i informacija potrebnih pri provođenju i nadziranju tih procesa,
- osnovati timove unutar organizacije koji će raditi na uspostavi sustava upravljanja kvalitetom [5].

Osnovni dokumenti organizacije kod implementacije sustava upravljanja kvalitetom su dokumenti u kojima su definirani misija, vizija, strategija i politika kvalitete. Opis cjelokupnog sustava izrađuje se u obliku poslovnika i prati se redoslijed zahtjeva opisanih u normi. Na temelju njega definiraju se postupci svakog pojedinog procesa kao zasebni dokumenti. Svaki proces treba imati svoju listu dokumenata na kojoj se nalaze oznake i nazivi radnih uputa i popratnih obrazaca, a jedan od najvažnijih dokumenata organizacije je procjena rizika.

Prije izrade svih navedenih dokumenata potrebno je definirati način upravljanja dokumentima i način označavanja dokumenata. Dokumenti moraju imati definiranu oznaku prema kojoj je vidljivo kojem odjelu, odnosno listi dokument pripada i koja je vrsta dokumenta u pitanju (radna uputa, obrazac, postupak, itd.), zatim naziv dokumenta, ime autora, ime osobe koja je odobrila dokument, broj revizije i datum izrade.

Kada je pripremljena sva dokumentacija i interno je provjereno da organizacija funkcionira u skladu s normom, neovisna ovlaštena tvrtka provodi nadzor sustava, tzv.audit, a ukoliko su svi zahtjevi ispunjeni, organizaciji se izdaje certifikat za obavljanje djelatnosti. Nadzor sustava se provodi jedanput godišnje zbog čega je potrebno trajno održavati i poboljšavati sustav upravljanja kvalitetom [5,11].

### 3. TRADICIONALNI ALATI UPRAVLJANJA KVALITETOM

Izbor alata koji se koriste za unaprijeđenje kvalitete je velik, a svaka organizacija odabire alate koji će donijeti najbolje rezultate s obzirom na postavljene ciljeve i procese ili usluge koje se provode unutar organizacije. Alati i metode kvalitete, odnosno tehnike, vještine i mehanizmi se primjenjuju za rješavanje ili prevenciju određenih problema unutar organizacije. Razlikuju se tradicionalni, novi, jednostavni i sustavni alati [5].

Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom uključuju grafički prikaz zbog sinteze velikih količina podataka, čime se olakšava razumijevanje i rješavanje određenog problema [2]. Prema Ishikawi, 95% problema vezanih za kvalitetu procesa i proizvoda moguće je riješiti primjenom sedam osnovnih alata osiguranja kvalitete:

- dijagram toka procesa,
- obrazac za prikupljanje podataka,
- uzročno-posljedični dijagram (Ishikawa dijagram),
- kontrolne karte,
- histogram,
- Pareto dijagram,
- dijagram rasipanja [12-16].

Dijagram toka procesa je hijerarhijski prikaz faza procesa s ulaznim i izlaznim parametrima, te njihove međuovisnosti. Može biti detaljno ili jednostavno prikazan, ali treba uključivati sve korake u procesu proizvodnje.

Obrazac za prikupljanje podataka je obrazac koji se koristi tijekom procesa kako bi se na brz, sistematski i organiziran način prikupili točni podaci. Na taj način prati se proizvodni proces u svrhu kontinuiranog poboljšanja.

Uzročno-posljedični dijagram je alat kojim se pronalaze uzroci određenog problema na način da se uzmu u obzir svi utjecajni faktori, od menadžmenta do utjecaja okoline, kako bi se otkrili najznačajniji uzroci.

Kontrolne karte su alat za statističku kontrolu procesa. Omogućuju nadzor i kontrolu varijacija procesa, te uočavanje nepovoljnih promjena. Kontrolnim kartama mjeri se stabilnost i sposobnost procesa.

Histogram je grafički prikaz učestalosti pojave određenih problema, odnosno promatranih parametara čime se olakšava praćenje prikupljenih podataka.

Pareto dijagram je grafički prikaz gdje su greške i utjecajni čimbenici procesa poredani od najučestalijih prema najmanje učestalim. Svrha Pareto dijagrama je stavljanje fokusa na najučestalije uzroke problema zbog kojih nastaje najveći udio škarta. Pareto dijagram temelji se na principu da 20% uzroka ili grešaka uzrokuje 80% problema.

Dijagram rasipanja je grafička analiza međuovisnosti dvije varijable prema čemu se kontrolira proces u budućnosti [12-16].

### **3.1. Dijagram toka procesa**

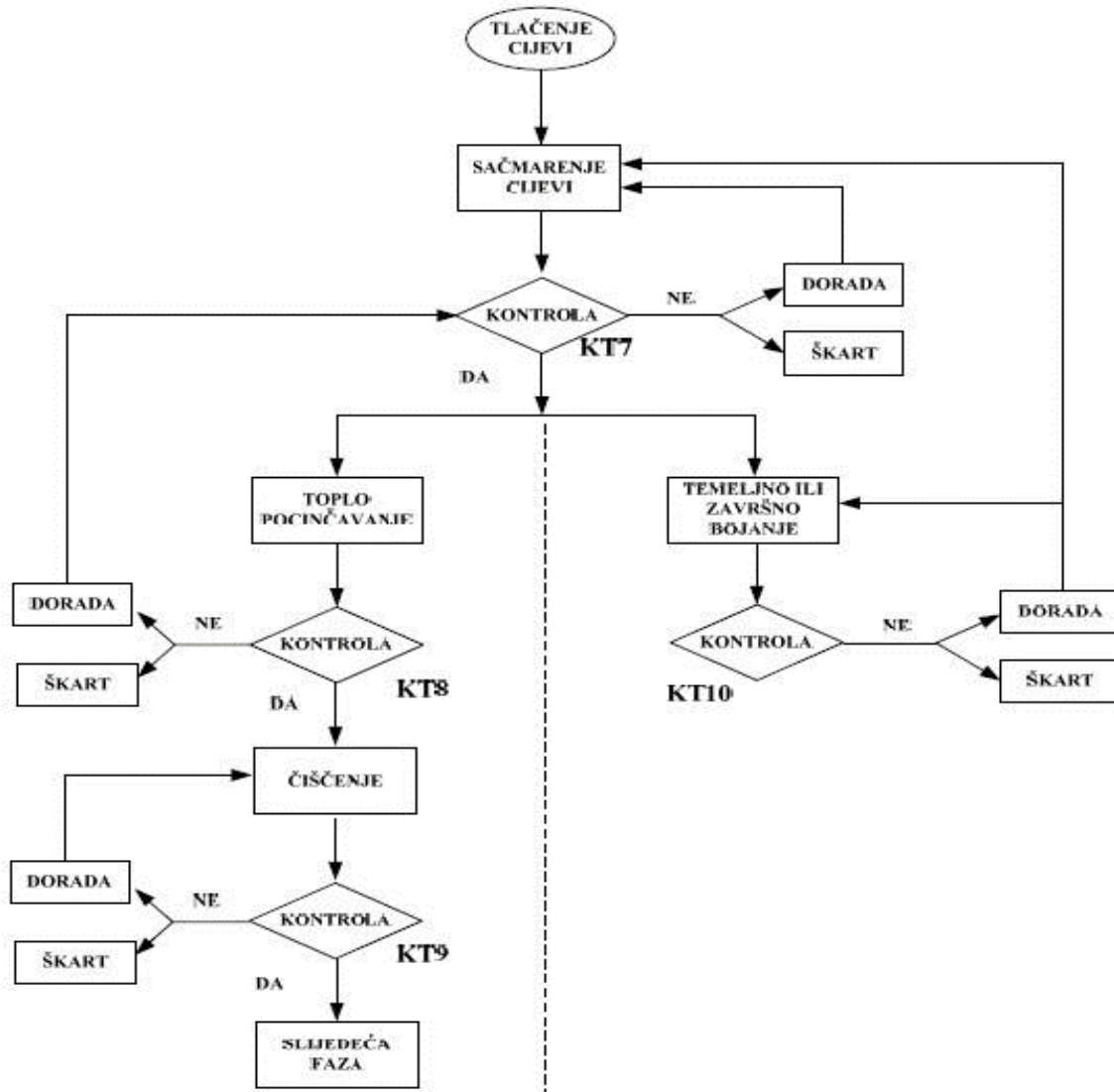
Alat dijagram toka procesa koristi se za prikazivanje kompliciranih tokova procesa na jasan i transparentan način. Dijagram toka procesa grafički je prikaz cjelokupnog procesa koji uključuje točke kontrole i postupanje u slučaju nesukladnosti. Daje veliki broj podataka o procesu i zbog toga se može koristiti u gotovo svim fazama rješavanja problema kvalitete, a primjenjuju se za lakše razumijevanje procesa i poboljšavanje procesa, jer pojedinac ili tim koji je uključen u rješavanje određenog problema u kvaliteti obično nije detaljno upoznat sa svim procesima u organizaciji [5]. Ovaj alat vrlo je praktičan kod pojašnjavanja procesa industrijske proizvodnje kupcima i ostalim zainteresiranim stranama. Na slici 1 prikazan je primjer dijagrama toka procesa [17].

Izrada dijagrama toka procesa sastoji se od sljedećih koraka:

- određivanje ulaza i izlaza,
- definiranje svih faza procesa,
- grafičko prikazivanje procesa,
- utvrđivanje međuovisnosti u elementima dijagrama, te
- provjera logičnosti toka dijagrama [5].

Dijagram toka procesa olakšava utvrđivanje kritičnih mjesta u procesu, mogućih mjesta poremećaja procesa, odgovornosti za pojedine operacije, pregleda zapisa i drugih dokumenata za pojedini proces te pomaže kod objašnjavanja procesa i predlaganja boljih rješenja [5]. Dijagram se analizira kronološkim redoslijedom, a posebna pozornost daje se točkama kontrole i postupanju u slučaju nesukladnosti.





Slika 1. Dijagram toka procesa [17]

### 3.2. Obrazac za prikupljanje podataka

Obrasci za prikupljanje podataka osiguravaju sistematično prikupljanje podataka kako bi se dobila osnova za daljnju grafičku obradu što olakšava kasniju analizu. Upisivanjem podataka u obrasce za prikupljanje podataka moguće je kategorizirati greške određenog proizvoda i utvrditi učestalost pojave grešaka.

U obrascu se navode sljedeće informacije [5]:

- tipovi greški i parametara koji se analiziraju,
- metoda prikupljanja podataka,
- vremenski ciklus u kojem se provodi mjerenje.

Kod prikupljanja podataka važno je navesti da je dostupno više oblika ispitnih lista, primjerice ispitne liste za provjeru oblika vjerojatnosti procesa, te ispitne liste za utvrđivanje mjesta nepravilnosti. Ispitne liste za provjeru oblika vjerojatnosti procesa koriste se kada se želi dati uvid u distribuciju vrijednosti kroz određeni period. Primjer ispitne liste dan je na slici 2 gdje se kroz kontrolu mjere izradka u tri smjene prati ispravnost dimenzije Ø90H7 na osovini. Iz navedenog primjera vidi se da je u prvoj smjeni najmanje, u drugoj više, a u trećoj smjeni najviše neispravnih komada zbog smanjenja mjere, odnosno dimenzija, koje su u većoj mjeri ispod donje granice tolerancije što upućuje na zaključak da se tijekom dana moguće istrošila oštrica noža [17].

|    |    | Ispitni list mjere Ø90H7 (mm) |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|----|----|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|    |    | <89,980                       | 89,980 | 89,985 | 89,990 | 89,995 | 90 | 90,005 | 90,010 | 90,015 | 90,020 | 90,025 | 90,030 | 90,035 | 90,040 | 90,045 | 90,050 | 90,055 | 90,060 | 90,065 | 90,070 | >90,070 |
| 15 |    |                               |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 14 |    |                               |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 13 |    |                               |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 12 |    |                               |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 11 |    |                               |        |        |        |        |    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 10 |    |                               |        |        |        |        |    |        | X      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 9  |    |                               |        |        |        |        |    | X      | X      |        | X      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 8  |    |                               |        |        |        |        |    | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 7  |    |                               |        |        |        |        | X  | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 6  |    |                               |        |        |        | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 5  |    |                               |        | X      | X      | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 4  |    |                               |        | X      | X      | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |        |         |
| 3  |    |                               | X      | X      | X      | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |        |        |         |
| 2  | X  | X                             | X      | X      | X      | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |        |        |         |
| 1  | X  | X                             | X      | X      | X      | X      | X  | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      | X      |        |        |         |
| S3 | 11 | 44                            | 27     | 1      | 1      | 1      | 1  | 2      | 1      | 2      | 2      | 1      | 3      | 3      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      |        |         |
| S2 | 12 | 19                            | 31     | 1      | 1      | 2      | 2  | 2      | 1      | 1      | 2      | 1      | 5      | 3      | 4      | 2      | 2      | 1      | 1      | -      | -      | -       |
| S1 | 3  | 31                            | 34     | -      | -      | -      | 1  | 2      | 5      | 6      | 6      | 6      | 3      | 3      | 1      | 1      | -      | -      | -      | -      | -      | -       |
| Σ  | 26 | 64                            | 90     | 2      | 3      | 5      | 5  | 6      | 7      | 9      | 10     | 8      | 9      | 7      | 6      | 4      | 3      | 2      | 2      | 1      | 1      | 0       |

Slika 2. Ispitna lista za kontrolu mjere izradka [17]

Ispitni list za utvrđivanje mjesta nepravilnosti primjer je jednostavne ispitne liste kod koje je moguće utvrditi broj grešaka s obzirom na proces tijekom kojeg se greška pojavljuje. U ovom slučaju radi se o kvantitativnom praćenju nepravilnosti, a daje informaciju koji bi proces trebao poboljšanje, slika 3.

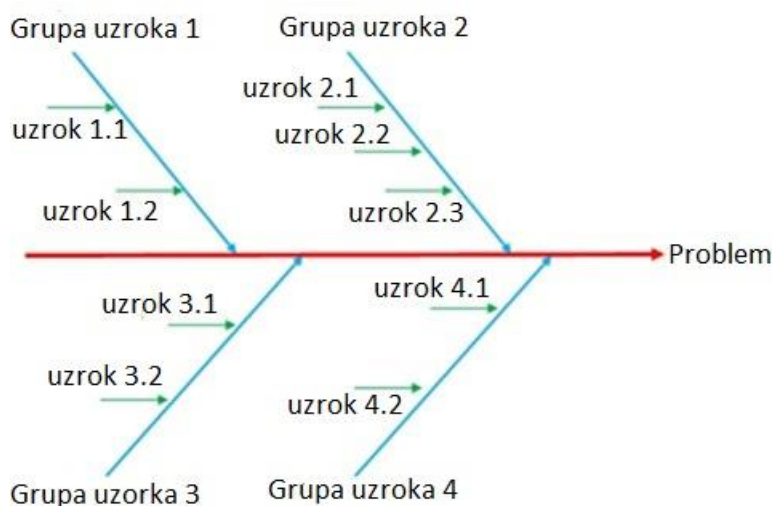
| Mjesto greške     | Broj grešaka | Ukupno |
|-------------------|--------------|--------|
| Rezanje           |              | 4      |
| Tokarenje         |              | 2      |
| Glodanje          | ++++         | 5      |
| Brušenje          |              | 1      |
| Površinska obrada |              | 2      |
| Pakiranje         |              | 1      |

Slika 3. Ispitni list za utvrđivanje mjesta i broja nepravilnosti [17]

Vrlo često se završne ispitne liste koriste na završnoj kontroli proizvoda. Obrazac za prikupljanje podataka uključuje podjelu prema svim vrstama greški koje se mogu pojaviti tijekom svakog pojedinog procesa. Na taj način se također utvrđuje koji je proces kritičan, odnosno koji proces uzrokuje značajnu količinu škarta. Završna ispitna lista je kvalitativna i kvantitativna analiza proizvoda [17].

### 3.3. Dijagram uzrok - posljedica (Ishikawa dijagram)

Dijagram uzrok – posljedica, poznatiji kao Ishikawa dijagram, jedan je od tradicionalnih alata kojim se kroz grafički prikaz sortiraju i identificiraju mogući uzroci određenog problema. Pri identificiranju uzroka, uzroci se dijele u 6 grupa: oprema, metoda, materijal, čovjek, mjerenje i okolina.



Slika 4. Ishikawa dijagram [18]

Potom se, kako je prikazano na primjeru, slika 4, proširuju uzroci tako da se svaki od uzroka analizira 5W tehnikom: gdje, što, kad, tko, zašto (eng. Where, What, When, Who, Why). Na taj način se otkriva korijen uzroka problema, a kad se nabroje svi mogući uzroci, identificira se i označava tri do pet vjerojatnih ili najznačajnijih uzroka. Sljedeći korak je analiza i rješavanje tih uzroka primjenom drugih alata, primjerice Pareto analizom [17].

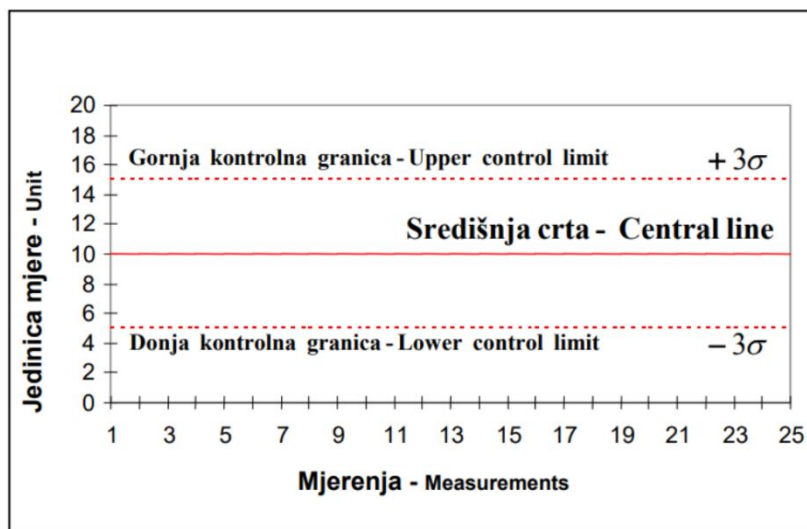
### 3.4. Kontrolne karte

Kontrolne karte jedan su od najznačajnijih alata u kontroli procesa. Ovim alatom se kroz grafički prikaz prati kretanje određene značajke u vremenu, kako bi bilo moguće dobiti uvid je li proces unutar postavljenih granica tolerancije te radi li se o stabilnom procesu ili postoje određena odstupanja. U slučaju odstupanja procesa, radi se kasnija analiza uzroka kako bi se uspostavila stabilnost procesa.

Osnovne mogućnosti korištenja kontrolnih karti su:

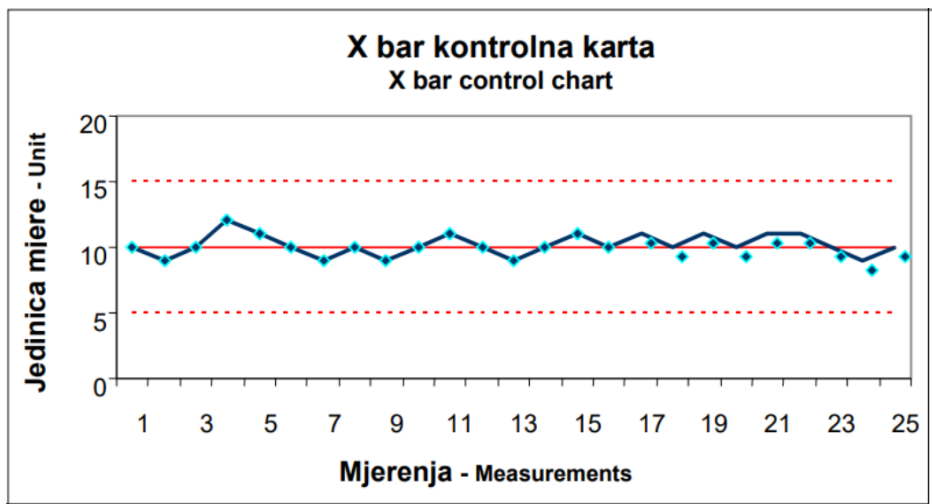
- analiza stabilnosti procesa,
- poboljšanje kvalitete procesa u cilju približavanja nominalnoj vrijednosti,
- stabilizacija procesa otkrivanjem i uklanjanjem faktora nestabilnosti,
- upravljanje kvalitetom procesa čim se pojave promjene u rezultatima,
- kontrola kvalitete u pojedinim fazama procesa [17].

Kontrolna karta sastoji se od nominalne vrijednosti, odnosno središnje linije procesa (eng. Central line - CL), zatim gornje kontrolne granice (eng. Upper control limit - UCL) i donje kontrolne granice (eng. Lower control limit - LCL) kao oznaka područja tolerancije. Kontrolne granice se najčešće postavljaju na tri standardna odstupanja ( $\pm 3\sigma$ ), kao što je prikazano na slici 5 [5]. Rezultati mjerenja unose se u kontrolnu kartu nakon izvršenih mjerenja, te se određuje stabilnost procesa.

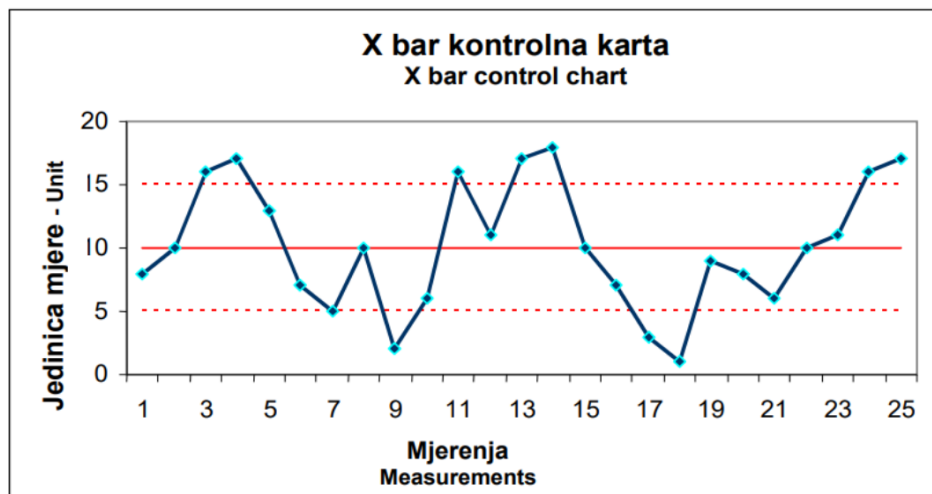


Slika 5. Kontrolna karta [19]

Na slici 6 dan je primjer  $\bar{X}$  kontrolne karte stabilnog procesa čiji se rezultati kreću oko nominalne vrijednosti, odnosno oko centralne linije. Primjer značajnog odstupanja rezultata prikazuje  $\bar{X}$  kontrolna karta na slici 7. Procesi koji imaju ovakav oblik  $\bar{X}$  kontrolne karte zahtijevaju detaljniju analizu procesa obzirom da se radi o nestabilnom procesu, pri čemu postoji mogućnost da proizvod bude nesukladan zahtjevima kupca.



Slika 6. Stabilan proces [19]



Slika 7. Nestabilan proces [19]

Razlikuju se sljedeće vrste kontrolnih karti:

- kontrolne karte koje prate mjerljive karakteristike,
- kontrolne karte koje prate atributivne (opisne) karakteristike,
- specijalne kontrolne karte.

Kontrolne karte za mjerljive karakteristike primjenjuju se kada se prate mjerljive karakteristike, primjerice rezultati mjerenja pojedine dimenzije. Kontrolnim kartama ove vrste obično se prate

značajne mjerljive karakteristike procesa bitne za funkciju proizvoda. S obzirom na način praćenja odnosa između vrijednosti  $X$  i raspona  $R$ , odnosno odstupanja  $\sigma$ , razlikuju se:

- $\bar{X}$  - kontrolne karte,
- $\bar{X} - R$  kontrolne karte,
- $\bar{X} - \sigma$  kontrolne karte, i dr [17].

Kontrolne karte za atributivne karakteristike koriste se za proizvode s velikim brojem mjerljivih karakteristika kod kojih bi mjerenje svih mjerljivih karakteristika i izrada kontrolnih karti značilo povećanje troškova, te za karakteristike procesa koje se opisuju kao loše ili dobre. Atributivne karakteristike kontrolnih karti prate se upotrebom:

- $p$  kontrolne karte,
- $np$  kontrolne karte,
- $u$  kontrolne karte ili
- $c$  kontrolne karte [17].

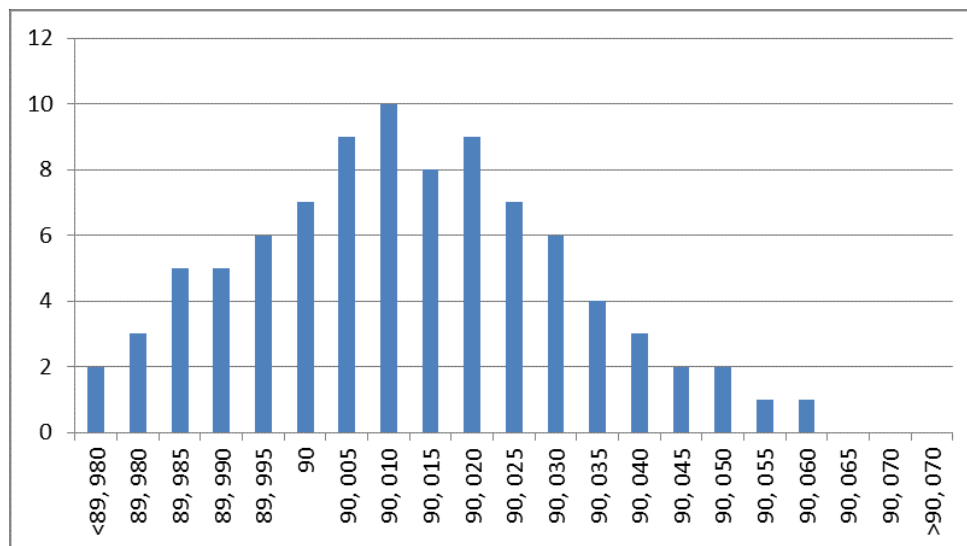
Na osnovu kontrolnih karata određuje se je li proces stabilan i postoje li sistemski utjecaji koji se otkrivaju korištenjem pravila jedne točke, sedam točaka, neobičnih ponavljanja, te pravila srednje trećine. Kontrolne karte izrađuje stručno osoblje, a budući da donose dodatne troškove, ne koriste se za procese koji imaju mali utjecaj na kvalitetu, odnosno neznatan broj grešaka [17]. Prema dobivenim rezultatima kontrolnih karata provodi se analiza procesa kako bi se uklonili uzroci varijacija ili odstupanja u rezultatima mjerenja. Na taj način sprječava se proizvodnja nesukladnih proizvoda, odnosno smanjuju se troškovi proizvodnje [5].

### 3.5. Histogram

Histogram je stupičasti grafički prikaz kojim se prati učestalost pojavljivanja vrijednosti određenih parametara iz procesa na način da se bilježe njegove vrijednosti pri čemu se dobije oblik razdiobe procesa. Na taj način se prati učestalost pojavljivanja određene pojave ili greške u procesu pri čemu se prati vrijednost mjenog parametra i njegova frekvencija kao što je prikazano na slici 8. Korištenjem ovog alata daje se jasan uvid u promjene vrijednosti koje se pojavljuju tijekom procesa, odnosno u učestalost pojavljivanja određenih grešaka [17].

Primjena histograma podrazumijeva sljedeće korake:

- prikupljanje podataka,
- izradu tablice,
- izračunavanje raspona  $R$ ,
- crtanje histograma,
- analiza histograma [5].



Slika 8. Histogram [17]

### 3.6. Pareto dijagram

Pareto analiza je proces rangiranja problema ili grešaka na temelju njihovog udjela u nekom promatranom procesu proizvodnje pri čemu se odvajaju bitni, vitalni uzroci, od onih koji imaju neznatan utjecaj [5]. Pareto analiza bazira se na principu 80/20 prema kojem 20% uzroka uzrokuje 80% problema.

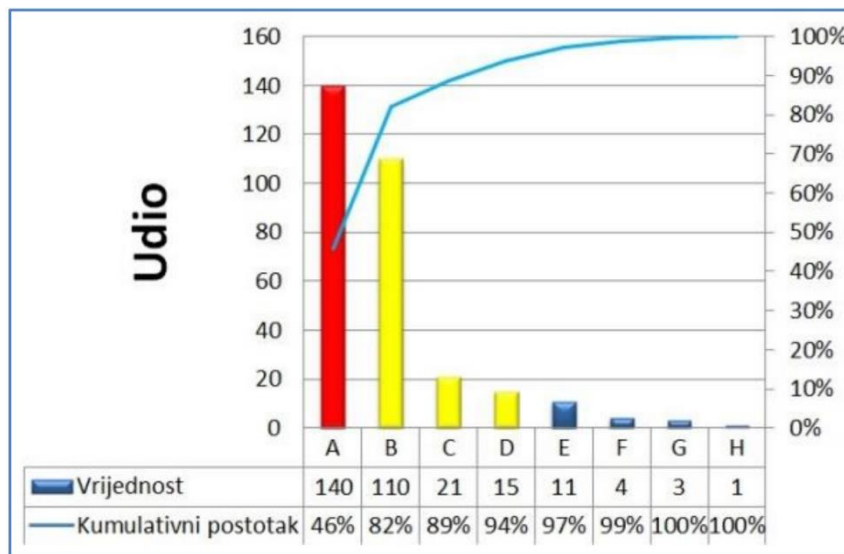
Koraci za izradu Pareto dijagrama su slijedeći:

1. definirati kategorije koje će se pratiti putem dijagrama,
2. definirati relevantne podatke,
3. definirati vrijeme analiziranja,
4. prikupljanje podatka,
5. izračunati podatke za svaku kategoriju,
6. odrediti mjerilo u kojem će se dijagram crtati,
7. kategorija s najvećom vrijednosti unosi se kao prva vrijednost na lijevoj strani, a preostale kategorije s lijeva na desno po veličini vrijednosti,
8. izračunavanje postotka za svaku vrijednost,
9. izračunavanje kumulativne sume po kategorijama, s tim da posljednja suma treba iznositi 100% [17].

Ovaj alat ima široko područje primjene, te se koristi kao jedan od prvih koraka u postupcima unapređivanja kvalitete proizvoda i procesa proizvodnje, iako se može koristiti i samostalno. Prednosti metode su jednostavna primjena, primjenjivost u različitim područjima s kvantitativno izraženim parametarima, ali i s kvalitativno izraženim podacima uz određene prilagodbe [17].

Kao što je prikazano na slici 9, dijagram se izrađuje na način da se na x – osi navedu uzroci, na lijevoj strani y – osi frekvencija, a na desnoj strani y – osi udio pojedinog uzroka. Plavom

linijom prati se kumulativni postotak, odnosno udio svakog sljedećeg uzroka koji se pridodaje prethodnoj vrijednosti. Na prikazanom primjeru, od 8 promatranih uzroka, dva uzroka čine 82% problema, što znači da se u sljedećim koracima dovoljno usredotočiti na traženje korijena uzroka i donošenja korektivnih mjera za ta dva uzroka.



Slika 9. Pareto dijagram [17]

### 3.7. Dijagram rasipanja

Dijagram rasipanja daje grafički prikaz utjecaja između dviju varijabli na temelju regresijske i korelacijske analize. Izrađuje se u pravokutnom koordinatnom sustavu u kojem se bilježe vrijednosti nezavisne varijable x (uzrok) i zavisne varijable y (posljedica).

Kod regresijske analize proučava se očekivana vrijednost zavisne varijable na osnovu vrijednosti nezavisne varijable prema funkciji regresije i standardne greške regresije. Korelacijskom analizom određuje se snaga veze između varijabli na osnovu koeficijenta korelacije i koeficijenta determinacije [17].

Korelacijski koeficijent određuje se prema sljedećoj jednadžbi [17]:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{x})^2 \sum(Y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

pri čemu je:

$r$ – Personov koeficijent linearne korelacije,

$X_i$ – x vrijednost varijable,

$Y_i$ – y vrijednost varijable,

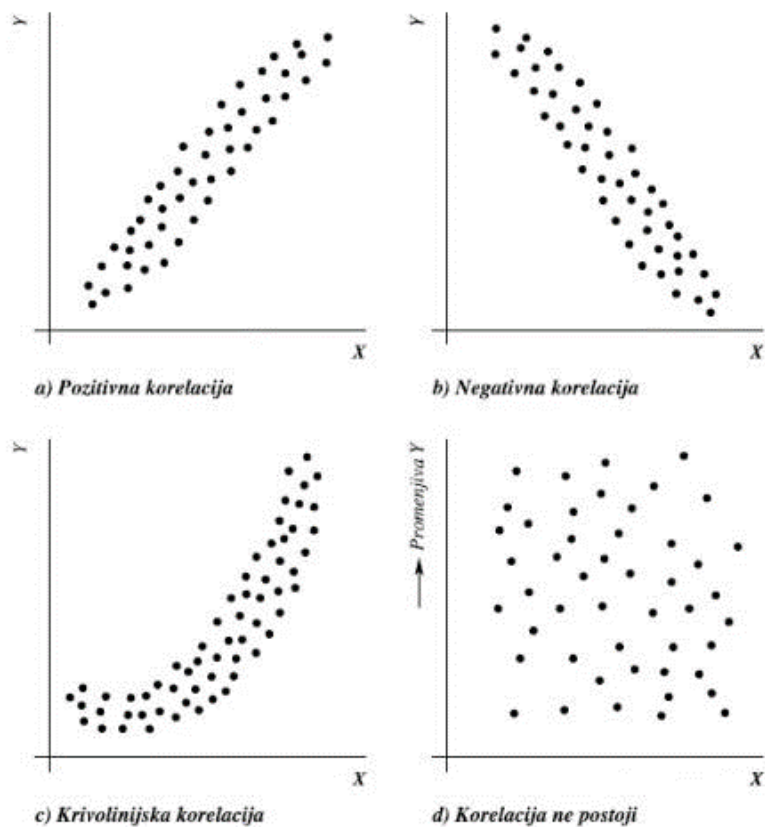
$\bar{x}$ – srednja vrijednost varijable po x,

$\bar{y}$ – srednja vrijednost varijable po y.



Vrijednost korelacijskog koeficijenta može biti između  $-1$  i  $1$ . Negativna vrijednost označava negativnu korelaciju između varijabli, dok pozitivna vrijednost ukazuje na pozitivnu korelaciju. Ako je vrijednost približna  $0$ , znači da nema korelacijskog odnosa, a u slučaju kada su vrijednosti koeficijenta jednake  $-1$  ili  $1$ , između varijabli postoji funkcionalna, a ne korelacijska veza.

Slika 10 prikazuje primjer dijagrama rasipanja gdje kod pozitivne korelacije vrijednost varijable  $y$  raste s porastom varijable  $x$ , dok kod negativne vrijednost varijable  $y$  pada s porastom varijable  $x$ . Također, moguće je da odnos nije linearan, odnosno da je korelacija krivolinijska i da veza između varijabli nije jaka. Kada su vrijednosti raspršene, korelacija ne postoji.



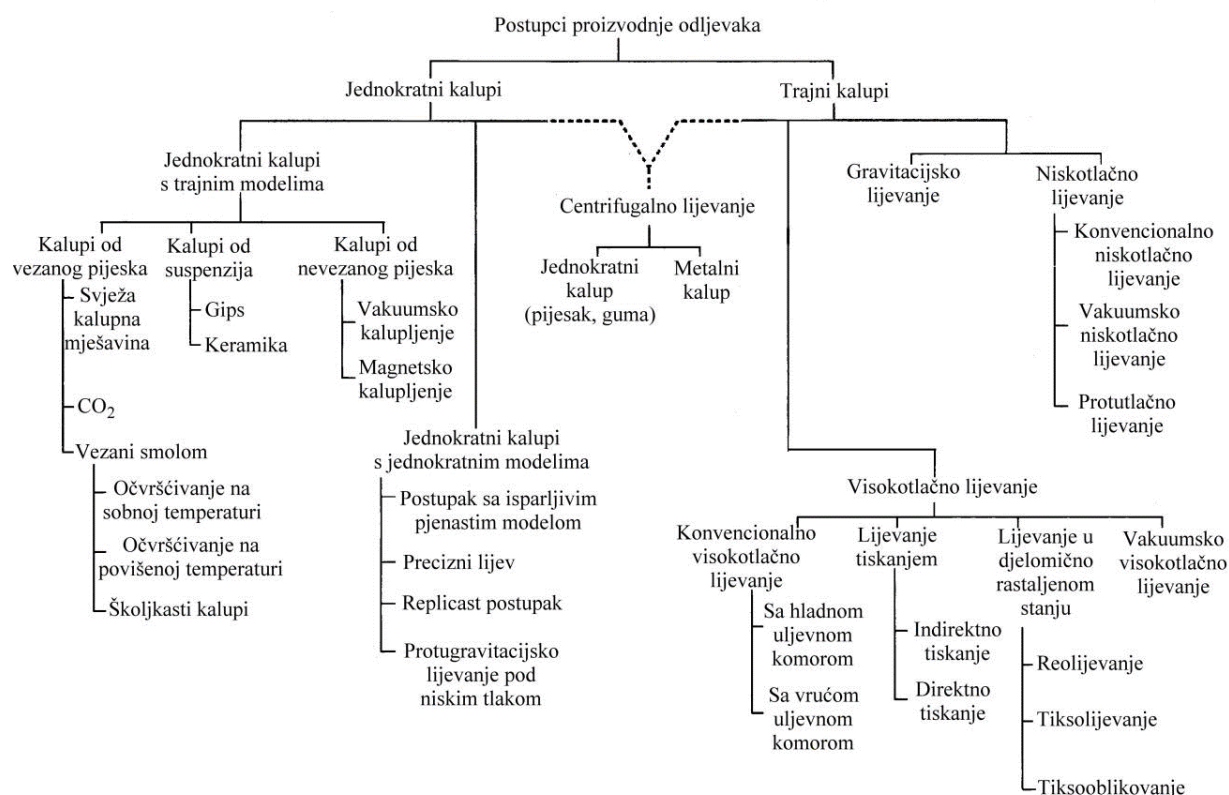
Slika 10. Dijagram rasipanja [17,20]

Prvi korak za izradu dijagrama rasipanja je prikupljanje podataka, zatim crtanje i analiza dijagrama kako bi se mogla utvrditi međuovisnost praćenih varijabli. Dijagram rasipanja predstavlja statističko-matematički model koji se primjenjuje kada nema dokaza o funkcionalnoj vezi između uzroka i posljedice. Može se koristiti i za analizu više zavisnih korelacija, a primjenjuje se u kombinaciji s drugim alatima [17].

## 4. KONTROLA KVALITETE U LJEVAONICAMA

Mnogobrojni su postupci proizvodnje metalnih proizvoda i poluproizvoda. Postupci proizvodnje u ljevaonicama koji se primjenjuju ovise o materijalu, obliku, dimenzijama i ostalim svojstvima koja treba imati gotovi proizvod. Postoji više klasifikacija postupaka proizvodnje u ljevaonicama, a jedna od mogućih podjela je s obzirom na vrstu kalupa koji se koriste pri proizvodnji što je shematski prikazano na slici 11.

Najčešće upotrebljavan postupak za proizvodnju odljevaka je postupak lijevanja u jednokratne pješčane kalupe od svježe kalupne mješavine, a primjenjuje se za proizvodnju odljevaka od željeznih ljevova. Za proizvodnju odljevaka od neželjeznih ljevova najčešće se primjenjuje visokotlačno lijevanje koje omogućuje visoku automatizaciju i produktivnost [21].

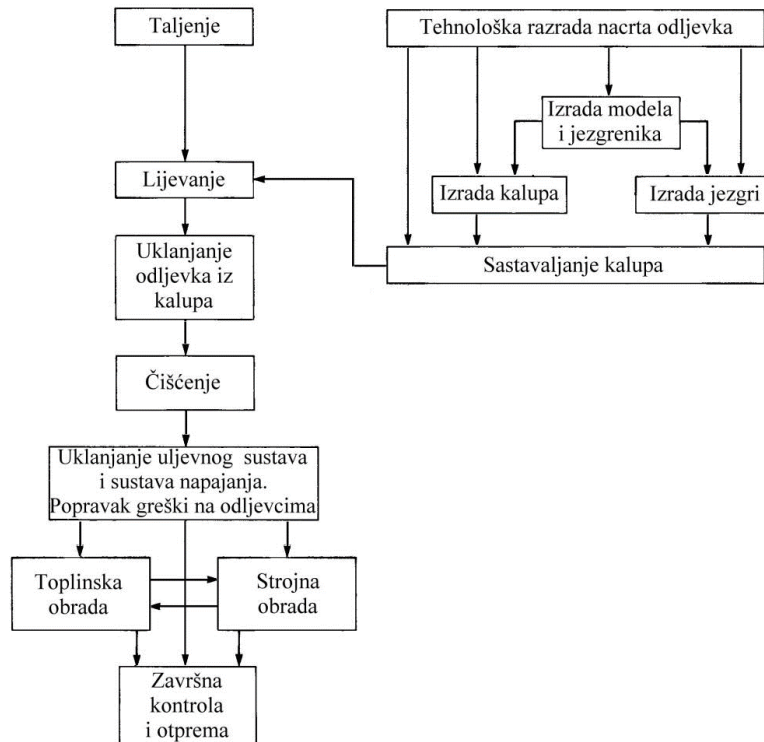


Slika 11. Klasifikacija postupaka proizvodnje odljevaka prema vrsti kalupa i modela [21,22]

Svaki postupak ima svoje prednosti i nedostatke. Lijevanjem u kalupe od svježe kalupne mješavine ne može se postići visoka dimenzijska točnost i kvalitetna površina, čvrstoća i duktilnost odljevaka. To se može postići visokotlačnim lijevanjem kod kojeg tekući metal velikom brzinom ulazi u trajni kalup zbog čega nastaju turbulencije prilikom čega se zahvati zrak i plinovi u kalupu, što rezultira pojavom poroznosti pa odljevci nisu pogodni za toplinsku obradu, zavarivanje ili ostale obrade na povišenim temperaturama. Navedeni nedostaci mogu se spriječiti primjenom visokotlačnog lijevanja pod vakuumom, lijevanja tiskanjem ili lijevanjem u djelomično rastaljenom stanju u trajne kalupe, no visoki su troškovi proizvodnje.

Prije izrade kalupa za lijevanje, analizira se nacrt odljevka kako bi se mogla odrediti konstrukcija i vrsta kalupa, te tehnologija lijevanja. Uzimaju se u obzir svi zahtjevi koje odljevak mora zadovoljiti: dimenzije, tolerancije, kvaliteta površine, mehanička svojstva, itd.

Proizvodnja odljevaka sastoji se od više procesa koji su međusobno povezani, stoga je izrazito važna dobra organizacija kako bi se proizvodnja odvijala prema planu uz minimalne troškove i dogovorenu kvalitetu. Kao primjer, na slici 12, shematski su prikazane osnovne faze u procesu proizvodnje odljevaka lijevanjem u jednokratne pješčane kalupe koji se načešće koriste u praksi [21].



Slika 12. Shematski prikaz faza proizvodnje odljevaka u jednokratnim pješčanim kalupima [21]

Organiziranje procesa u ljevaonici počinje tehnološkom pripremom koja se definira prema zahtjevima kupca istaknutim na nacrtu proizvoda, a s obzirom na dostupnu opremu, kapacitet, raspoloživi materijal, itd. Prema tehnološkoj pripremi izrađuju se ponude koje uključuju cijenu proizvoda i rok isporuke, a nakon dogovora s kupcem otvara se radni nalog i započinje proizvodnja odljevaka [21].

Lijevanjem je moguće proizvesti odljevke kompleksnog oblika u jednoj operaciji, a kako se kontrola procesa lijevanja kontinuirano poboljšava i kvaliteta odljevaka značajno se poboljšava. Kako bi se ljevaonice prilagodile visokim zahtjevima globalnog tržišta, uvode se nove koncepcije, tehnologije i materijali s ciljem dobivanja visokokvalitetnih odljevaka koji će biti cjenovno i ekološki prihvatljivi.

Proizvodnja odljevaka je složen proces, a pogreške se mogu dogoditi već pri konstruiranju i dimenzioniranju uljevnih sustava i sustava napajanja, a zatim i pri taljenju materijala, lijevanju, strojnoj obradi, te prilikom manipulacije. Određene devijacije i greške mogu se prihvatiti ako ne utječu na funkcionalnost odljevaka te ako ih kupac odobri. Odljevci s greškom koja utječe na funkcionalnost odljevka odvajaju se u škart ili idu na dodatnu doradu ukoliko je moguća.

U svrhu smanjenja udjela škartnih odljevaka, potrebno je kontrolirati kvalitetu odljevaka i procesne parametre u svakoj fazi proizvodnje. Kontrola se vrši prema unaprijed određenim kriterijima za određenu fazu proizvodnje, a ovisno o riziku pojavljivanja greške određuje se učestalost kontrole i broj uzoraka. Ukoliko se dogodi da količina škartnih odljevaka prelazi određeni postotak ili kupac reklamira grešku na poslanim odljercima, potrebno je provesti analizu kako bi se otkrio uzrok pojave odstupanja. S obzirom na uzrok, uvode se promjene u proizvodnom procesu i kontroli kako bi se spriječila mogućnost ponovne pojave greške [22].

Uvođenje tradicionalnih alata upravljanja kvalitetom u proces kontrole kvalitete u ljevaonicama može pomoći u smanjenju mogućnosti ponovne pojave određenih grešaka, ali i količine škarta u procesu proizvodnje. Uspješna primjena alata upravljanja kvalitetom donosi smanjenje troškova proizvodnje i povećanje profitabilnosti, jer pojava škarta označava dodatnu potrošnju energije, dodatne sate rada, gubitak materijala i dr. Također, smanjenjem škarta unutar ljevaonice, smanjuje se mogućnost isporuke nesukladnog proizvoda, čime se postiže zadovoljstvo kupaca, ali se nastavlja i daljnja suradnja.

#### **4.1. Greške na odljercima**

Međunarodni odbor tehničkih asocijacija udruženja ljevaonica (eng. International Committee of Foundry Technical Associations) izradio je atlas grešaka koje su razvrstane u sedam osnovnih kategorija grešaka na odljercima:

- metalne izrasline,
- šupljine,
- diskontinuiteti,
- površinske greške,
- nepotpuni odljevci,
- netočne dimenzije ili oblik,
- uključci i nepravilnosti u strukturi.

Greške u atlasu su numerirane s obzirom na vrstu materijala:

- čelični lijev: 1
- sivi lijev: 2
- nodularni lijev: 3
- temperirani lijev: 4
- legure lakih metala: 5
- legure teških obojenih metala: 6

Također, slovima su greške označene s obzirom na postupak lijevanja:

- lijevanje u sirove pješćane kalupe: a
- lijevanje u suhe ili očvrsnute kalupe: b
- lijevanje u jezgrene kalupe: c
- lijevanje u školjke: d
- lijevanje u keramičke školjke: e
- točni lijev: f
- precizni lijev: g
- lijevanje u kokilu: h
- lijevanje pod tlakom: i
- centrifugalno lijevanje: k
- kontinuirano lijevanje: l

U atlasu su također navedeni mogući uzroci nastanka greške i mjere za sprječavanje pojave pojedine greške [23,24].

#### **4.2. Kontrola kvalitete odljevaka**

Kontrola kvalitete odljevaka odvija se prema tablici plana kontrole, slika 13, koja se izrađuje prije početka serijske proizvodnje. Plan kontrole izrađuje se prema zahtjevima istaknutim na nacrtu proizvoda. Cilj je minimizirati količinu škarta u svim fazama proizvodnje i isporučiti odljevke koji zadovoljavaju zahtjeve kupca, a da se pritom ne provode ispitivanja koja nisu nužna ili češća nego što ima smisla, jer se tako bespotrebno podiže trošak dobivanja gotovog proizvoda. Plan kontrole revidira se u slučaju povećanog škarta ili u slučaju da kupac reklamira proizvod zbog nekog propusta [25].

U planu kontrole određuje se način kontrole, učestalost i broj uzoraka koji se kontroliraju u svakoj fazi proizvodnje. Pri taljenju se obavezno radi kemijska analiza sastava legure, a kod lijevanja se obično radi vizualna kontrola pri čemu se posebna pozornost obraća na moguće nedolivenosti rubova, moguću pojavu viška materijala na pregibima i rupama gdje se može dogoditi mehaničko oštećenje kalupa za lijevanje. Nakon obrade se, osim vizualne kontrole, vrši provjera dimenzija odljevaka, pri čemu se provjeravaju samo dimenzije koje se smatraju kritičnima, primjerice promjeri otvora. Dimenzije koje su kupcu važne zbog funkcionalnosti proizvoda dodatno su označene na nacrtu i one se obavezno moraju provjeriti [25].

Nadalje, osim provjere dimenzija, kupac može zahtjevati provjeru hrapavosti površine, čistoće površine, korozijske otpornosti, mase odljevaka, kontrolu poroznosti, ispitivanje mehaničkih svojstava kod kojih se preferiraju metode bez razaranja, itd. Učestalost kontrole i broj uzoraka se određuje s obzirom na vjerojatnost da se greška ponovno pojavi i posljedice koje greška može uzrokovati [26].

|   |                          | KONTROLNI PLAN       |               |                     |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
|---|--------------------------|----------------------|---------------|---------------------|------------------------|--|------------------------------------|--------|-----------------|-----------------|---|----------------------|
| Kupac   |                          | Alat                 |               | Indeks/dat promj.   |                        | Autor  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| BUYER   |                          | TL - 0001            |               | M 16.1.2015         |                        | Rušec  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Datum originalni  |                          | Datum                |               | Uzorak              |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| 05.06.2017.   |                          |                      |               |                     |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Naziv odjevka   |                          | Šifra/koda           |               | Broj naruga         |                        | Potvrdio   |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| LOW BODY  |                          | 111.22               |               | 123 456 789 0       |                        | 22.11.2017.  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Nulta serija  |                          |                      |               |                     |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Napomena:   |                          | Materijal            |               | Br. KP              |                        | Team:  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| AL - 231  |                          | 2                    |               | 2                   |                        | Rušec  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Kont. osoba / tel.:   |                          | 00385 98 123 22 33   |               | Druge potvrde/datum |                        | Kupčeva potda teh.   |                                    |        |                 |                 |   |                      |
|   |                          |                      |               |                     |                        | X  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| <b>Legenda:</b> K - kontrolor, AK - autokontrola, MS - mjerna stanica, T/S - tehnologija/smjenski, A - atributivno, V - varijabilno, X - karta, X - R - karta, KPC - key product characteristic, KCC - key control characteristic |                          |                      |               |                     |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| Obradak / broj procesa  | Naziv proc./ opis operac | Stroj, alat, naprava | Broj Obradaka | Karakteristike      | Posebne karakteristike | Metode   |                                    |        |                 | Reakcijski plan |   |                      |
|   |                          |                      |               |                     |                        | Obradak / proces / specifikacije / tolerance   | Vrednovanje/ mjerni postupak       | Uzorak | Kontrolni zapis |                 |   |                      |
|   |                          |                      |               |                     |                        |  |                                    |        |                 |                 |   |                      |
| 10+20   | tlačno lijevanje-otok    |                      | 1             | X                   |                        | Probijene sve rupe   | Očno                               | AK-K   |                 | 100%            | A | Reakcijski plan br.2 |
|   |                          |                      | 2             | *                   |                        | Bez naljepjenosti i odtrgnuća/ribanja u rupama koje se obrađuju (pogledaj neobrađena mjesta nakon strojne obrade)      | "                                  | "      |                 | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 3             | *                   |                        | Bez nezalitosti  | "                                  | "      | 1 udarac        | 1x/2h           | " | "                    |
|   |                          |                      | 4             | *                   |                        | Srh dozvoljen do 2 mm oko fi 9,5   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 5             | *                   |                        | Bez oštećenja na naležnim/nasjednim točkama za str. obradu.  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 6             | *                   |                        | Bez utisnuća i udarenosti.   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 7             | *                   |                        | Bez srhova na izmetačima   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 8             | *                   |                        | Pogledaj datum lijevanja i oznake - mora biti dobro vidljivo   | Očno                               | K      | 1 udarac        | 1x/smjena       | " | "                    |
|   |                          |                      | 9             | *                   |                        | Izmetači u toleranciji -0.1 do +0.3  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 10            | *                   |                        | Odljani centrima pozicioner za rupu fi2.5-CENTER→Bez   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 11            | *                   |                        | Odljana faza -naston za vrtnje fi2.5 - UNLOADER→Bez  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 12            | *                   |                        | Ispraznjenje/upuštenje za bušenje zamaknuto za 30° - PORT21  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 13            | *                   |                        | fi4,65-0,1 (2x)(kontroliramo fi4,55 mora iti kroz) - GRUJAC  | MT                                 | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 14            | *                   |                        | fi4,8-0,1 (2x)(mjera je na prvi stepenici) - GRUJAC  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 15            | *                   |                        | fi42,1 +0,1 (koristimo tm s skošenjem) - GRUJAC  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 16            | *                   |                        | 9.5/8.7/dub.52±0.2 MP - GRUJAC   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 17            | *                   |                        | fi16+0.2 (dolje/na dnu fi16 do dna) - GRUJAC   | "                                  | "      | "               | PPK             | " | "                    |
|   |                          |                      | 18            | *                   |                        | fi10,4 ±0,1 (teh. mjera) - 10,00 - na vrhu - P4 in P22   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 19            | *                   |                        | fi12,40±0,1 (teh. mjera) - 12,3 do dna (18,5) /12,5 na vrhu - P5   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 20            | *                   |                        | fi10,3+0,15 (teh. mjera 10,5 ne smije ići skroz) - 3X NOGICE   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 21            | *                   |                        | 32,8 ±0,3 - tehnološka mjera (mjera na nacrtu 33±0,2) (G,6)  | visinomjer                         | "      | 1 udarac        | 1x/dan          | V | "                    |
|   |                          |                      | 22            | *                   |                        | visina 3,5±0,2 - od vrha do vrha reber - UNLOADER  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 23            | *                   |                        | visina 16,5±0,2 - od vrha do dna - UNLOADER  | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 24            | *                   |                        | 64,5-0,2 (dubina rupe fi9+0,2)   | "                                  | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 25            | *                   |                        | Poroznost - pogledaj katalog poroznosti  | RTG                                | "      | 2 udarca        | 2x/smjena       | A | "                    |
|   |                          |                      | 26            | *                   |                        | Uzorčno pjeskarenje-otkrivanje dvoplastnosti   | pjesk.stroj                        | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 27            | *                   |                        | Uzorčna obrada   | HELLER                             | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 28            | *                   |                        | Testiranje pod tlakom (test puštanja) dozvoljeno puštanje po mjestima mjerenja: MM1,2,3 max 30ml/min ; MM4 max 1ml/min | test puštanja / Tlačno ispitivanje | "      | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 29            | *                   |                        | Kontrola debljine vakumskog srha (smreke) na prvim dvjema rebrima  | KM                                 | "      | 1 udarac        | početak serije  | V | "                    |
|   |                          |                      | 30            | *                   |                        | Temperatura taline po teh. postupku ili korekcijskom listu.  | termoelement                       | AK     | "               | "               | " | "                    |
|   |                          |                      | 31            | *                   |                        | Postavljanje debljine tablete i podešavanje tolerancije  | stroj                              | "      | "               | 2x/smjena       | A | "                    |
|   |                          |                      | 32            | *                   |                        | Kontrola parametara po tehnološkom postupku i dokumentaciji za pokretanje serije (SMED)                                | T/S                                | "      | "               | početak serije  | " | "                    |

Slika 13. Primjer tablice plana kontrole kvalitete u lijevaonicama [25,26]

U svakoj fazi procesa primjenjuju se odgovarajući kriteriji za kontrolu:

- sirovine koje ulaze u proces,
- proces,
- proizvod,
- oprema,
- edukacija djelatnika.

U proizvodnji se razlikuju ulazna, procesna i završna kontrola. Prilikom ulazne kontrole vrše se ispitivanja sirovina i materijala koji ulaze u proces s obzirom na norme, tehničke uvjete i normative. Kako bi se spriječila proizvodnja veće količine neispravnih odljevaka i osigurala stabilnost procesa, provodi se procesna kontrola primjenom sljedećih metoda i postupaka:

- vizualna inspekcija,
- inspekcija optičkim pomagalima,
- kontrola parametara,
- pojednostavljena dimenzijska mjerenja,
- jednostavna laboratorijska mjerenja.

Završna kontrola je zadnji korak prije nego što se proizvod isporuči kupcu kod kojeg se, osim kvalitete odljevka, kontrolira količina, ambalaža i ispravnost podataka na naljepnici proizvoda [27].

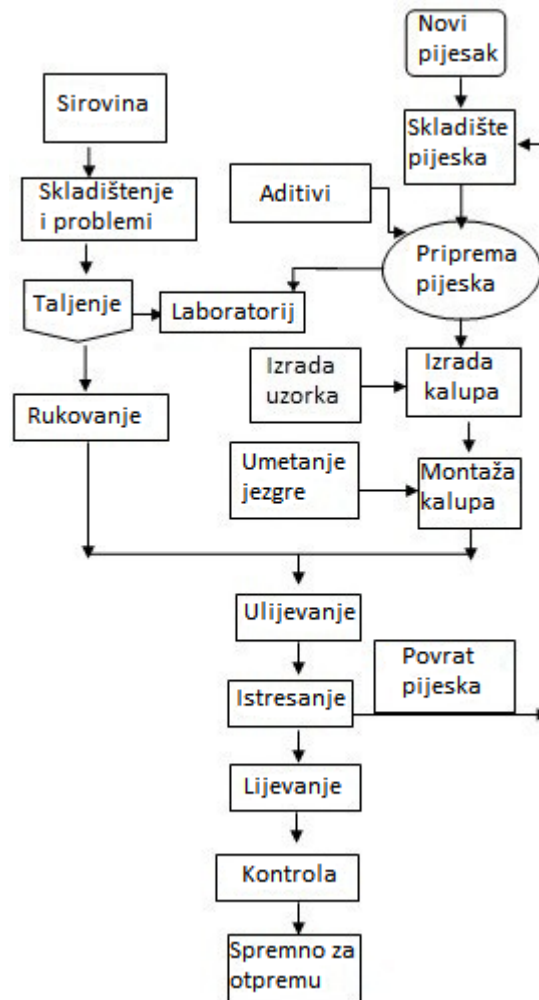
U slučaju odstupanja kvalitete odljevaka od definiranih kriterija, potrebno je zaustaviti proces, prilagoditi procesne parametre i provjeriti kvalitetu odljevaka nakon izmjene parametara. Različita odstupanja u procesima i pojave različitih grešaka moguće je analizirati upotrebom tradicionalnih alata za upravljanje kvalitetom s ciljem uvođenja korektivnih mjera ukoliko postoji potreba, što dovodi do kontinuiranog poboljšanja procesa.

## 5. PRIMJENA SEDAM TRADICIONALNIH ALATA UPRAVLJANJA KVALITETOM U LJEVAONICAMA

### 5.1. Primjena dijagrama toka procesa u ljevaonici

Dijagram toka procesa daje grafički prikaz svih koraka procesa proizvodnje, čime se dobiva jednostavan uvid u procese, prateće aktivnosti i njihovu međusobnu povezanost [5]. Koristi se u različitim organizacijama, a osobito je važan u industrijskoj proizvodnji gdje se radi o kompleksnom nizu aktivnosti. U primjeru dijagrama toka procesa na slici 14 opisan je proces proizvodnje odljevaka u ljevaonicama.

Dijagram toka procesa, slika 14, jasno prikazuje proces pripreme mješavine pijeska i aditiva za izradu kalupa koji se izrađuje prema modelu, te proces pripreme taline koja se ulijeva u pripremljeni kalup. U dijagram toka procesa uvrštena je i kontrola mješavine pijeska i aditiva, kontrola taline i kontrola odljevaka [28].



Slika 14. Dijagram toka procesa proizvodnje odljevaka [28]



Jednostavan primjer dijagrama toka procesa prikazan na primjeru proizvodnje odljevaka u ljevaonicama [28] jasno pokazuje kako se korištenjem ovog alata vrlo lako može dobiti, na detaljan i pregledan način, opis cijelog procesa proizvodnje u ljevaonicama. Ovo je vrlo važno, osim zaposlenicima ljevaonica u različitim odjelima, tako i potencijalnim kupcima obzirom da im se na ovaj način vrlo lako i brzo može prezentirati proces proizvodnje odljevaka u ljevaonicama.

## 5.2. Primjena obrazaca za prikupljanje podataka u ljevaonici

Obrazac za prikupljanje podataka temeljni je alat na osnovu čijih se rezultata provode daljnje analize. Koriste se na radnim mjestima kako bi se dobili točni podaci, a potrebno ih je izraditi tako da se dobiju podaci prema kojima će biti moguće poboljšati procese i riješiti eventualne probleme. Kako je ranije navedeno, postoji čitav niz grešaka na odljercima, a obrasci se izrađuju na temelju iskustva i znanja kako bi bili što precizniji [5].

Obrazac za prikupljanje podataka prema uzroku škarta dan je na primjeru proizvodnje košuljica cilindra koje su lijevane iz sivog lijeva, slika 15. Obrasci za prikupljanje podataka se u ovom primjeru koriste za prikupljanje bitnih ulaznih i izlaznih vrijednosti procesa lijevanja te se varijable procesa koriste kako bi se evidentirao izdvojeni škart tijekom proizvodnje košuljica cilindra za brodske motore. Prikupljeni podaci podijeljeni su prema uzroku pojave škarta, kao što su pojave poroznosti, loša strojna obrada, tvrdoća i ostale ljevačke greške.

**OBRAZAC ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA**  
Br. \_\_\_\_\_

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Proizvod: KOŠULJICA CILINDRA   | Datum:     |
| Specifikacija br.              | Odjet:     |
| Faza proizvodnje: Lijevanje    | Kontrolor: |
| Uk. broj ispitanih komada: 150 |            |

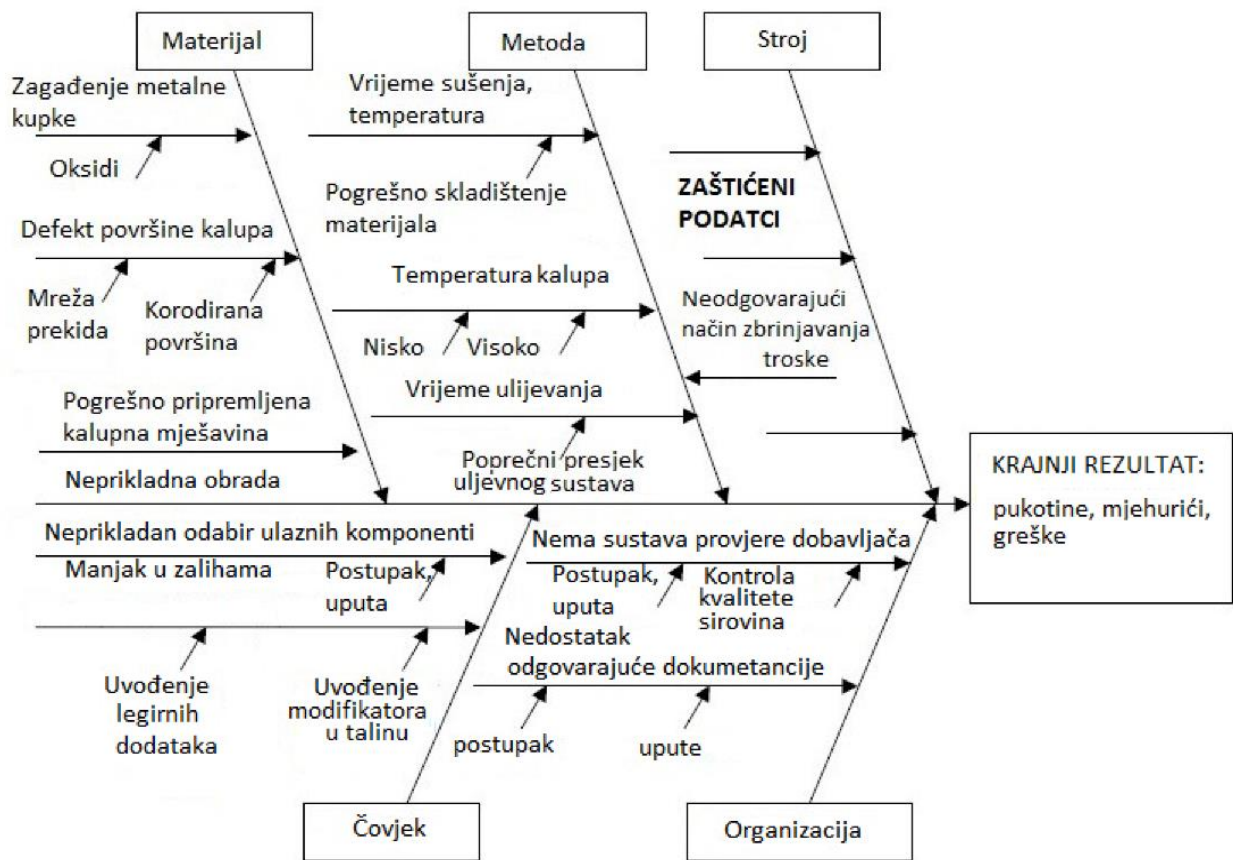
| Uzrok škarta           | Pogreška | Zbroj |
|------------------------|----------|-------|
| Mehanička svojstva     |          | 10    |
| Poroznosti u provrtu   |          | 7     |
| Poroznosti u zoni I    |          | 2     |
| Poroznosti u zoni II   |          | 2     |
| Poroznosti u zoni IV   |          | 1     |
| Poroznost izvana       |          | 1     |
| Ostale ljevačke greške |          | 4     |
| Tvrdoća                |          | 1     |
| Strojna obrada         |          | 1     |
| Ukupno                 |          | 29    |

Slika 15. Obrazac za prikupljanje podataka pri proizvodnji košuljica cilindra [12]

Korištenje obrasca za prikupljanje podataka u ljevaonicama tijekom lijevanja košuljica cilindara, pokazalo se kao vrlo koristan alat obzirom da je njegovom primjenom omogućeno sistematično i pregledno prikupljanje podataka koje je olakšalo dobivanje jasne slike o greškama koje se javljaju tijekom procesa lijevanja košuljica cilindara, slika 15.

### 5.3. Primjena dijagrama uzrok–posljedica (Ishikawa dijagram) u ljevaonici

Na pojavu problema, odnosno nesukladnosti u procesu ili proizvodu, najčešće utječe više faktora, odnosno uzroka, zbog čega je korisno problem analizirati primjenom dijagrama uzrok–posljedica poznatijeg kao Ishikawa dijagram [5]. Analiza Ishikawa dijagrama provodi se najčešće u timu eksperata koji uključuje menadžere te voditelje i zaposlenike pojedinih odjela kako bi se provela cjelokupna analiza sa što više mogućih uzroka te kako bi se pronašli najznačajniji uzroci, odnosno oni koji imaju najveći utjecaj. U primjeru primjene Ishikawa dijagrama u ljevaonicama, analizirane su greške na odljevcima, slika 16.



Slika 16. Ishikawa dijagram za greške na odljevcima [29,30]

Analizom problema u ljevaonici uzet je u obzir velik broj mogućih uzroka. Analiza je provedena za pet velikih grupa uzroka problema. Odvojena analiza napravljena je za utjecaj uređaja i opreme na razinu kvalitete odljevka. U grupi “Materijali” naglasak je na sadržaju oksida u proizvodnom ciklusu. Posebno je analiziran materijal koji se koristi za pripremu mase za izradu kalupa, pri čemu su uzeti u obzir uvjeti skladištenja materijala. Detaljnom analizom uzroka

utvrđeno je koji se od mogućih uzroka najčešće pojavljuju. Provedenom analizom Ishikawa dijagrama glavni uzrok problema pojave grešaka nalazi se u fazi izrade kalupa. Nakon provedene analize, primjenjene su korektivne mjere, nakon kojih su reducirani financijski troškovi pojave nesukladnih proizvoda u ljevaonicama [29].

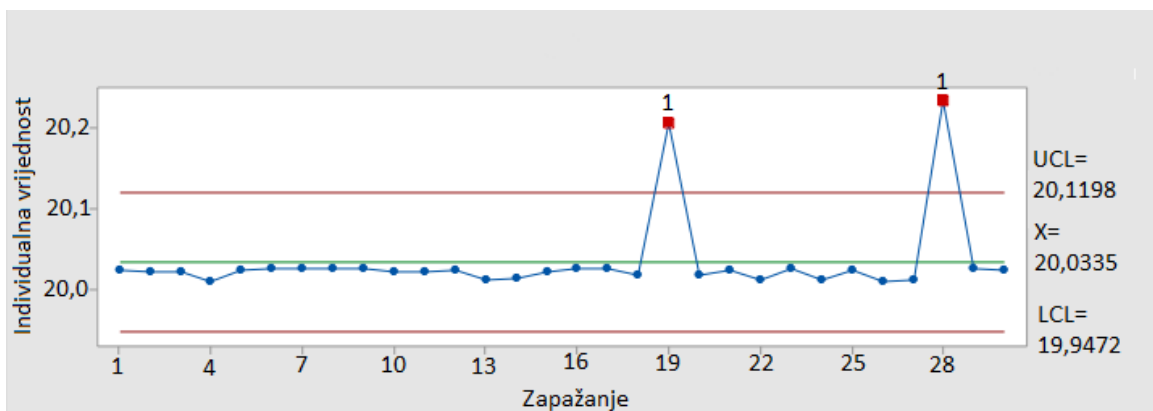
Rezultati analize problema pojave grešaka (pukotine, mjehurići, itd.) pomoću Ishikawa dijagrama, tijekom lijevanja odljevaka, pokazuju da bi prvenstveno izvori pojave grešaka i pukotina na odljercima trebali biti eliminirani u fazi skrućivanja te izbacivanja odljevaka iz kalupa.

Korištenje Ishikawa dijagrama na primjeru njegove primjene u ljevaonici pokazao je značaj njegove primjene pri utvrđivanju ključnih uzroka problema koji se javljaju tijekom dobivanja odljevaka.

#### 5.4. Primjena kontrolnih karata u ljevaonici

Kontrolne karte koriste se za praćenje procesa, odnosno vrijednosti različitih svojstava, od mehaničkih svojstava do različitih dimenzija. Praćenjem određenih vrijednosti kontrolnim kartama moguće je uočiti pojavu nepovoljnih trendova, čak i kada je vrijednost u granicama tolerancije. Međutim, za procese koji se odvijaju u ljevaonicama tijekom proizvodnje važna je činjenica da se kontrolnim kartama može odrediti radi li se o stabilnom ili nestabilnom procesu, odnosno radi li se o procesu unutar ili izvan statističke kontrole.

U primjeru prikazanom na slici 17, praćeni su promjeri  $\varnothing 20H9$  kontrolnim kartama na određenim proizvodima u ljevaonici, na kojima je vidljivo da dolazi do neočekivanih odstupanja.



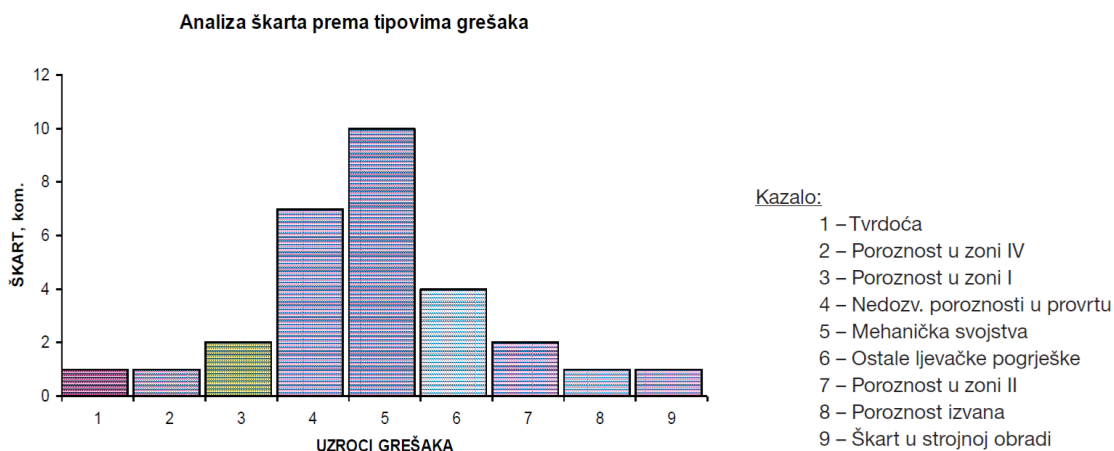
Slika 17. Kontrolna karta za promjer  $\varnothing 20H9$  [25,26]

Na slici 17 jasno su vidljiva odstupanja vrijednosti promjera pri mjerenjima 19. i 28., odnosno vrijednostima iznad gornje kontrolne granice. Ovo upućuje na činjenicu da u procesu postoji problem obzirom na odstupanja vrijednosti promjera praćenog proizvoda u ljevaonici što upućuje na zaključak da se radi o nestabilnom procesu.

Na primjeru primjene kontrolne karte u ljevaonici vidljiva je važnost provjere i analiziranja različitih procesa koji se odvijaju u ljevaonicama tijekom proizvodnje [25,26].

## 5.5. Primjena histograma u ljevaonici

Histogram je važan alat koji se izrađuje na osnovu rezultata prikupljenih podataka u nekom vremenskom periodu, npr. prema obrascu za prikupljanje podataka. U ljevaonicama se uglavnom upotrebljavaju za praćenje učestalosti pojave određenih grešaka na odljevcima. Primjer histograma, kod procesa lijevanja košuljica cilindra brodskih sporokretnih motora, prikazanog na slici 18 daje grafički prikaz količine pojave škarta s obzirom na vrste grešaka. Jasno je vidljivo da su najučestaliji razlozi pojave škartnih odljevaka: loša mehanička svojstva (čvrstoća i izduženje), zatim poremećajni postupci hlađenja koji su rezultirali većim ili manjim poroznostima u osjetljivim zonama radnog dijela košuljice, te ostale ljevačke greške [31].



Slika 18. Histogram analize škarta prema vrstama grešaka na odljevcima [31]

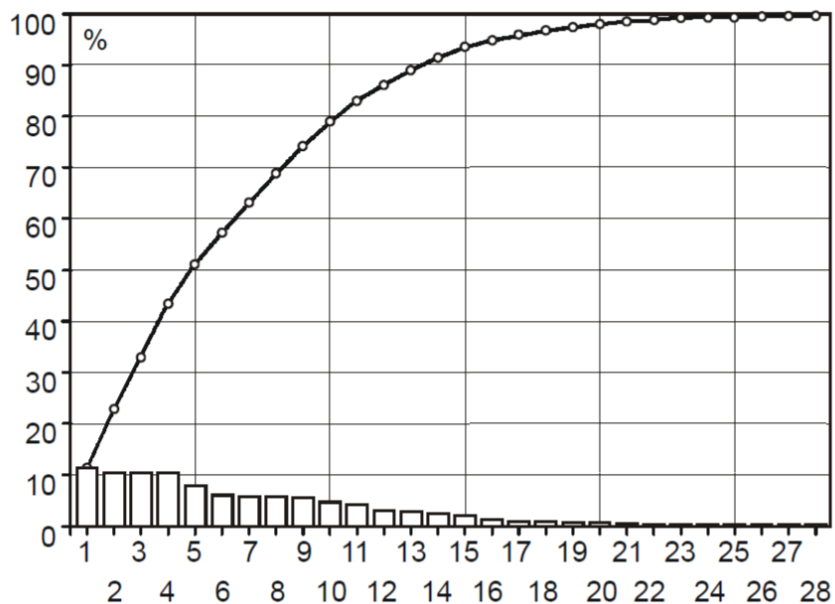
## 5.6. Primjena Pareto dijagrama u ljevaonici

Prvi korak u analizi sakupljenih podataka o greškama često je Pareto dijagram. U ljevaonicama je uobičajeno da se zbog uvjeta proizvodnje pojavljuje velik broj različitih grešaka. Stoga je važno utvrditi i analizirati manji broj grešaka koje uzrokuju većinu problema u proizvodnji [32]. U sljedećem primjeru pojave ljevačkih grešaka kod proizvodnje odljevaka, greške su poredane od najveće do najmanje s obzirom na težinu promatranih komada s određenom greškom, prema čemu je definirano koje greške uzrokuju najveći udio škarta odnosno odbačenih odljevaka, tablica 1. Pareto dijagram na slici 19 izrađen je prema podacima o greškama navedenim u tablici 1 koje su se pojavljivale u vremenskom periodu od godine dana u ljevaonici [32].

Provedenom analizom Pareto dijagrama utvrđeno je da približno 57% nesukladnosti (grešaka) uzrokuje samo 6 vrsta grešaka. Kao najznačajnije greške u procesu lijevanja javljaju se: pomak, nedolivenost, nečistoće, nehomogenost kemijskog sastava, skupljanje, tople pukotine. Odgovornost za ove greške stavljena je na zaposlenike, korištene materijale i greške kod tehnologije lijevanja. Analizom Pareto dijagrama utvrđeno je da bi se eliminacijom ovih 6 navedenih vrsti grešaka smanjio udio škarta za približno 50% [32].

Tablica 1. Ljevačke greške u ljevaonici - podaci za izradu Pareto dijagrama [32]

| Broj        | Greške                | Težina (kg) | Broj | Greške                        | Težina (kg) |
|-------------|-----------------------|-------------|------|-------------------------------|-------------|
| 1           | Pomak                 | 6 663       | 15   | Mjehuri                       | 1 177       |
| 2           | Nedolivenost odljevka | 6 080       | 16   | Pukotina od žarenja           | 810         |
| 3           | Nečistoće             | 6 071       | 17   | Zapečenje pijeska na odljevku | 603         |
| 4           | Nehomogenost          | 6 065       | 18   | Poroznost                     | 538         |
| 5           | Skupljanje            | 4 613       | 19   | Uvlake                        | 413         |
| 6           | Tople pukotine        | 3 565       | 20   | Vanjski mjehuri               | 332         |
| 7           | Mehaničke greške      | 3 412       | 21   | Unutarnje šupljine            | 295         |
| 8           | Prašnjava površina    | 3 329       | 22   | Hladna pukotina               | 238         |
| 9           | Preklopi              | 3 242       | 23   | Izbacivanje                   | 209         |
| 10          | Djelomično pucanje    | 2 763       | 24   | Iskrivljenje                  | 135         |
| 11          | Plinska poroznost     | 2 496       | 25   | Zadebljanja                   | 46          |
| 12          | Uključci pijeska      | 1 838       | 26   | Izbočine                      | 22          |
| 13          | Mikro-skupljanje      | 1 699       | 27   | Brazde                        | 21          |
| 14          | Segregacija           | 1 466       | 28   | Preljevi                      | 4           |
| Ukupno [kg] |                       |             |      |                               | 58 145      |

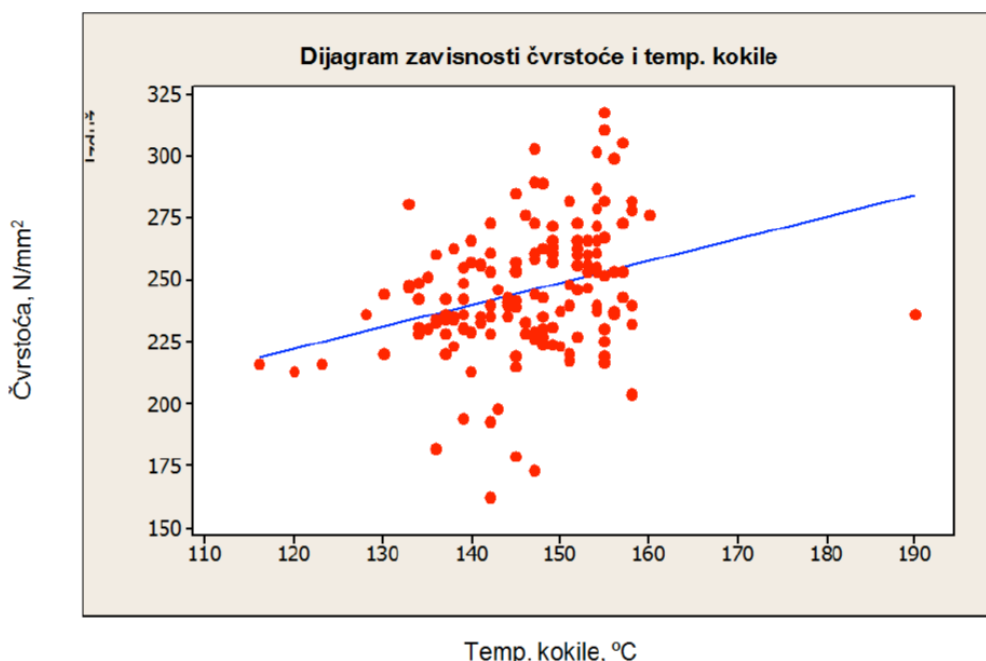


Slika 19. Pareto analiza ljevačkih grešaka [32]

Pareto dijagram pokazao se kao vrlo dobar alat za primjenu u ljevaonici obzirom da se korištenjem ovog alata vrlo jednostavno može utvrditi ključne greške u procesu lijevanja koje uzrokuju značajan udio problema koji se javljaju tijekom proizvodnje.

### 5.7. Primjena dijagrama rasipanja u ljevaonici

Dijagramom rasipanja promatra se ovisnost određenog svojstva o nekoj promjenjivoj vrijednosti, odnosno ocjenjuje se povezanost izlaznih varijabli o promjenama jedne ili više ulaznih varijabli [5]. U ljevaonicama se primjerice prate ovisnosti nekog svojstva o, primjerice, udjelu određenog legirnog elementa u materijalu, parametrima lijevanja, temperaturi, i dr. U danom primjeru, slika 20, promatrana je međuovisnost čvrstoće i temperature kokile kod lijevanja košuljica cilindara brodskih sporokretnih motora. Utvrđeno je da postoji vrlo slaba pozitivna korelacija između čvrstoće i temperature kokile i da kod procesa lijevanja košuljica cilindra dobivene čvrstoće košuljica cilindara ne ovise o temperaturi kokile [12].



Slika 20. Dijagram rasipanja na primjeru ovisnosti čvrstoće i temperature kokile [12]

## 6. ZAKLJUČAK

Ljevačka industrija je industrija koju karakterizira visok utrošak energije, jer se procesi provode pri visokim temperaturama, te je cijena ulaznog materijala relativno visoka, ovisno o materijalima koji se koriste. Cilj svake organizacije je profitabilan rad, stoga je kontrola kvalitete izrazito važan segment proizvodnje kako bi se izbjegli dodatni troškovi zbog pojave nesukladnosti gotovog proizvoda, odnosno grešaka na odljevcima u ljevaonicama. Smanjenjem troškova proizvodnje, moguće je ponuditi nižu cijenu proizvoda, koja je često presudan faktor kupcima, uz uvjet da su ispunjeni svi zahtjevi vezani za kvalitetu proizvoda.

Tržište postavlja sve veće zahtjeve, a uvođenjem novih tehnologija i materijala, te poboljšavanjem kontrole kvalitete, postižu se visokokvalitetni proizvodi koji su cjenovno prihvatljivi. Mnogobrojni su alati za poboljšavanje kvalitete, a potrebno je primijeniti one koji daju najbolje rezultate u određenoj organizaciji. U vrijeme globalizacije i rasta konkurencije, neophodno je kontinuirano poboljšavanje sustava upravljanja kvalitetom i praćenje svjetskih trendova, što je znatno olakšano razvojem različitih programskih paketa koji omogućuju organiziranje procesa, provođenje projekata, izradu analiza te jednostavniji pregled rezultata.

Primjenom tradicionalnih alata upravljanja kvalitetom moguće je utvrditi veliki broj problema i ključnih uzroka koji se javljaju u različitim granama industrijske proizvodnje, a vrlo često i u ljevaonicama. Njihova velika prednost je što uključuju jasne i pregledne grafičke prikaze, npr. u obliku dijagrama, čime se znatno olakšava fokusiranje na bitne probleme, otkrivanje uzroka problema, te određivanje korektivnih mjera s ciljem kontinuiranog poboljšanja procesa.

Tradicionalni alati upravljanja kvalitetom pokazali su se kao alati od vrlo velike važnosti za odvijanje procesa proizvodnje u ljevaonicama s ciljem provođenja stabilnijih procesa sa smanjenim udjelom nesukladnih proizvoda i količinom škarta. Prikazani primjeri korištenja tradicionalnih alata upravljanja kvalitetom u ljevaonicama jasno su pokazali da tradicionalni alati upravljanja kvalitetom, ako se ispravno koriste, značajno doprinose rješavanju i smanjenju učestalosti pojave raznih problema koji se javljaju tijekom proizvodnje u ljevačkoj industriji.

## 7. LITERATURA

- [1] K. Gaži-Pavelić, Upravljanje sustavom kvalitete i rizicima, Minivodič za poslovnu zajednicu; <https://www.mingo.hr/public/documents/95-vodic-kvaliteta-i-rizici.pdf> (15.01.2022.)
- [2] K. Buntak, T. Baković, P. Mišević, M. Damić, L. Buntić, Kvaliteta i sustavi upravljanja kvalitetom, Sveučilišni priručnik, Sveučilište u Zagrebu, 2021.
- [3] S. T. Dziuba, M. Ingaldi, M. Kadlubek, Quality analysis of the steel bars in chosen metallurgical enterprise, 27<sup>th</sup> International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2018, Brno, 2018., 1893-1898.
- [4] T. Šabić, N. Vulić, Posebnosti upravljanja kvalitetom u ljevaonici, 17. simpozij Teorija i praksa brodogradnje, Zbornik radova, Julijan Dobrinić (ur.). Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci; 3. maj brodogradilište d.d., Rijeka, 2006., 689-702.
- [5] S. Rešković, T. Brlić, Upravljanje kvalitetom, Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Sisak, 2019.
- [6] HRN EN ISO 9001 Sustavi upravljanja kvalitetom – Zahtjevi (ISO 9001:2015; EN ISO 9001:2015), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2016.
- [7] T. Lazibat, T. Baković, Poznavanje robe i upravljanje kvalitetom, Ekonomski fakultet, Zagreb, 2020.
- [8] T. Baković, Utjecaj kvalitete i inovacija na poslovanje poduzeća u hrvatskoj prerađivačkoj industriji, Ekonomski pregled, 62 (2011), 525-543.
- [9] J. Britvić, Moderni sustavi upravljanja u organizacijama, Praktični menadžment, 2 (2011), 72-80.
- [10] M. Šiško Kuliš, Z. Mrduljaš, Gurui kvalitete, Tehnički vjesnik 16, 5 (2009), 71-78.
- [11] Opis certifikacijske procedure; [https://www.tuv-nord.com/fileadmin/Content/TUV\\_NORD\\_COM/TUV\\_Kroatien/pdf/opis-certifikacijske-procedure.pdf](https://www.tuv-nord.com/fileadmin/Content/TUV_NORD_COM/TUV_Kroatien/pdf/opis-certifikacijske-procedure.pdf) (15.01.2022.)
- [12] H. Južnić, D. Pavletić, M. Soković, Unaprijeđivanje kvalitete u proizvodnji brodskih sporohodnih motora. XIX. simpozij „Teorija i praksa brodogradnj“, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2010.
- [13] S.B. Vardeman, J.M. Jobe, Statistical Quality Assurance Methods for Engineers, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- [14] R. Basu, Implementing Quality: A Practical Guide to Tools and Techniques, Thompson Learning, Cornwall, 2004.
- [15] M. Lazić, Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kragujevac, Centar za kvalitet, Kragujevac, 2006.
- [16] N.R. Tague, The Quality Toolbox, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Quality, Quality Press, Milwaukee, 2005.
- [17] D. Čelar, V. Valečić, D. Željezić, Ž. Kondić, Alati za poboljšavanje kvalitete, Technical journal 8, 3 (2014), 258-268.
- [18] Ishikawa dijagram; <http://svijet-kvalitete.comindeksx.php/upravljanje-kvalitetom/1255-ishikawa-dijagram> (11.12.2021.)
- [19] D. Horvat, A. Eđed, Đ. Banaj, Statistička kontrola procesa i proizvoda u poljoprivredi, Poljoprivreda 12 (2006), 68-74.
- [20] V. Vulcanović, D. Stanivuković, B. Kamberović, N. Radaković, R. Maksimović, V. Radlovački, M. Šilobad, Metode i tehnike unapređenja procesa rada, Istraživački i tehnološki centar, Novi Sad, 2005.



- [21] Z. Glavaš, Osnove lijevanja metala, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2014.
- [22] J. L. Jorstad, Shape Casting Processes – An Introduction, chapter in ASM Handbook, Volume 15, Casting, ASM International, Materials Park, Ohio, 2008.
- [23] Z. Glavaš, Analiza grešaka na odljevcima, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2009.
- [24] M. T. Rowley, International Atlas of Casting Defects, AFS, 2007.
- [25] T. Pyzdek, P. A. Keller, The handbook for quality management, McGraw-Hill Companies, New York, 2013., 160-170.
- [26] K. Rušec, Sustav kontrole kvalitete na primjeru odabranog poduzeća, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2018.
- [27] S. Rešković, Ispitivanje materijala, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2009.
- [28] A. Joshi, P. Kadam, An application of Pareto analysis and cause effect diagram for minimization of defects in manual casting process, International Journal of Mechanical And Production Engineering, 2 (2014), 36-40.
- [29] R. Ulewicz, R. Kruzel, Non-conformance analysis in the process of the manufacturing of cast product, 11<sup>th</sup> International Metallurgical Conference METAL 2002, Hradec nad Moravici, 2002.
- [30] G. Engels, Odlewnictwa metali i nowe tworzywa na rynkach europejskich i światowych. Przegląd Odlewnictwa nr 1/2000
- [31] H. Južnić, D. Pavletić, M. Soković, Alati osiguranja kakvoće kod lijevanja košuljica cilindara brodskih sporokretnih motora, Brodogradnja, 62 (2011), 44-52.
- [32] K. Siekański, S. Borkowski, Analysis of foundry defects and preventive activities for quality improvement of castings, Metalurgija 42 (2003), 57-59.

## **8. ŽIVOTOPIS**

### **OSOBNI PODATCI**

Ime: Ivan

Prezime: Glavinić

Datum rođenja: 27.09.1991.

Mjesto rođenja: Zagreb

Adresa: Gornji Baćin 17, 44450 Hrvatska Dubica

E-mail: [ivan\\_glavinic@hotmail.com](mailto:ivan_glavinic@hotmail.com)

### **OBRAZOVANJE**

1998. - 2006. Osnovna škola Ivo Kozarčanin, Hrvatska Dubica

2006. - 2009. Srednja škola Ivana Trnskog, Hrvatska Kostajnica, Industrijski mehaničar

2010. - 2015. Strukovna škola Sisak, Tehničar cestovnog prometa

2019. - Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, Preddiplomski sveučilišni izvanredni studij Ljevarsvo

### **VJEŠTINE**

Strani jezici: Njemački jezik A1, Engleski jezik B2

Rad na računalu: Word, Excel

Ostale vještine: trčanje, vožnja bicikla, rekreativno treniranje