

# Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune

---

**Bukovčan, Nedeljko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

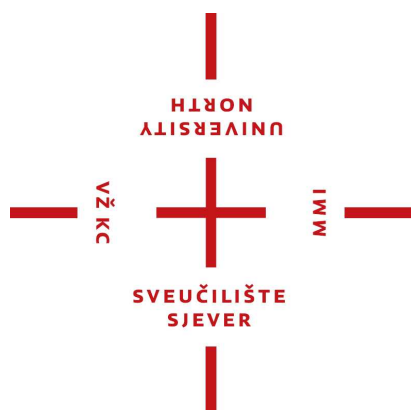
**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:819239>

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

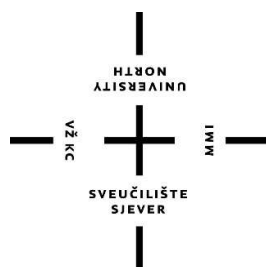
*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-23**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

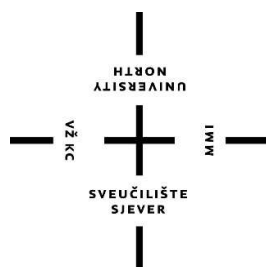
**Završni rad br. 304/TGL/2016**

**PRIMJENA SUVREMENIH STATISTIČKIH METODA U  
KONTROLI KVALITETE KAMENE VUNE**

**Nedeljko Bukovčan, 5247/601**

Varaždin, lipanj 2016. godine





# **Sveučilište Sjever**

**Odjel za tehničku i gospodarsku logistiku**

**Završni rad br. 304/TGL/2016**

## **PRIMJENA SUVREMENIH STATISTIČKIH METODA U KONTROLI KVALITETE KAMENE VUNE**

**Student**

**Nedeljko Bukovčan, 5247/601**

**Mentor**

**Živko Kondić, dr.sc.**

Varaždin, lipanj 2016. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

|                             |                                                                                                                                                                                                        |              |                                              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------|
| ODJEL                       | Odjel za tehničku i gospodarsku logistiku                                                                                                                                                              |              |                                              |
| PRESTUPNIK                  | Nedeljko Bukovčan                                                                                                                                                                                      | MATERNI BROJ | 5247/601                                     |
| DATUM                       | 06.06.2016.                                                                                                                                                                                            | KOLEGIJ      | Upravljanje kvalitetom okolišem i sigurnošću |
| NASLOV RADA                 | "Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune"                                                                                                                             |              |                                              |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Implementation of modern statistical methods in rock mineral wool quality control                                                                                                                      |              |                                              |
| MENTOR                      | dr. sc. Živko Kondić                                                                                                                                                                                   | ZVANJE       | izv.prof.                                    |
| ČLANOVI POVJERENSTVA        | 1. izv. prof. dr. sc Vinko Višnjić, predsjednik<br>2. izv. prof. dr. sc. Živko Kondić, mentor<br>3. Veljko Kondić, mag. ing.mech., član<br>4. doc. dr. sc. Krešimir Buntak, zamjenski član<br>5. _____ |              |                                              |

## Zadatak završnog rada

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BROJ | 304/TGL/2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| OPIS | U zadatku je potrebno: <ul style="list-style-type: none"><li>- Ukratko opisati ustroj proizvodnog sustava odabranog poduzeća za proizvodnju kamene vune.</li><li>- Opisati detaljnije faze tehnološkog procesa proizvodnje i to kroz: deponiranje sirovine, taljenje sirovine, njeno razvlaknjivanje, taloženje, polimerizacija, formatiranje, kaširanje i pakiranje.</li><li>- Opisati moguću primjenu statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune.</li><li>- U praktičnom dijelu završnog rada potrebno je odabrati najpovoljniju kontrolu kartu za praćenje stabilnosti procesa proizvodnje, detaljnije je opisati, definirati parametre proizvodnje, te provesti analizu rezultata.</li><li>- U zaključku završnog rada dati kritički osvrt na temu koja je obrađena te navesti moguće aspekte poboljšanja i daljnjeg rada na navedenu temu.</li></ul> |

ZADATAK URUČEN

29.06.2016.



POTPIS MENTORA

## Predgovor

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

*Zahvaljujem dr.sc. Živku Kondiću na ukazanom povjerenju i podršci pri izradi diplomskog rada kao i kolegama iz tvrtke, kako svesrdnoj podršci tijekom pohađanja studija, tako i na svim informacijama i materijalima prilikom izvođenja eksperimentalnog dijela rada.*

*Naravno, posebna zahvala mojoj obitelji na razumijevanju, strpljenju i podršci iskazanoj tijekom studija.*

## Sažetak

U radu je opisan značaj statističke kontrole kvalitete s posebnim naglaskom na primjenu kontrolnih karata i analize sposobnosti procesa u njoj primjeni u praksi.

Definirane su vrste kontrolnih karata i opisan postupak odabira odgovarajuće kontrolne karte. Detaljno su razrađene značajke i analiza kontrolnih karata za mjerljive karakteristike,  $\bar{x} - R$ ,  $\bar{x} - s$  i  $X - MR$  kartu.

Definirani su i uvjeti koje proces mora zadovoljiti prije postupka procjene sposobnosti procesa, razrađen sam postupak procjene, definirane vrste pokazatelja (indeksa) sposobnosti procesa i način njihova izračuna.

U praktičnom dijelu rada prikazana je primjena  $X - MR$  karte kao alata za provjeru stabilnosti procesa brušenja proizvoda od kamene vune, te procjena sposobnosti procesa brušenja s ciljem zadovoljavanja zahtjeva za tolerancije na debljinu proizvoda postavljenih od strane kupca.

Ključne riječi: kontrola kvalitete, kontrolne karte, sposobnost procesa

## Summary

This study describes importance of the statistical quality control with highlight to the implementation of the control charts and analysis of process capability in practical applications.

In the study are described types of the control charts and the procedure for selection of the appropriate control chart. Attributes of the control charts are elaborated and analysis of the control charts for measurable variables is described ( $\bar{x} - R$ ,  $\bar{x} - s$  and  $X - MR$  chart).

Conditions which the process have to meet before assessing of the process capability are defined, assessment procedure is elaborated and types of indicators ( indexes ) of the process capability and the method of their calculation are defined as well.

Practical part of the paper shows the application of  $X - MR$  chart as a tool for checking the stability of the process of grinding of the stone wool products and assessment capability of the grinding process with a goal to meet the requirements for tolerance on the thickness of the product set by the customer.

Key words: quality control, control charts, process capability

## Popis korištenih kratica

|                    |                                                             |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|
| $C_{p,k}$          | Demonstrirana izvrsnost (Demonstrated excellence)           |
| $C_{p,m}$          | Potencijalna sposobnost (Potential Capability)              |
| $C_r$              | Omjer sposobnosti (Capability Ratio)                        |
| $C_{p,L}$          | Donja potencijalna sposobnost (Lower Potential Capability)  |
| $C_{p,U}$          | Gornja potencijalna sposobnost (Upper Potential Capability) |
| $\bar{c}$          | Prosječan broj defekata po uzorku                           |
| CL                 | Središnja linija (central line)                             |
| DKG                | Donja kontrolna granica                                     |
| GKG                | Gornja kontrolna granica                                    |
| k                  | Faktor korekcije necentriranosti                            |
| LCL                | Donja kontrolna granica (lower control limit)               |
| LSL                | Donja granica zahtjeva (Lower Specification Limit)          |
| MR                 | Raspon između uzoraka (Moving Range)                        |
| $n\bar{p}$         | Prosječan broj neispravnih proizvoda po uzorku              |
| $\bar{p}$          | Prosječan broj neispravnih proizvoda                        |
| R                  | Raspon (Range)                                              |
| $s = \hat{\sigma}$ | Standardno odstupanje                                       |
| SQC                | Statistička kontrola kvalitete (Statistic Quality Control)  |
| $T_r$              | Raspon zahtjeva (tolerancijsko područje)                    |
| $\bar{u}$          | Prosječan broj defekata po jedinici proizvoda               |
| USL                | Gornja granica zahtjeva (Upper Specification Limit)         |
| UCL                | Gornja kontrolna granica (Upper control limit)              |
| $\bar{x}$          | srednja vrijednost mjerenja                                 |
| $x_i$              | vrijednost pojedinačnog mjerenja                            |
| $\sigma$           | Standardna devijacija                                       |

# Sadržaj

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Uvod .....                                                                           | 1  |
| 1. Kratki opis ustroja proizvodnog sustava poduzeća za proizvodnju kamene vune ..... | 3  |
| 2. Faze tehnološkog procesa proizvodnje kamene vune.....                             | 6  |
| 2.1. Deponiranje sirovina i punjenje silosa dnevne potrošnje.....                    | 6  |
| 2.2. Proces taljenja sirovina u kupolnoj peći.....                                   | 7  |
| 2.3. Razvlaknavanje taline .....                                                     | 9  |
| 2.4. Taloženje nastalih vlakana u taložnoj komori .....                              | 10 |
| 2.5. Polimerizacija fenolformaldehidne smole u sušionoj komori .....                 | 11 |
| 2.6. Formatiranje proizvoda .....                                                    | 12 |
| 2.7. Kaširanje.....                                                                  | 13 |
| 2.8. Pakiranje proizvoda.....                                                        | 14 |
| 3. Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune.....     | 17 |
| 3.1. Statistička kontrola kvalitete .....                                            | 17 |
| 3.2. Kontrolne karte .....                                                           | 17 |
| 3.3. Kontrolne karte za mjerljive varijable.....                                     | 25 |
| 3.4. Indeksi sposobnosti procesa .....                                               | 31 |
| 3.5. Pravila za tumačenje kontrolnih karata .....                                    | 36 |
| 4. Praktična primjena kontrolne karte tipa X-MR.....                                 | 38 |
| 4.1. Mjerna metoda .....                                                             | 39 |
| 4.2. Parametri proizvodnje .....                                                     | 41 |
| 4.3. Analiza debljine proizvoda na lijevoj strani linije .....                       | 42 |
| 4.4. Analiza debljine proizvoda na sredini linije .....                              | 45 |
| 4.5. Analiza debljine proizvoda na desnoj strani linije .....                        | 48 |
| 4.6. Usporedba rezultata po širini linije .....                                      | 51 |
| 4.7. Zaključna razmatranja i daljnji koraci.....                                     | 51 |
| 5. Zaključak.....                                                                    | 52 |
| Literatura .....                                                                     | 53 |
| Popis slika.....                                                                     | 54 |
| Popis tablica.....                                                                   | 55 |

## Uvod

Suvremeno doba karakterizira izrazito velik i nagli porast značenja kvalitete u proizvodnji i uporabi proizvoda, kao i njezin utjecaj na produktivnost i prihod proizvodnih organizacija. U tom smislu, osnovni ciljevi u svim procesima trebaju biti poboljšanje kvalitete, povećanje produktivnosti i smanjenje troškova. Preduvjet za njihovo ostvarenje je isticanje i prihvaćanje važnosti kvalitete. Takav pristup vodi i do razvoja principa unapređenja kvalitete, ali i svijesti o značenju kvalitete i kontroli kvalitete, kao i metodama osiguranja kvalitete proizvoda i usluga.

Imajući u vidu i sve veću konkurenciju na globalnim tržištima, kontrola kvalitete se nameće kao nezaobilazan proces u svim institucijama i predstavlja jedan od osnovnih čimbenika koji utječu na podizanje rejtinga, a samim time i na osiguranje boljeg položaja na tržištima širom svijeta i povećanje produktivnosti. Kontrola kvalitete se, kao specifično područje u proizvodnim i sustavima održavanja, u svijetu nametnula kao nužan i nezaobilazan alat u svim radnim procesima. Iz tog razloga sve ozbiljne institucije imaju posebne odjele kontrole kvalitete, zadužene za propisivanje, provođenje i kontrolu aktivnosti i rezultata, a sve radi postizanja, održavanja i unapređenja kvalitete.

U međunarodnoj normi (ISO 9000) naziv kvaliteta - kakvoća (potječe od latinske riječi «qualitas», što znači kakvoća, svojstvo, vrsnoća, značaj odlika) - određen je kao ukupnost svojstava entiteta, koja ga čine sposobnim da zadovolji izražene ili pretpostavljene potrebe. Kvalitetu još možemo definirati kao:

- Sposobnost za uporabu (fitness for use)
- Sposobnost za primjenu (fitness for purpose)
- Korisnikovo zadovoljstvo (customer satisfaction)
- Sukladnost sa zahtjevima (conformance to the requirements)

Riječ «kontrola» odnosi se na proces koji se primjenjuje radi zadovoljavanja normi. Sastoji se od promatranja stvarnoga ispunjavanja funkcije, usporedbe ispunjavanja te funkcije s nekom normom i djelovanja, ako se promatrano ispunjavanje funkcije značajno razlikuje od norme. Proces kontrole nalik je povratnoj vezi. Kontrola obuhvaća opći slijed koraka, kako je navedeno:

1. izbor predmeta kontrole, odnosno izabiranje onoga što namjeravamo kontrolirati,
2. izabiranje jedinice mjere,
3. postavljanje cilja za predmet kontrole,
4. stvaranje senzora koji može mjeriti predmet kontrole pomoću mjernih jedinica,
5. mjerenje stvarnoga ispunjavanja funkcije,
6. tumačenje razlike između stvarnoga ispunjavanja funkcije i cilja,

## 7. djelovanje (ako je potrebno) po razlici.

Statistička kontrola kvalitete je skup metoda i postupaka za prikupljanje, obradu, analizu, tumačenje i prikaz podataka. Koristi se u svrhu osiguranja kvalitete proizvoda i procesa.

Razlozi za primjenu statističke kontrole kvalitete su sljedeći:

- utvrđivanje sposobnosti procesa za proizvodnju proizvoda koji zadovoljava zahtjeve,
- praćenje procesa kako bi se otkrile promjene zbog kojih proces izmiče kontroli,
- poduzimanje mjera za korekciju procesa i njegovo održavanje pod kontrolom.

Kontrolne su karte osnovni instrument pomoću kojega se provodi statistička kontrola proizvoda ili proizvodnog procesa. Tehnika kontrolnih karata zapravo predstavlja statističko reguliranje procesa, što podrazumijeva statističku kontrolu tekućih aktivnosti radi interveniranja u slučajevima kada proces izađe van propisanih kontrolnih granica. Njihov je zadatak da:

- pokažu da li je postignuto stanje kontrole
- dovedu proces u stanje kontrole
- održavaju proces u stanju kontrole

Ocjena mogućnosti procesa je ocjena rasipanja i podešenosti procesa u stanju statističke kontrole. Analiza sposobnosti procesa se izvodi s ciljem ocjene usaglašenosti parametara procesa sa zahtjevima definiranim crtežima, specifikacijama, u procesu proizvodnje ili u probnoj proizvodnji, prije i na početku serijske proizvodnje. Kroz analizu i ocjenu sposobnosti procesa formira se odgovor na pitanje: da li je proces u stanju osigurati traženu razinu kvalitete proizvoda?

# 1. Kratki opis ustroja proizvodnog sustava poduzeća za proizvodnju kamene vune

Tvrtka u kojoj je izrađen praktični dio rada je jedan od od najbrže rastućih proizvođača izolacije u svijetu koji u svojoj ponudi ima široku paletu izolacijskih materijala potrebnih za zadovoljenje sve većih zahtjeva za energetsom efikasnošću u novim i postojećim domovima, poslovnim zgradama i industriji.

Tvrtka je prisutna u više od 35 zemalja i s više od 30 proizvodnih pogona za proizvodnju staklene mineralne vune, kamene mineralne vune, drvene vune, ekstrudiranog polistirena, ekspandiranog polistirena i ekstrudiranog polietilena. Navedeni proizvodi svojim se karakteristikama ističu među izolacijama u graditeljstvu, tehničkim i industrijskim izolacijama, ventilacijskim, klimatizacijskim i OEM (Original Equipment Manufacturer) sustavima.



Slika 1.1 Proizvodni pogoni tvrtke [8]

Tvrtka nudi sveobuhvatnu paletu rješenja za zgrade i industrijsku primjenu:



- Stambene zgrade
- Gospodarske zgrade
- Industrijski objekti
- Poslovne zgrade
- Zgrade za obrazovanje
- Zdravstvene ustanove/zgrade



- Elektrane
- Petrokemijski pogoni
- Rafinerije
- Grijanje, ventilacija, klimatizacija (HVAC)



- Montažni građevinski elementi
- Kućanski aparati
- Stropni elementi
- Vrata
- Toplinsko-solarni paneli
- Dimnjaci
- Hortikultura
- Auto dijelovi/industrija

Slika 1.2 Područja primjene proizvoda tvrtke [8]

U području graditeljstva tvrtka nudi rješenja i sisteme za toplinsku, zvučnu i protupožarnu izolaciju stambenih i gospodarskih zgrada kod novogradnje i renoviranja:

- Kosi krovovi
- Ravni krovovi
- Vanjski zidovi
- Dvostruki zidovi
- Kontaktne fasade
- Izolacija s unutarnje strane
- Pregradni zidovi
- Stropovi
- Podovi
- Okvirne konstrukcije



*Slika 1.3 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u građevinarstvu [8]*

U području industrije tvrtka nudi pouzdane proizvode tehničke izolacije za HVAC(heating, ventilation, and air conditioning), elektrane, petrokemijska postrojenja, rafinerije i druge industrijske primjene

- Žljebaci
- Cisterne - spremnici
- Posude
- Stupovi
- Bojleri
- Cijevi



*Slika 1.4 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u industriji [8]*

Tvrtka nudi i prilagođena rješenja za OEM:

- Montažni građevinski elementi
- Kućanski aparati
- Stropni elementi
- Vrata
- Toplinski solarni paneli
- Dimnjaci
- Auto dijelovi/industrija



Slika 1.5 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u OEM sektoru [8]

O ciljevima tvrtke jasno govori njena vizija:

*„Naša generacija ima jedinstvenu priliku, jedan izazov, koji ne smijemo propustiti. Svijet je suočen s ekološkom krizom koja ugrožava način na koji živimo i živote naše djece. Dužnost nam je djelovati. Energija nije nikada bila tako goruća tema. Najjeftinija i najčišća energija je uštedjena energija.*

*40% svjetske energije koristi se u zgradama, a pokazalo se već mnogo puta da je izolacija najefikasnija metoda, praktično i ekonomski, koja to može bitno smanjiti. Mi možemo i moramo postati svjetski lider u energetske efikasnim sistemima za zgrade. Postizanje toga imat će jak utjecaj na svjetski izvor energije i stvoriti održivo naslijeđe našoj djeci.*

*Ukoliko postignemo svoj cilj, ukoliko ćemo zajedno raditi na suočenju s izazovom koji je pred nama, svijet će postati bolje mjesto. To je naša prilika i naša šansa da nešto promijenimo. Ono što radimo danas, što ćemo raditi sutra, pamtit će se i nakon 50 godina. Ovo je naše vrijeme.”*

## 2. Faze tehnološkog procesa proizvodnje kamene vune

Tehnološki proces proizvodnje kamene vune može se podijeliti u nekoliko glavnih faza:

1. Deponiranje sirovina i punjenje silosa dnevne potrošnje
2. Proces taljenja sirovina u kupolnoj peći
3. Taloženje nastalih vlakana u taložnoj komori
4. Polimerizacija fenolformaldehidne smole u sušionoj komori
5. Formatiranje proizvoda
6. Pakiranje proizvoda

### 2.1. Deponiranje sirovina i punjenje silosa dnevne potrošnje

Kao sirovine za proizvodnju kamene vune upotrebljavaju se prirodni i umjetni silikatni materijali. Od prirodnih materijala tvrtka upotrebljava diabaz, dolomit i boksit, a u manjoj mjeri bazalt odnosno amfibolit, dok od umjetnih materijala koristi tzv. brikete koji se dobivaju preradom regenerata iz vlastitog tehnološkog procesa uz dodatak cementa.

Pod regeneratima se podrazumijevaju vlakna kamene vune koja završe ispod centrifuge, odnosno vlakna koja nisu, na osnovu njihovih pokazatelja, preoblikovana u proizvod koji zadovoljava zahtjeve norme za dotični toplinsko-izolacijski materijal.

Za svaku pojedinu sirovinu propisana je optimalna granulacija i kemijski sastav, te se one u skladu s tim zahtjevima nabavljaju. Skladištenje sirovina provodi se na otvorenoj i/ili zatvorenoj deponiji a odatle se transportiraju u silose.

Na deponiji sirovina, u zgradi silosa, postoji 6 metalnih silosa koji se pune određenim sirovinama. Punjenje silosa dnevne potrošnje izvodi se svakodnevno sa sirovinama koje su uskladištene na za to određenim i označenim mjestima na deponiji sirovina pomoću transportera za punjenje silosa, koji vode od usipnog lijevka do vrha silosa.



*Slika 2.1: Sirovine za proizvodnju kamene vune [8]*

## **2.2. Proces taljenja sirovina u kupolnoj peći**

### **2.2.1. Punjenje kupolne peći**

Punjenje kupolne peći sirovinama vrši se prema numeriranim recepturama. Punjenje se izvodi automatski preko gumene transportne trake iz silosa dnevne potrošnje posredstvom nivo metra na vrhu kupolne peći i procesnih vaga ispod silosa dnevne potrošnje.

Za optimalni rad peći vrši se prosijavanje svih komponenti šarže (dijabaz, dolomit, boksit, briket, koks) na odgovarajućim sitima koja se nalaze prije vaga postavljenih na dnu silosa. Materijal koji se prosije izlazi uz pomoć transportne trake u betonske boksove. Koks sitne granulacije je energent u drugim tehnologijama, te se preko burze otpada prodaje. Dijabaz, dolomit i boksit u granulaciji  $< 20$  mm se odlažu na deponiju, a briket se ponovo vraća kooperantu koji ga koristi kod proizvodnje briketa.

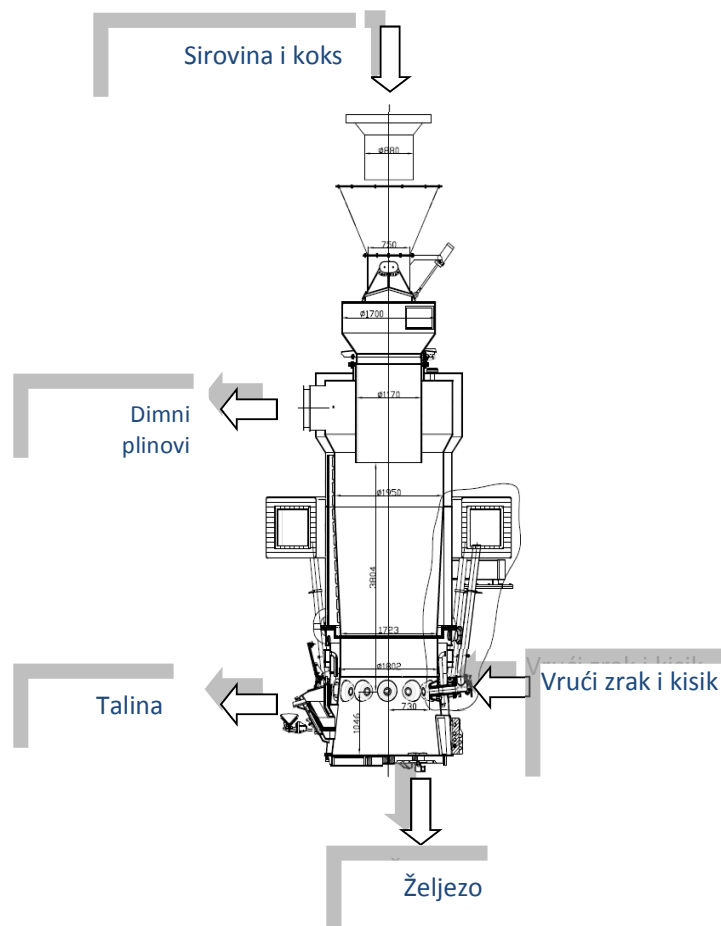
### **2.2.2. Početak rada kupolne peći**

Prije redovne proizvodnje potrebno je izraditi dno kupolne peći. Dno kupolne peći izrađuje se prema propisanom postupku. Nakon što se izradi dno kupolne peći izvrši se potpala peći također prema propisanom postupku.

### **2.2.3. Proces taljenja sirovina**

Proces taljenja sirovina u kupolnoj peći odvija se pomoću topline koja se dobiva izgaranjem koksa. Izgaranje koksa odvija se pomoću zraka koji se upuhuje u kupolnu peć. Osim zraka upuhuje se i određena količina kisika.

Rad kupolne peći nadzire se preko računala i instrumenata na komandnom pultu, kontrolom sapnica za potpuh, te kontrolom curka taline.



Slika 2.2: Shematski prikaz kupolne peći [8]

Procesom taljenja sirovina u kupolnoj peći dobiva se talina iz koje se dobiva kamena vuna, a na vrhu kupolne peći izlaze grotleni (dimni) plinovi. Grotleni plinovi su predmet utjecaja na okoliš. U grotlenim plinovima nalazi se 6 – 10 % ugljik (II) oksida ( $\text{CO}$ ), cca  $500 \text{ mg/Nm}^3$  sumpor (IV) oksida ( $\text{SO}_2$ ), cca  $500 \text{ mg/Nm}^3$  sumporovodika  $\text{H}_2\text{S}$  i prašina.

Da bi se te koncentracije svele ispod zakonom maksimalno dozvoljenih instalirano je postrojenje za spaljivanje dimnih plinova (TNV) gdje se grotleni plinovi filtriraju i spaljuju. Kao rezultat spaljivanja pojavljuje se energija koja se ponovo koristi u procesu zagrijavanja vrućeg zraka za potpuh kupolne peći, te dolazi do raspada sumporovodika ( $\text{H}_2\text{S}$ ) na sumpor (IV) oksid ( $\text{SO}_2$ ) i malu količinu sumporovodika ( $\text{H}_2\text{S} < 5 \text{ mg/Nm}^3$ ).

Proces spaljivanja grotlenih plinova procesno je vođen računalom tako da su sve faze rada softverski definirane.

Osim taline u procesu taljenja nastaje i određena količina željeza koja je u ovom tehnološkom procesu nusproizvod. Željezo se periodički ispušta iz kupolne peći u za to pripremljen lonac iz kojeg se vadi u obliku ingota, deponira i prodaje.

## 2.3. Razvlaknavanje taline

Talina dobivena procesom taljenja u kupolnoj peći kontinuirano (za vrijeme rada peći) izlazi iz peći preko sifona te u obliku curka pada na 1. kotač centrifuge. Tokom proizvodnje u cilju dobivanja što kvalitetnijih vlakana potrebno je kontrolirati položaj curka taline na prvi kotač. Otpuh proizvedenih vlakana sa centrifuge vrši se sa zrakom pomoću visokotlačnih ventilatora.

Sva količina taline koja dopiye na centrifugu u cilju razvlaknjavanja ne završi u gotovom proizvodu, već se jedan dio taline (ca 15% ) ne razvlakna kvalitetno i padne ispod centrifuge. Iz te nekvalitetno razvlaknane taline izrađuju se briketi koji se ponovo koriste u procesu taljenja.



*Slika 2.3: Razvlaknjavanje taline na centrifugi [8]*

### 2.3.1. Doziranje veziva

Radi povezivanja vlakana kamene vune i postizanja različitih svojstava proizvoda, kroz kotače centrifuge ubacuje se vezivo koje ovlažuje vlakna. Vezivo je smjesa fenolformaldeidne smole, protuprašnog ulja, amonijačne vode, silana i vode u određenim omjerima. U pojedine vrste proizvoda dodaju se različite količine veziva, što je definirano u tehnološkom listu za svaki određeni proizvod i to tako da je naznačena količina suhe vezivne tvari u proizvodu

Posebna pažnja se poklanja transportu, pretakanju i skladištenju pojedinih komponenti veziva. Ispod spojnog mjesta cijevi za istakanje i cisterne postavlja se sabirna tankvana. Tehnologija pripreme veziva osigurava potpunu sigurnost da gore navedene komponente neće dospjeti u vodotok. Sve komponente čuvaju se u zatvorenim spremnicima i priprema se vrši zatvorenim sustavom cjevovoda i pumpi.

Priprema i potrošnja veziva tehnološki je postavljena tako da kod uključenja, normalnog pogona i isključenja ne može doći do utjecaja na okoliš jer u slučaju propuštanja spremnika, cjevovoda ili pumpi, vezivo se sakuplja u podrumu i ponovo se koristi za novu pripremu veziva.

## 2.4. Taloženje nastalih vlakana u taložnoj komori

Vlakna nastala razvlaknjavanjem taline na centrifugi talože se na pokretnom lamelnom transporteru uz pomoć struje zraka otpuha s centrifuge i odsisa iz taložne komore.



*Slika 2.4: Formiranje primarnog plasta [8]*

Tako nataložena vlakna transportiraju se prema vrhu taložne komore do mjesta na kojem ih ventilator skine s primarne trake i prebaci na transporter za zakretanje plasta. Nakon što se zaokrene za 90° plast odlazi na primarnu vagu gdje se izvažuje, a onda transporterom ispod vage odlazi između transportera njihovog mehanizma. Pomoću njihovog mehanizma plast se polaže na transporter za nalaganje plasta nakon kojeg se važe na sekundarnoj vagi.



*Slika 2.5: Formiranje sekundarnog plasta [8]*

Zrak iz taložne komore odsisava se s ventilatorima, a radi njegovog pročišćavanja (jer sadrži za okoliš štetne tvari: fenol, formaldehid, prašinu, amonijak) prolazi kroz filter od ploča kamene vune. Pročišćeni zrak iz filtera taložne komore zatim ulazi u tzv. ekološki dimnjak iz kojeg se ispušta u okoliš.

U taložnu komoru se mogu (ovisno o proizvodu) ubacivati i određene količine granulata (samljevena vuna koja zbog nedovoljne kvalitete nije bila za isporuku kupcu).

## **2.5. Polimerizacija fenolformaldehidne smole u sušionoj komori**

Nakon sekundarne vage, plast vune zadane težine ulazi u predprešu. Težina (u  $\text{kg/m}^2$ ) i debljina plasta upisuje se u računalu te se uz pomoć kapaciteta automatski definira brzina sekundarne linije.

Nakon sekundarne vage plast ulazi u stanicu za komprimiranje u kojoj se, ovisno o vrsti proizvoda, vrši uzdužno komprimiranje. Iz stanice za komprimiranje plast ulazi u sušionu komoru gdje se vrši polimerizacija fenol-formaldehidne smole, a visinom sušione komore regulira se debljina proizvoda koji se izrađuje. Debljina plasta vune u sušionoj komori može se kretati od 20 do 250 mm. Debljina plasta se formira između donjeg i gornjeg pokretnog lamelnog transportera sušione komore i to tako da je gornji transporter pomičan po visini. U toku proizvodnje promjena debljine se u pravilu uvijek treba izvoditi od tanjeg sloja prema debljem (kako bi se promjena izvodila podizanjem gornjeg transportera).

S obzirom na dimenzije gotovih proizvoda moguća je promjena širine plasta vune u sušionoj komori. Ona se može kretati od 1800 do 2050 mm. Promjena širine postiže se odmicanjem ili primicanjem linearnih četki.

Polimerizacija vune ovlažene s vezivom postiže se strujanjem vrućeg zraka kroz sloj vune, a samo strujanje u sušionoj komori odvija se kroz tri zone. Kvaliteta polimerizacije ovisi o temperaturi i količini vrućeg zraka koji struji kroz vunu, te o količini i osobinama veziva koje je u vuni. Odsis sušione komore vrši se pomoću dva odsisna ventilatora, a jačina podtlaka ovisi o vrsti proizvoda i treba biti tolika da se iz komore ne dimi.

Vrući zrak koji radi polimerizacije cirkulira kroz sušionu komoru radi pročišćavanja prolazi kroz filter sušione komore. Ploče su od kamene vune, a po jedna polovica ploča mijenja se na svakom redovnom tjednom remontu. Zamijenjene ploče melju se u mlinu i briketiraju, te ponovno vraćaju u peć.

Radi boljeg strujanja vrućeg zraka potrebno je čistiti lamelne transportere, a to se izvodi sa četkama koje se automatski uključuju. Također je tokom proizvodnje potrebno podmazivati pogonske lance sušione komore, a što se izvodi automatski pomoću uljnog agregata.

Polimerizirani plast vune izlazi iz sušare, te se hladi u zoni hlađenja. Neposredno ispod plasta, na izlazu iz sušare, nalaze se hauba i filter zone hlađenja preko kojih ventilator zone hlađenja odsisava zrak kojim je hlađen plast.

## **2.6. Formatiranje proizvoda**

Ohlađeni plast iz zone hlađenja dolazi u zonu razreza gdje se reže na zadane dimenzije, prema potrebi se brusi, te se vrši odsis prašine koja pri tome nastaje.

### **2.6.1. Stroj za brušenje ploča**

Stroj za brušenje ploča namijenjen je za brušenje plasta vune volumenske težine iznad 90 kg/m<sup>3</sup>, kada to zahtijevaju uske tolerancije debljine u tehnološkom listu ili su takvi zahtjevi kupaca. Sastoji se od gornjeg i donjeg dijela sa brusnim papirom i vodilicama za namještanje visine brušenja. Uređaj ima mogućnost brusiti plast samo s gornje strane, samo s donje strane ili istovremeno sa oba dvije strane. Prašina koja nastaje prilikom brušenja odsisava se u vrećasti filter.

### **2.6.2. Pila za razrez po dužini**

Ova pila namijenjena je za rezanje plasta vune na traženu dužinu koja je zahtijevana tehnološkim listom. Smještena je unutar proizvodne linije i ima dva posebno gonjena agregata kružnih pila čiji se međusobni razmak može mijenjati od 500 do 9500 mm. Pila ima mogućnost piljenja samo sa jednim agregatom, sa oba agregata, jednosmjerno ili dvosmjerno piliti, te mogućnost kalibriranja proizvoda direktno na proizvodnoj liniji.

Maksimalna debljina plasta koji se može piliti je 250 mm, a maksimalna širina plasta je 2100 mm.

### **2.6.3. Pile za razrez po širini**

Pile za razrez po širini namijenjene su za rezanje plasta vune na širinu koja je zahtijevana tehnološkim listom. Sastoje se od dva seta po pet kružnih pila od kojih je svaka posebno gonjena, a smještene su na nosivim gredama u sklopu proizvodne linije. Svaka pila može se pomicati po gredi okomito na proizvodnu liniju. Mjera na koju će se postaviti pojedina pila

očitava se na mjernim letvama smještenim uz nosive grede. Najmanja širina proizvoda koja se može raditi sa jednim setom pila je 360 mm.

#### **2.6.4. Pile za razrez po debljini**

Pile za razrez po debljini namijenjene su za razrez plasta vune po debljini koja je zahtijevana tehnološkim listom. Na proizvodnoj liniji postoje dvije takve pile, koje su smještene između sušione komore i stroja za brušenje. Pile se mogu koristiti i za fino brušenje površine plasta. Da bi pravilno radile moraju biti dobro zategnute, što se postiže pomoću pneumatskog uređaja za napinjanje pile.

#### **2.6.5. Odsis prašine**

Prašina koja nastaje odrezom pila za razrez odsisava se pomoću ventilatora i transportira cjevovodima do vrećastog filtera. Prašinu izbačenu iz filtera pužni transporter prebacuje na transporter rubnog otpada u podrumu proizvodne linije, a ovaj ju transportira u taložnu komoru.

### **2.7. Kaširanje**

Proizvodi iz kamene vune mogu biti kaširani i nekaširani. Kaširni materijal može se nanositi na plast vune na dva načina:

- Kaširanjem kroz sušionu komoru
- Kaširanjem vrućim valjcima

#### **2.7.1. Kaširanje kroz sušionu komoru**

Na ovaj način kaširaju se crni i bijeli voal, te svila, a kao ljepilo se koristi fenolformaldehidna smola. Kaširni materijal može se zalijepiti sa gornje i donje strane plasta. Oprema za kaširanje kroz sušaru sastoji se od sistema rolica i osovina na kojima se odmataju bale sa kaširnim materijalom, kadica za ljepilo, valjaka za nanošenje ljepila na kaširni materijal, gumenih traka sa utezima, spremnika fenolformaldehidne smole i pumpe za dobavu ljepila u gornju i donju kadicu.

## **2.7.2. Kaširanje vrućim valjcima**

Na ovaj se način kaširaju obična i ojačana aluminijska folija. I ovi materijali mogu se kaširati s gornje i donje strane plasta, a kao ljepilo se koristi tanki sloj polietilena na kaširnom materijalu koji se rastopi na visokoj temperaturi.

Vrući valjci nalaze se na proizvodnoj liniji između stroja za brušenje i pila za razrez po širini.

Opremu za kaširanje čine dva velika željezna valjka koja u svojoj sredini imaju grijače, upravljački ormar, te sistem rolica i osovina s donje i gornje strane linije sa kojih se odmataju bale s kaširnim materijalom.

## **2.8. Pakiranje proizvoda**

### **2.8.1. Stroj za slaganje paketa**

Nakon zone razreza ploče kamene vune izrezane su na tražene dimenzije i dolaze na stroj za slaganje paketa. Osnovna funkcija stroja za slaganje paketa je da ploče kamene vune posloži u paket tražene visine i onda taj paket usmjeri na onaj dio linije gdje će biti zapakiran.

Stroj ima više opcija (modova) rada:

1. slaganje paketa
2. transport plasta na liniju 2 (šivačice)
3. transport ploča bez slaganja na liniju 1 ili liniju 3
4. okretanje ploča i usmjeravanje na liniju 3

Prije prolaska kroz pakirni stroj na liniji 1 ploče ili paketi prolaze kroz transportnu vagu koja mjeri njihovu masu. Na osnovi izmjerenih vrijednosti moguće je izvršiti korekcije težine ploča na proizvodnoj liniji ako su one prelagane ili preteške.

### **2.8.2. Pakiranje u termoskupljajuću PE foliju**

Na ovome stroju zamatanje ploča u foliju vrši se automatski, s četiri strane, a uređaj treba podesiti tako da je folija s donje strane duža oko 10 cm od širine paketa kako ne bi došlo do pucanja kod sakupljanja u tunelu. Točna dužina ovisi o kvaliteti folije, brzini transportera u tunelu i temperaturi u tunelu, te se za svaki pojedini slučaj prilagođava. Za pakiranje paketa postoje dva pakirna stroja koji su smješteni paralelno jedan do drugog. Kod pakiranja, automatskom regulacijom rada transportera i pakirnih strojeva, moguće je pakete pakirati samo

na jednom pakirnom stroju (DESCO 1 ili DESCO 2) ili istovremeno koristiti oba pakirna stroja tako da se svaki drugi paket sa proizvodne linije pakira na DESCO 2.

Iza stroja za pakiranje ploča nalazi se tunel za zagrijavanje termoskupljajuće PE folije. Kroz njega prolaze paketi omotani sa PE folijom koja se priljubi uz vunu pod utjecajem struje vrućeg zraka. Unutar tunela nalaze se kanali sa zaklopkama kroz koje struji vrući zrak. Ručnom regulacijom otvorenosti zaklopki usmjerava se struja zraka tako da se postigne kvalitetno zamotan paket. Temperatura u tunelu se kreće između 160 °C i 180 °C i zavisi od kvalitete PE folije.

### **2.8.3. Pakiranje u strech foliju**

Ovako se pakiraju ploče koje su slagane na palete (drvene palete ili palete od kamene vune). Ploče u pakete slažu proizvodno-transportni radnici, pridržavajući se broja komada ploča u paketu iz tehnološkog lista za svaki pojedini proizvod.

Paleta se viličarom postavlja na okretno postolje stroja i na početku ručno omota strech foliju i pričvrsti je, a zatim uključi stroj koji dalje automatski omota robu. Omatanje se vrši dva puta (prema gore i prema dolje). Minimalna težina robe koja se može pakirati na ovaj način je 60 kg/m<sup>3</sup>. Sva roba koja se zamata u strech foliju mora imati na vertikalnim rubovima kartonske zaštitne kutnike po čitavoj visini palete dimenzija 45 x 45 mm koji su pričvršćeni ljepljivom trakom.

### **2.8.4. Strojovi za šivanje i namatanje rola u PE foliju**

U sklopu proizvodne linije nalaze se dva stroja za šivanje. Namijenjeni su za šivanje kaširnih materijala (heksagon pletiva, aluminijske folije) pomoću čelične žice, na plast kamene vune formiran u blazinu. Na strojevima je moguća izrada proizvoda u širini od 1000 mm i 500 mm. Širina, debljina i dužina svakog proizvoda su definirane u tehnološkom listu za svaki proizvod posebno. Namatanje vune u role, te njihovo zamatanje u termoskupljajuću PE foliju vrši se na stroju za namatanje. Odmatanje folije je automatsko, a samo zamatanje vune vrši se tako da početak PE folije ulazi na plast vune približno 500 mm prije kraja bale i nakon toga bala vune omata se s folijom približno za 1,5 opsega bale. Potrebna dužina folije za zamatanje unosi se na komandnom ormaru, a odrez folije vrši se pomoću zagrijane žice.

Na PE foliju se na njezinom kraju nanosi ljepilo kojim se folija zalijepi. Da bi se folija što bolje zalijepila bala se mora prije izlaska iz stroja nekoliko puta okrenuti unutar valjaka. Nakon

zamatanja, bala dolazi do grijača koji strujom vrućeg zraka zagrijavaju foliju sa strane, tako da je bala sa svake bočne strane djelomično zatvorena sa folijom.

#### **2.8.5. Pakiranje u PE haube – linija za paletiranje (MSK)**

Ploče ili paketi koje se pakiraju u termoskupljajuće PE haube moraju se najprije složiti na palete, a vertikalni rubovi zaštititi kartonskim kutnicima koji se pričvršćuju sa ljepljivom trakom. Broj ploča ili paketa na paleti definiran je tehnološkim listom.

Palete sa paketima ili pločama se pomoću viličara postavljaju na liniju za pakiranje (MSK). Nakon što je paleta postavljena na prihvatni transporter, linija je automatski pomakne do mjesta za centriranje po širini. Na tom mjestu se paleta pomoću bočnih stranica poravna tako da se nalazi u sredini linije za pakiranje. Nakon toga, paleta se pomiče do mjesta gdje se vrši identifikacija palete i centriranje robe koja se na njoj nalazi.

Nakon centriranja paleta sa robom dolazi na poziciju za navlačenje haube. Ovisno o dimenzijama palete, linija automatski odabire veličinu crijeva za haube, odmota crijevo prema visini robe na paleti, zavari ga i onda navuče na paletu. Poslije navlačenja, hauba se pomoću struje vrućeg zraka zagrije, tako da dodatno učvrsti robu koja se nalazi na paleti. Po završetku zagrijavanja paleta se pomakne na izlazni transporter sa kojeg je uzima viličar i odvozi u skladište gotovih proizvoda.

### **3. Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune**

#### **3.1. Statistička kontrola kvalitete**

Statistička kontrola kvalitete (SQC) je skup metoda i postupaka za prikupljanje, obradu, analizu, tumačenje i prikaz podataka. Koristi se u svrhu osiguranja kvalitete proizvoda i procesa. Pravilnom primjenom SQC moguće je smanjiti troškove proizvodnje. Mehanizam statističke kontrole proizvoda zasniva se na definiranju granica tolerantnosti na ispravnost proizvoda ili varijabilnost od neke standardne ili propisane mjere. Ako se kvaliteta proizvoda nalazi u tim okvirima, smatra se da je pod kontrolom ili kvalitativno zadovoljavajuća.

Razlozi za primjenu statističke kontrole kvalitete su sljedeći:

- utvrđivanje sposobnosti procesa za proizvodnju proizvoda koji zadovoljava zahtjeve,
- praćenje procesa kako bi se otkrile promjene zbog kojih proces izmiče kontroli,
- poduzimanje mjera za korekciju procesa i njegovo održavanje pod kontrolom.

Statistička analiza može samo upozoravati na nastale promjene, a moguće uzroke treba naknadno utvrditi. Statistička analiza ne mjeri uzroke odstupanja, niti ukazuje što treba poduzeti za uklanjanje odstupanja.

Zahvaljujući mnoštvu kontrolnih tehnika mnogo je načina za provođenje statističke kontrole kvalitete procesa i proizvoda. Osnovni alati za praćenje i ispitivanje kontrole kvalitete, uključuju:

- histogram,
- ispitni list,
- Pareto karte,
- dijagram uzroka i posljedica (Ishikawa dijagram ili “riblja kost”)
- dijagram rasprostiranja (scatter diagram),
- kontrolne karte .

#### **3.2. Kontrolne karte**

##### **3.2.1. Statističke osnove kontrolnih karata**

Kod praćenja bilo koje karakteristike kvalitete, kao statističke veličine, dobivaju se različite vrijednosti koje imaju svoju distribuciju (raspodjelu). Kada govorimo o kontinuiranim

statističkim skupovima, kod kojih promatrano obilježje (karakteristika kvalitete) može poprimiti bilo koju vrijednost unutar nekog intervala, onda kvalitetu ocjenjujemo pomoću mjerenih veličina, čije vrijednosti ovise o preciznosti mjernog instrumenta.

Rezultati podataka dobiveni pomoću mjerenih veličina u praksi najčešće pokazuju gomilanje oko neke srednje vrijednosti, sa sve manje podataka udaljavanjem od te sredine. Empirijske raspodjele učestalosti podataka često pokazuju tendencije koje upućuju na normalnu, Gaussovu raspodjelu, pa ona u velikom broju slučajeva predstavlja teorijsku osnovu statističkih metoda u praksi. Ono što se javlja u procesu proizvodnje su upravo svojstva koja variraju uslijed slučajnih uzroka, što predstavlja prirodno rasipanje svojstava procesa, pa se lako mogu izračunati granice rasipanja određenih parametara.

Za slučajnu varijablu kažemo da je distribuirana po zakonu normalne ili Gaussove raspodjele ako je područje njenih vrijednosti od  $-\infty$  do  $+\infty$ , a funkcija vjerojatnosti dana izrazom:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Iz ovoga se može zaključiti da je normalna raspodjela određena parametrima aritmetičke sredine i standardnog odstupanja.

U standardiziranom obliku dobijemo da je:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad (2)$$

Standardizacijom slučajne varijable (z) vrši se standardizacija svake izmjerene vrijednosti, čime za svaku vrijednost (x) dobivamo mjeru njenog odstupanja od srednje vrijednosti ( $\mu$ ) u odnosu na standardnu devijaciju populacije  $\sigma$ . Iz izraza  $z \cdot \sigma = x - \mu$  dolazimo do zaključka da nam standardizirana vrijednost slučajne varijable zapravo pokazuje njenu udaljenost od srednje vrijednosti, izraženu u standardnim devijacijama  $\sigma$ . Drugim riječima, to bi značilo da će  $z=3$  značiti da je realizirana vrijednost varijable X udaljena od srednje vrijednosti  $3\sigma$ . Integracijom funkcije vjerojatnosti dolazimo do površine ispod funkcije, odnosno do rezultata da je vjerojatnost da slučajna varijabla bude u intervalu (a, b) dana Laplaceovom funkcijom.

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3)$$

S obzirom na to da dani integral nema primitivnu funkciju, vrijednost nalazimo iz tablica standardne normalne raspodjele. Tako dolazimo do rezultata o vjerojatnoćama pojavljivanja vrijednosti slučajne varijable X u određenim intervalima, u odnosu na srednju vrijednost populacije  $\mu$ .

$$P(\mu - \sigma \leq X \leq \mu + \sigma) = 68,26\%$$

$$P(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) = 95,46\%$$

$$P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) = 99,73\%$$

Posljednji zaključak ukazuje na to da će se 99,7% svih podataka naći u intervalu od  $\pm 3\sigma$  od srednje vrijednosti promatranog svojstva, odnosno da se očekuje da 99,7% vrijednosti svih mjerenja bude u tom intervalu. Kada podaci slijede normalnu raspodjelu, sposobnost procesa definira se terminom rasipanje procesa i mjeri se prirodnom tolerancijom  $T=6\sigma$ , gdje rasipanje sadrži 99,73% sukladnih proizvoda. To znači da će se van tog intervala širine  $6\sigma$  naći zanemariv broj podataka. Zbog toga se u praksi granice od  $\pm 3\sigma$  uzimaju kao granice vjerojatnosti za ocjenu neke pojave.

Normalna raspodjela je najvažnija među svim raspodjelama, jer mnoštvo pojava pri promatranju kontinuiranih svojstava upućuje, po svom obliku raspodjele vrijednosti svojstva, na normalnu raspodjelu, ali u određenim uvjetima (koji su u praksi često ispunjeni) raspodjele diskontinuiranih svojstava mogu se, također, aproksimirati normalnom raspodjelom. Mnoge statističke analize zasnivaju se na pretpostavci da osnovni skup iz kojeg se uzimaju uzorci slijedi zakon normalne raspodjele.

U razmatranjima bitnim za praćenje procesa značajne su karakteristike srednje vrijednosti i karakteristike rasipanja. Značajne karakteristike – mjere srednje vrijednosti su aritmetička sredina, medijan i mod, a značajne karakteristike rasipanja su raspon vrijednosti, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Kod većeg broja izmjerenih vrijednosti, u praktičnim primjenama statističkih metoda, najčešće se koriste aritmetička sredina i standardno odstupanje.

### **3.2.2. Uloga i značaj kontrolnih karata**

U procesu proizvodnje pojavljuje se veliki broj faktora koji utječu na kvalitetu proizvoda. Da bi se ti faktori otkrili i na njih blagovremeno utjecalo, potrebno je stalno pratiti. Svakom procesu immanentni su nedostaci koji uzrokuju popravke, dorade, gubitke, dodatno vrijeme izrade i povećane troškove. Usredotočivanjem na te nedostatke i koncentriranjem napora za njihovo smanjenje, smanjit će se i vrijeme izrade i troškovi procesuiranja. Troškovi se mogu smanjiti smanjenjem rasipanja. Kada se to postigne, automatski se podiže i nivo kvalitete proizvoda. U svakom procesu potrebno je pratiti karakteristike kvalitete proizvoda ili usluge. Kod novog proizvoda najznačajnije je utvrđivanje tolerancija svojstava. Odrednice za kvalitetu potrebno je utvrditi još u fazi planiranja. Dizajner određuje tolerancije, koje proces proizvodnje često nije u stanju zadovoljiti. Čak i ukoliko je kvaliteta jasno definirana za sve operacije proizvoda, i ustanovljeno da su osigurani svi preduvjeti da se ispravna proizvodnja nastavi, to još uvijek ne

znači da tijekom proizvodnje neće doći do određenih promjena u procesu. Zbog toga je potrebno karakteristike kvalitete pratiti jedinstvenom kartom.

Naravno, sasvim je jasno da radnik u proizvodnji neće moći odmah uočiti da je došlo do odstupanja koja su značajna za kvalitetu, s obzirom na to da se odstupanja u karakteristikama kvalitete očigledno rijetko pokazuju. Zbog toga je potrebno organizirati i neki način kontrole dok proizvodnja teče, te se kontrolne karte i javljaju kao pogodno sredstvo. Pri uporabi kontrolnih karata, bilo za mjerljive karakteristike, bilo za atributivne karakteristike, uzimaju se uzorci iz procesa u određenim intervalima, a u kartu upisuju statističke karakteristike uzoraka. Kontrolne granice, kao granice slučajnih rasipanja statističkih karakteristika uzoraka iz procesa za određeni interval povjerenja, također se ucrtavaju u kontrolnu kartu. Računanje kontrolnih granica zasniva se na pretpostavci statistički stabilnih procesa, odnosno procesa na koje djeluju samo slučajni uzroci. Pojava značajnih uzroka u procesu manifestira se na kontrolnoj karti točkama izvan kontrolnih granica, što predstavlja pokazatelj potrebe za poduzimanjem određenih korektivnih mjera.

Tehnika kontrolnih karata zapravo predstavlja statističko reguliranje procesa, što podrazumijeva statističku kontrolu tekućih aktivnosti radi interveniranja u slučajevima kada proces izađe van propisanih kontrolnih granica. Kada kažemo da je neki proces pod kontrolom, to znači da je variranje kvalitete u granicama intervala povjerenja za zadani interval i da je proces stabilan. Kad proces nije pod kontrolom, imamo nenormalno variranje kvalitete, čija je posljedica nestabilnost procesa. U tom smislu, njihov zadatak je da:

- održavaju proces u stanju kontrole;
- dovedu proces u stanje kontrole, i
- pokažu da li je postignuto stanje kontrole.

Iz opisanog postupka može se zaključiti da je postupak vrlo jednostavan, i da bi se o njemu lako pripremile upute radnicima, ali planiranje kontrole u pogledu određivanja mjesta, karakteristika i učestalosti praćenja, računanja kontrolnih granica i interpretacije dobivenih rezultata zahtjeva stručno poznavanje osnova na kojima se zasnivaju kontrolne karte.

Većina kontrolnih karata koje se danas primjenjuju u aktivnostima kontrole kvalitete nastala je u drugoj polovici dvadesetih godina prošlog stoljeća u laboratorijima Bell Telephone Company. Autor tih karata bio je dr. Walter A. Shewhart, koji je svoja istraživanja i saznanja vezana uz mogućnost primjene kontrolnih karata objavio 1931. god. u svojoj knjizi "Economic Control of Quality of Manufactured Product".

### 3.2.3. Vrste kontrolnih karata

Projektiranje kontrolnih karata može se izvoditi ručno ili pomoću računala. S obzirom da se proračun svodi na utvrđivanje srednjih vrijednosti, raspona vrijednosti u okviru uzorka, primjena računala omogućava prednosti u smislu smanjenja broja grešaka, poboljšanju čitljivosti i smanjenje vremena potrebnog za izradu kontrolnih karata. Uzevši u obzir vrstu podataka, odnosno tipove podataka koji se obrađuju, postoje dvije vrste kontrolnih karata:

1. Kontrolne karte za opisna (atributivna) svojstva:

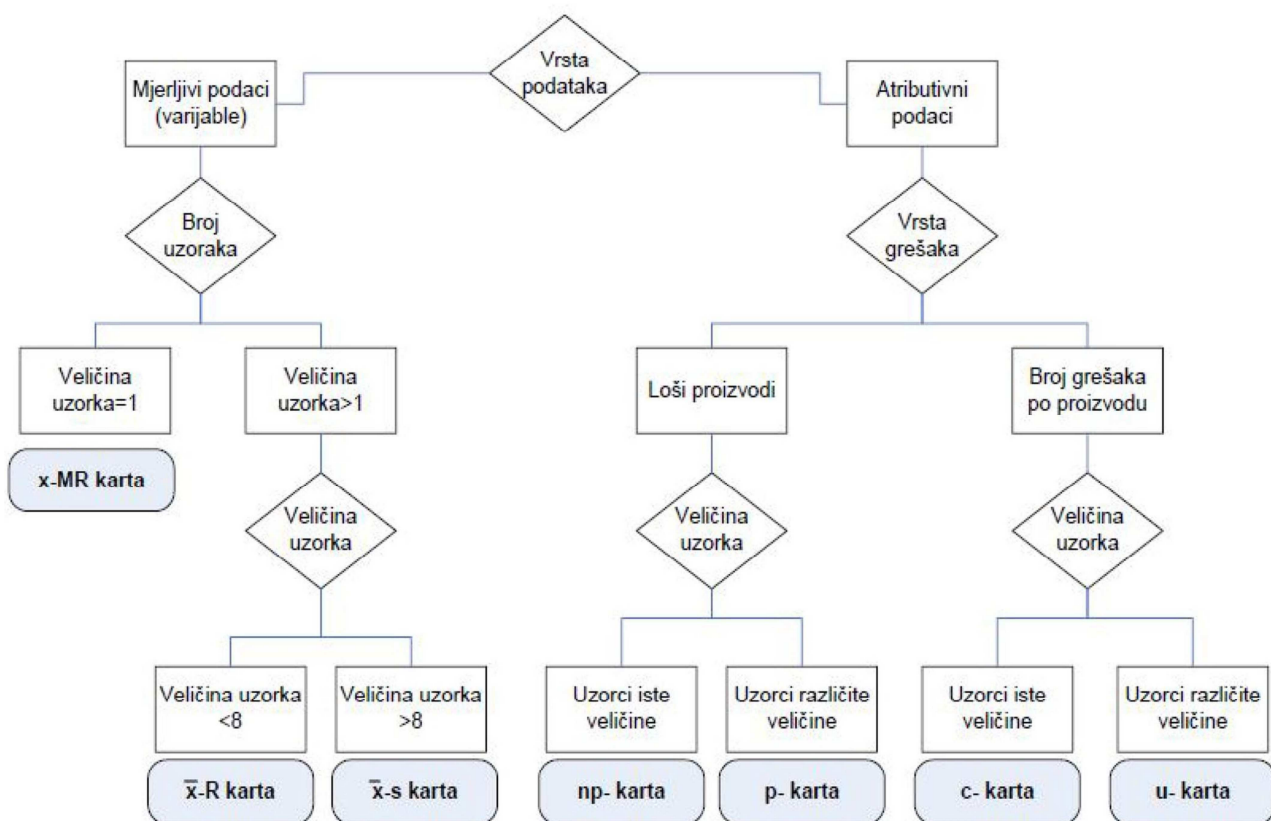
- p karta (p chart) – postotak nesukladnosti (proportion)
- c karta (c chart) – broj nesukladnosti (count)
- u karta (u chart) – prosječan broj nesukladnosti po jedinici proizvodnje (per unit)
- np karta (np chart) – broj neispravnih proizvoda

2. Kontrolne karte za mjerna (numerička) svojstva:

- $\bar{X}$ -karta (X bar chart)
- R karta (R chart)
- X-MR karta (X-MR chart)

Matematička podloga ovih karata je binomna i Poissonova raspodjela.

Način izbora prikladne kontrolne karte prikazan je na slijedećoj stranici (Slika 3.1)



Slika 3.1: Izbor kontrolne karte [5]

### 3.2.4. Tehnika kontrolnih karata

Tehnika kontrolnih karata sastoji se od uzimanja većeg broja malih uzoraka iz procesa. Uzorci se uzimaju, ako je to primjenljivo, u slučajnim obilascima. Važno je naznačiti da se kontrolom kartom prate varijacije procesa u vremenu. To znači da uzorci uvijek moraju biti zadnje proizvedene jedinice.

Temeljem provedenih mjerenja (kontrole) uzorka računa se jedan ili više statističkih parametara iz dobivenih rezultata mjerenja. Vrijednosti statističkih parametara uzoraka predmet su praćenja primjenom odgovarajuće kontrolne karte.

### 3.2.5. Značajke kontrolnih karata

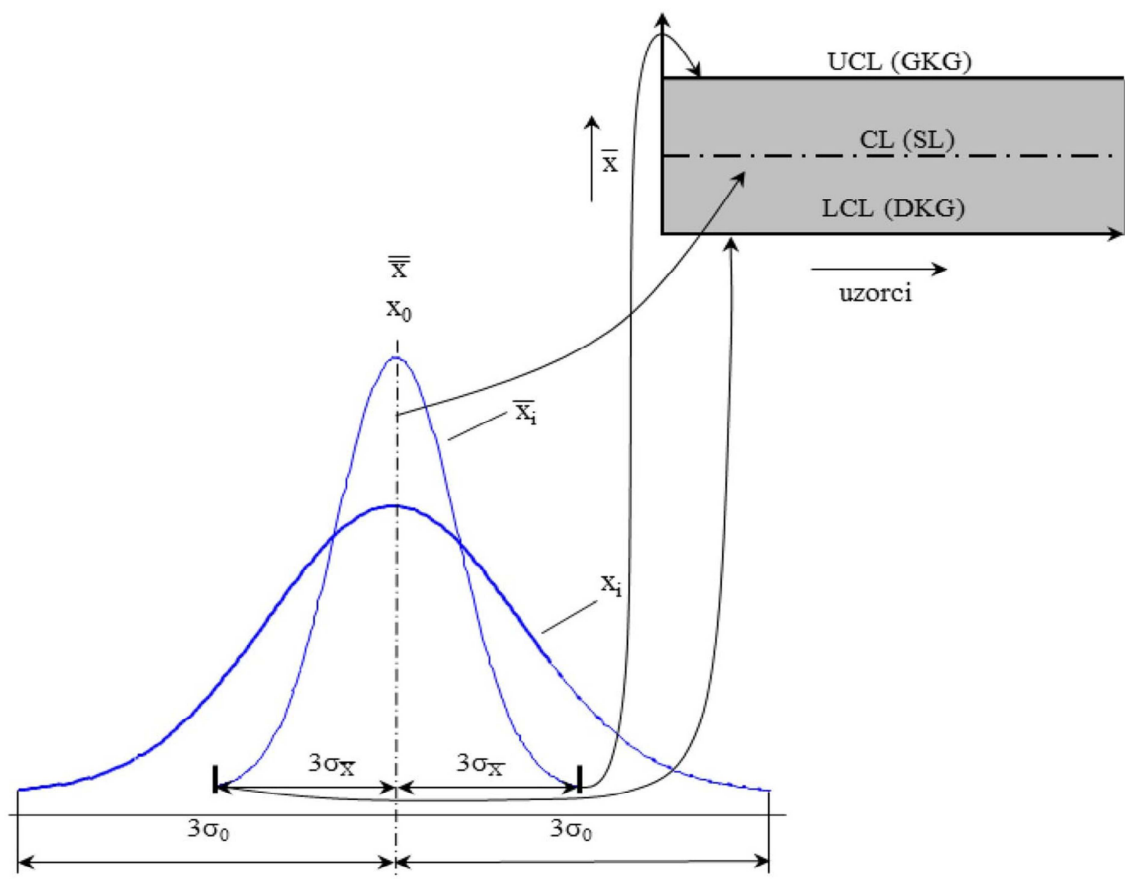
Na svakoj kontrolnoj karti treba odrediti kontrolne granice i središnju liniju.

Kontrolne granice su:

- donja kontrolna granica DKG (lower control limit LCL)
- gornja kontrolna granica GKG (upper control limit UCL)

Kontrolne granice su statističke granice i nisu povezane s granicama specifikacije (zahtjeva).

Kontrolne granice se postavljaju (računaju) na granice rasipanja ( $\pm 3\sigma$ ) statističkog parametra ( $\bar{X}$ , R, s, p i drugo) koji se prati kontrolnom kartom (računa iz uzoraka). Pored kontrolnih granica mogu se koristiti i tzv. granice upozorenja (postavljaju se na  $\pm 2\sigma$  ili  $\pm 1\sigma$ ). Podatak izvan kontrolne granice (iznad GKG ili ispod DKG) pokazuje da se u procesu, statistički promatrano, dogodio ne slučajan već značajan uzrok varijacije (odstupanja). Najefikasniji postupak poboljšavanja kvalitete praćenog procesa je promptno otkrivanje uzroka značajnih varijacija i provođenje odgovarajućih popravnih radnji.



Slika 3.2: Granice kontrolne karte [5]

Kada nema podataka izvan kontrolnih granica onda se koristi termin «PROCES JE POD KONTROLOM». Termin «POD KONTROLOM» je statistički termin kojim se pokazuje da proces varira samo pod utjecajem slučajnih, procesu svojstvenih, utjecaja. Za proces koji je «pod kontrolom» često se koristi i termin «STABILAN PROCES».

Kada su podaci izvan kontrolnih granica to nipošto ne znači da proces daje nesukladne jedinice (proizvode). Kontrolne karte se mogu i trebaju primjenjivati kako za procese koji nužno daju nesukladne proizvode ( $C_p < 1$ ), tako i za sposobne procese ( $C_p > 1$ ).

U slučaju određivanja (računanja) kontrolnih granica za proces za koji nemamo prethodnih saznanja (nepoznate varijacije procesa) potrebno je provesti korekciju granica u slučaju pojave podataka izvan kontrolnih granica. Korekcija (ponovno računanje granica) provodi se nakon eliminacije uzoraka (odgovarajućih statističkih parametara koji se prate) koji su izvan kontrolnih granica.

Za poznate procese (poznato rasipanje) kontrolne granice se postavljaju prije uzimanja uzoraka. To je i najprirodniji način korištenja kontrolnih karata jer se eventualna pojava značajnih odstupanja promptno može istražiti. Kontrolne karte treba «odmaknuti» od računala i približiti radnom mjestu (stroju).

Središnja linija procesa SL (Central line CL) predstavlja liniju aritmetičke sredine statističkog parametra koji se prati kontrolnom kartom.

### 3.2.6. Ciljevi kontrolnih karata

Ciljevi primjene kontrolnih karata su slijedeći:

- Dovođenje procesa u stanje statističke kontrole, odnosno u stanje «POD KONTROLOM»;
- Utvrđivanje trendova i pomaka procesa u cilju zaštite od neželjenih rezultata (pojave dijelova lošije kvalitete, nesukladnih dijelova i sl.).
- Utvrđivanje potreba za remontom ili nabavom nove opreme elemenata procesa i sl.
- Dobivanje svih saznanja o mogućnostima poboljšavanja procesa i mogućnostima postizanja zahtijevane kvalitete proizvoda (procjenjivanje sposobnosti procesa).

Temeljno pravilo mora biti: kontrolne karakteristike biraju se radi pružanja maksimalne količine informacija u procesu uz minimalne troškove. U navedenom kontekstu treba se riješiti i slijedeće zablude: proizvodnja se odvija u vrlo malim serijama, pa se ne može primijeniti kontrolna karta.

Niti jedno poboljšanje procesa ne odvija se preko noći. Poboljšanja se sastoje od «sitnih koračića» u dugom vremenskom razdoblju. Važno je znati kojim redom koračati (izbor

prioriteta). Dinamiku korištenja kontrolnih karata treba prilagoditi učincima, mogućnostima poboljšavanja, preventivi i sl. Važno je znati što se hoće a ne samo stvarati lijepa kolor izvješća radi formalnog opravdanja svoje aktivnosti. S vremenom će i to sigurno prijeći u dosadu.

### 3.3. Kontrolne karte za mjerljive varijable

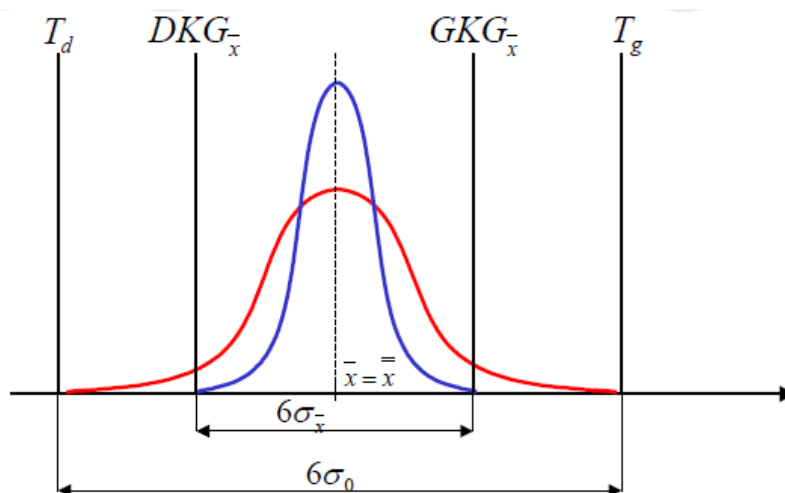
#### 3.3.1. $\bar{x} - R$ karta

Daje uvid u kretanje procesa na osnovu statističke teorije i vjerojatnosti, a njom se registriraju dva važna pokazatelja procesa:

- kretanje aritmetičkih sredina uzoraka  $\bar{x}_i$
- kretanje raspona uzoraka  $R_i$

Prvi podatak  $\bar{x}_i$  daje uvid u centriranost procesa, dok drugi,  $R_i$  govori o njegovom rasipanju. Primjena joj dolazi kod izražaja kod serijske i velikoserijske komadne proizvodnje gdje se kontrola svodi na mjerenje malih uzoraka ( $n=2$  do 10 komada), te su troškovi kontrole znatno smanjeni.

Na osnovu krivulje normalne razdiobe moguće je sagledati kako se dolazi do kontrolnih granica i na čemu se temelji osjetljivost ove karte.



Slika 3.3: Povezanost kontrolnih granica i krivulje normalne razdiobe [5]

Kontrolne granice za ovu kartu moguće je postaviti na tri načina:

1. Praćenjem nepoznatog procesa u cilju ustanovljavanja njegovih prirodnih mogućnosti u pogledu centriranosti i rasipanja

2. Na temelju poznatih prošlih podataka o procesu

3. Na temelju unaprijed zadanih tolerancija

Kontrolne granice na temelju praćenja nepoznatog procesa

a) Kontrolne granice za kretanje aritmetičkih sredina uzoraka

$${}^G_D KG_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R} \quad (4)$$

gdje je  $A_2$  koeficijent koji ovisi isključivo o veličini uzorka  $n$ .

b) Kontrolne granice za kretanje raspona uzoraka

Iz pojedinačnih raspona  $R_i$  dobiva se prosječni raspon:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{k} \quad (5)$$

$$GKG_R = D_4 \bar{R}, \quad DKG_R = D_3 \bar{R} \quad (6)$$

gdje su  $D_4$  i  $D_3$  koeficijenti ovisni o veličini uzorka.

Zaključno se može navesti slijedeće:

- kontrolne se granice postavljaju na određene mjerljive karakteristike
- svi se podaci dobivaju neposredno mjerenjem na uzorcima uzimanim iz procesa
- svi su koeficijenti ( $A_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $d_2$ ) funkcije veličine uzorka (uzorci moraju biti iste veličine).

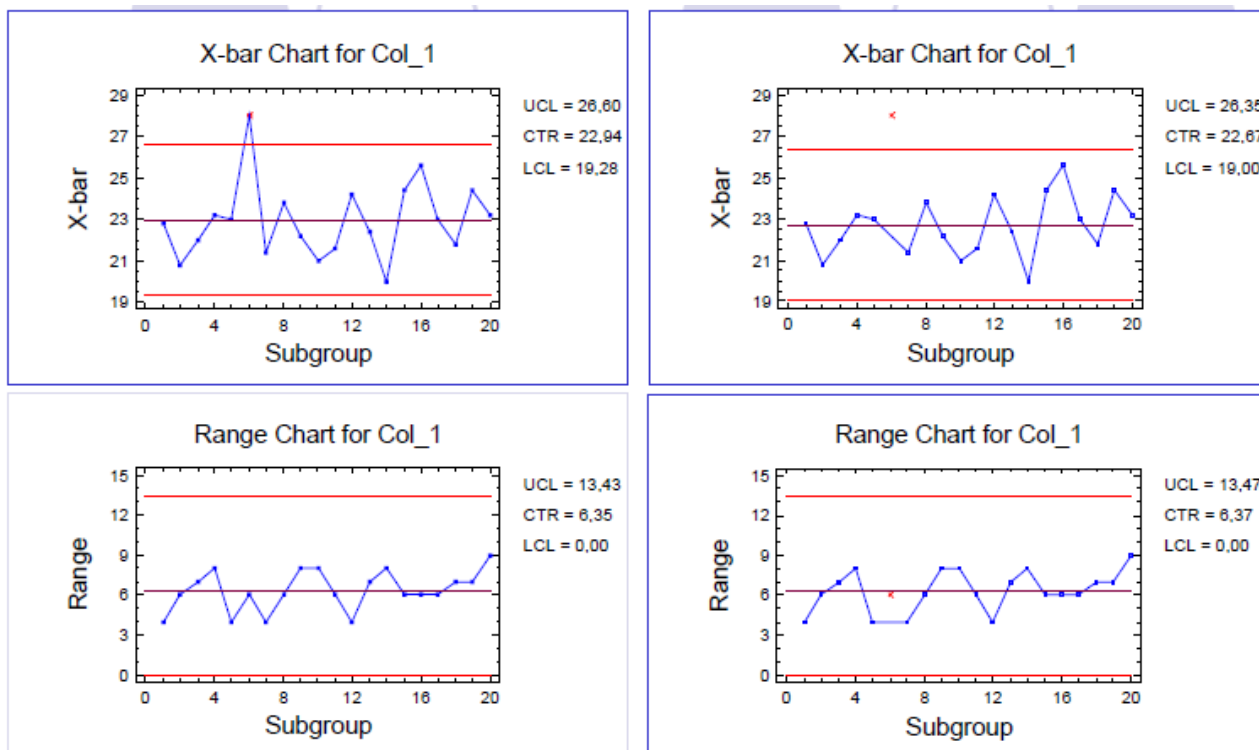
| n | A     | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | B <sub>3</sub> | B <sub>4</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> | D <sub>4</sub> | d <sub>2</sub> |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 2,121 | 3,760          | 1,880          | 0,000          | 3,267          | 0,000          | 3,687          | 0,000          | 3,269          | 1,128          |
| 3 | 1,732 | 2,394          | 1,023          | 0,000          | 2,569          | 0,000          | 4,357          | 0,000          | 2,574          | 1,693          |
| 4 | 1,500 | 1,880          | 0,729          | 0,000          | 2,267          | 0,000          | 4,699          | 0,000          | 2,282          | 2,059          |
| 5 | 1,342 | 1,596          | 0,577          | 0,000          | 2,090          | 0,000          | 4,918          | 0,000          | 2,114          | 2,326          |
| 6 | 1,225 | 1,410          | 0,483          | 0,030          | 1,970          | 0,000          | 5,078          | 0,000          | 2,004          | 2,534          |
| 7 | 1,134 | 1,277          | 0,419          | 0,117          | 1,883          | 0,205          | 5,203          | 0,076          | 1,924          | 2,704          |

Tablica 3.1: Prikaz faktora za izračunavanje kontrolnih granica [6]

## Izvođenje korekcije

Ukoliko je vrijednost  $\bar{x}$  ili R bilo kojeg uzorka izvan proračunatih kontrolnih granica, mora se izvesti korekcija. Korekcija se vrši tako da se taj kompletni uzorak čija je vrijednost ili

izašla izvan kontrolnih granica, zanemari, tj. vrši se proračun novih kontrolnih granica bez rezultata tog uzorka. Na taj način se odstranjuju značajni uzroci varijacija. Korekcija se vrši sve dok rezultati preostalih uzoraka ne budu unutar kontrolnih granica.



Slika 3.4: Primjer  $\bar{x}$ -R karte i njene korekcije [5]

U tablici 4.2 prikazan je primjer sakupljanja podataka za  $\bar{x}$  – R kartu.

| Vlačna čvrstoća, kPa<br>PBH |            |              |        |        |        |        |                                 |          |
|-----------------------------|------------|--------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|----------|
| Datum                       | Uzorak br. | Mjerenje br. |        |        |        |        | Srednja<br>vrijednost<br>uzorak | R uzorak |
|                             |            | 1            | 2      | 3      | 4      | 5      |                                 |          |
| 15.10.2015                  | 1          | 218,67       | 274,99 | 179,91 | 229,58 | 209,52 | 222,53                          | 95,08    |
| 16.10.2015                  | 2          | 242,23       | 230,59 | 270,84 | 184,62 | 201,94 | 226,04                          | 86,22    |
| 17.10.2015                  | 3          | 226,10       | 210,23 | 205,27 | 257,05 | 225,38 | 224,81                          | 51,78    |
| 18.10.2015                  | 4          | 218,44       | 237,78 | 249,79 | 200,11 | 241,95 | 229,61                          | 49,68    |
| 19.10.2015                  | 5          | 217,14       | 240,80 | 171,55 | 160,13 | 195,01 | 196,93                          | 80,67    |
| 20.10.2015                  | 6          | 206,21       | 207,84 | 188,63 | 178,40 | 179,37 | 192,09                          | 29,44    |
| 21.10.2015                  | 7          | 210,24       | 234,50 | 188,31 | 245,20 | 176,23 | 210,90                          | 68,97    |
| 22.10.2015                  | 8          | 225,17       | 218,05 | 188,23 | 188,97 | 178,11 | 199,71                          | 47,06    |
| 23.10.2015                  | 9          | 209,69       | 248,82 | 157,90 | 208,87 | 168,55 | 198,77                          | 90,92    |
| 24.10.2015                  | 10         | 265,50       | 219,35 | 250,20 | 226,47 | 183,92 | 229,09                          | 81,58    |
| 25.10.2015                  | 11         | 142,27       | 236,63 | 145,68 | 157,65 | 235,88 | 183,62                          | 94,36    |
| 26.10.2015                  | 12         | 205,51       | 183,03 | 229,82 | 223,46 | 231,90 | 214,74                          | 48,87    |
| 27.10.2015                  | 13         | 260,43       | 180,49 | 204,45 | 221,05 | 200,50 | 213,38                          | 79,94    |
| 28.10.2015                  | 14         | 230,43       | 258,88 | 191,32 | 214,27 | 211,30 | 221,24                          | 67,56    |
| 29.10.2015                  | 15         | 226,97       | 180,43 | 191,81 | 196,61 | 208,47 | 200,86                          | 46,54    |
| 30.10.2015                  | 16         | 162,34       | 217,23 | 162,57 | 180,02 | 215,76 | 187,58                          | 54,89    |
| 31.10.2015                  | 17         | 298,96       | 194,66 | 237,96 | 265,30 | 230,20 | 245,42                          | 104,30   |

Tablica 3.2: Primjer načina prikupljanja podataka za  $\bar{x}$ -R kartu [8]

Iz danih podataka može se vidjeti da je veličina uzorka  $n=5$ , što nam daje slijedeće vrijednosti koeficijenata:

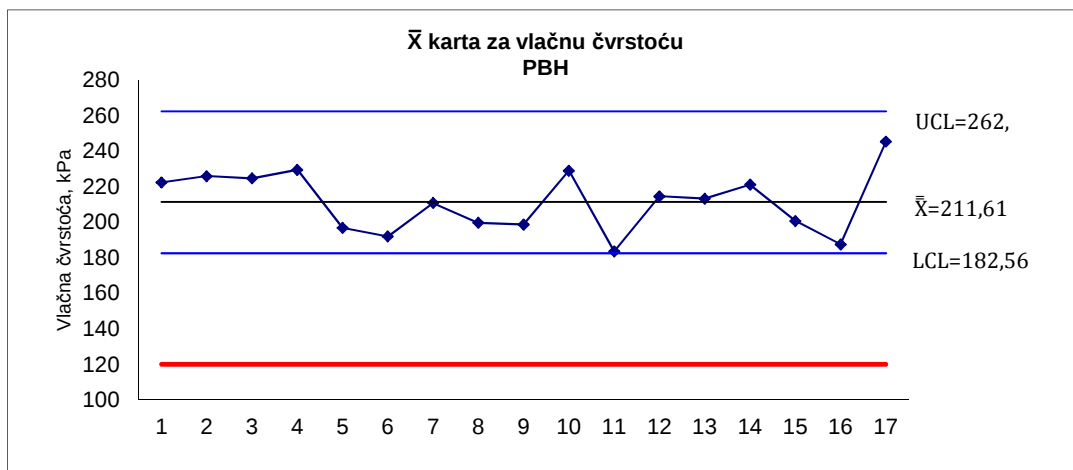
$$A2 = 0,577$$

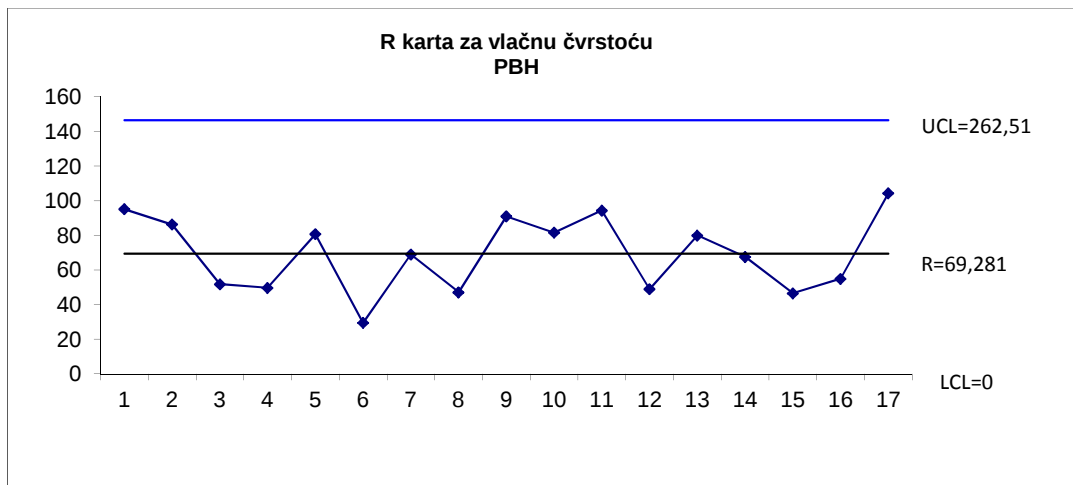
$$D3 = 0,000$$

$$D4 = 2,144$$

$$d2 = 2,326$$

Pomoću rezultata mjerenja koeficijenata možemo izračunati kontrolne granice i izraditi  $\bar{x}$ -R kartu





Slika 3.5:  $\bar{x}$ -R karta za vlačnu čvrstoću proizvoda PBH [8]

Analizom  $\bar{x}$  – R karte može se vidjeti da je proces proizvodnje proizvoda PBH glede karakteristike kvalitete vlačna čvrstoća stabilan i pod kontrolom, budući da nijedno mjerenje vlačne čvrstoće ne izlazi izvan izračunatih kontrolnih granica.

### 3.3.2. $\bar{x}$ – s karta

Isto kao  $\bar{x}$ -R tako i  $\bar{x}$ -s karta prati dvije karakteristike procesa:

- njegovu centriranost preko kretanja aritmetičkih sredina uzoraka
- njegovo rasipanje preko kretanja standardnih odstupanja

Budući da se računaju standardna odstupanja uzoraka, uzorci trebaju biti veći nego kod  $\bar{x}$ -R karte. Tako se preporuča da veličina uzorka bude veća od 25. Stoga se ove karte primjenjuju u procesima koji su zaokruženog tipa i odvijaju se u zatvorenim ciklusima određene dužine trajanja kada se proces ne može pratiti dok je ciklus u toku, nego se na kraju ciklusa mogu uzeti veći uzorci i koristeći  $\bar{x}$ -s karte donositi zaključke o procesu.

Kontrolne granice na temelju praćenja nepoznatog procesa

- a) Kontrolne granice za kretanje aritmetičkih sredina uzoraka

$${}^G_KG_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} \pm A_1 \bar{s} \quad (7)$$

- b) Kontrolne granice za kretanje standardnih odstupanja uzoraka

$${}^GKG_s = B_4 \bar{s}, \quad {}^DKG_s = B_3 \bar{s} \quad (8), (9)$$

gdje su  $A_1$ ,  $B_3$  i  $B_4$  koeficijenti ovisni o veličini uzorka.

### 3.3.3. X-MR (x-moving range) karta

Upotrebljava se u situacijama kada je ograničena mogućnost dobivanja podataka ili zbog tehnološke prirode procesa nije moguće uzeti više od jednog podatka u uzorku. U x kartu se unose rezultati individualnih mjerenja.

a) Kontrolne granice za kretanje individualnih vrijednosti mjerenja

$${}^G_D KG_x = \bar{x} \pm 2,66 \overline{MR} \quad (10)$$

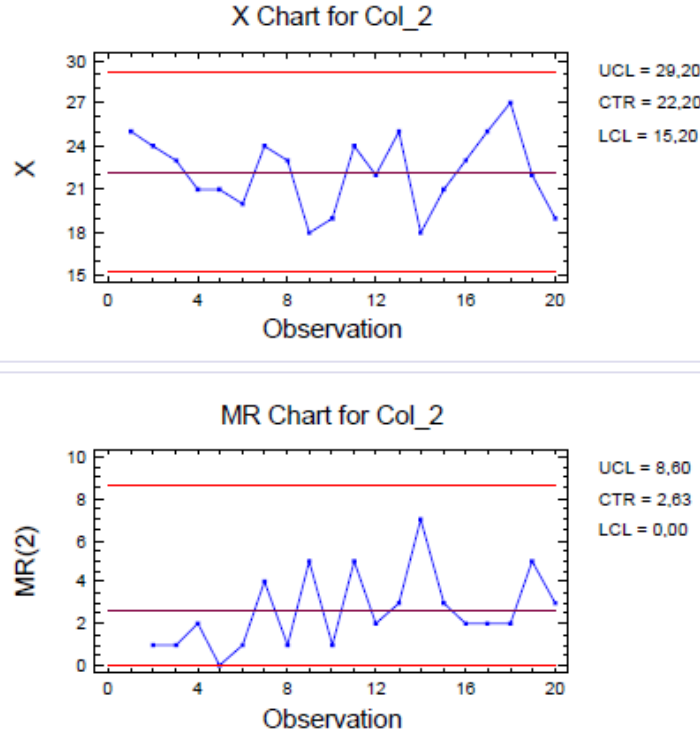
gdje su:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}, \quad \overline{MR} = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} MR}{k-1}. \quad (11), (12)$$

b) Kontrolne granice za kretanje MR vrijednosti

$$GKG_{MR} = 3,27 \overline{MR}$$

$$DKG_{MR} = 0 \quad (13)$$



Slika 3.6: Primjer X-MR karte [5]

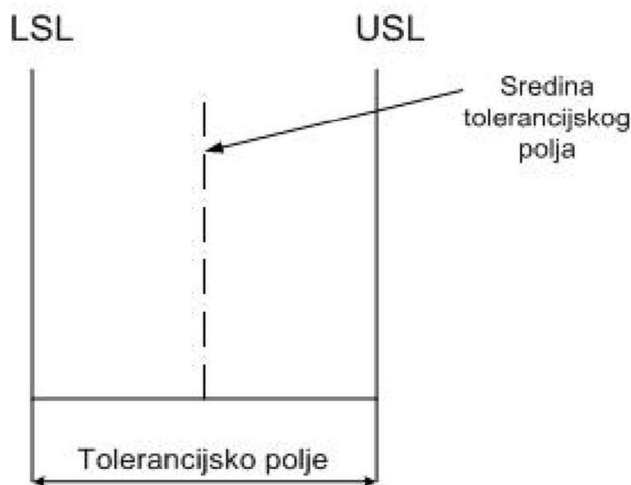
### 3.4. Indeksi sposobnosti procesa

Studije sposobnosti procesa su vrhunski alat upravljanja kvalitetom. Nijedna aktivnost upravljanja kvalitetom, kao što su projektiranje kvalitete, planiranje i upravljanje opremom, upravljanje procesom poboljšanja, za bilo koji proces u organizaciji nije moguća bez upoznavanja sposobnosti procesa.

Sposobnost procesa može se definirati kao performansa procesa tijekom određenog perioda vremena za koji je on u stanju kontrole. Ona se obično izražava raspodjelom rezultata ili karakteristika procesa. Da bi se objektivno mjerio stupanj u kojem proces zadovoljava zahtjeve, razvijene su studije sposobnosti procesa. One su zasnovane na kvantitativnim pokazateljima performansi procesa, tzv. Indeksima sposobnosti procesa i grafičkom predstavljanju svih mjera zadovoljavanja zahtjeva. Pokazatelji sposobnosti procesa dovode raspodjelu procesa u vezu s granicama tolerancije zadanim specifikacijom.

Ako se ne zna što se događa tijekom procesa, nikada se ne može znati da li je proces ispunio zahtjeve. Upravljanje procesom znači voditi ga tako da on pruži maksimalnu sposobnost u stanju „pod kontrolom“, a tek se povećanjem sposobnosti procesa postiže poboljšanje procesa.

Sposobnost procesa se procjenjuje računanjem indeksa sposobnosti procesa, ali i pomoću drugih pokazatelja koji nisu toliko važni za primjenu u industriji. Proces je sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak od raspona procesa. To je ujedno i temeljni uvjet sposobnosti procesa.



Slika 3.7: Tolerancijsko polje zahtjeva [7]

**Raspon zahtjeva** (tolerancijsko područje)  $T$  je područje između gornje (Upper Specification Limit) i donje granice zahtjeva (Lower Specification Limit), odnosno

$$T = USL - LSL \quad (14)$$

**Raspon procesa** podrazumijeva područje unutar  $\pm 3\sigma$  standardna odstupanja ( $6\sigma$  u odnosu na sredinu procesa (99,73% površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces). Temeljni uvjet sposobnosti procesa je:

$$T \geq 6\sigma$$

Prije analiziranja sposobnosti procesa treba proces dovesti u stanje statističke kontrole i osigurati da je normalno distribuiran. Prema Breyfogleu, postoje tri statistička instrumenta za utvrđivanje je li proces pod kontrolom i jesu li njegovi izlazi normalno distribuirani, a to su:

- Kontrolne karte
- Histogrami
- Matematička analiza distribucije

Prije ocjene sposobnosti procesa potrebno je izabrati kritični parametar ili promjenjivu veličinu koja će se kontrolirati. To je veličina koja se mora uklopiti u zadane tolerancije, npr. Dimezija nekog proizvoda ili bilo koja druga veličina. Kada se odabere kritični parametar, može se pristupiti prikupljanju rezultata mjerenja. Kritični parametar treba biti mjereno što preciznijim mjerilom s klasom točnosti većom od veličine tolerancije. U suprotnom, proces mjerenja će biti uzrok pojave varijacija na konkretnom parametru. Najbolje je prikupljati što više podataka tijekom dužeg vremenskog perioda. Tako se s većom pouzdanošću dobiva ocjena sposobnosti procesa, jer se zasniva na velikom uzorku.

### 3.4.1. Sposobnosti procesa u dužem vremenskom razdoblju

Indeksi sposobnosti procesa su koristan alat kada se statistički analiziraju podaci dobiveni mjerenjem. Za njihovo izračunavanje potrebno je imati toleranciju ili dopuštene granice odstupanja. Indeksi sposobnosti procesa su pojedinačni brojevi, pa je to prednost i nedostatak. Prednost se sastoji u tome što je najlakše uspoređivati jedan broj, a nedostatak što je jedan broj donekle ograničenog dometa.

Indeksi su slijedeći:

- Potencijalna sposobnost  $C_p$
- Omjer sposobnosti  $C_r$
- Donja i gornja potencijalna sposobnost  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$
- Demonstrirana izvrsnost  $C_{pk}$

**Potencijalna sposobnost  $C_p$**  se računa kao odnos tolerancije prema  $6\sigma$

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (15)$$

Vrijednost  $C_p$  pokazuje koliko je puta širina tolerantnog polja veća od stvarne širine odgovarajuće raspodjele.

Standardno odstupanje se procjenjuje analizom odgovarajuće kontrolne karte, odnosno iz izraza:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (16)$$

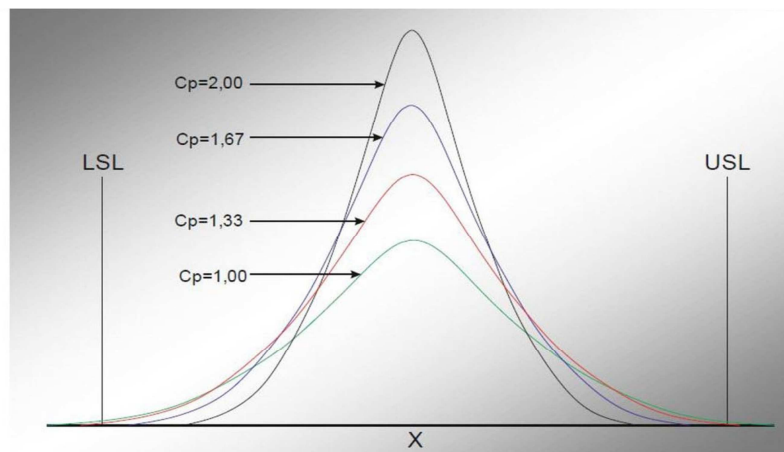
Ovako procijenjeno standardno odstupanje naziva se „standardno odstupanje iz uzorka“ ili „unutrašnje standardno odstupanje“.

Vrijednost ovog indeksa neposredno pokazuje može li proces biti sposoban. Što je iznos indeksa veći, to je rasipanje procesa manje. Teorijski je proces sposoban ako je  $C_p \geq 1$ . Sve dok je srednja vrijednost rezultata mjerenja jednaka centralnoj točki tolerancije, može se komentirati i povezati  $C_p$  i preciznost procesa. Nedostatak ovog indeksa je što zanemaruje sredinu procesa, te se u slučaju loše centriranosti procesa može doći do pogrešnog zaključka.

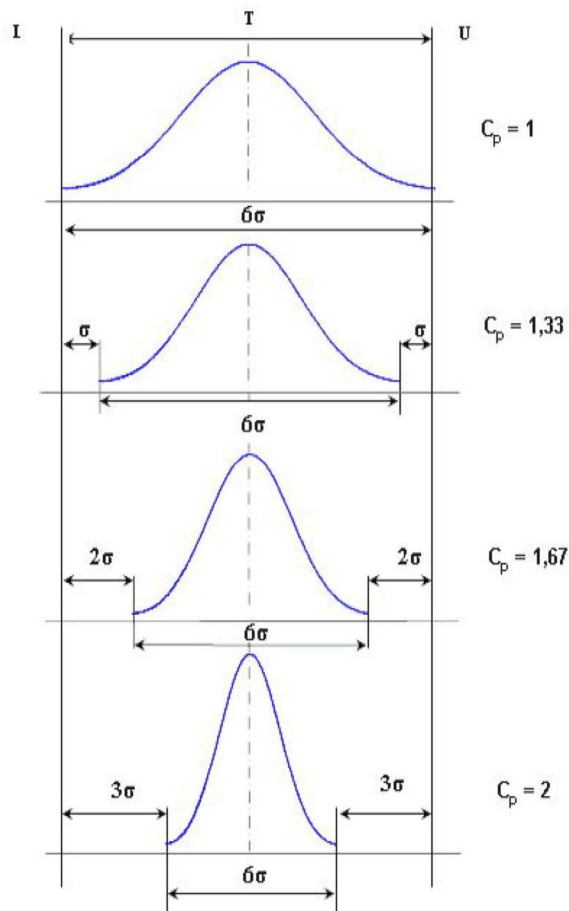
| <b><math>C_p</math></b> | <b>Sposobnost procesa</b>                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $> 1,33$                | Proces može biti sposoban                                     |
| 1,0 do 1,33             | Moguća sposobnost je upitna, a proces treba i dalje nadzirati |
| $< 1,00$                | Vrlo upitna sposobnost procesa                                |

Tablica 3.3 Vrijednost  $C_p$  i sposobnosti procesa [7]

Na slikama 3.8. i 3.9. Prikazana je povezanost širine raspodjele nekog parametra s vrijednošću  $C_p$



Slika 3.8: Primjer koeficijenta  $C_p$  [7]



Slika 3.9. Različite vrijednosti koeficijenta  $C_p$  prema normalno distribuiranom procesu [5]

Različite tvrtke usvajaju za svoje procese različite kritične vrijednosti  $C_p$ . Mnogi japanski proizvođači orijentiraju se na vrijednost 1,33, što odgovara situaciji kada interval  $\pm 3\sigma$  zauzima 75% od polja dopuštenog odstupanja. Neke tvrtke ovu vrijednost podižu na 1,67 odnosno 2.

#### Omjer sposobnosti $C_r$

Za ocjenu sposobnosti procesa koristi se i recipročna vrijednost indeksa  $C_p$ :

$$C_r = \frac{1}{C_p} \quad (17)$$

$$C_r = \frac{6\bar{\sigma}}{T} = \frac{6\bar{\sigma}}{USL - LSL} \quad (18)$$

Ako se iznos ovoga indeksa prikaže u postocima, dobiva se postotak tolerancijskog polja koji je „iskorišten“ rasponom procesa. Da bi proces bio sposoban indeks  $C_r$  treba biti manji od 1.

#### Donja i gornja potencijalna sposobnost $C_{pL}$ i $C_{pU}$

Vrijednosti indeksa  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$  računaju se pomoću slijedećih izraza:

$$C_{pL} = \frac{(\bar{x} - L)}{3 \cdot \bar{\sigma}} \quad (19)$$

$$C_{pU} = \frac{(U - \bar{x})}{3 \cdot \hat{\sigma}} \quad (20)$$

Indeksi  $C_p$  i  $C_r$  ne pokazuju kako je smješten proces u odnosu na granice specifikacije. To se može utvrditi usporedbom indeksa  $C_{pL}$  i  $C_{pU}$ :

- Identični iznosi ukazuju na potpunu centriranost procesa (vrijednosti indeksa jednake su vrijednosti  $C_p$ )
- Iznos manji od 1 ukazuje na necentriranost
- Proces je pomaknut prema granici specifikacije manjeg iznosa indeksa

### Demonstrirana izvrsnost $C_{pk}$

Vidjelo se da indeks  $C_p$  mjeri potencijalnu sposobnost, pretpostavljajući da je prosjek procesa jednak srednjoj točki granica tolerancije i da se odvija pod statističkom kontrolom. Budući da prosjek često nije u srednjoj točki korisno je imati indeks sposobnosti koji odražava varijaciju i položaj prosjeka procesa. Takav indeks je  $C_{pk}$ . On iskazuje točnost procesa na osnovi najlošije slike podataka (slika 18). Negativna vrijednost  $C_{pk}$  ukazuje da je srednja vrijednost izvan granica tolerancije. Ako je  $C_{pk} = 0$  onda je srednja vrijednost jednaka jednoj od granica tolerancije.  $C_{pk}$  od 1,0 znači da jedan kraj procesa ( $6\sigma$ ) pada na granicu tolerancije.

Veza između indeksa  $C_p$  i  $C_{pk}$  matematički se prikazuje kao:

$$C_{pk} = C_p(1 - k) \quad (21)$$

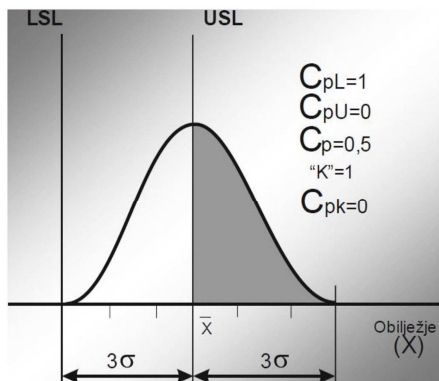
gdje je „k“ vrijednost koja označava koliko je proces odmaknut od centra.

$$k = \frac{|M - \bar{x}|}{(USL - LSL)/2} \quad (22)$$

gdje je  $M$  ciljana vrijednost procesa.

odnosno

$$C_{pk} = \min(C_{pL}, C_{pU}) \quad (23)$$



Slika 3.10. Demonstrirana izvrsnost  $C_{pk}$  [7]

Ako je proces idealno centriran  $C_{pk} = C_p$ . Pomicanjem procesa od ciljane vrijednosti (sredine područja tolerancija)  $C_{pk}$  postaje manji od  $C_p$ .

### 3.5. Pravila za tumačenje kontrolnih karata

Kod upotrebe kontrolnih karti koristi se standardna devijacija kao mjera rasipanja procesa. Gornja kontrolna granica se nalazi na udaljenosti od  $+3\sigma$ , a donja na udaljenosti od  $-3\sigma$  od središnje linije. Prostor između kontrolnih granica se dalje može podijeliti u tri zone. Te zone, nazvane su A, B i C polaze od središnje linije i koriste se u analizi i tumačenju kontrolnih karti.

|        |                    |
|--------|--------------------|
|        | $3\sigma$          |
| ZONA A | $2\sigma$          |
| ZONA B | $1\sigma$          |
| ZONA C | Srednja vrijednost |
| ZONA C | $1\sigma$          |
| ZONA B | $2\sigma$          |
| ZONA A | $3\sigma$          |

Slika 3. 11 Podjela kontrolne karte na zone [11]

Stabilnim procesom smatra se proces koji proizvodi rezultate procesa od kojih su svi, ili zadovoljavajući broj, unutar kontrolnih granica. Potpuno idealan proces ne postoji, ali treba težiti ka njemu. Međunarodna zajednica za standarde usvojila je pravila prema kojima se donosi odluka o stabilnosti procesa. Ta pravila su:

- Od posljednjih 25 točaka svaka se mora nalaziti unutar kontrolnih granica.
- Među posljednjih 35 točaka jedna smije izaći izvan kontrolnih granica.
- Od posljednjih 100 točaka najviše dvije točke smiju izaći izvan kontrolnih granica.

Može se dogoditi da su navedena pravila zadovoljena ali da proces i dalje nije stabilan. Situacije u kojima, pored navedenih, proces nije stabilan su sljedeće:

- Uzastopni porast ili pad srednjih vrijednosti uzoraka. Ukoliko 7 točaka uzastopno raste ili opada proces nije u stabilnom stanju. Ukoliko se dogodi da 5 uzoraka

uzastopno raste ili opada tada je proces u kritičnom stanju. Dakle, proces je i dalje stabilan, ali to je znak da se može pojaviti nestabilno stanje. Ovakva situacija obično izaziva pomicanje centralne linije, što uzrokuje njeno odstupanje od osnovne mjere koja je zadana projektom.

- Zadržavanje srednjih vrijednosti uzoraka ispod ili iznad centralne linije. Ukoliko se 7 uzastopnih tačaka nalazi ispod ili iznad centralne linije, proces nije stabilan. Ovo stanje znači da je proces pomjeren, jer točke ne variraju oko željene centralne linije. Također vrijedi i pravilo da ako se desi da je 5 uzastopnih uzoraka ispod ili iznad centralne linije tada je proces u kritičnom stanju. Dakle proces je i dalje stabilan, ali je to znak da se može pojaviti nestabilno stanje.
- Dvije od tri točke izvan područja  $2\sigma$  upozorenja, ali ipak unutar kontrolnih granica. Ovo stanje se javlja u slučaju promjene procesa, opreme, metoda, materijala, izvršitelja posla ili promjene mjernog sustava.
- Četiri od pet točaka izvan  $1\sigma$  kontrolnih granica. Često se javljaju veća odstupanja što bi proces moglo dovesti do nestabilnog stanja.

## 4. Praktična primjena kontrolne karte tipa X-MR

Praktična primjena kontrolne karte tipa X-MR prikazana je na primjeru proizvoda HTB 700. Proizvod je prvenstveno namijenjen za protupožarnu te za toplinsku i zvučnu izolaciju i zaštitu s graničnom temperaturom primjene od 700°C. Primjenjuje se u industriji i brodogradnji kao obložni element s mehaničkim pričvršćenjem, gdje izolacija ispunjava povećane zahtjeve na mehanička opterećenja. Može se kaširati ojačanom aluminijskom folijom.

Svojstva proizvoda su slijedeća:

| Tehnički podaci                                    |        |                               |       |       |       |          |                |
|----------------------------------------------------|--------|-------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------------|
| Svojstvo                                           | Oznaka | Opis/podaci                   |       |       |       | Jedinica | Ispitna metoda |
| Gornja granična temperatura upotrebe               | -      | 700                           |       |       |       | °C       | EN 14706       |
| Toplinska provodljivost u ovisnosti od temperature | t      | 50                            | 100   | 200   | 300   | °C       | EN 12667       |
|                                                    | λ      | 0,040                         | 0,045 | 0,057 | 0,076 | W/(m·K)  |                |
|                                                    | t      | 400                           | 500   | 600   |       | °C       |                |
|                                                    | λ      | 0,100                         | 0,120 | 0,160 |       | W/(m·K)  |                |
| Nazivna vol. težina                                | ρ      | 150                           |       |       |       | kg/m³    | EN 1602        |
| Oznaka izolacijskog materijala                     | -      | 10.08.05.70.15                |       |       |       | —        |                |
| Vodoupojnost                                       | -      | ≤ 1                           |       |       |       | kg/m²    | EN 1609        |
| Protupožarnost                                     | -      | negorivo A1                   |       |       |       | —        | —              |
| Točka taljenja                                     |        | > 1000                        |       |       |       | °C       | DIN 4102-17    |
| Sadržaj sulfidnog sumpora                          | -      | < 0,1                         |       |       |       | masa %   |                |
| Otpor difuziji vodene pare                         | μ      | ~1                            |       |       |       | —        | EN 12086       |
| Udio silikona                                      | -      | Ne sadrži dodatke od silikona |       |       |       | —        |                |

Tablica 4.1: Svojstva proizvoda HTB 700 [8]

Sukladno normi HRN EN 14303:2016 *Toplinsko-izolacijski proizvodi za instalacije u zgradama i industriji -- Tvornički izrađeni proizvodi od mineralne vune (MW) -- Specifikacija (EN 14303:2015)* deklarirana debljina proizvoda je u klasi tolerancija T5 ( ${}^{+3}_{-1}mm$ ).

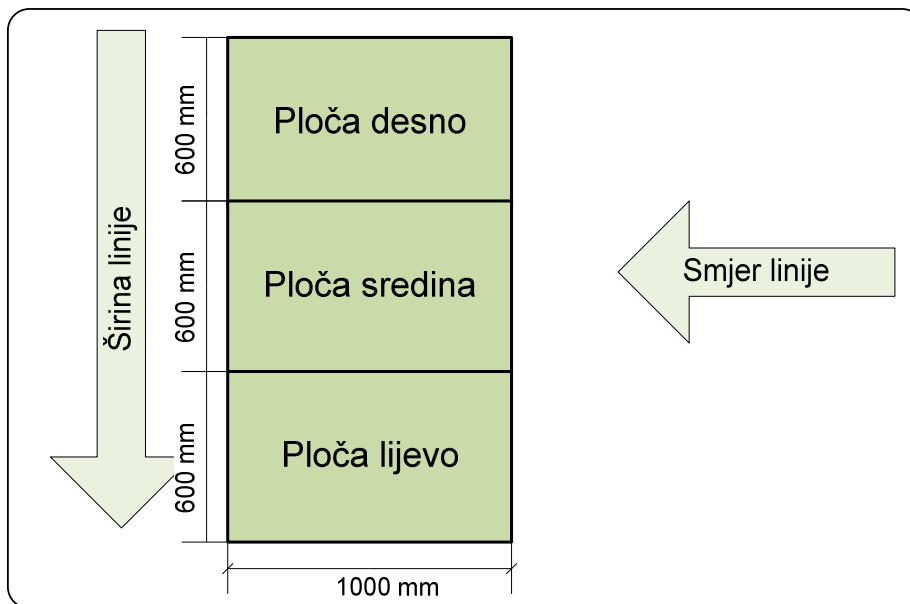
Početkom godine odjelu prodaje je postavljen upit za ovu vrstu proizvoda, no zbog specifičnosti primjene u tolerancijama debljine  $\pm 0,5 mm$ . Kako se u dosadašnjoj proizvodnji poduzeće nije susrelo s tako uskim granicama tolerancije na debljinu proizvoda, provedena je statistička analiza sposobnosti procesa brušenja proizvoda s ciljem postizanja zadanih tolerancija. S obzirom da se radi o kontinuiranom proizvodnom procesu, te razornom ispitivanju, s ciljem smanjivanja troškova otpada za obradu mjernih rezultata odabrana je X-MR karta.

Sve analize vršene su pomoću PMI statističkog programa.

#### 4.1. Mjerna metoda

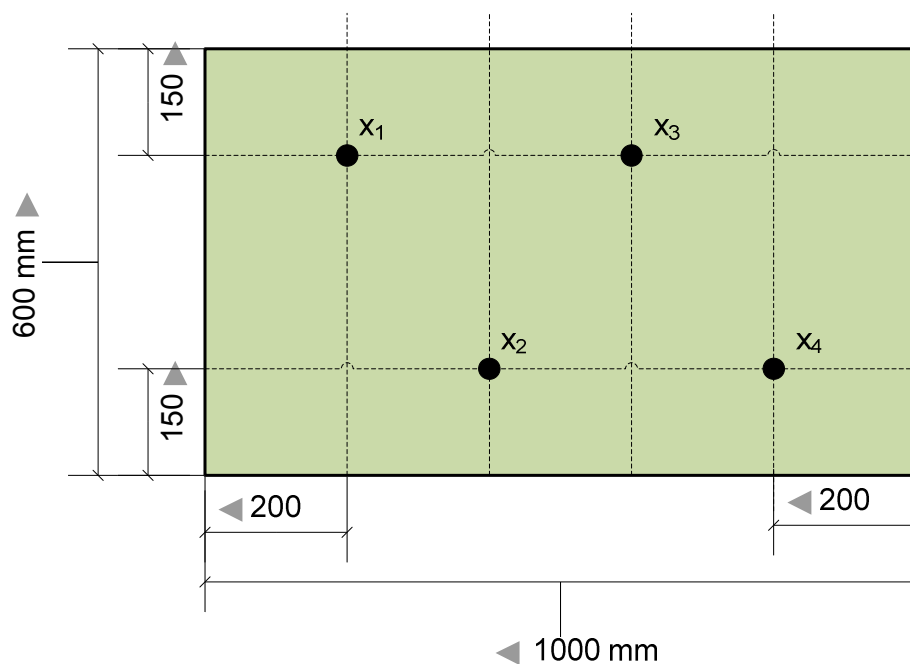
U skladu sa zahtjevima norme za proizvod, HRN EN 14303:2016 *Toplinsko-izolacijski proizvodi za instalacije u zgradama i industriji -- Tvornički izrađeni proizvodi od mineralne vune (MW) -- Specifikacija (EN 14303:2015)* mjerenje debljine proizvoda nakon brušenja vršeno je u skladu s normom HRN EN 823:2013: *Toplinsko-izolacijski proizvodi za graditeljstvo -- Određivanje debljine (EN 823:2013)*.

Mjereno je 60 uzoraka (3x20 ploča po širini linije). Uzorci ploča uzimani su svakih 15 minuta (svakih 140 m proizvoda).



Slika 4.1 Način uzorkovanja proizvoda

Svaka ploča je sukladno normi mjerena na četiri mjesta:



Slika 4.2 Način mjerenja uzorka [10]

Mjerenja su vršena na način da je svaka ploča položena na ravni čelični mjerni stol. Na mjernu točku na ploči položena je mjerna pločica dimenzija 200x200 mm i mase 1 kg (250 Pa). Umjerenim pomičnim mjerilom s očitanjem 0,01 mm kroz otvor na sredini mjerne pločice izmjerena je debljina proizvoda.

S obzirom na karakteristike proizvodne linije, mogućnosti opreme za brušenje, te zahtjeva norme HRN EN 823, X-MR kartama analizirane su srednje debljine ploča (srednja vrijednost 4 mjerenja na jednoj ploči) za pojedine strane linije (lijevo – sredina – desno).

## 4.2. Parametri proizvodnje

Tijekom proizvodnje korištene su slijedeći parametri proizvodnje:

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Volumenska težina:           | 145 kg/m <sup>3</sup> |
| LOI (sadržaj veziva):        | 1,4%                  |
| Datum proizvodnje:           | 06.04.2016. 14:00     |
| Brzina primarne linije:      | 95 m/min              |
| Brzina sekundarne linije:    | 9,60 m/min            |
| Visina sušione komore:       | 29 mm                 |
| Brus gore:                   | 31 mm                 |
| Brus debljina:               | 29 mm                 |
| Brus dolje:                  | +2 mm                 |
| Brus korekcija lijevo-desno: | 150/150 imp           |

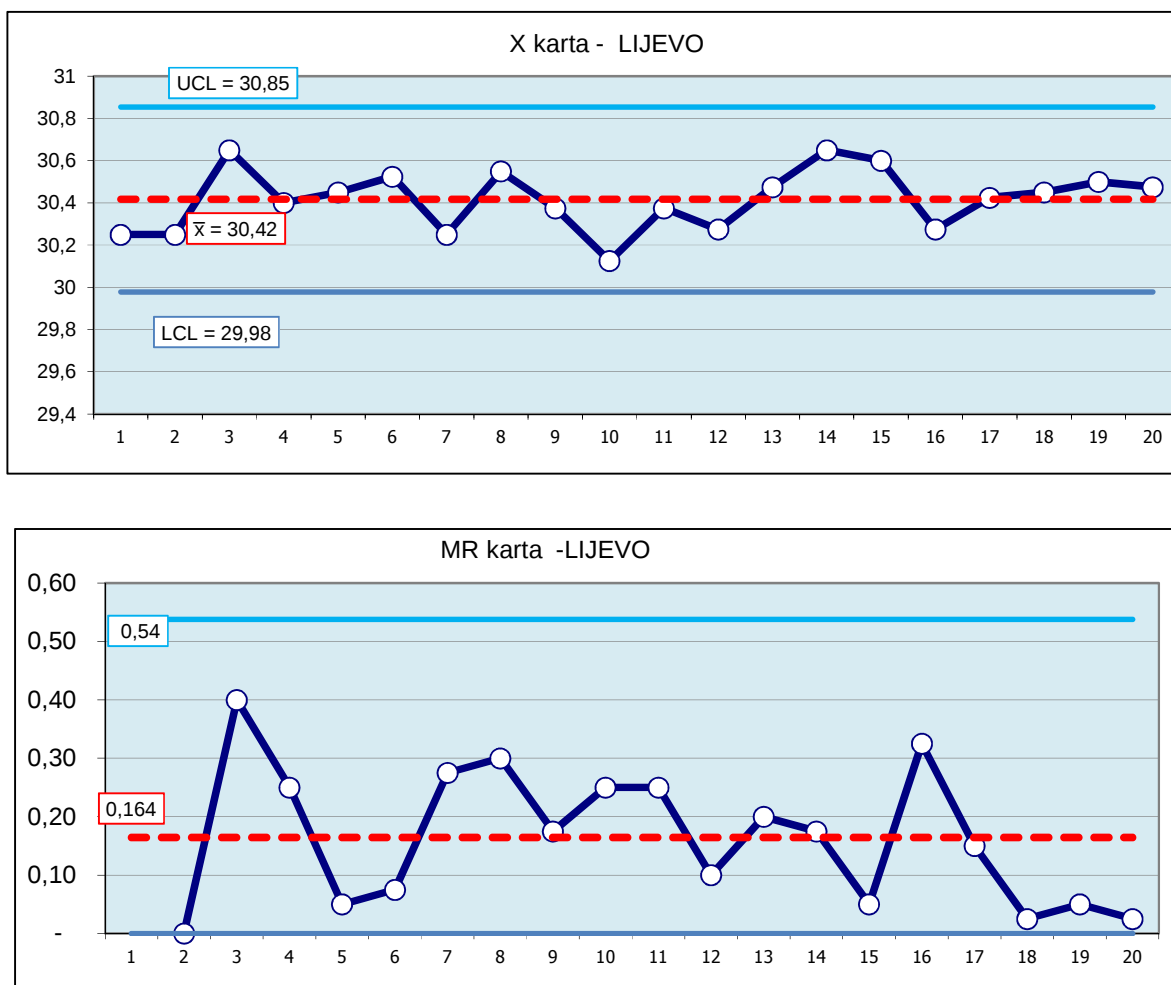
### 4.3. Analiza debljine proizvoda na lijevoj strani linije

Podaci o izmjerenim debljinama proizvoda prikazani su u sljedećoj tablici:

| Uzorak br. | Izmjerena debljina, mm |       |       |       |           |      |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-----------|------|
|            | LIJEVO                 |       |       |       |           |      |
|            | $x_1$                  | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $\bar{x}$ | MR   |
| 1          | 30,0                   | 30,4  | 30,7  | 29,9  | 30,25     |      |
| 2          | 30,4                   | 30,6  | 29,7  | 30,3  | 30,25     | 0,00 |
| 3          | 30,7                   | 30,6  | 30,7  | 30,6  | 30,65     | 0,40 |
| 4          | 30,4                   | 30,0  | 30,9  | 30,3  | 30,40     | 0,25 |
| 5          | 30,6                   | 30,5  | 30,7  | 30,0  | 30,45     | 0,05 |
| 6          | 30,7                   | 30,4  | 30,7  | 30,3  | 30,53     | 0,07 |
| 7          | 30,6                   | 30,1  | 30,4  | 29,9  | 30,25     | 0,27 |
| 8          | 30,5                   | 30,8  | 30,6  | 30,3  | 30,55     | 0,30 |
| 9          | 30,7                   | 30,6  | 30,2  | 30,0  | 30,38     | 0,18 |
| 10         | 30,4                   | 29,5  | 30,5  | 30,1  | 30,13     | 0,25 |
| 11         | 30,6                   | 30,1  | 30,4  | 30,4  | 30,38     | 0,25 |
| 12         | 30,8                   | 30,1  | 30,0  | 30,2  | 30,28     | 0,10 |
| 13         | 30,2                   | 30,6  | 30,5  | 30,6  | 30,48     | 0,20 |
| 14         | 30,5                   | 30,5  | 30,4  | 30,6  | 30,50     | 0,02 |
| 15         | 30,7                   | 30,4  | 30,5  | 30,8  | 30,60     | 0,10 |
| 16         | 30,8                   | 30,4  | 30,7  | 30,7  | 30,65     | 0,05 |
| 17         | 30,6                   | 30,4  | 30,6  | 30,1  | 30,43     | 0,23 |
| 18         | 30,5                   | 30,1  | 30,6  | 30,6  | 30,45     | 0,03 |
| 19         | 30,7                   | 30,1  | 30,5  | 29,8  | 30,28     | 0,18 |
| 20         | 30,7                   | 30,4  | 30,7  | 30,1  | 30,48     | 0,20 |

Tablica 4.2: Izmjerene debljine proizvoda na lijevoj strani linije

Analiza dobivenih rezultata provedena je pomoću X-MR karte:



Slika 4.3: X-MR karta debljine proizvoda na lijevoj strani linije [8]

Iz analize X-MR analize karte može se vidjeti sljedeće:

- sve izmjerene točke su unutar kontrolnih granica
- maksimalni broj točaka koje uzastopno rastu/padaju je 3
- maksimalni broj uzastopnih vrijednosti ispod/iznad centralne linije je 4

Sukladno pravilima navedenim u točki 3.5 može se zaključiti da je proces stabilan i predvidljiv, te se može pristupiti procjeni sposobnosti procesa.

Lower Specification Limit (LSL)  
Upper Specification Limit (USL)

Enter your specification

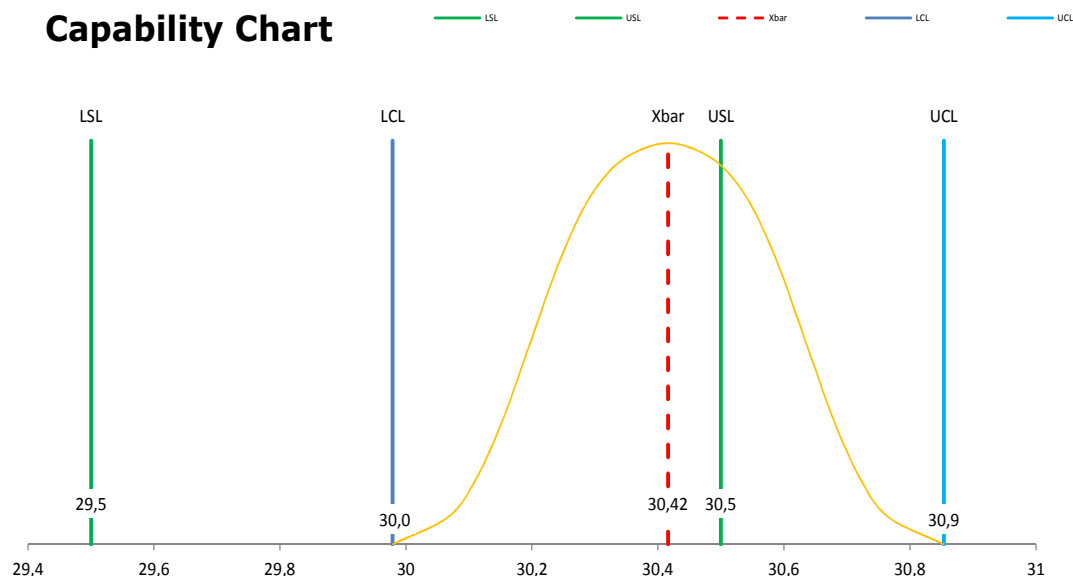
|      |
|------|
| 29,5 |
| 30,5 |

Capability of your process to meet customer requirement

|     |      |
|-----|------|
| Cp  | 1,14 |
| Cpk | 0,19 |

|           |      |
|-----------|------|
| Cpk-Upper | 0,19 |
| Cpk-Lower | 2,09 |

## Capability Chart



Slika 4.4: Analiza sposobnosti procesa brušenja na lijevoj strani linije [8]

Vrijednost potencijalne sposobnosti procesa,  $C_p$ , iznosi 1,14, što nam pokazuje da je proces sposoban proizvoditi proizvod (99,7 % vjerojatnosti) u tolerancijama  $\pm 0,5\text{mm}$ , no budući da je potencijalna sposobnost procesa manja od 1,33, proces tijekom slijedećih proizvodnji treba stalno nadzirati.

Kako bi se provjerila smještenost procesa u odnosu na granice specifikacije pomoću formula (19) i (20) izračunate su vrijednosti donje ( $C_{pL}$ ) i gornje ( $C_{pU}$ ) potencijalne sposobnosti procesa. Iznos vrijednosti  $C_{pU}$  (0,19) manji od iznosa  $C_{pL}$  vrijednosti (2,09) i manji je od jedan, što upućuje na necentriranost procesa i pomak procesa prema gornjoj granici tolerancije (USL).

S ciljem utvrđivanja varijacije i položaja prosjeka procesa izračunata je demonstrirana izvrsnost procesa,  $C_{pk}$ . Sukladno formuli (22) vrijednost  $C_{pk}$ , jednaka je manjoj od donje i gornje potencijalne sposobnosti procesa, što u našem slučaju znači da je  $C_{pk}=C_{pU}=0,19$ . Iz činjenice da je  $C_{pk}$  vrijednost (0,19) mnogo manja od  $C_p$  vrijednosti (1,14) može se zaključiti da je izmjerena sredina procesa (30,42 mm) značajno pomaknuta od ciljane vrijednosti procesa (30,0 mm), te vrlo blizu gornjoj granici tolerancije (30,5 mm).

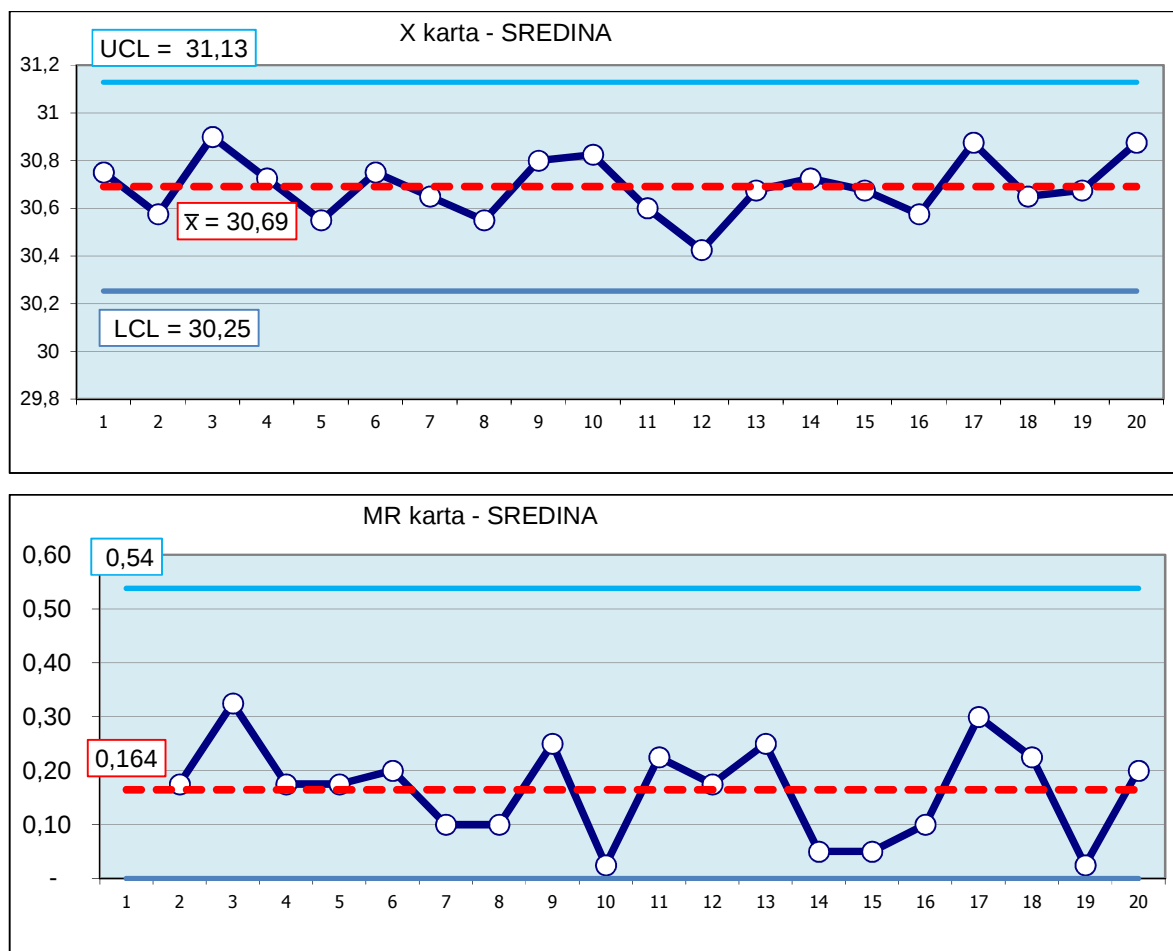
#### 4.4. Analiza debljine proizvoda na sredini linije

Podaci o izmjerenim debljinama proizvoda prikazani su u sljedećoj tablici:

| Uzorak br. | Izmjerena debljina, mm |       |       |       |           |      |
|------------|------------------------|-------|-------|-------|-----------|------|
|            | SREDINA                |       |       |       |           |      |
|            | $x_1$                  | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $\bar{X}$ | MR   |
| 1          | 30,9                   | 30,9  | 30,6  | 30,6  | 30,75     |      |
| 2          | 30,5                   | 31,0  | 30,6  | 30,2  | 30,58     | 0,18 |
| 3          | 30,9                   | 31,0  | 30,7  | 31,0  | 30,90     | 0,32 |
| 4          | 30,7                   | 30,7  | 30,8  | 30,7  | 30,73     | 0,17 |
| 5          | 30,9                   | 30,5  | 30,7  | 30,1  | 30,55     | 0,18 |
| 6          | 31,1                   | 30,5  | 31,0  | 30,4  | 30,75     | 0,20 |
| 7          | 30,8                   | 30,7  | 30,6  | 30,5  | 30,65     | 0,10 |
| 8          | 30,4                   | 30,7  | 30,4  | 30,7  | 30,55     | 0,10 |
| 9          | 31,0                   | 31,1  | 30,6  | 30,5  | 30,80     | 0,25 |
| 10         | 30,7                   | 30,8  | 30,8  | 31,0  | 30,83     | 0,02 |
| 11         | 30,6                   | 30,7  | 30,6  | 30,5  | 30,60     | 0,22 |
| 12         | 30,5                   | 30,6  | 30,2  | 30,4  | 30,43     | 0,18 |
| 13         | 30,2                   | 30,8  | 31,0  | 30,7  | 30,68     | 0,25 |
| 14         | 31,0                   | 30,6  | 30,5  | 30,6  | 30,68     | 0,00 |
| 15         | 30,7                   | 30,9  | 30,4  | 30,7  | 30,68     | 0,00 |
| 16         | 30,9                   | 30,6  | 30,5  | 30,9  | 30,73     | 0,05 |
| 17         | 30,9                   | 31,0  | 30,8  | 30,8  | 30,88     | 0,15 |
| 18         | 30,5                   | 30,7  | 30,6  | 30,8  | 30,65     | 0,22 |
| 19         | 30,9                   | 30,3  | 31,2  | 29,9  | 30,58     | 0,07 |
| 20         | 31,1                   | 30,8  | 31,1  | 30,5  | 30,88     | 0,30 |

Tablica 4.3: Izmjerene debljine proizvoda na sredini linije

Analiza dobivenih rezultata provedena je pomoću X-MR karte:



Slika 4.5: X-MR karta debljine proizvoda na sredini linije [8]

Iz analize X-MR analize karte debljina uzorka izmjenjenih na srednjem dijelu proizvodne linije može se vidjeti slijedeće:

- sve izmjerene točke su unutar kontrolnih granica
- maksimalni broj točaka koje uzastopno rastu/**padaju** je **3**
- maksimalni broj uzastopnih vrijednosti **ispod**/iznad centralne linije je **5**

Sukladno pravilima navedenim u točki 3.5 može se zaključiti da je proces stabilan i predvidljiv, te se može pristupiti procjeni sposobnosti procesa.

Lower Specification Limit (LSL)  
Upper Specification Limit (USL)

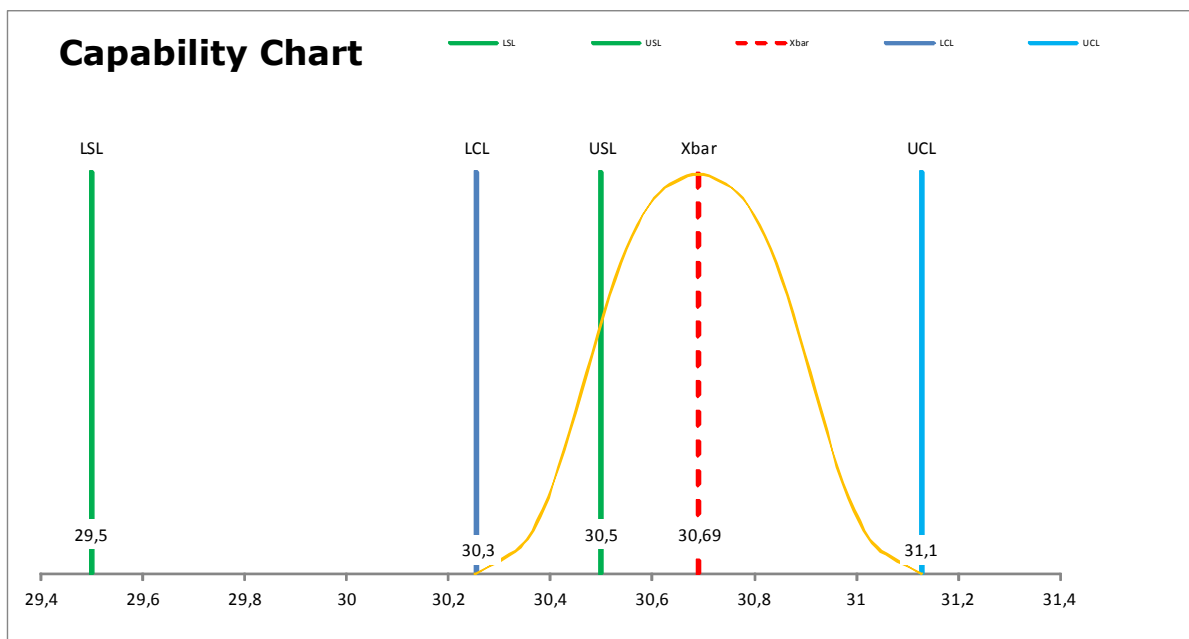
Enter your specification

|      |
|------|
| 29,5 |
| 30,5 |

Capability of your process to meet customer requirement

|     |       |
|-----|-------|
| Cp  | 1,14  |
| Cpk | -0,44 |

|           |       |
|-----------|-------|
| Cpk-Upper | -0,44 |
| Cpk-Lower | 2,72  |



Slika 4.6: Analiza sposobnosti procesa brušenja na sredini linije [8]

Vrijednost potencijalne sposobnosti procesa,  $C_p$ , iznosi 1,14, što nam pokazuje da je proces sposoban proizvoditi proizvod (99,7 % vjerojatnosti) u tolerancijama  $\pm 0,5\text{mm}$ , no budući da je potencijalna sposobnost procesa manja od 1,33, proces brušenja na sredini linije tijekom slijedećih proizvodnji treba stalno nadzirati.

Kako bi se provjerila smještenost procesa u odnosu na granice specifikacije pomoću formula (19) i (20) izračunate su vrijednosti donje ( $C_{pL}$ ) i gornje ( $C_{pU}$ ) potencijalne sposobnosti procesa. Iznos vrijednosti  $C_{pU}$  (-0,44) manji od iznosa  $C_{pL}$  vrijednosti (2,72) upućuje na necentriranost procesa i pomak procesa prema gornjoj granici tolerancije (USL).

S ciljem utvrđivanja varijacije i položaja prosjeka procesa izračunata je demonstrirana izvrsnost procesa,  $C_{pk}$ . Sukladno formuli (22) vrijednost  $C_{pk}$ , jednaka je manjoj od donje i gornje potencijalne sposobnosti procesa, što u našem slučaju znači da je  $C_{pk}=C_{pU}=-0,44$ . Iz činjenice da je  $C_{pk}$  vrijednost (-0,44) vrijednost mnogo manja od  $C_p$  vrijednosti (1,14) može se zaključiti da je izmjerena sredina procesa (30,69 mm) značajno pomaknuta od ciljne vrijednosti procesa (30,0 mm), a njen negativni predznak govori nam da je srednja izmjerena vrijednost procesa izvan gornje granice tolerancije USL (30,5 mm).

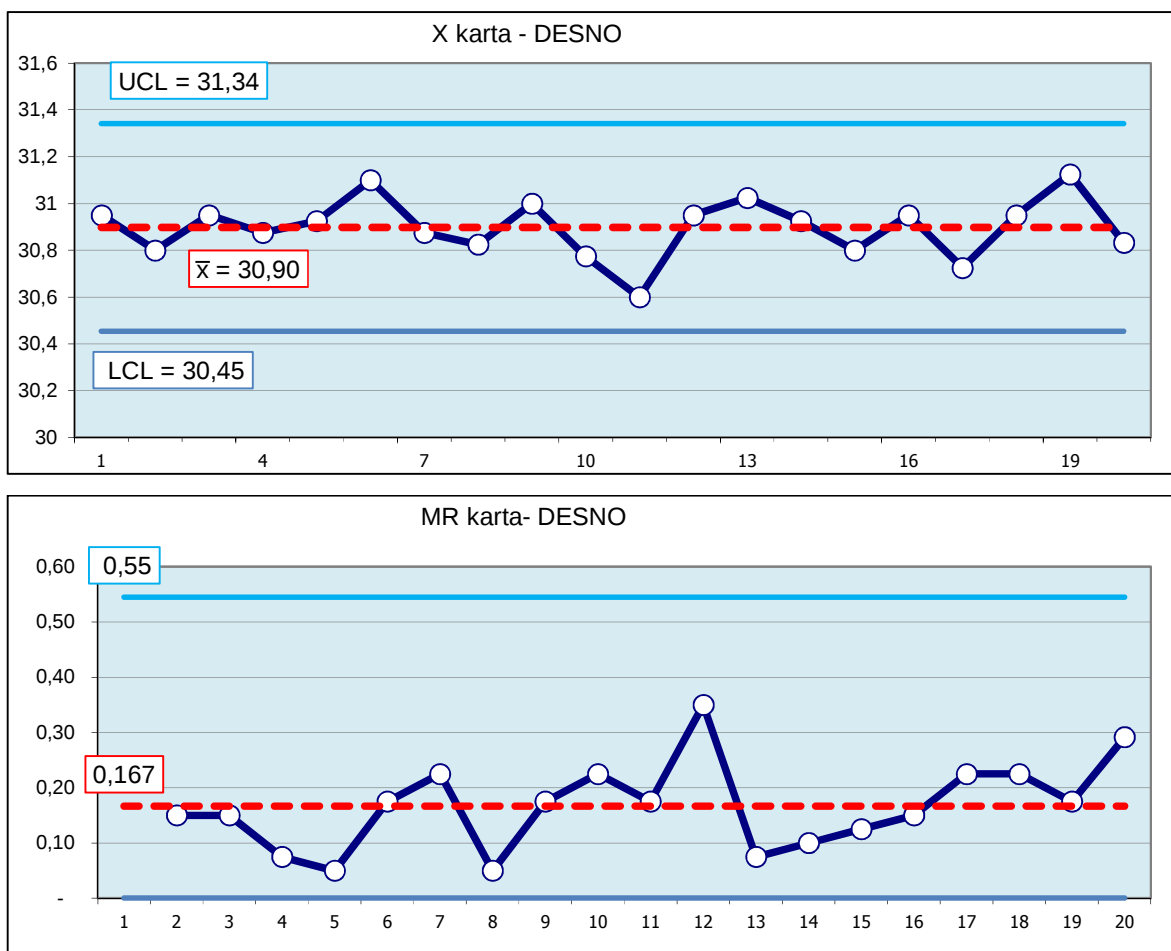
#### 4.5. Analiza debljine proizvoda na desnoj strani linije

Podaci o izmjerenim debljinama proizvoda prikazani su u sljedećoj tablici:

| Uzorak br. | Izmjerena debljina, mm<br>DESNO |       |       |       |              |             |
|------------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------------|
|            | $x_1$                           | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $\bar{X}$    | MR          |
| 1          | 30,7                            | 31,3  | 30,7  | 31,1  | <b>30,95</b> |             |
| 2          | 30,6                            | 30,9  | 30,7  | 31,0  | <b>30,80</b> | <b>0,15</b> |
| 3          | 30,8                            | 31,1  | 30,7  | 31,2  | <b>30,95</b> | <b>0,15</b> |
| 4          | 30,8                            | 30,9  | 30,8  | 31,0  | <b>30,88</b> | <b>0,08</b> |
| 5          | 30,9                            | 30,8  | 31,0  | 31,0  | <b>30,93</b> | <b>0,05</b> |
| 6          | 31,3                            | 31,3  | 30,9  | 30,9  | <b>31,10</b> | <b>0,18</b> |
| 7          | 31,0                            | 30,9  | 30,6  | 31,0  | <b>30,88</b> | <b>0,23</b> |
| 8          | 30,6                            | 31,2  | 30,6  | 30,9  | <b>30,83</b> | <b>0,05</b> |
| 9          | 30,9                            | 31,3  | 30,8  | 31,0  | <b>31,00</b> | <b>0,17</b> |
| 10         | 30,6                            | 31,0  | 30,7  | 30,8  | <b>30,78</b> | <b>0,23</b> |
| 11         | 30,7                            | 30,9  | 30,4  | 30,4  | <b>30,60</b> | <b>0,17</b> |
| 12         | 30,9                            | 30,9  | 30,8  | 31,2  | <b>30,95</b> | <b>0,35</b> |
| 13         | 30,6                            | 31,3  | 31,2  | 31,0  | <b>31,03</b> | <b>0,08</b> |
| 14         | 30,8                            | 31,2  | 30,7  | 31,8  | <b>31,13</b> | <b>0,10</b> |
| 15         | 30,6                            | 31,2  | 30,5  | 30,9  | <b>30,80</b> | <b>0,33</b> |
| 16         | 31,1                            | 31,1  | 30,7  | 30,8  | <b>30,93</b> | <b>0,13</b> |
| 17         | 30,8                            | 30,9  | 30,6  | 30,6  | <b>30,73</b> | <b>0,20</b> |
| 18         | 30,7                            | 31,1  | 31,0  | 31,0  | <b>30,95</b> | <b>0,22</b> |
| 19         | 30,9                            | 30,9  | 30,9  | 31,1  | <b>30,95</b> | <b>0,00</b> |
| 20         | 30,6                            | 31,1  | 30,8  |       | <b>30,83</b> | <b>0,12</b> |

Tablica 4.4: Izmjerene debljine proizvoda na desnoj strani linije

Analiza izmjerenih debljina proizvoda na desnoj strani linije provedena je pomoću X-MR karte:



Slika 4.7: X-MR karta debljine proizvoda s desne strane linije [8]

Iz analize X-MR analize karte debljina uzorka izmjerenih na srednjem dijelu proizvodne linije može se vidjeti slijedeće:

- sve izmjerene točke su unutar kontrolnih granica
- maksimalni broj točaka koje uzastopno **rastu/padaju** je 2
- maksimalni broj uzastopnih vrijednosti ispod/**iznad** centralne linije je 3

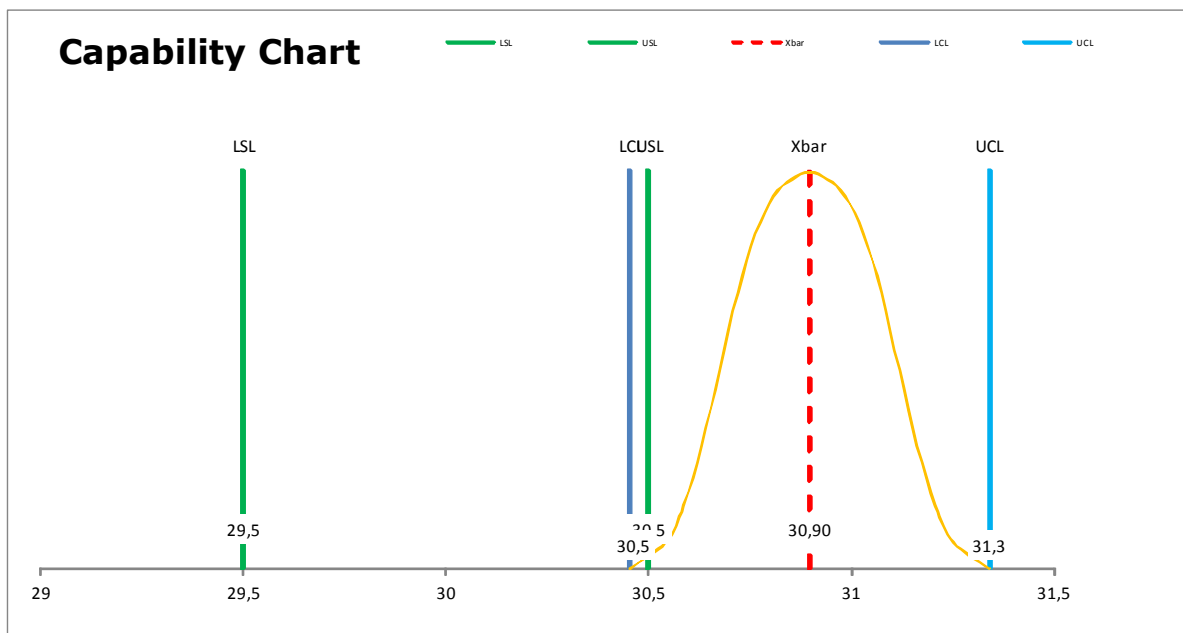
Sukladno pravilima navedenim u točki 3.5 može se zaključiti da je proces stabilan i predvidljiv, te se može pristupiti procjeni sposobnosti procesa.

Lower Specification Limit (LSL)  
Upper Specification Limit (USL)

|      |
|------|
| 29,5 |
| 30,5 |

|     |       |
|-----|-------|
| Cp  | 1,13  |
| Cpk | -0,90 |

|           |       |
|-----------|-------|
| Cpk-Upper | -0,90 |
| Cpk-Lower | 3,15  |



Slika 4.8: Analiza sposobnosti procesa brušenja s lijeve strane linije [8]

Vrijednost potencijalne sposobnosti procesa brušenja proizvoda s desne strane linije,  $C_p$ , iznosi 1,13, što nam pokazuje da je proces sposoban proizvoditi proizvod (99,7 % vjerojatnosti) u tolerancijama  $\pm 0,5\text{mm}$ , no budući da je potencijalna sposobnost procesa manja od 1,33, proces brušenja na desnoj strani linije tijekom slijedećih proizvodnji treba stalno nadzirati.

Kako bi se provjerila smještenost procesa u odnosu na granice specifikacije pomoću formula (19) i (20) izračunate su vrijednosti donje ( $C_{pL}$ ) i gornje ( $C_{pU}$ ) potencijalne sposobnosti procesa. Iznos vrijednosti  $C_{pU}$  (-0,90) manji od iznosa  $C_{pL}$  vrijednosti (3,15) upućuje na necentriranost procesa i pomak procesa prema gornjoj granici tolerancije (USL).

S ciljem utvrđivanja varijacije i položaja prosjeka procesa izračunata je demonstrirana izvrsnost procesa,  $C_{pk}$ . Sukladno formuli (22) vrijednost  $C_{pk}$ , jednaka je manjoj od donje i gornje potencijalne sposobnosti procesa, što u našem slučaju znači da je  $C_{pk}=C_{pU}=-0,90$ . Iz činjenice da je  $C_{pk}$  vrijednost (-0,90) vrijednost mnogo manja od  $C_p$  vrijednosti (1,13) može se zaključiti da je izmjerena sredina procesa (30,90 mm) značajno pomaknuta od ciljne vrijednosti procesa (30,0 mm), a njen negativni predznak govori nam da je srednja izmjerena vrijednost procesa izvan gornje granice tolerancije USL (30,5 mm).

#### 4.6. Usporedba rezultata po širini linije

| LIJEVO                          | SREDINA | DESNO |
|---------------------------------|---------|-------|
| Srednja vrijednost debljine, mm |         |       |
| 30,42                           | 30,69   | 30,90 |
| Cp                              |         |       |
| 1,14                            | 1,14    | 1,13  |
| Cpk                             |         |       |
| 0,19                            | -0,44   | -0,90 |

Tablica 4.5 Usporedba  $C_p$  i  $C_{pk}$  vrijednosti po širini proizvodne linije

Iz tablice usporedbe statističkih vrijednosti po širini linije vidi se da je po cijeloj širini linije sposobnost procesa zadovoljavajuća (iznad 1), no postoji znatna razlika u debljini proizvoda između lijeve i desne strane linije (0,48 mm).

#### 4.7. Zaključna razmatranja i daljnji koraci

Iz analize kontrolnih karata procesa brušenja proizvoda od kamene vune HTB 700 može se vidjeti da je proces glede ostvarene debljina proizvoda stabilan i u stanju kontrole.

Procjena sposobnosti procesa pokazala je da je proces brušenja po cijeloj širini linije potencijalno sposoban proizvesti proizvod u tolerancijama debljine  $\pm 0,5$  mm. Po cijeloj širini linije debljina proizvoda je pomaknuta prema gornjoj granici tolerancije, što rezultira lošim Cpk vrijednostima. Uzrok tome je što je mjerenje provedeno tijekom izrade redovnog radnog naloga za proizvod HTB 700, s tolerancijama  $^{+3}_{-1}mm$ , te se u proizvodnji, kako ne bi došlo do nepotrebnog otpada, „ciljalo“ prema gornjoj granici tolerancije. Sredina i desna strana linije daju veću debljinu proizvoda u režimu rada brusa bez korekcije lijevo-desno.

Na temelju analiziranih podataka kod sljedeće sljedeće proizvodnje brušenog proizvoda valja postaviti sljedeće parametre proizvodnje brusa:

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Visina sušione komore:     | 28 mm  |
| Brus gore:                 | 30 mm  |
| Brus debljina:             | 28 mm  |
| Brus dolje:                | +2 mm  |
| Brus korekcija lijevo gore | 220 mm |

## 5. Zaključak

Statistička kontrola kvaliteta odavno se pokazala kao pouzdan, neizbježan i nezamjenljiv alat u kontroli procesa. Statistički podaci na dovoljnom broju uzoraka služe i kao parametar kojim se mogu definirati značajni parametri poput roka garancije. Statistički podaci predstavljaju i pokazatelje kojima se definira prihvatanje određenog proizvoda/usluge, odnosno definira interval pouzdanosti za danu karakteristiku kvalitete.

Kontrolne karte, kao inženjersko-matematičko sredstvo, predstavljaju vrlo pogodan alat za ostvarenje ciljeva statističke kontrole. Optimalnom primjenom kontrolnih karata osigurava se konstantno praćenje procesa, usmjeravanje ka željenom tijeku i poduzimanje eventualno potrebnih popravni akcija. Njihovom primjenom osigurava se ispunjavanje projektiranih ili zahtijevanih karakteristika kvalitete, odnosno ispunjenje zahtjeva određene norme.

Sposobnost procesa se može definirati kao „performansa procesa u toku izvjesnog perioda vremena za koji je on u stanju kontrole“. Ona daje odnos postavljenih specifikacija i tolerancija i ponašanja, odnosno rasipanja procesa.

Ovim radom željela se istaknuti mogućnost primjene kontrolnih karata i analize sposobnosti procesa u slučaju pojave novih zahtjeva kupaca vezanih uz proizvode od kamene vune.

Kako bi se sa što većom sigurnošću mogli zadovoljiti zahtjevi kupca za uskom tolerancijom na debljinu proizvoda, s kojom se poduzeće u praksi još nije susretalo, dosadašnja praksa donošenja zaključaka na temelju mjerenja bez statističke analize pokazala se nedostatnom. Analiza rezultata mjerenja debljine proizvoda pomoću X-MR karti i ocjena sposobnosti procesa dala je realnu sliku procesa i omogućila donošenje odluka o potrebnim korekcijama postavaka procesa s ciljem udovoljavanja postavljenim tolerancijama. Također je omogućila sigurno izjašnjavanje tolerancija na debljinu proizvoda kupcu.

Rezultati rada pokazali su sve prednosti korištenja kontrolnih karata i analize sposobnosti procesa u probnoj proizvodnji, ali i ukazali na potrebu stalnog nadzora procesa proizvodnje pomoću statističkih tehnika kontrole kvalitete.

U Varaždinu,

Nedeljko Bukovčan

## Literatura

- [1] Ž. Kondić: Statistička kontrola, , Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2012.
- [2] J.M. Juran: Quality Control Handbook, , McGraw-Hill, New York, 1989
- [3] I. Bakija: Kontrola kvalitete, , Tehnička knjiga, Zagreb, 1978
- [4] Dusman-Stančec: Odabrana poglavlja iz kontrole kvalitete, , FSB, Zagreb, 1983
- [5] [https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/01\\_01\\_2012\\_9063\\_Kontrola\\_kvalitete.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/01_01_2012_9063_Kontrola_kvalitete.pdf), dostupno 09.05.2016.
- [6] <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0042-8469/2013/0042-84691301101D.pdf>, dostupno 09.05.2016.
- [7] Kovačić G., Kondić Ž. Statistička analiza sposobnosti procesa proizvodnje stretch folije. ISSN 1864-6168. UDK 62
- [8] Interna dokumentacija poduzeća
- [9] HRN EN 14303:2016 Toplinsko-izolacijski proizvodi za instalacije u zgradama i industriji -- Tvornički izrađeni proizvodi od mineralne vune (MW) -- Specifikacija (EN 14303:2015)
- [10] HRN EN 823:2013: Toplinsko-izolacijski proizvodi za graditeljstvo -- Određivanje debljine (EN 823:2013)
- [11] [http://repozitorij.fsb.hr/4467/1/Ra%C5%A1i%C4%87\\_2015\\_diplomski.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/4467/1/Ra%C5%A1i%C4%87_2015_diplomski.pdf), dostupno 08.06.2016.

## Popis slika

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1.1 Proizvodni pogoni tvrtke [8] .....                                                       | 3  |
| Slika 1.2 Područja primjene proizvoda tvrtke [8] .....                                             | 3  |
| Slika 1.3 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u građevinarstvu [8] .....                            | 4  |
| Slika 1.4 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u industriji [8] .....                                | 4  |
| Slika 1.5 Primjeri primjene proizvoda tvrtke u OEM sektoru [8] .....                               | 5  |
| Slika 2.1: Sirovine za proizvodnju kamene vune [8] .....                                           | 6  |
| Slika 2.2: Shematski prikaz kupolne peći [8] .....                                                 | 8  |
| Slika 2.3: Razvlaknjavanje taline na centrifugi [8] .....                                          | 9  |
| Slika 2.4: Formiranje primarnog plasta [8] .....                                                   | 10 |
| Slika 2.5: Formiranje sekundarnog plasta [8] .....                                                 | 10 |
| Slika 3.1: Izbor kontrolne karte [5] .....                                                         | 22 |
| Slika 3.2: Granice kontrolne karte [5] .....                                                       | 23 |
| Slika 3.3: Povezanost kontrolnih granica i krivulje normalne razdiobe [5] .....                    | 25 |
| Slika 3.4: Primjer $\bar{x}$ -R karte i njene korekcije [5] .....                                  | 27 |
| Slika 3.5: $\bar{x}$ -R karta za vlačnu čvrstoću proizvoda PBH [8] .....                           | 29 |
| Slika 3.6: Primjer X-MR karte [5] .....                                                            | 30 |
| Slika 3.7: Tolerancijsko polje zahtjeva [7] .....                                                  | 31 |
| Slika 3.8: Primjer koeficijenta $C_p$ [7] .....                                                    | 33 |
| Slika 3.9. Različite vrijednosti koeficijenta $C_p$ prema normalno distribuiranom procesu [5] .... | 34 |
| Slika 3.10. Demonstrirana izvrsnost $C_{pk}$ [7] .....                                             | 35 |
| Slika 3. 11 Podjela kontrolne karte na zone [11] .....                                             | 36 |
| Slika 4.1 Način uzorkovanja proizvoda .....                                                        | 39 |
| Slika 4.2 Način mjerenja uzorka [10] .....                                                         | 40 |
| Slika 4.3: X-MR karta debljine proizvoda na lijevoj strani linije [8] .....                        | 43 |
| Slika 4.4: Analiza sposobnosti procesa brušenja na lijevoj strani linije [8] .....                 | 44 |
| Slika 4.5: X-MR karta debljine proizvoda na sredini linije [8] .....                               | 46 |
| Slika 4.6: Analiza sposobnosti procesa brušenja na sredini linije [8] .....                        | 47 |
| Slika 4.7: X-MR karta debljine proizvoda s desne strane linije [8] .....                           | 49 |
| Slika 4.8: Analiza sposobnosti procesa brušenja s lijeve strane linije [8] .....                   | 50 |

## Popis tablica

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 3.1: Prikaz faktora za izračunavanje kontrolnih granica [6].....             | 26 |
| Tablica 3.2: Primjer načina prikupljanja podataka za $\bar{x}$ -R kartu [8] .....    | 28 |
| Tablica 3.3 Vrijednost $C_p$ i sposobnosti procesa [7].....                          | 33 |
| Tablica 4.1: Svojstva proizvoda HTB 700 [8] .....                                    | 38 |
| Tablica 4.2: Izmjerene debljine proizvoda na lijevoj strani linije.....              | 42 |
| Tablica 4.3: Izmjerene debljine proizvoda na sredini linije.....                     | 45 |
| Tablica 4.4: Izmjerene debljine proizvoda na desnoj strani linije.....               | 48 |
| Tablica 4.5 Usporedba $C_p$ i $C_{pk}$ vrijednosti po širini proizvodne linije ..... | 51 |

Sveučilište  
Sjever

IZJAVA  
O AUTORSTVU



SVEUČILIŠTE  
S JEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navedenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

**Ja, Nedeljko Bukovčan** pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom **Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune** te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

**Nedeljko Bukovčan**

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su, da značajno objavi na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

**Ja, Nedeljko Bukovčan**, neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom **Primjena suvremenih statističkih metoda u kontroli kvalitete kamene vune** čiji sam autor.

Student:

**Nedeljko Bukovčan**