

Berislav Žmuk, univ. spec. oec.<sup>1</sup>

## MOGUĆNOSTI SMANJENJA TROŠKOVA GREŠAKA NEKVALITETE PRIMJENOM METODA STATISTIČKE KONTROLE PROCESA

### POSSIBILITIES OF REDUCING POOR QUALITY COSTS BY STATISTICAL PROCESS CONTROL METHODS

---

**SAŽETAK:** Pod troškovima kvalitete podrazumijevaju se troškovi kontrole kvalitete i troškovi grešaka nekvalitete. U radu se istražuje utjecaj troškova grešaka nekvalitete na ukupne troškove proizvodnje kroz praćenje odvijanja simuliranog proizvodnog procesa kako bi se na taj način naglasila njihova uloga u formiranju poslovnog rezultata poduzeća. Za učinkovito uočavanje i nadzor troškova grešaka nekvalitete preporučuje se primjena metoda statističke kontrole procesa.

Metode statističke kontrole procesa u svojem užem smislu obuhvaćaju analizu procesa uz pomoć odgovarajućih kontrolnih karata i indeksa sposobnosti procesa. Tako se u radu daje pregled najčešće korištenih kontrolnih karata odnosno indeksa sposobnosti da bi se potom na primjeru proizvodnog procesa prikazala njihova odgovarajuća primjena. Rezultati analize pokazali su da je primjenom metoda statističke kontrole procesa moguće ostvariti znatne uštede na troškovima grešaka nekvalitete čime se osigurava postizanje boljih poslovnih rezultata poduzeća. Navedeno bi trebalo dodatno potaknuti proizvodna poduzeća na intenzivniju primjenu metoda statističke kontrole procesa.

**KLJUČNE RIJEČI:** statistička kontrola procesa, kontrolne karte za varijable, kontrolne karte za attribute, indeks sposobnosti procesa, troškovi grešaka nekvalitete.

**ABSTRACT:** Total quality costs include quality costs and poor quality costs. This paper explores the impact of poor quality costs on the total cost of production through the observation of a simulated manufacturing process. We aim to emphasize the role of poor quality costs in the formation of an enterprise's business results. It is recommended to use statistical process control to effectively identify and control poor quality costs. Methods of statistical process control in the narrow sense include analysis of the process with the help of appropriate control charts and process capability indices. The paper presents an overview of commonly used control charts and capability indices. Their appropriate application to a

---

<sup>1</sup> Berislav Žmuk, univ. spec. oec., asistent, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet – Zagreb, Katedra za statistiku, e-mail: bzmuk@efzg.hr

production process is demonstrated. The results of our analysis showed that the application of statistical process control methods can achieve a significant reduction in poor quality costs, which leads to better business results. This should further encourage manufacturing enterprises to use statistical process control methods.

**KEY WORDS:** statistical process control (SPC), control charts for variables, control charts for attributes, the index of process capability, costs of poor quality.

---

## 1. UVOD

Upravljanje kvalitetom je proces koji prepoznaje i upravlja aktivnostima potrebnim da se dostignu ciljevi kvalitete jedne organizacije (Juran i Gryna, 1999, str. 7). Iza upravljanja kvalitetom krije se stalna i neprestana potreba za poboljšanjem cjelokupnoga procesa poslovanja prvenstveno kako bi poduzeće moglo opstati na sve zahtjevnijem tržištu. Kao značajna pomoć u upravljanju kvalitetom, poduzećima se sve više nameću metode statističke kontrole kvalitete koje, ako se koriste s razumijevanjem, pomažu u donošenju kvalitetnijih i ispravnih poslovnih odluka koje donose značajne uštede putem smanjenja troškova te značajne koristi poput povećanja produktivnosti. Ako hrvatska poduzeća žele biti konkurentna na tržištu morat će početi u većoj mjeri koristiti metode statističke kontrole kvalitete u svojem poslovanju.

Međutim, ostvarenje određene razine kvalitete nije moguće bez odgovarajućih troškova kvalitete. U literaturi se troškovi kvalitete dijele na troškove kontrole kvalitete te na troškove grešaka nekvalitete (Montgomery, Jennings, Pfund, 2011, str. 18-24). Pod troškovima kontrole kvalitete ili troškovima usklađivanja podrazumijevaju se troškovi prevencije, koji nastaju kao rezultat nastojanja da se spriječe budući negativni utjecaji na kvalitetu, te troškovi procjene, koji nastaju radi otkrivanja grešaka primjenom testiranja, kontrolom i revizijom (Kaner, 1996). S druge strane, nastanak troškova grešaka nekvalitete ili troškova neusklađenosti je povezan s otkrivanjem grešaka u internim radnim procesima, kako bi se odbacile ili popravile defektne stavke odnosno povezan s greškama koje su uočili kupci. Sukladno tome, razlikuju se interni i eksterni troškovi grešaka (Gulin, Peršić, ur., 2011, str. 536-538). Postupno se prepoznaje važnost praćenja i analize troškova grešaka nekvalitete u poslovanju poduzeća (American Society for Quality, 1999, Kader, Ganjavi, Solaiman, 2010, Jeang, 2011). Stoga se s pravom postavlja istraživačko pitanje da li metode statističke kontrole procesa, koje su u prvom redu namijenjene praćenju troškova kontrole kvalitete, mogu ujedno poslužiti i za praćenje troškova grešaka nekvalitete, i to ponajprije internih troškova grešaka nekvalitete.

Sukladno postavljenom istraživačkom pitanju formiran je i cilj istraživanja rada. Tako cilj ovoga rada jest ispitati postojanje mogućnosti evidentiranja troškova grešaka nekvalitete u proizvodnom procesu poduzeća pomoću metoda statističke kontrole procesa. Isto tako definirana je i istraživačka hipoteza rada koja glasi: troškovi grešaka nekvalitete mogu imati značajan utjecaj na ukupne troškove određenog proizvodnog procesa, a time i na poslovni rezultat poduzeća. Naime, troškovi grešaka nekvalitete dodatno opterećuju poslovanje poduzeća, a otklanjanjem njihovih izvora poduzeće će biti u mogućnosti ostvariti niže troškove proizvodnje. Na taj će način poduzeće biti u mogućnosti postati konkurentnije na tržištu te se, prvenstveno, u tome ogleda važnost praćenja i analize tih troškova.

Nakon uvodnog dijela u drugom dijelu rada obrađuju se temeljne metode statističke kontrole procesa koje će se primijeniti u evidentiranju troškova grešaka nekvalitete. U trećem dijelu rada prikazan je proces pravilne primjene i analize pomoću odabranih metoda statističke kontrole procesa na pojednostavljenom primjeru proizvodnog procesa poduzeća uz primjenu programa Minitab. Na kraju trećeg dijela daje se analiza troškova grešaka nekvalitete evidentiranih primjenom metoda statističke kontrole procesa. U četvrtom dijelu rada daju se zaključna razmatranja te preporuke.

## 2. METODE STATISTIČKE KONTROLE PROCESA

Statistička kontrola procesa (eng. *statistical process control* – SPC) jest sredstvo kojim se nadziru poslovni procesi, radi trajnog osiguravanja dostignute razine kvalitete, praćenja odstupanja izvan zadanih granica te analiziranja dobivenih podataka, donošenja i provedbe korektivnih mjera (Lazibat, 2005, str. 186). U užem smislu pod SPC metodama podrazumijeva se provođenje kontrole procesa uz pomoć statističkih kontrolnih karata te pokazatelja odnosno indeksa sposobnosti procesa.

Kontrola procesa zasniva se na pretpostavci postojanja varijabilnosti u procesu te na pretpostavci da proizvodni procesi nisu u stanju potpune kontrole, odnosno da proces nije stabilan. Kontrolna karta je grafički prikaz procesa na temelju podataka dobivenih ispitivanjem uzoraka, a koristi se za prepoznavanje prisutnosti sistematskih odnosno posebnih uzroka varijacije u procesu (Skoko, 2000, str. 203). Sistematski odnosno posebni uzroci varijacija u procesu predstavljaju fluktuacije vrijednosti procesa izvan kontrolnih granica ili trenda te njihova prisutnost upućuje da su u procesu prisutni neki problemi koji zahtijevaju određenu korekciju (Bilke i Sinn, 2008). S druge strane, postoje obični odnosno slučajni uzroci varijacija koji su sastavni dio svakog procesa te se ne mogu izbjeći, a time ni korigirati jer se ti uzroci pojavljuju posve nepredviđeno, slučajno odnosno nesistematski. Ukupna varijacija procesa jednaka je zbroju posebnih (sistematskih) i slučajnih (nesistematskih) uzroka varijacija. Kontrolne karte su alat za odlučivanje i imaju dvije osnovne funkcije. One pružaju informaciju za donošenje odluke o tome trebaju li se dodatno ispitati potencijalni problemi u procesu, je li potrebno napraviti neke određene korekcije odnosno prilagodbe procesa ili, jednostavno, proces ostaviti na miru i ništa ne korigirati jer je sve u stanju statističke kontrole. Isto tako, kontrolne karte su alat za rješavanje problema u procesu. One ističu gdje je potrebno poboljšanje procesa odnosno gdje su kritične točke procesa koje treba popraviti (Summers, 2006, str. 221).

Istodobno s promatranjem kontrolnih karata, potrebno je promatrati i sposobnost procesa (eng. *process capability*). Sposobnost procesa je mogućnost procesa da dosljedno zadovoljava zahtjeve kupaca. Sposobnost procesa definirana je tzv. specifikacijskim granicama unutar kojih se mora proces nalaziti kako bi se ispunila očekivanja i zahtjevi kupaca (Kane, 1986). Specifikacijske granice su skup tehničkih zahtjeva čije vrijednosti definira, prije svega, menadžment poduzeća kao odgovor na očekivanja kupaca.

Moglo bi se zaključiti da se kontrolne karte koriste kako bi se saznalo jesu li procesi u samom poduzeću pod kontrolom odnosno kontrolne karte su orijentirane, ponajprije, interno prema poduzeću, dok se sposobnost procesa prati kako bi se saznalo zadovoljavaju li procesi prohtjeve kupaca odnosno pomoću njih se prati uspješnost zadovoljavanja okoline poduzeća.

## 2.1. Osnovne vrste kontrolnih karata

Glavna podjela statističkih kontrolnih karata razlikuje karte prema vrsti obilježja podataka dobivenih na temelju promatranja procesa. Prema tome, vrste kontrolnih karata jesu kontrolne karte za varijable, tj. mjerljive karakteristike te kontrolne karte za atributivne karakteristike. Kod kontrolnih karata za varijable korištene vrijednosti promatrane varijable kvalitete su prezentirane u obliku kontinuiranih numeričkih podataka, dok su kod kontrolnih karata za atributivne karakteristike vrijednosti promatrane varijable kvalitete iskazane u obliku atributivnih (kvalitativnih) podataka ili u obliku numeričkih diskretnih podataka. Češće korištene kontrolne karte za varijable jesu  $\bar{x}$  karta (karta prosjeka, eng. *x-bar chart, average chart*),  $R$  karta (karta raspona, eng. *R chart, range chart*) te  $s$  karta (karta prosječnih odstupanja, eng. *s chart, standard deviation chart*). S druge strane, najčešće korištene kontrolne karte za atributivne karakteristike jesu  $p$  karta (karta proporcija, eng. *p chart, proportion chart*),  $c$  karta (karta broja, eng. *c chart, count chart*) te  $np$  karta (eng. *number of affected units chart*). Svaka od navedenih karata zasebno će se analizirati u nastavku. Potrebno je istaknuti da, osim navedenih kontrolnih karata, postoji još niz drugih koje se temelje na navedenim osnovnim kontrolnim kartama.

Nakon odabira procesa koji će se pratiti odgovarajućom kontrolnom kartom potrebno je na temelju podataka iz uzetih uzoraka izračunati elemente kontrolne karte (centralnu liniju te kontrolne granice) te se tada na temelju određenih signala koji upućuju na postojanje ili nepostojanje sistematskih uzroka varijacija, u nastavku donosi odgovarajuća odluka (Kondić, 2004, str. 174-176). Odluka može biti da se nulta hipoteza ne odbija odnosno da se u procesu nalaze samo slučajni uzroci varijacija te u tome slučaju nije potrebno poduzimati nikakve akcije korekcije procesa. Također, može se donijeti odluka da se nulta hipoteza odbija odnosno zaključuje se da se u procesu, osim slučajnih, nalaze i posebni uzroci varijacija te je u tom slučaju potrebno poduzeti odgovarajuće mjere korekcije (McClave, Benson i Sincich, 2008, str. 805).

Na postojanje posebnih uzroka varijacija može upućivati znatan broj signala te o istraživaču ovisi kojim će sve uvjetima opteretiti analizu rezultata kontrole procesa (Montgomery, 2005, str. 167; Tague, 2005, str. 158). Najčešće se za zaključivanje o tome nalazi li se proces u stanju kontrole koriste sljedeći uvjeti: sve pojedinačne vrijednosti podatka uzoraka nalaze se unutar kritičnih kontrolnih granica; manje od 9 vrijednosti podataka uzoraka zaredom nalaze se na jednoj strani distribucije; manje od 6 vrijednosti podataka uzoraka zaredom imaju isti smjer kretanja; manje od 14 vrijednosti podataka uzoraka zaredom alterniraju oko centralne linije odnosno simetrane distribucije. Ako samo jedan od izabranih uvjeta nije zadovoljen, zaključuje se da se proces ne nalazi u stanju statističke kontrole.

## 2.2. Kontrolne karte za varijable

Kontrolne karte koje se najčešće upotrebljavaju za prikaz numeričkih kontinuiranih obilježja odnosno najviše korištene kontrolne karte za varijable jesu  $\bar{x}$ ,  $R$  i  $s$  kontrolne karte. Navedene kontrolne karte uobičajeno se prate u parovima te se tako zajedno promatraju  $\bar{x}$  i  $R$  kontrolna karta te  $\bar{x}$  i  $s$  kontrolna karta. U radu će se prvo promatrati  $\bar{x}$  i  $R$  kontrolna karta te potom dodatno  $s$  kontrolna karta.

Za potrebe konstruiranja navedenih kontrolnih karata potrebno je iz procesa koji se promatra uzeti uzorke relativno male veličine. Predložena veličina uzorka jest od 3 do

6 članova u uzorku, a ukupan broj uzoraka koji će se uzimati mora biti veličine od najmanje 20 uzoraka kako bi se mogli dobiti odgovarajući rezultati odnosno dobra osnova za provođenje analize.

Nakon prikupljanja podataka i informacija iz procesa pristupa se izračunu vrijednosti potrebnih za konstruiranje odgovarajućih kontrolnih karata. Prije svega promatra se svaki uzorak zasebno te se za potrebe konstruiranja  $\bar{x}$  kontrolne karte izračunavaju prosječne vrijednosti u svakom od uzoraka, a za potrebe konstruiranja  $R$  kontrolne karte izračunavaju se rasponi varijacije za svaki uzorak. Te izračunate vrijednosti pojedinačno za svaki od uzoraka jesu, ustvari, vrijednosti točaka na kontrolnim kartama. Nakon njihova izračuna potrebno je izračunati centralnu liniju odnosno vrijednosti prosjeka procesa na temelju vrijednosti izračunatih iz uzoraka. Tako se centralna linija  $\bar{x}$  kontrolne karte izračunava pomoću izraza:

$$CL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i / k \quad (2.1)$$

gdje je  $CL_{\bar{x}}$  - centralna linija  $\bar{x}$  kontrolne karte,  $\bar{\bar{x}}$  - prosječna vrijednost prosječnih vrijednosti uzoraka,  $\bar{x}_i$  - prosječna vrijednost  $i$ -tog uzorka,  $k$  - broj uzoraka.

S druge strane, centralna linija  $R$  kontrolne karte se izračunava pomoću sljedećeg izraza:

$$CL_R = \bar{R} = \sum_{i=1}^k R_i / k \quad (2.2)$$

gdje je  $CL_R$  - centralna linija  $R$  kontrolne karte,  $\bar{R}$  - prosječna vrijednost raspona varijacije uzoraka,  $R_i$  - raspon varijacije  $i$ -tog uzorka,  $R$  - broj uzoraka.

Jedna od vrlo važnih pretpostavki prilikom konstruiranja kontrolnih karata jest pretpostavka da su promatrani procesi normalno distribuirani. Iz toga razloga vrijednosti kritičnih kontrolnih granica uobičajeno su postavljene na udaljenosti od  $\pm 3$  standardne devijacije od centralne linije procesa pa su prema tome izrazi za izračun kritičnih kontrolnih granica kod  $\bar{x}$  odnosno kod  $R$  kontrolne karte jednaki:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\hat{\sigma}_{\bar{x}} \approx \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (2.3)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\hat{\sigma}_{\bar{x}} \approx \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (2.4)$$

$$UCL_R = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R \approx D_4 \bar{R} \quad (2.5)$$

$$LCL_R = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R \approx D_3 \bar{R} \quad (2.6)$$

gdje je  $UCL_{\bar{x}}$  - gornja kritična kontrolna granica  $\bar{x}$  kontrolne karte,  $LCL_{\bar{x}}$  - donja kritična kontrolna granica  $\bar{x}$  kontrolne karte,  $\bar{\bar{x}}$  - prosječna vrijednost prosječnih vrijednosti uzo-

raka,  $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$  - procjena standardne pogreške aritmetičke sredine,  $UCL_R$  - gornja kritična kontrolna granica  $R$  kontrolne karte,  $LCL_R$  - donja kritična kontrolna granica  $R$  kontrolne karte,  $\bar{R}$  - prosječna vrijednost raspona varijacije uzoraka,  $\hat{\sigma}_R$  - procjena standardne pogreške raspona varijacije,  $A_2$ ,  $D_3$  i  $D_4$  - vrijednosti tabličnih Shewhartovih faktora.

Isti postupak koji je ranije opisan potrebno je primijeniti i prilikom konstrukcije  $s$  kontrolne karte. Tako je ponajprije potrebno izračunati standardne devijacije svakog od uzorka. Te vrijednosti standardnih devijacija uzoraka temelj su za izračun centralne linije odnosno kontrolnih granica  $s$  karte pomoću sljedećih izraza:

$$CL_s = \bar{s} = \sum_{i=1}^k s_i / k \quad (2.7)$$

$$UCL_s = \bar{s} + 3\hat{\sigma}_s \approx B_4\bar{s} \quad (2.8)$$

$$LCL_s = \bar{s} - 3\hat{\sigma}_s \approx B_3\bar{s} \quad (2.9)$$

gdje je  $CL_s$  - centralna linija  $s$  kontrolne karte,  $\bar{s}$  - prosječna vrijednost standardne devijacije uzoraka,  $s_i$  - standardna devijacija  $i$ -tog uzorka,  $k$  - broj uzoraka,  $UCL_s$  - gornja kritična kontrolna granica  $s$  kontrolne karte,  $LCL_s$  - donja kritična kontrolna granica  $s$  kontrolne karte,  $\hat{\sigma}_s$  - procjena standardne pogreške standardne devijacije,  $B_3$  i  $B_4$  - vrijednosti tabličnih Shewhartovih faktora.

Kao značajne prednosti promatranih karata mogu se navesti da omogućavaju maksimalno korištenje informacija koje se mogu dobiti iz podataka te da daju detaljnu informaciju o prosjeku i varijaciji procesa za kontrolu pojedinih dimenzija ili karakteristika kvalitete. Značajni nedostaci ovih karata jesu to da su nerazumljive dok korisnik ne prođe određenu edukaciju, mogu uzrokovati zabunu u razlikovanju granica kontrole i granica tolerancije, ne mogu se koristiti s da/ne vrstom podataka te ako se uzimaju veći uzorci ili ako varira veličina uzorka, gubi se na efikasnosti. Zbog povećanja efikasnosti umjesto  $\bar{x}$  i  $R$  kontrolne karte promatraju se  $\bar{x}$  i  $s$  kontrolna karta. Ta kombinacija kontrolnih karata koristit će se ako se uzimaju veći uzorci ( $n > 10$ ) ili ako veličina uzoraka varira jer će se time povećati efikasnost u donošenju ocjene stanja. Isto tako  $\bar{x}$  i  $s$  kontrolna karta koristit će se u procesu proizvodnje kod kojeg je trajanje operacije dulje te je prisutna veća varijabilnost podataka, a želi se upravo brzo otkriti i najsitnije promjene u procesu (Resić, 2009, str. 143-144).

### 2.3. Kontrolne karte za attribute

Od kontrolnih karata za attribute ističu se  $p$ ,  $c$  i  $np$  kontrolne karte koje će se u nastavku ukratko opisati. Pomoću  $p$  kontrolne karte, u pravilu, se promatra odnosno kontrolira ukupni broj neispravnih proizvoda u procesu. Prema tome, kod  $p$  karte moguća su samo dva modaliteta varijable kvalitete: ispravan proizvod i neispravan proizvod, čime se može napraviti poveznica s binomnom distribucijom. Prednost  $p$  kontrolne karte jest to da se traženi podaci često mogu dobiti iz kontrolnih izvještaja, lako je razumljiva za sve zaposlenike te daje sveukupnu sliku kvalitete. Međutim, nedostaci  $p$  karte jesu što ne nudi detaljnu informaciju za kontrolu pojedinih karakteristika te ne evidentira različite razine nedostataka i oštećenja.

Zbog jednostavnosti uzimaju se uzorci iste veličine, mada uzorci mogu biti i nejednake veličine, na način da prosječan broj defektnih odnosno neispravnih proizvoda po uzorku bude najmanje 5, odnosno da budu zadovoljeni uvjeti da vrijedi  $np > 5$  te  $n(1-p) > 5$ . Nakon izračunavanja vrijednosti proporcije neispravnih proizvoda u svakom od uzoraka, potrebno je izračunati prosječnu vrijednost utvrđenih proporcija odnosno vrijednost centralne linije pomoću sljedećeg izraza (pretpostavlja se da su veličine uzoraka jednake):

$$CL_p = \bar{p} = \sum_{i=1}^k p_i / k \quad (2.10)$$

gdje je  $CL_p$  - centralna linija  $p$  kontrolne karte,  $\bar{p}$  - prosječna vrijednost proporcija uzoraka,  $p_i$  - proporcija  $i$ -tog uzorka,  $k$  - broj uzoraka.

Nakon centralne linije pristupa se izračunu kontrolnih granica  $p$  kontrolne karte pomoću sljedećih izraza:

$$UCL_p = \bar{p} + 3\hat{\sigma}_p = \bar{p} + 3\sqrt{[\bar{p}(1-\bar{p})]/n} \quad (2.11)$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3\hat{\sigma}_p = \bar{p} - 3\sqrt{[\bar{p}(1-\bar{p})]/n} \quad (2.12)$$

gdje je  $UCL_p$  - gornja kritična kontrolna granica  $p$  kontrolne karte,  $LCL_p$  - donja kritična kontrolna granica  $p$  kontrolne karte,  $\bar{p}$  - prosječna vrijednost proporcija uzoraka,  $\hat{\sigma}_p$  - procjena standardne pogreške proporcije,  $n$  - veličina uzorka.

$C$  karta, za razliku od  $p$  karte, mjeri broj nedostataka po jedinici proizvoda. Vrijednosti obilježja odnosno modaliteta, u ovom slučaju, mogu poprimiti vrijednosti od nula nedostataka po jedinici proizvoda do, teorijski, plus beskonačno, čime se može napraviti poveznica s Poissonovom distribucijom vjerojatnosti. Prednosti  $c$  karte leže u tome što je lako shvatljiva za sve zaposlenike, traženi podaci često se mogu dobiti iz kontrolnih izvještaja te uz sveukupne slike kvalitete daje i mjeru manjkavosti u kvaliteti. Nedostatak je  $c$  karte u tome što ne daje detaljnu informaciju za kontrolu pojedinih karakteristika procesa (Juran i Gryna, 1999, str. 382). Uzorci koji su uzeti za potrebe konstruiranja  $c$  karte moraju biti jednakih veličina te se u svakom od njih utvrđuje ukupno brojčano stanje nepravilnosti proizvoda. Vrijednosti centralne linije procesa odnosno kritičnih kontrolnih granica izračunavaju se pomoću sljedećih izraza:

$$CL_c = \bar{c} = \sum_{i=1}^k c_i / k \quad (2.13)$$

$$UCL_c = \bar{c} + 3\hat{\sigma}_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.14)$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\hat{\sigma}_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.15)$$

gdje je  $CL_c$  - centralna linija  $c$  kontrolne karte,  $\bar{c}$  - prosječna vrijednost nedostataka uzoraka,  $c_i$  - broj nedostataka  $i$ -tog uzorka,  $k$  - broj uzoraka,  $UCL_c$  - gornja kritična kontrolna

granica  $c$  kontrolne karte,  $LCL_c$  - donja kritična kontrolna granica  $c$  kontrolne karte,  $\hat{\sigma}_c$  - procjena standardne pogreške broja nedostataka.

$Np$  kontrolna karta ima potpuno istu namjenu kao i  $p$  kontrolna karta samo što je kod nje postavljeno ograničenje prema kojemu veličine uzoraka moraju biti jednake jer se inače ona ne može primijeniti. Kada bi uzorci bili različite veličine, mijenjao bi se i položaj linije centralne tendencije što bi  $np$  kartu činilo vrlo nepreglednom i nepraktičnom (Kondić, 2004, str. 179). Podloga  $np$  kontrolne karte leži u binomnoj distribuciji. Broj uzetih uzoraka  $k$  ne bi trebao biti manji od 20. Nakon izračunavanja proporcija neispravnih proizvoda za svaki od uzoraka izračunava se centralna linija procesa odnosno kritične kontrolne granice, koje su iskazane u mjernim jedinicama proizvoda, pomoću izraza danih u nastavku:

$$CL_{np} = n\bar{p} \quad (2.16)$$

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\hat{\sigma}_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.17)$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3\hat{\sigma}_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.18)$$

gdje je  $CL_{np}$  - centralna linija  $np$  kontrolne karte,  $n$  - veličina uzorka,  $\bar{p}$  - prosječna vrijednost proporcija uzoraka,  $UCL_{np}$  - gornja kritična kontrolna granica  $np$  kontrolne karte,  $LCL_{np}$  - donja kritična kontrolna granica  $np$  kontrolne karte,  $\hat{\sigma}_{np}$  - procjena standardne pogreške.

Prednosti  $np$  kontrolne karte jesu te što se traženi podaci lako mogu dobiti iz kontrolnih izvještaja, lako je razumljiva i daje cjelokupnu sliku kvalitete. Nedostatak  $np$  karte je u tome što ne evidentira različite razine nedostataka ili oštećenja (Resić, 2009, str. 179).

## 2.4. Indeksi sposobnosti procesa

Pomoću analize sposobnosti procesa određuje se je li proces u stanju zadovoljiti svoje kupce odnosno je li proces u stanju pridržavati se određenih granica tolerancije. Osnovni indeks sposobnosti procesa jest tzv.  $C_p$  indeks. Indeks sposobnosti  $C_p$  mjeri potencijalnu sposobnost procesa, pretpostavljajući da je prosjek procesa odnosno vrijednost centralne linije procesa jednak srednjoj točki granica specifikacije. Izraz za izračun indeksa sposobnosti  $C_p$  je sljedeći:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (2.19)$$

gdje je  $USL$  - gornja granica specifikacije,  $LSL$  - donja granica specifikacije,  $\hat{\sigma}$  - procjena standardne devijacije procesa.

Ukoliko je vrijednost  $C_p$  indeksa veća od 1 tada se zaključuje da je proces u potpunosti ispunio očekivanja kupaca i njihove zahtjeve te se može reći da se proces nalazi u stanju sposobnosti. Time se proizvođaču otvara mogućnost veće zarade jer ima prostora suziti specificirani raspon tako da bude manji od onog što traže kupci te time ostvariti konku-

rentsku prednost pred drugim poduzećima. U slučaju da proces upravo dostiže granice specifikacije odnosno ako je vrijednost indeksa sposobnosti procesa  $C_p$  upravo jednaka 1, poduzeće ne bi trebalo biti zadovoljno postojećim rezultatom pogotovo zato jer u praksi prosječna vrijednost procesa i središnja točka specificiranog raspona ne moraju se podudarati. Iz toga razloga predlaže se da bi vrijednost indeksa sposobnosti  $C_p$  trebala biti jednaka najmanje 1,33 (Juran i Gryna, 1999, str. 396). Ako je vrijednost indeksa sposobnosti procesa  $C_p$  manja od jedan znači da se proces ne nalazi u stanju sposobnosti te se zbog toga zahtijeva određena akcija korekcije procesa od strane menadžmenta poduzeća.

Zbog ograničenja indeksa sposobnosti  $C_p$  prema kojem prosječna vrijednost procesa mora biti jednaka srednjoj točki raspona specifikacije, uvodi se novi indeks sposobnosti procesa  $C_{pk}$ . Indeks sposobnosti procesa  $C_{pk}$  se izračunava pod pretpostavkom da postoji jednosmjerna specifikacija odnosno izračunava se pomoću izraza:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}}\right) \quad (2.20)$$

gdje je  $USL$  - gornja granica specifikacije,  $LSL$  - donja granica specifikacije,  $\bar{x}$  - procjena prosječne vrijednosti procesa,  $\hat{\sigma}$  - procjena standardne devijacije procesa.

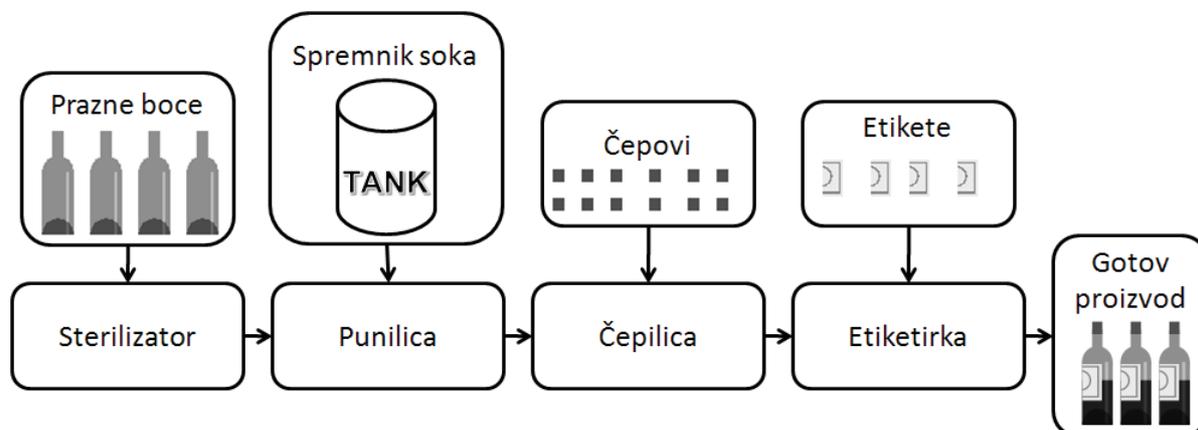
Ako je prosječna vrijednost procesa jednaka srednjoj točki specificiranog raspona, tada vrijedi da su oba indeksa sposobnosti procesa jednaka, odnosno  $C_p = C_{pk}$ . Isto kao i kod indeksa sposobnosti  $C_p$ , ako je vrijednost indeksa sposobnosti  $C_{pk}$  veća od jedan, proces se tada nalazi u stanju sposobnosti; a ako je vrijednost indeksa sposobnosti  $C_{pk}$  manja od jedan, tada se proces ne nalazi u stanju sposobnosti odnosno to znači da je širina između granica prirodne tolerancije samog procesa veća nego što je širina između granica specifikacije. Ako je vrijednost indeksa sposobnosti  $C_{pk}$  jednaka nula, znači da je proces centriran na jednoj od granica specifikacije, a ako je vrijednost indeksa sposobnosti manja od nule, znači da je proces centriran izvan granica specifikacije. Što je veća vrijednost indeksa sposobnosti procesa  $C_{pk}$ , bit će manja količina proizvoda izvan specificiranih granica tolerancije. Vrijednost indeksa sposobnosti procesa  $C_{pk}$  uvijek je manja ili jednaka indeksu sposobnosti procesa  $C_p$  (Resić, 2009, str. 205-206). Kako bi se indeksi sposobnosti procesa  $C_p$  i  $C_{pk}$  mogli koristiti potrebno je da bude zadovoljen uvjet normalnosti izmjerenih podataka u uzorku procesa koji se promatra te da se proces nalazi u stanju statističke kontrole.

### 3. PROVOĐENJE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Definiranje elemenata istraživanja

Predmet istraživanja bit će hipotetičan proizvodni proces, odnosno jedinica promatranja bit će proizvod u hipotetičnom poduzeću A, a razdoblje promatranja proizvodnog procesa bit će jedan mjesec. Potrebno je napomenuti da će se prilikom odabira hipotetičnih vrijednosti podataka za potrebe definiranja uzoraka koristiti tablica slučajnih brojeva koja je integrirana u program Microsoft Excel 2007. Budući da poduzeće A proizvodi više proizvoda, analiza primjene metoda statističke kontrole procesa će se, radi pojednostavnjenja, provoditi na jednom proizvodu. Proizvod koji će se promatrati jest voćni sirup od

jabuke X koji se nalazi u staklenoj boci od 1 litre. Dio proizvodnog procesa proizvodnje proizvoda X, koji će se promatrati u radu, prikazan je na slici 1.



Slika 1. Prikaz proizvodnog procesa proizvoda X

Primjena odgovarajućih metoda statističke kontrole procesa prikazat će se na četiri međufazna kontrolna mjesta. Prvo mjesto pogodno za provođenje kontrole procesa jest nakon procesa sterilizacije praznih staklenih boca. Provođenjem mikrokemijskog testiranja praznih boca nakon procesa sterilizacije može se ispitivati uspješnost provođenja procesa sterilizacije na način da se promatra jesu li se sterilizacijom uspjeli odstraniti svi mikroorganizmi ili je preostao određeni broj mikroorganizama na praznoj boci. Drugo mjesto u provođenju kontrole nalazi se kod punilice. Punilica puni prazne boce voćnim sirupom od jabuke s unaprijed određenom količinom od 1 litre. U procesu kontrole potrebno je ispitati puni li punilica doista boce voćnim sirupom količinom od 1 litre. Kontrola rada čepilice treće je mjesto kontrole procesa proizvodnje. Kontrolom rada čepilice provjerava se postavlja li čepilica ispravno čepove na staklenu bocu, odnosno je li staklena boca hermetički zatvorena pomoću čepa. Provjere rada etiketirke provode se na način da se provjerava je li etiketa pravilno otisnuta na odgovarajućem mjestu, jesu li svi podaci na etiketi pravilno otisnuti te je li etiketa kvalitetno otisnuta ili postoji mogućnost brzog samoodljepljivanja etikete.

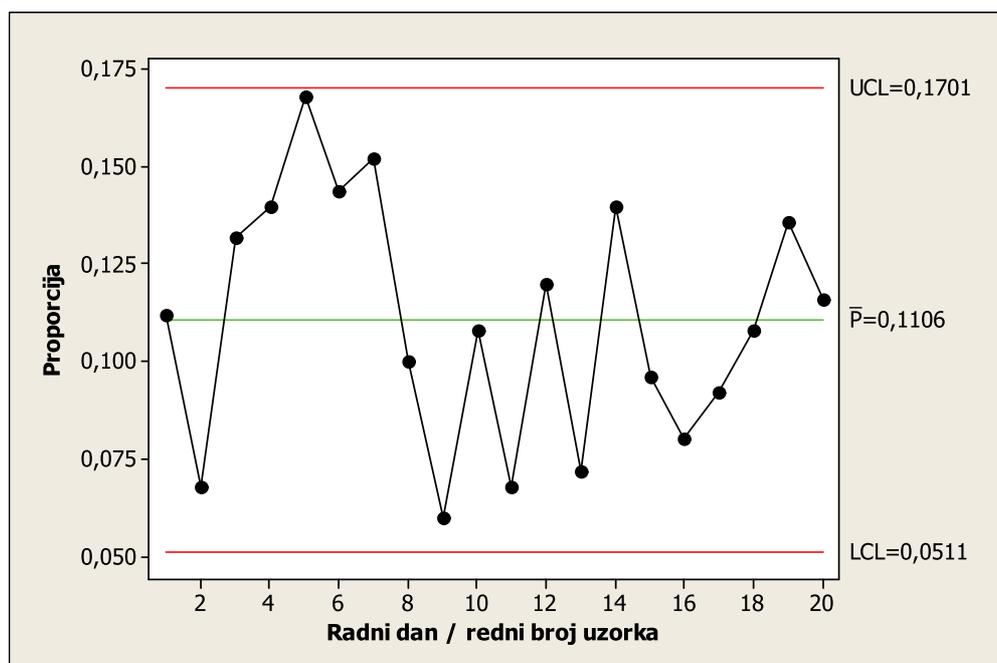
### 3.2. Analiza pomoću odgovarajućih metoda statističke kontrole procesa

Ukupno će se promatrati četiri kontrolna mjesta: sterilizator, punilica, čepilica i etiketirka. Kao prvo kontrolno mjesto promatrati će se sterilizator. Menadžment poduzeća zadao je zadatak kontrolorima da provjere ispravnost rada sterilizatora. Ako sterilizator ispravno radi, broj mikroorganizama na staklenoj boci po izlasku iz sterilizatora jednak je nula, odnosno ako staklena boca sadržava i jedan mikroorganizam, smatrat će se da je ta boca neispravna. Kako bi došli do zaključka, kontrolori su tijekom jednog mjeseca odnosno tijekom 20 radnih dana, svaki dan uzimali u slučajni uzorak po 250 praznih staklenih boca koje su netom bile obrađene u sterilizatoru. U strogo kontroliranim uvjetima u laboratoriju izvršeno je ispitivanje te su rezultati prikazani u tablici 2 u Prilogu.

U analizi se promatraju boce ovisno o njihovoj ispravnosti, odnosno vrijednosti modaliteta promatrane varijable jesu ispravna staklena boca (bez mikroorganizama) te neispra-

vna staklena boca (sadrži mikroorganizme). Dakle, u ovom slučaju riječ je o atributivnom obilježju koje može poprimiti samo dvije vrijednosti pa se u tom slučaju može primijeniti  $p$  kontrolna karta.

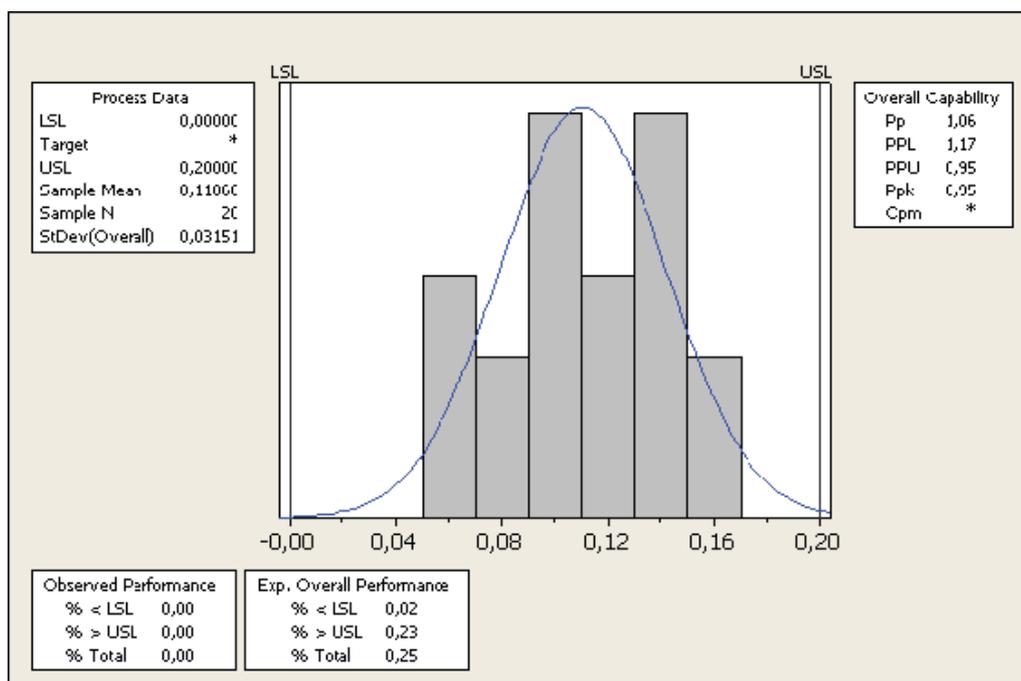
Na početku analize potrebno je ispitati ravnanju li se pojedinačne vrijednosti proporcija uzoraka prema normalnoj distribuciji. Normalnost podataka provjerit će se pomoću Shapiro-Wilk  $W$  testa. Nulta hipoteza Shapiro-Wilk  $W$  testa sadrži pretpostavku da je distribucija normalno distribuirana dok alternativna hipoteza sadrži pretpostavku da distribucija nije normalno distribuirana. U promatranom slučaju  $p$ -vrijednost Shapiro-Wilk  $W$  testa iznosi 0,662 te se na temelju toga pri razini signifikantnosti od 5% zaključuje da se nulta hipoteza testa ne može odbaciti, tj. ne može se odbaciti hipoteza da su proporcije normalno distribuirane te se stoga analiza može provesti pomoću kontrolnih karata. Budući da je zadovoljen uvjet normalnosti, pristupa se konstruiranju  $p$  kontrolne karte te je ona prikazana na slici 2. Analizom  $p$  kontrolne karte, temeljem provjere narušenosti četiri osnovna uvjeta ranije spomenutih u radu, zaključuje se da se proces nalazi u stanju statističke kontrole, drugim riječima, nije potrebno poduzimati nikakve dodatne akcije korekcije kako bi se poboljšao rad sterilizatora.



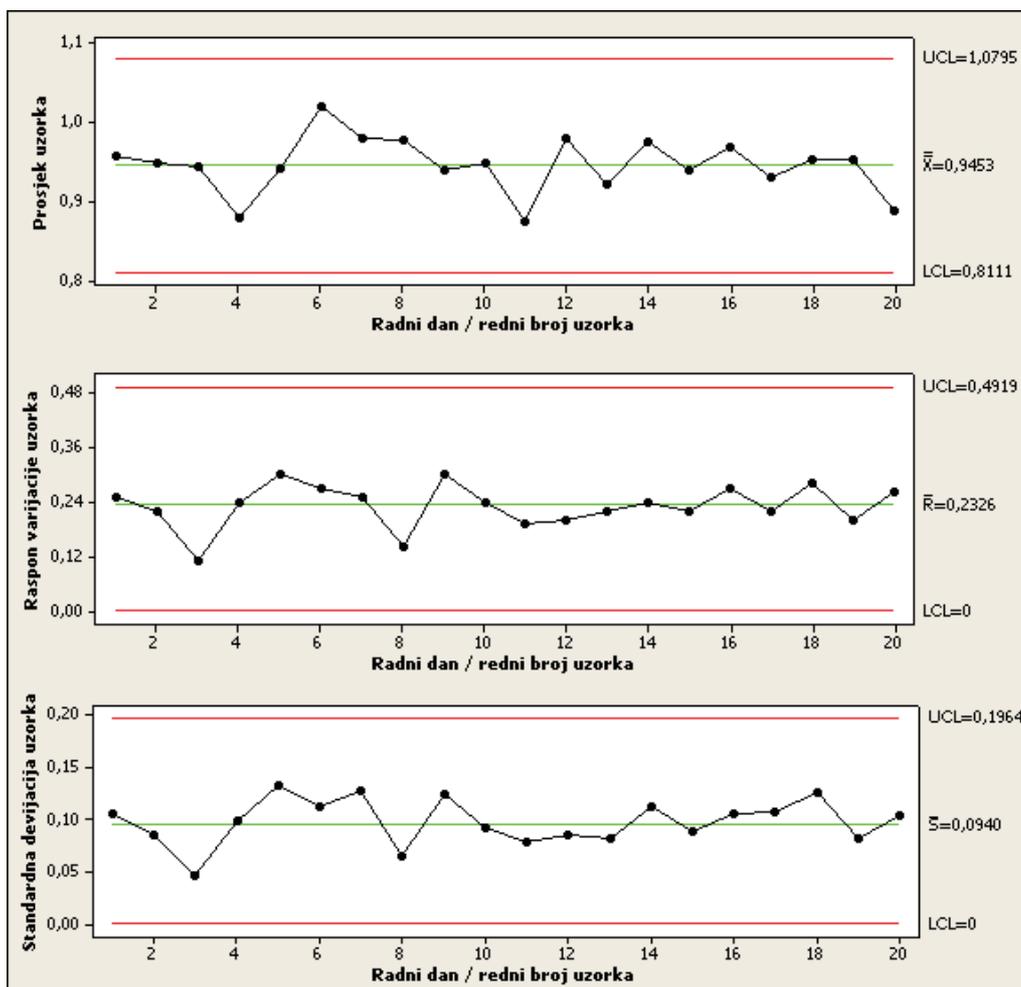
Slika 2.  $P$  kontrolna karta neispravnih praznih staklenih boca

Međutim, menadžment poduzeća želi izvršiti dodatnu provjeru rada sterilizatora ispitujući nalazi li se proces u granicama tehničke interne specifikacije prema kojem je dopušteno da maksimalno 20% praznih staklenih boca bude neispravno po izlasku iz linije sterilizatora. Budući da prosječna vrijednost proporcija u uzorku ( $\bar{p} = 0,111$ ) i ciljana vrijednost procesa nisu jednake, u analizi sposobnosti procesa koristit će se indeks sposobnosti  $C_{pk}^2$  koji se nalazi u rezultatima obrade koji su prikazani na slici 3. Budući da je indeks sposobnosti  $C_{pk}$  jednak 0,95 zaključuje se da se proces ne nalazi u stanju sposobnosti te je nužno poduzeti određene akcije korekcije na sterilizatoru kako bi se vrijednost proporcija neispravnih boca nalazila unutar specificiranih vrijednosti.

<sup>2</sup> Indeks sposobnosti procesa  $C_{pk}$  u ispisu je označen s  $P_{pk}$ .



Slika 3. Analiza sposobnosti rada sterilizatora

Slika 4. Kontrola kvalitete rada punilice uz pomoć  $\bar{x}$ ,  $R$  i  $s$  kontrolnih karata

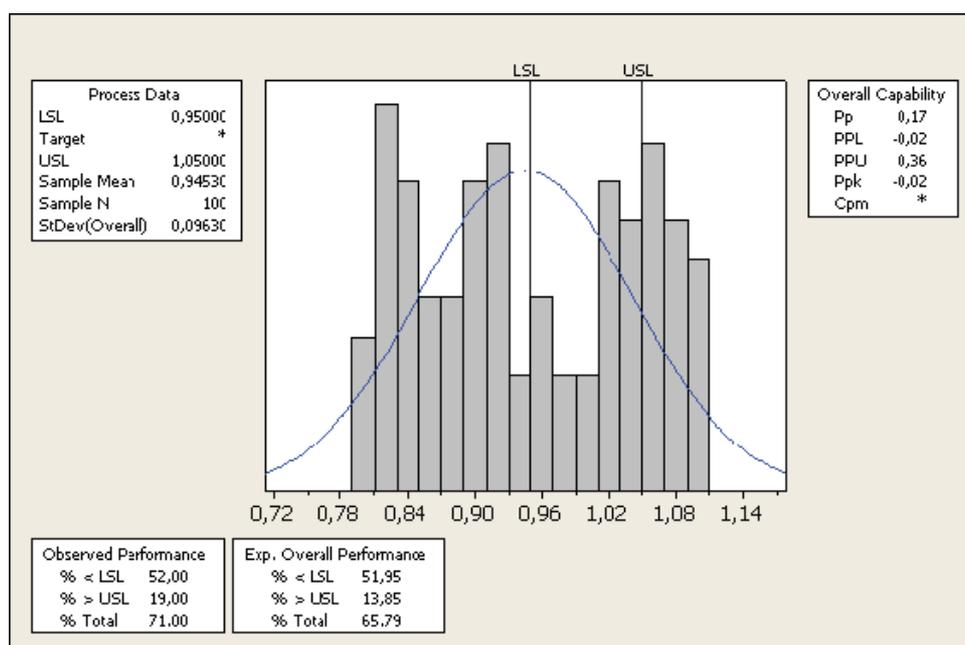
Drugo mjesto kontrole jest punilica. Prema definiranom programu punilica mora napuniti steriliziranu staklenu bocu sadržajem u količini od točno 1 litre. Pred kontrolorima je zadatak da ispituju da li punilica zaista puni boce sa sadržajem u toj zadanoj vrijednosti. Kako bi se ispitaio rad punilice tijekom 20 radnih dana, kontrolori su svaki radni dan, nasumce, uzimali po 5 napunjenih staklenih boca, zatim su mjerili količinu sadržaja u svakoj staklenoj boci te su izmjerene količine, iskazane u litrama, evidentirali. Budući da je varijabla koja se promatra (količina sadržaja u staklenoj boci) numerička kontinuirana varijabla, u analizi procesa mogu se koristiti  $\bar{x}$ ,  $R$  te  $s$  kontrolna karta. Evidencija mjerenja i izračunate komponente za potrebe izračuna navedenih kontrolnih karata predočene su u tablici 2 u Prilogu.

Provjera normalnosti prosječnih vrijednosti, raspona varijacije te standardnih devijacija uzoraka učinila se pomoću Shapiro-Wilk  $W$  testa. U sva tri slučaja zaključuje se da se, uz razinu signifikantnosti od 5%, ne može odbaciti pretpostavka da su distribucije podataka normalno distribuirane jer je provedbom testa ustanovljeno da su  $p$ -vrijednosti veće od 0,05 te se može nastaviti provedba analize odnosno mogu se konstruirati kontrolne karte te su one prikazane na slici 4 na prethodnoj stranici.

Analizom svih triju kontrolnih karata očito je da su svi zadani osnovni kriteriji odlučivanja ispunjeni te se zaključuje da je proces u stanju statističke kontrole, odnosno rad punilice ocjenjuje se ispravnim.

Zbog zahtjeva kupaca koji toleriraju odstupanje od nominalne količine sadržaja u boci u visini od najviše 0,05 litara, odlučeno je da se provjeri je li proces sposoban ispunjavati te zadane granice tolerancije. Nominalna količina sadržaja u boci je 1 litra što znači da je donja specifikacijska granica jednaka 0,95, a gornja specifikacijska granica jednaka je 1,05 litara.

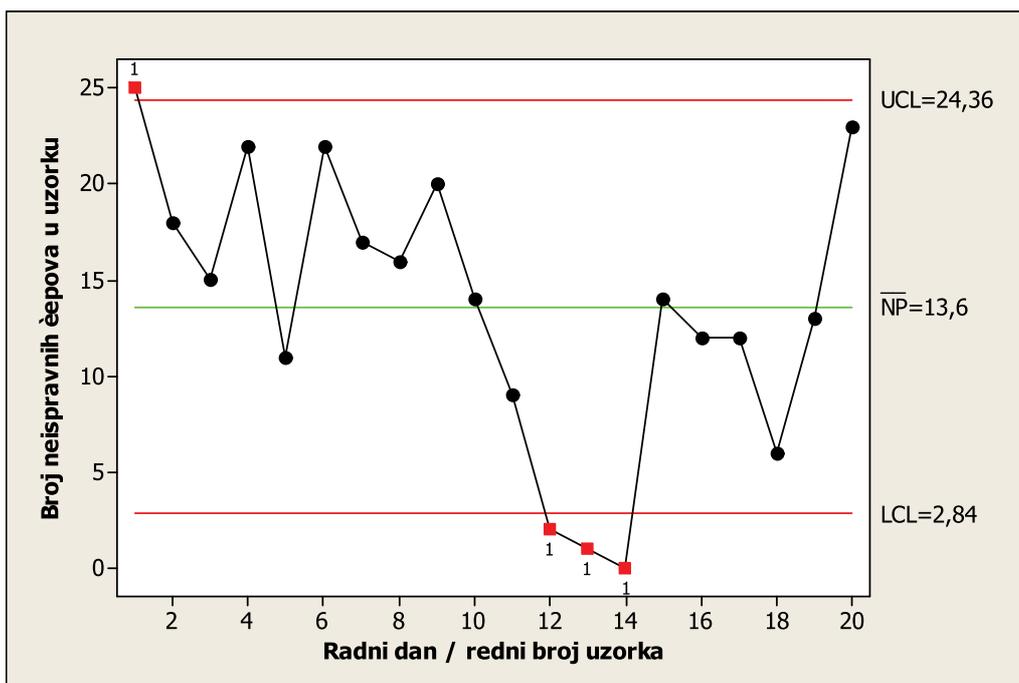
Rezultati analize pomoću indeksa sposobnosti prikazani su na slici 5. Analizom sposobnosti rada punilice ispostavilo se da punilica ne ispunjava specificirane kriterije. Zaključak se donio na temelju vrijednosti indeksa sposobnosti  $C_{pk}$  čija vrijednost iznosi -0,02, odnosno manja je od jedan.



Slika 5. Analiza sposobnosti rada punilice

Treće mjesto kontrole koje se provjerava jest čepilica. Kontrolori provjeravaju postavlja li čepilica pravilno čepove na boce na način da je boca hermetički zatvorena, odnosno da je onemogućeno izlivanje tekućine. U tijeku 20 radnih dana ukupno je obrađeno i provjereno 5000 boca, odnosno dnevno je bilo provjereno ukupno 250 boca. Odlučeno je da će se pri kontroli kvalitete koristiti  $np$  kontrolna karta. Rezultati mjerenja dani su u tablici 2 u Prilogu.

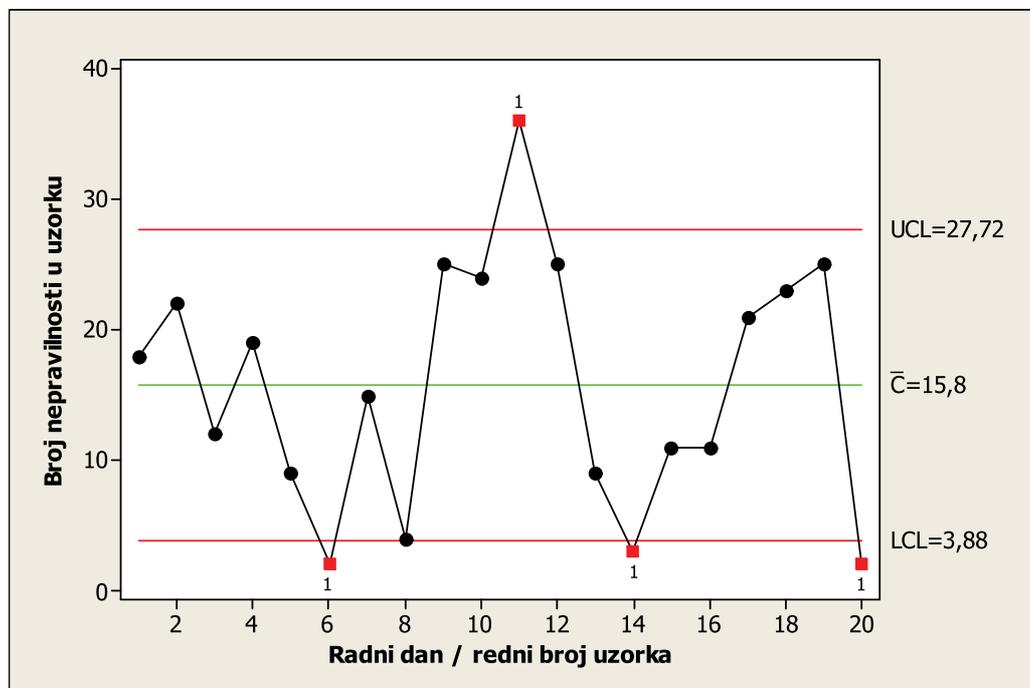
Provjera normalne distribuiranosti vrijednosti proporcija provodi se pomoću Shapiro-Wilk  $W$  testa. Budući da je  $p$ -vrijednost jednaka 0,436, testiranjem je utvrđeno da se, uz 5% signifikantnosti, ne može odbaciti pretpostavka da su pojedinačne vrijednosti proporcija uzoraka normalno distribuirane, te se može konstruirati  $np$  kontrolna karta, što je i učinjeno na slici 6. Prema konstruiranoj kontrolnoj karti zaključuje se da nije zadovoljen prvi uvjet čak četiri puta (broj neispravnih čepova u uzorku iz prvog radnog dana nalazi se iznad gornje kritične kontrolne granice te se taj broj u 12., 13. i 14. promatranom radnom danu nalazi ispod donje kritične kontrolne granice) pa se zaključuje da proces nije u stanju statističke kontrole te je stoga potrebno obaviti pregled čepilice te izvršiti određene korekcije na uređaju.



Slika 6. Kontrola kvalitete rada čepilice uz pomoć  $np$  kontrolne karte

Na kraju proizvodne linije nalazi se četvrto mjesto kontrole. Na tom mjestu promatra se ispravnost rada etiketirke. Od etiketirke se zahtijeva da etikete budu postavljene na točno određeno mjesto, da se etikete po izlasku iz linije ne odljepljuju, da ne budu poderane te da na svakoj pojedinoj boci bude točno otisnut numerički kod. Navedeni zahtjevi predstavljaju atributivna obilježja varijable nepravilnosti u radu etiketirke. Dakle, varijabla nepravilnosti u radu etiketirke može poprimiti ukupno 5 modaliteta, i to: etiketirka zadovoljava sve navedene zahtjeve, etiketirka ne ispunjava jedan zahtjev, ne ispunjava dva zahtjeva, ne ispunjava tri zahtjeva te ne ispunjava nijedan od navedenih zahtjeva. Zbog vrste obilježja i broja modaliteta koji je veći od dva u kontroli rada etiketirke koristit će se  $c$  kontrolna karta. U

tijeku 20 radnih dana kontrolori su svaki radni dan s linije etiketirke uzeli 250 boca kako bi se provjerila ispravnost rada etiketirke. Rezultati dobiveni ispitivanjem zabilježeni su u tablici 2 u Prilogu.



Slika 7. Kontrola kvalitete rada etiketirke uz pomoć  $c$  kontrolne karte

Budući da je primjenom Shapiro-Wilk  $W$  testa utvrđeno da je  $p$ -vrijednost jednaka 0,291, uz 5% signifikantnosti, ne može se odbaciti pretpostavka da su podaci normalno distribuirani te se može pristupiti konstruiranju  $c$  kontrolne karte te je ona prikazana na slici 7. Analizom je utvrđeno da nije zadovoljen prvi uvjet, odnosno čak četiri pojedinačnih vrijednosti nalazi se izvan kritičnih kontrolnih granica, što znači da se proces ne nalazi u stanju statističke kontrole, odnosno potrebno je dodatno ispitati rad etiketirke te poduzeti određene korektivne radnje.

### 3.3. Analiza troškova grešaka kvalitete

Pretpostavlja se da poduzeće A u tijeku godine može proizvesti 100.000 litara voćnog sirupa od jabuke odnosno proizvodni kapaciteti mu omogućavaju da napuni 100.000 boca proizvoda X. Proizvođačka prodajna cijena jedne boce voćnog sirupa X je 10 kuna, što znači da je maksimalni prihod od prodaje jednak 1 milijun kuna dok su ukupni troškovi vezani za proizvodnju promatranog proizvoda jednaki 500 tisuća kuna, što znači da je potencijalni ukupni profit jednak 500 tisuća kuna.

Upotrebom  $p$  kontrolne karte, kod ispitivanja rada sterilizatora, zaključeno je da sterilizator ispravno radi, ali se upotrebom indeksa sposobnosti procesa pokazalo da sterilizator ne ispunjava specificirano ograničenje. Na temelju rezultata obrade očekuje se da, ako bi se sve sterilizirane boce u proizvodnom procesu rasporedile u jednake grupe od 250 boca, 25% grupa boca ne bi zadovoljilo specificirane granice. Od tih 25% grupa boca očekuje se

da će u 2% grupa steriliziranih boca proporcija nesteriliziranih boca biti manja od donje specifikacijske granice, dok se u 23% grupa boca očekuje da će proporcija nesteriliziranih boca biti veća od gornje specifikacijske granice. Međutim, u konkretnom slučaju, od interesa nisu grupe boca veličine 250, već je u fokusu proučavanja kvaliteta rada sterilizatora. Ako sterilizator radi iznimno kvalitetno to znači da je udio nesteriliziranih boca zanemariv odnosno približno je jednak nula. No, ako sterilizator ne radi na odgovarajući način to bi značilo da on stvara dodatne nepotrebne troškove u vidu troškova grešaka kvalitete. U konkretnom slučaju, promatrani sterilizator u prosjeku u 11,06% slučajeva neće dobro sterilizirati bocu odnosno u prosjeku 11,06% boca će biti neispravno te će se ta vrijednost koristiti u daljnjoj analizi.

Nadalje,  $\bar{x}$ ,  $R$  te  $s$  kontrolna karta sugerirale su da punilica radi korektno, ali se, temeljem analize pomoću indeksa sposobnosti, pokazalo da se očekuje da će ukupno 65,79% boca koja prođu punilicu imati manje od 0,95 odnosno više od 1,05 litara sadržaja u sebi odnosno neće ispunjavati specificirani raspon. Konkretnije, očekuje se da će 51,95% boca sadržavati manje od 0,95 litara voćnog sirupa, dok se u 13,85% boca očekuje da će sadržavati više od 1,05 litara voćnog sirupa. Budući da je cilj da boce sadržavaju između 0,95 i 1,05 litara voćnog sirupa od jabuke, sve izvan tog raspona predstavlja nepotrebni trošak s gledišta analize kvalitete odnosno predstavlja trošak grešaka nekvalitete.

Pomoću  $np$  kontrolne karte ustanovljeno je da čepilica nije u stanju statističke kontrole. Kod čepilice je od interesa za poduzeće da je čep ispravno postavljen, a ako nije to znači da se javljaju nepotrebni troškovi. Na temelju analize uzoraka dobiveno je da 5,44% boca od ukupnog broja ispitivanih boca ima neispravan čep te će se taj podatak uzeti da vrijedi za sve boce koje prijeđu čepilicu. Dakle, pretpostavit će se da čepilica uzrokuje dodatnih 5,44% neispravnih odnosno nekvalitetnih proizvoda.

Na temelju  $c$  kontrolne karte zaključilo se da etiketirka nije u stanju statističke kontrole te da se, u prosjeku, na 250 boca javlja ukupno 15,8 nepravilnosti. Ako se pretpostavi najlošija varijanta odnosno ako se pretpostavi da se na svakoj boci pojavljuje samo jedna nepravilnost, tada se može procijeniti da 6,32% boca ima pogrešku u etiketi.

**Tablica 1.** Projekcija udjela ispravnosti boca

	I. faza	II. faza	III. faza	IV. faza
Sterilizator	11,06	-	-	-
Punilica	-	65,79	-	-
Čepilica	-	-	5,44	-
Etiketirka	-	-	-	6,32
% neispravnih boca	11,06	69,57	71,23	73,05
% ispravnih boca	88,94	30,43	28,77	26,95

Prema podacima iz analize proizvodnog procesa pomoću metoda statističke kontrole procesa, u tablici 1 je provedena projekcija udjela ispravnosti boca te su tako evidentirani troškovi grešaka nekvalitete za svaku proizvodnu fazu zasebno. U prvoj fazi proizvodnog procesa ustanovljeno je da je ukupno 11,06% boca neispravno dok se 88,94% boca smatra ispravnim. U ovoj fazi maksimalna očekivana dobit se smanjila za 11,06% odnosno

za 55,3 tisuće kuna što je jednako troškovima grešaka nekvalitete ove faze. U sljedećoj fazi proizvodnje kod punilice evidentirano je dodatnih 65,79% nepravilnosti kod boca što znači da se udio ispravnih boca smanjuje za taj udio te sada iznosi samo 30,43% ukupnog početnog broja boca. Troškovi grešaka nekvalitete u ovoj fazi su jednaki 292,6 tisuća kuna. U trećoj fazi proizvodnje očekivana dobit se smanjila za dodatnih 8,3 tisuće kuna jer je kod čepilice ustanovljeno dodatnih 5,44% neispravnih boca. U posljednjoj fazi proizvodnog procesa ustanovljene su dodatne nepravilnosti na 6,32% boca uslijed djelovanja etiketirke čime je smanjena očekivana dobit za daljnjih 9,1 tisuću kuna. Sukladno provedenoj analizi utvrđeno je da se ukupna vrijednost troškova nekvalitete u svim fazama proizvodnog procesa popela na 365,2 tisuće kuna.

Prema utvrđenim podacima, na kraju proizvodnog procesa samo će 26,95% boca odnosno, u ovoj fazi, gotovih proizvoda zadovoljavati standarde kvalitete dok će preostalih 73,05% gotovih proizvoda posjedovati neželjene karakteristike kvalitete te će time oni sadržavati potencijalne troškove grešaka nekvalitete. Iz navedenog proizlazi pretpostavka da će poduzeće biti u mogućnosti prodati samo proizvode koji posjeduju tražene karakteristike kvalitete te će pritom ostvariti prihod u vrijednosti od 269,5 tisuća kuna. Budući da su troškovi proizvodnje jednaki 500 tisuća kuna, poduzeće će ostvariti, ne dobit od 500 tisuća kuna kao što je to bilo planirano, već gubitak od 230,5 tisuća kuna. Time se pokazalo da troškovi grešaka nekvalitete mogu značajno utjecati na vrijednost poslovnog rezultata poduzeća te se time ujedno dokazala istraživačka hipoteza rada.

#### 4. ZAKLJUČAK

Veliku važnost u kontroli kvalitete svakako imaju metode statističke kontrole procesa, a koje obuhvaćaju kontrolne karte te indekse sposobnosti procesa. Cilj svakog procesa jest da njegove vrijednosti budu stabilne u duljem vremenskom razdoblju odnosno želi se postići da ne postoje varijacije u procesu čime bi se izbjegla nestandardiziranost konačnog proizvoda. Budući da kontrolne karte promatraju nalazi li se proces u stanju statističke kontrole, odnosno nalaze li se u procesu i posebni uzroci varijacije, ali ne promatraju kreću li se te varijacije unutar zadanih specifikacijskih granica, potrebno je analizu kontrole procesa nadopuniti indeksima sposobnosti procesa. Indeksi sposobnosti ukazuju na sposobnost procesa da varijacije procesa budu unutar specificiranih granica. Vrijednost specificiranih granica određuje ponajprije struka, ali i zahtjevi kupaca imaju važnu ulogu u njihovu definiranju.

Analiza proizvodnog procesa pomoću metoda statističke kontrole procesa omogućila je identifikaciju te kvantifikaciju troškova grešaka nekvalitete odnosno troškova proizašlih zbog nezadovoljavajuće kvalitete proizvoda čime se dokazala prva istraživačka hipoteza. U radu se daje naglasak na interne troškove grešaka nekvalitete (troškovi otpada i popravaka) te se pretpostavlja da proizvodi koji ne posjeduju tražene vrijednosti karakteristika kvalitete neće biti plasirani na tržište. Na temelju analize utvrđeno je da poduzeće neće moći ostvariti planiranu visinu dobiti nego će, ustvari, ostvariti gubitak pri čemu je ta razlika u poslovnim rezultatima značajna čime se ujedno dokazala i druga istraživačka hipoteza.

Zaključuje se da je u današnje doba globalne konkurencije kvaliteta postala glavna karakteristika prema kojoj se poduzeća međusobno razlikuju i raspoznaju. Stoga bi poduzeće

trebalo inzistirati na stalnom unapređenju kvalitete vlastitih proizvoda i proizvodnih procesa, ali uz usporedno praćenje i troškova grešaka nekvalitete jer se pokazalo da ti troškovi mogu značajno utjecati na poslovni rezultat poduzeća. Međutim, glavno ograničenje ovoga rada jest činjenica da su u analizi korišteni simulirani podaci te se stoga istraživaču nameće da u budućim istraživanjima opisane metode statističke kontrole procesa primijeni i na empirijskim podacima vezanim uz stvarno poduzeće kako bi se potvrdili rezultati istraživanja.

## LITERATURA

1. American Society for Quality, (1999), Cost of Quality, [online], dostupno na: <http://asq.org/learn-about-quality/cost-of-quality/overview/overview.html> [20.ožujka 2012.].
2. Bilke, T., Sinn, J., (2008), Bright Idea: Using SPC could help prevent the next blackout, *Quality Progress*, 41 (8), str. 20-27.
3. Gulin, D., Peršić, M., ur., (2011), *Upravljačko računovodstvo*, Zagreb: Hrvatska zajednica računovođa i financijskih djelatnika.
4. Jeang, A., (2011), Economic Production Order Quantity and Quality, *International Journal of Production Research*, 49 (6), str. 1753-1783.
5. Juran, J. M., Gryna, F. M., (1999), *Planiranje i analiza kvalitete*, 3. izd, Zagreb: Mate.
6. Kader, W. A., Ganjavi, O., Solaiman, A., (2010), An Integrated Model for Optimisation of Production and Quality Costs, *International Journal of Production Research*, 48 (24), str. 7357-7370.
7. Kane, V. E., (1986), Process Capability Indices, *Journal of Quality Technology*, 18 (1), str. 41-52.
8. Kaner, C., (1996), Quality Costs Analysis: Benefits and Risks, [online], dostupno na: [http://www.kaner.com/pdfs/Quality\\_Cost\\_Analysis.pdf](http://www.kaner.com/pdfs/Quality_Cost_Analysis.pdf) [20. ožujka 2012.].
9. Kondić, Ž., (2004), *Kvaliteta i metode poboljšanja*, Čakovec: Zrinski.
10. Lazibat, T., (2005), *Poznavanje robe i upravljanje kvalitetom*, Zagreb: Sinergija-nakladništvo.
11. McClave, J. T., Benson, P. G., Sincich, T., (2008), *Statistics for Business and Economics*, 10. izd, Upper Saddle River: Pearson Education.
12. Montgomery, D. C., (2005), *Introduction to Statistical Quality Control*, 5. izd, New York: John Wiley & Sons.
13. Montgomery, D. C., Jennings, C. L., Pfund, M. E., (2011), *Managing, Controlling, and Improving Quality*, New Jersey: John Wiley & Sons.
14. Resić, E., (2009), *Statistički metodi i modeli za kontrolu kvaliteta i unapređenje proizvodnih procesa*, Sarajevo: Ekonomski fakultet.
15. Skoko, H., (2000), *Upravljanje kvalitetom*, Zagreb: Sinergija.
16. Summers, D., (2006), *Quality*, 4. izd, Upper Saddle River: Pearson Education.
17. Tague, N. R., (2005), *The Quality Toolbox*, 2. izd, Milwaukee: American Society for Quality, Quality Press.

## PRILOG:

Tablica 2. Podaci za analizu procesa proizvodnje proizvoda X pomoću metoda statističke kontrole procesa

Radni dan/ redni broj uzorka	Sterilizator		Punilica					Čepilica		Etiketirka	
	Veličina uzorka	Broj neispravnih boca	Mjerenje 1	Mjerenje 2	Mjerenje 3	Mjerenje 4	Mjerenje 5	Veličina uzorka	Broj boca s neispravnim čepom	Veličina uzorka	Utvrđen broj nepravilnosti u uzorku
1	250	28	1,05	0,83	1,08	0,90	0,92	250	25	250	18
2	250	17	0,92	0,92	1,00	0,84	1,06	250	18	250	22
3	250	33	0,97	0,92	1,01	0,92	0,90	250	15	250	12
4	250	35	0,83	0,90	1,04	0,80	0,82	250	22	250	19
5	250	42	1,02	0,80	0,81	0,98	1,10	250	11	250	9
6	250	36	1,06	1,08	1,09	1,04	0,82	250	22	250	2
7	250	38	1,07	1,08	0,83	0,85	1,06	250	17	250	15
8	250	25	0,92	1,03	1,06	0,95	0,92	250	16	250	4
9	250	15	1,03	0,85	0,92	1,10	0,80	250	20	250	25
10	250	27	0,85	0,96	1,09	0,95	0,89	250	14	250	24
11	250	17	1,01	0,84	0,87	0,83	0,82	250	9	250	36
12	250	30	1,05	0,99	0,93	0,86	1,06	250	2	250	25
13	250	18	0,93	0,95	1,03	0,89	0,81	250	1	250	9
14	250	35	1,01	1,08	0,84	0,87	1,07	250	0	250	3
15	250	24	0,89	0,95	1,04	0,82	1,00	250	14	250	11
16	250	20	1,01	0,82	1,09	1,01	0,91	250	12	250	11
17	250	23	1,05	0,87	1,04	0,83	0,86	250	12	250	21
18	250	27	0,88	0,82	0,89	1,10	1,07	250	6	250	23
19	250	34	1,01	0,82	0,97	1,02	0,94	250	13	250	25
20	250	29	0,89	0,82	0,80	0,87	1,06	250	23	250	2