

ZNAČAJ STUDIJE PONOVLJIVOSTI I REPRODUKTIVNOSTI MERNOG SISTEMA ZA OCENU SPOSOBNOSTI PROCESA / THE IMPORTANCE OF THE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY STUDY OF THE MEASUREMENT SYSTEM FOR THE ASSESSMENT OF PROCESS CAPABILITY

Branko Štrbac¹, Borislav Savković¹, Branislav Dudic^{2,3}

¹University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Serbia,

²Comenius University Bratislava, Faculty of Management, Slovakia,

³University Business Academy, Faculty of Economics and Engineering Management, Novi Sad, Serbia.

e-mail: strbacb@uns.ac.rs, savkovic@uns.ac.rs, branislav.dudic@fm.uniba.sk

Izvorni naučni rad

<https://www.doi.org/10.58952/zr20251401472>

UDK/UDC 658.562.012.7

Sažetak

Cilj poslovanja svakog proizvodnog preduzeća je postizanje zadovoljavajućeg kvaliteta proizvoda. U novoj industrijskoj revoluciji cilj je kontrolisani i upravljati procesom konstantno, on line, kako se ne bi dozvolilo eventualni losi komadi. U oceni kvaliteta procesa statistička metoda “statistička kontrola procesa SPC” se često koristi. Ulaz za svaku ocenu, analizu, unapređenje, kontrolu je rezultat merenja tako da bi pre sprovođenja studije SPC trebalo analizirati adekvatnost primenjenog mernog sistema za određeni merni zadatak. Veoma efikasna metoda za određivanje varijabilnosti mernog sistema jeste studija ponovljivosti i reproduktivnosti GR&R. U ovom radu, na studiji slučaja, su demonstrirane ove metode u cilju ocene kvaliteta proizvoda/procesa.

Ključne reči: sposobnost procesa, merni sistem, studija ponovljivosti i reproduktivnosti

JEL klasifikacija: C12, L15, M11

Abstract

The business goal of every manufacturing company is to achieve satisfactory product quality. In the new industrial revolution, the goal is to control and manage the process constantly, on line, in order to prevent possible bad pieces. In the assessment of process quality, the statistical method “statistical process control SPC” is often used. The input for each assessment, analysis, improvement, control is the result of measurement, so before conducting the SPC study, the adequacy of the applied measurement system for a specific measurement task should be analyzed. A very effective method for determining the variability of a measurement system is the study of repeatability and reproducibility GR&R. In this paper, these methods are demonstrated in a case study in order to assess product/process quality.

Keywords: process capability, measurement system, repeatability and reproducibility study

JEL classification: C12, L15, M11

UVOD

Statistička kontrola procesa sastoji se od skupa tehnika analize kvaliteta proizvoda i usluga, a u ovom konkretnom slučaju kontrolišu se mere. Definisanje pojma kvaliteta nije jednostavno i jedna od definicija kaže da je kvalitet obrnuto proporcionalan varijabilnosti [1]. Jedan od najčešće korišćenih statističkih metoda za upravljanje kvalitetom procesa (proizvoda) je takozvana statistička kontrola procesa SPC (eng. *Statistical Process Control*). SPC je efikasna metoda za kontinuirano poboljšanje i osigurava funkcionisanje procesa u punom potencijalu. Svaki proces je izložen nizom uticajnih faktora koji mogu da proces izvedu iz specifikacijskih okvira tj. zadate tolerancije. Mnoštvo ovih faktora ima slučajan karakter pojavljivanja i njihova zbirna funkcija raspodele se mora održati u okviru zadatih tolerancijskih granica. Sposobnost procesa se iskazuje preko veličina “sposobnost procesa C_p ” koji uzima u obzir samo širenje procesa (širenje iz Gausove raspodele određeno preko standardne devijacije) i “indeksa sposobnosti procesa C_{pk} ” koji uzima u obzir i položaj centralne linije procesa u odnosu na zadata. Obe veličine treba da budu jednake ili veće od 1,33.

Rezultat merenja predstavlja osnovu spoznaje, odlučivanja, kontrolisanja i unapređenja za svaki proces. Mnogi smatraju da ako koriste kalibrisan merni instrument/sistem ne treba sumljati u validnost rezultata merenja i da sva varijabilnost koja nastaje u uzorku/seriji delova se pripisuje efektima iz proizvodnog procesa. Međutim, to nije ispravno tumačenje jer svaki merni sistem ima svoje nesavršenosti u pogledu tačnosti, ponovljivosti i/ili merne nesigurnosti i jedan deo varijabilnosti koji je sadržan u rezultatu merenja pripada upravo nešavrenosti mernog sistema [2,3]. Studija ponovljivosti i reproduktivnosti merila je efikasan alat za određivanje procentualnog udela mernog mernog sistema i proizvodnog procesa u ukupnoj varijabilnosti. Ova studija se odnosi na analizu preciznosti mernog sistema i uzima u obzir da je linearnost, stabilnost i bias mernog sistema zadovoljavajuća. Ponovljivost utvrđuje uticaj mernog instrumenta na varijaciju procesa a reproduktivnost uticaj operatera unutar varijacije sistema [4]. Treba imati na umu da se ova studija sprovodi za specifičan merni zadatak tj. cilj ove studije je da utvrdi da li je merilo adekvatno ili ne, za ocenu kvaliteta određene karakteristike kvaliteta. Ako studija pokaže da merilo nije adekvatno to ne znači da je ovo merilo neispravno nego da ne može da se koristi za taj merni zadatak. U ovom radu prikazana je jedna studija slučaja sposobnosti procesa i studija ponovljivosti i reproduktivnosti mernog sistema.

1. MATERIJALI I METODE

U cilju sprovođenja statističke kontrole procesa i ocene adekvatnosti primenjenoj mernog Sistema (merila) analiziran je proces izrade radnog komada prikazanog na slici 1. Karakteristika kvaliteta koja je analizirana je dimenzionalna spoljasnja mera $l=50^{+0,1}$ mm. Za ocenu kvaliteta korišćen je kalibrisani mikrometar sa tanjirićima rezolucije 0,01 mm. Rezolucija mikrometra poštuje pravilo 1/10 tj. da rezolucija merila je deseti deo od zadate tolerancije. Za ocenu sposobnosti procesa uzet je nasumičan uzorak od $n=125$ komada. Ali pre toga bilo je potrebno sprovesti studiju ponovljivosti i reproduktivnosti mernog sistema. Studija će pored ispitivanja ponovljivosti mernog sistema, utvrditi da li i različiti metrolozi imaju uticaj na ukupnu varijabilnost. Za sprovođenje statističkih analiza korišćen je softver Minitab 17.



Slika 1. Radni predmet u mernom zahvatu

2. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako je već rečeno, prvo se sprovodi studija ponovljivosti i reproduktivnosti mernog sistema. Prema pravilima za uspesno sprovođenje studije potrebno je nasumično iz serije uzeti uzorak od 10 komada koji će svaki od metrologa da izmeri po najmanje tri puta. Radni komadi se označavaju i metrolozi ne bi trebalo da vide oznaku. Eksperiment se sprovodi potpuno randomizirano, kako bi što više varijabilnosti bilo uključeno u studiju, i rezultati su prikazani u tabeli 1. Pravila odlučivanja na osnovu rezultata studije merila su sledeća: ako je varijabilnost koja se odnosi na merilo manja od 10 % merilo je zadovoljavajuće, ako je od 10 % do 30 % merilo je uslovno prihvatljivo (dogovor između kupca i prodavca) i ako je veće od 30 % merilo je neprihvatljivo. Ako se desi ovaj zadnji slučaj on će ukazati kupcu da rezultati merenja nisu pouzdani, odgovarajući i samim ti kupac, na bazi ovih rezultata, ne može da donese odluku o prihvatanju ili odbijanju serije.

Tabela 1. Rezultati merenja prema eksperimentu za studiju ponovljivosti i reproduktivnosti merila

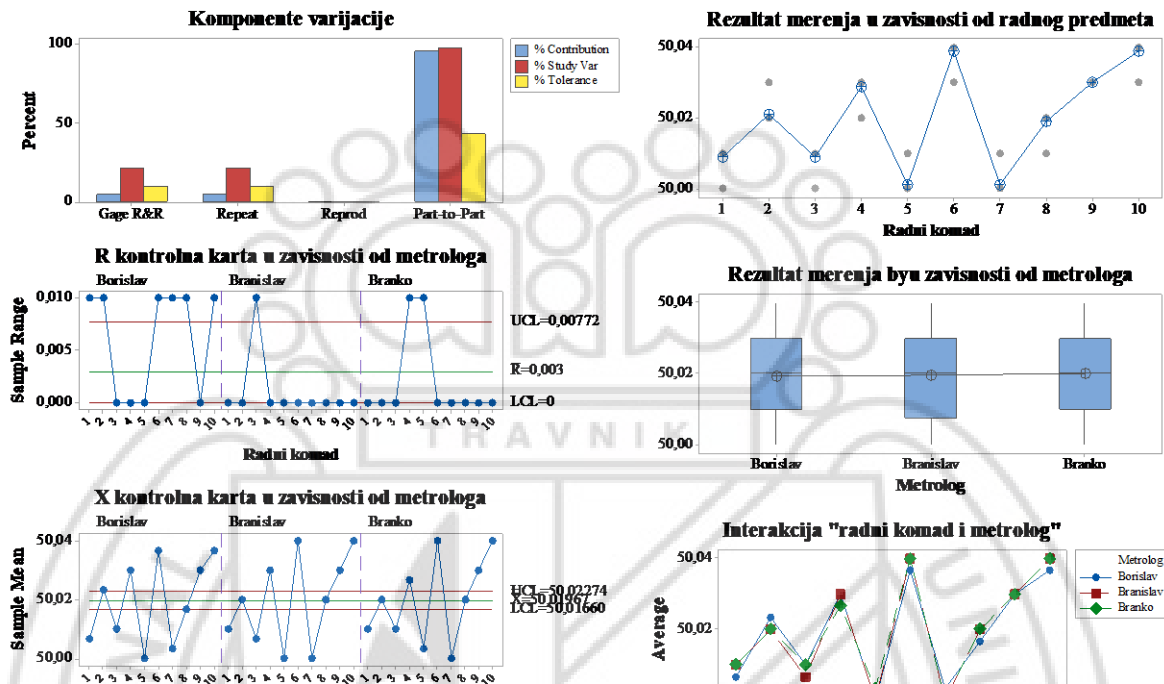
Deo	Metrolog	Branko			Borislav			Branislav		
	Ponavljanje	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
1.		50,01	50,01	50,01	50	50,01	50,01	50,01	50,01	50,01
2.		50,02	50,02	50,02	50,03	50,02	50,02	50,02	50,02	50,02
3.		50,01	50,01	50,01	50,01	50,01	50,01	50	50,01	50,01
4.		50,03	50,02	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03
5.		50	50,01	50	50	50	50	50	50	50
6.		50,04	50,04	50,04	50,04	50,03	50,04	50,04	50,04	50,04
7.		50	50	50	50,01	50	50	50	50	50
8.		50,02	50,02	50,02	50,02	50,02	50,01	50,02	50,02	50,02
9.		50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03
10.		50,04	50,04	50,04	50,03	50,04	50,04	50,04	50,04	50,04

Analiza varijanske (ANOVA) je korišćena kao metoda za ocenu ponovljivosti i reproduktivnosti merila. Grafički rezultati studije su prikazani na slici 2 (u ovom radu prikazani su samo grafička analiza iz Minitab softvera).

Studija ponovljivosti i reproduktivnosti merila

Merilo: Mikrometar sa tanjirićima
 Datum studije: 21.10.2024.

Studiju analizirao: Prof. dr Branko Šrbac
 Tolerancija: 0,01



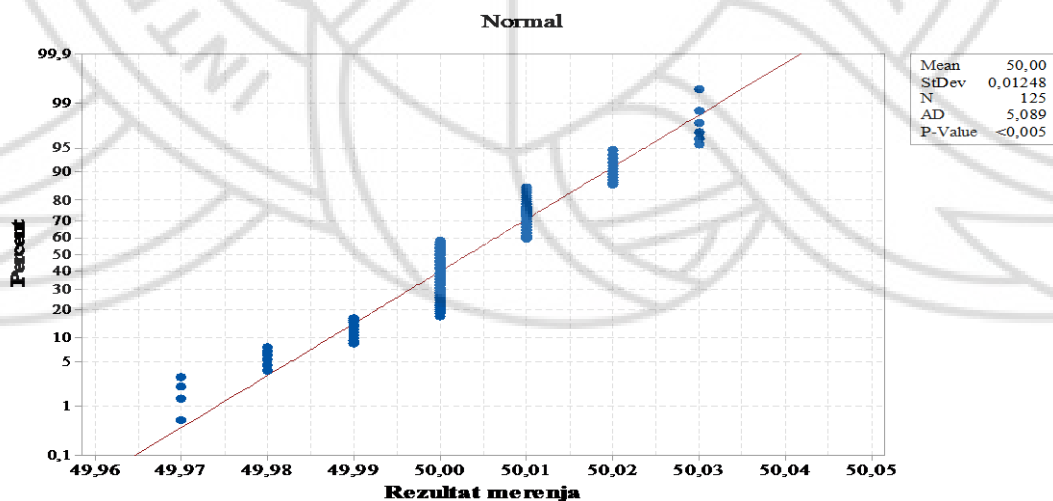
Slika 2. Studija ponovljivosti i reproduktivnosti merila

Varijabilnost merila u ukupnoj posmatranoj varijabilnosti je 21,75 % i “troši” 9,57 % procenata od dopuštene tolerancije. Uzrok ove varijabilnosti je merni sistem (ponovljivost) a uticaj operatera (reproduktivnost) je 0 %. ANOVA je pokazala da postoji statistička značajnost između mernih predmeta a da uticaj metrologa i interakcija metrologa i radnih predmeta nisu statistički signifikantni. Drugi statistički pokazatelj varijabilnosti mernog sistema je broj različitih kategorija (*ndc*). Ovaj statistički pokazatelj ukazuje na broj kategorija na koje se proces merenja može podeliti. Ova vrednost treba da bude veća ili jednaka 5 a u ovom slučaju je 6. Na osnovu svega može se zaključiti da se merilo može uslovno prihvatiti jer njegova varijabilnost je deseti deo od ukupno zadate tolerancije. Jedini problem je uočen na “R kontrolnoj karti u zavisnosti od metrologa” što svaki metrolog meri van kontrolnih granica i to ukazuje da merni sistem pokazuje osetljivost i da bi se trebalo razmisliti o poboljšanju mernog sistema

Nakon što je analizirano merilo može se pristupiti oceni sposobnosti procesa. Kako je rečeno za ovu studiju ja korišćen uzorak od 125 komada. Rezultati merenja su dati u tabeli 2. Prvo je potrebno istitati da li rezultati merenja podležu normalnoj raspodeli. Na slici 3 prikazani su rezultati analize. Sproveden je Anderson-Darling test normalnosti i na bazi p vrednosti koje je mnogo manje od pretpostavljenog praga značajnosti ($\alpha=0,05$) može se zaključiti da podaci ne podležu normalnoj raspodeli. Kada je ovo utvrđeno pri oceni sposobnosti procesa izabere se opcija u softveru da podaci nisu iz normalne raspodele. Rezultati sposobnosti procesa su dati na slici 4.

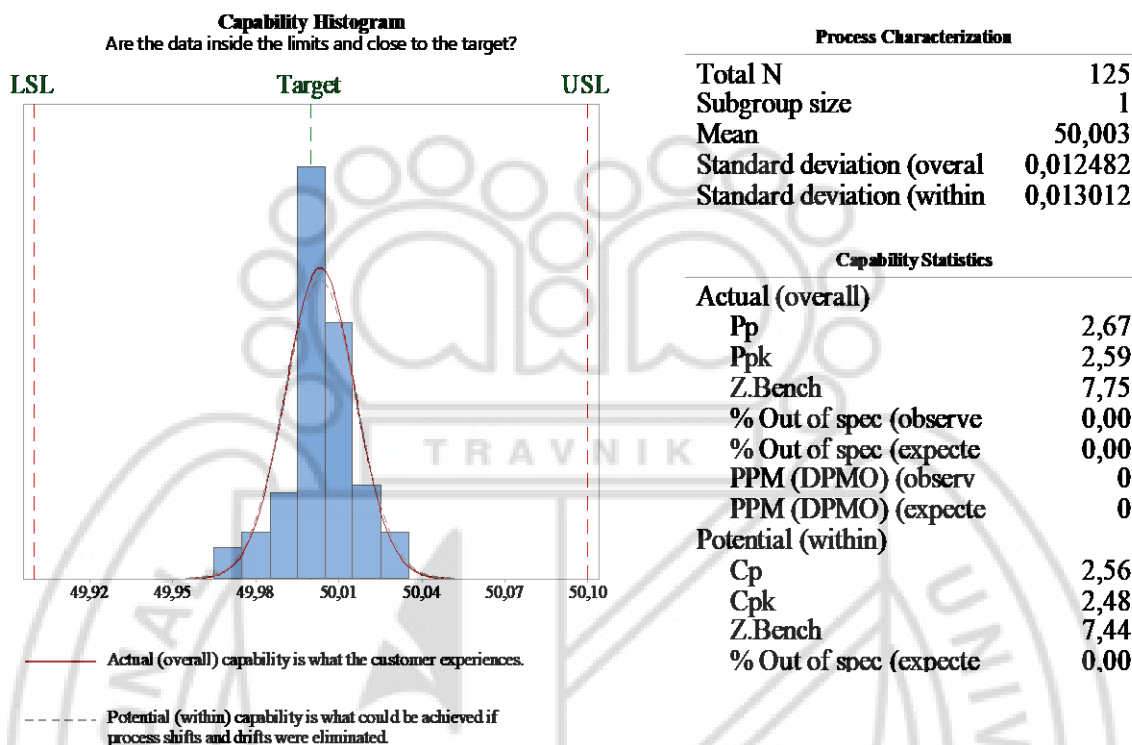
Tabela 2. Rezultati merenja za ocenu sposobnosti procesa

Radni komad	Rez. merenja	Radni komad	Rez. merenja	Radni komad	Rez. merenja	Radni komad	Rez. merenja	Radni komad	Rez. merenja
1.	50,01	26.	50	51.	50	76.	50,01	101.	50,01
2.	50	27.	50,01	52.	50,01	77.	50	102.	50
3.	50,03	28.	49,99	53.	50	78.	50	103.	50
4.	50	29.	50	54.	50,01	79.	50,01	104.	50,01
5.	50,01	30.	50,01	55.	50	80.	49,98	105.	50
6.	50	31.	49,99	56.	50,02	81.	50,01	106.	49,99
7.	50,02	32.	50	57.	49,99	82.	50	107.	50
8.	50,01	33.	50,02	58.	50	83.	50,01	108.	50,01
9.	50	34.	50,02	59.	50	84.	50	109.	50,01
10.	50,01	35.	50	60.	50,01	85.	49,98	110.	50
11.	49,98	36.	50,01	61.	50	86.	50	111.	50,02
12.	50	37.	50	62.	49,97	87.	50	112.	50,02
13.	49,99	38.	49,99	63.	50	88.	50,01	113.	50,01
14.	50	39.	50	64.	50,01	89.	50	114.	50
15.	49,99	40.	50	65.	50	90.	49,98	115.	50,01
16.	50	41.	49,99	66.	50,02	91.	50,01	116.	50
17.	50,03	42.	50	67.	50,01	92.	50	117.	50
18.	50,02	43.	50,03	68.	50	93.	50	118.	50,01
19.	50	44.	50	69.	50,01	94.	49,98	119.	50,03
20.	49,98	45.	50,03	70.	50	95.	50	120.	50
21.	50	46.	50,01	71.	49,99	96.	50,01	121.	50,03
22.	50	47.	50	72.	50,01	97.	49,97	122.	50,02
23.	50,01	48.	49,97	73.	50,02	98.	50,01	123.	50
24.	50,02	49.	50,02	74.	49,97	99.	50	124.	50
25.	50,01	50.	50	75.	50,01	100.	49,99	125.	49,99



Slika 3. Rezultati Anderson-Darling testa normalnosti

Capability Analysis for Rezultat mer Process Performance Report



Slika 4. Studija sposobnosti procesa

Sa slike 4 se može zaključiti da srednja vrednost procesa razlikuje od ciljane vrednosti ali da nepostoje delovi koji su van granica procesa. Tumače se rezultati iz “Actual (overall)” prikaza, gde Pp i Ppk vrednosti predstavljaju naše indekse Cp i Cpk, razlog za ovakvo tumačenje je zbog sistemskih postavki softvera za američko tržište. Obe vrednosti su veće od graničnih tako da se može izvući opšti zaključak da je process stavljan i pod kontrolom.

ZAKLJUČAK

Sprovedena studija pokazuje značaj analize sposobnosti procesa kao statističkog alata za praćenje i obezbeđenje kvaliteta proizvedenih radnih komada koji će zadovoljiti propisane specifikacije. Smanjenje odstupanja od zadate vrednosti (cilj T) utiče na smanjenje gubitaka u procesu proizvodnje. To je željeni cilj prema današnjim savremenim teorijama poboljšanja kvaliteta. Pre sprovođenja studije sposobnosti procesa posebna pažnja je posvećena mernom sistemu. Analiza mernog sistema pokazala je da posmatrani merni sistem ima sve potrebne karakteristike da se sa sigurnošću koristi za prikupljanje podataka u studiji sposobnosti procesa. Analiza dobijenih rezultata iz studije sposobnosti procesa pokazala je da posmatrani proces ima dobru stabilnost, odnosno da je opseg 6σ u granicama specifikacije, i dobru centriranost jer je vrednost Cpk indeksa približno jednaka vrednosti Cp indeksa.

REFERENCE

6. Zanobini, A., Sereni, B., Catelani, M., & Ciani, L. (2016). Repeatability and reproducibility techniques for the analysis of measurement systems. *Measurement*, 86, 125-132.
7. Štrbac, B., Hadžistević, M. (2023): Metode planiranja i obrade eksperimenta, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, ISBN: 978-86-6022-598-8.
8. Štrbac, B., Ranisavljev, M., Zeljković, M., Knežev, M., & Hadžistević, M. (2021, May). Supplement to the Standard VDI/DGQ 3442 with Gage R&R Study. In *International Conference "New Technologies, Development and Applications"* (pp. 350-356). Cham: Springer International Publishing.
9. Burdick, R. K., Borror, C. M., & Montgomery, D. C. (2003). A review of methods for measurement systems capability analysis. *Journal of Quality Technology*, 35(4), 342-354.