



(rad po pozivu)

ISPITIVANJE, ANALIZA I OCENA SPOSOBNOSTI PROCESA - PRETPOSTAVKA UNAPREĐENJA KVALITETA?

RESEARCH, ANALYSIS AND EVALUATION OF PROCESS CAPABILITY – PRECONDITION FOR QUALITY IMPROVEMENT?

dr Miodrag Lazić¹⁾

Rezime: Ispitivanje i analiza mogućnosti i sposobnosti procesa je ispitivanje rasipanja i raspodele karakteristika procesa sa ciljem ocene sposobnosti procesa za izradu proizvoda u granicama rasipanja utvrđenim tehničkim zahtevima. U automobilske industriji, kosmičkoj tehnici, elektronici, industriji hrane i medicinske industriji potrebno je koristiti indekse - pokazatelje mogućnosti (sposobnosti) procesa kao osnovne kriterijume analize i ocene procesa. Pokazatelji sposobnosti procesa su pogodan bezdimenzionalni sistem pokazatelja, na jeziku koji je lako razumeti.

U radu je prikazana suština i značaj metodologije ispitivanja, analize i ocene sposobnosti procesa (opreme) kao jedne od polaznih tačaka u procesima kontinualnih unapređenja. Poseban naglasak je dat na osnovne pokazatelje sposobnosti procesa, pre svih na indeks potencijala (rasipanja) i sposobnosti (podešenosti) procesa.

Ključne reči: Sposobnost procesa, Pokazatelji sposobnosti, Indeks potencijala, Indeks sposobnosti

Abstract: Research and analysis of ability and capability of process is research of dissipation and distribution of characteristics of process with the main goal to evaluate ability of process for production in limits of dissipation defined by technical requests. In automotive industry, space technology, electronic, food industry and medical industry we use indexes - ability indexes of process as a basic criteria for analysis and evaluation of processes. Ability indexes of process are appropriate non-dimensional system of indexes, on very understandable language.

The essence and importance of research methodology, for analysis and evaluation of ability of process (equipment) is presented in this paper. This is a starting point in process of continual improvement. The special emphasize is on general indexes of process ability, index of potential (dissipation) and index of ability (adjustment) of process.

Key words: Process ability, Ability index, Index of potential, Index of ability

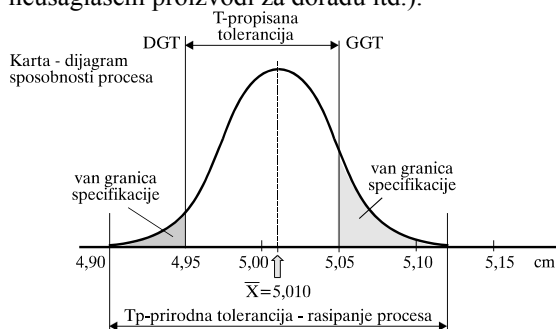
1. UVODNE NAPOMENE

Ocena mogućnosti (sposobnosti) procesa je ocena varijacija (rasipanja) i podešenosti procesa u stanju statističke kontrole (slika 1). Ako podaci slede normalnu raspodelu sposobnost se definiše terminom »rasipanje« procesa i meri prirodnom tolerancijom $T_p = 6 \cdot \sigma$ gde rasipanje sadrži 99,73 % usaglašenih proizvoda. Pojam mogućnosti procesa se koristi za utvrđivanje racionalnih tehničkih zahteva proizvodnje, usaglašavanjem varijacija procesa i utvrđenih odstupanja karakteristika proizvoda.

Sposobnost procesa se češće ispituje, analizira i ocenjuje korišćenjem pokazatelja sposobnosti kao što su: indeks potencijala ili preciznosti procesa C_p (mera rasipanja procesa) i indeks sposobnosti - tačnosti C_{pk} (mera podešenosti procesa). Ako podaci uključuju i atribut (procenat neusaglašenih jedinica proizvoda, broj neusaglašenosti na jedinicu proizvoda...) sposobnost procesa može biti utvrđena kao srednji procenat neusaglašenih jedinica proizvoda, srednji broj neusaglašenosti... Kvalitativno predstavljanje (kvantifikacija) rasipanja i podešenosti procesa su osnova za analizu nivoa kvaliteta proizvoda u svakoj proizvodnji. Zavisno od karakteristika procesa, dijagrami rasipanja (slika 1) mogu ukazati na

1) Dr Miodrag Lazić, redovni profesor, Mašinski fakultet u Kragujevcu

kvalitet procesa i druge karakteristike (škart, neusaglašeni proizvodi za doradu itd.).



Slika 1 - Primer stvarnog rasipanja procesa

Analiza sposobnosti procesa ili opreme se izvodi sa ciljem ocene usaglašenosti parametara procesa ili opreme sa zahtevima kvaliteta definisanim *crtežima, specifikacijama, u procesu proizvodnje i u probnoj proizvodnji*, pre i na početku serijske proizvodnje, ali i u cilju identifikovanja karakteristika procesa potrebnih za projektovanje mera i primenu metoda i tehnika unapređenja kvaliteta. Kroz analizu i ocenu sposobnosti procesa (opreme) se formira odgovor na pitanje: *da li su operacija (proces), radnik-operator, mašina, alat i pribor u stanju da obezbede zahtevani nivo kvaliteta proizvoda?*

2. ANALIZA I OCENA SPOSOBNOSTI PROCESA

Statističko praćenje i ocena sposobnosti procesa može da obuhvati:

- *statističko praćenje prvog uzorka,*
- *ocenu sposobnosti prethodnog procesa - nulte serije i*
- *ocenu sposobnosti tekućeg - aktivnog procesa.*

Statističko praćenje prvog uzorka se izvodi sa ciljem provere: *podešenosti opreme i procesa i uspešnosti - nivoa kvaliteta prvog uzorka.* Primenjuje se na radnim mestima na kojima se izrađuju skuplji proizvodi, proizvodi značajnijih serija i proizvodi sa strogo definisanim odstupanjima - tolerancijama

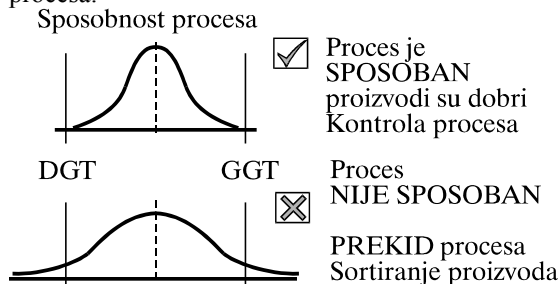
Ocena **sposobnosti prethodnog procesa - nulte serije** obezbeđuje: *proveru izbora proizvodne opreme (podešavanja i/ili zamene opreme), procesa (podešavanja i/ili izmene procesa), ocenu sposobnosti prethodnog procesa, utvrđivanje kontrolnih granica tekućeg procesa i verifikaciju kvaliteta proizvoda.*

Statističko praćenje i **ocena sposobnosti tekućeg procesa** (u toku proizvodnje) omogućuje verifikovanje prihvatljivosti: *proces, karakteristika proizvoda i metoda i postupaka kontrole proizvodnje.*

Za ocenu sposobnosti procesa i opreme koriste se tri metode:

- *metod dijagrama rasipanja,*
- *metod kontrolnih karata i*
- *metod indeksa - pokazatelja sposobnosti procesa.*

Dijagram rasipanja (slika 2), formiran na bazi statističke obrade prikupljenih podataka, jasno ukazuje na mogućnost analize i ocene sposobnosti procesa.



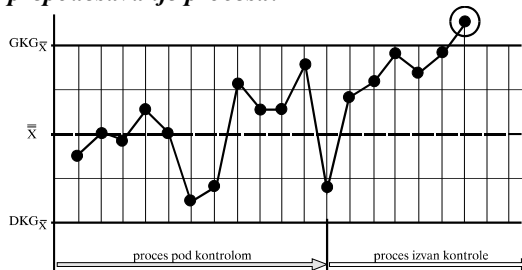
Slika 2 - Ocena sposobnosti procesa preko dijagrama rasipanja

2.1 Metod kontrolnih karata

Sušтина metoda kontrolnih karata za praćenje, analizu i ocenu sposobnosti prethodnog procesa i monitoring sposobnosti tekućeg procesa se ogleda u formiranju kontrolne karte, analizi karte i utvrđivanju odgovarajućih ocena i zaključaka. Analiza sposobnosti (slika 3) dovodi do dve ocene stanja procesa:

- *proces pod statističkom kontrolom ili*
- *proces izvan statističke kontrole (slika 4).*

Proces je pod statističkom kontrolom ako se 2/3 vrednosti kontrolisanih parametara (tačaka) nalazi unutar centralne trećine kontrolne karte, u zoni širine $\pm \square$ oko centralne linije. Praćenjem procesa blagovremeno se utvrđuje operacija, mesto i trenutak kada dolazi do poremećaja. Taj trenutak odgovara prelasku parametra izvan jedne od kontrolnih granica (slike 3 i 4). U trenutku kada karakteristika kvaliteta izađe van kontrolnih granica neophodno je izvesti **podešavanje** ili **prepodešavanje procesa**.

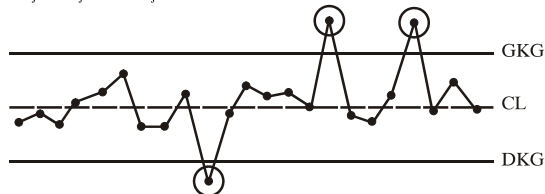


Slika 3 - Dve osnovne ocene stanja procesa

Proces van statističke kontrole nastaje u slučajevima poremećaja, sa ili bez karakterističnog trenda promene vrednosti karakteristika kvaliteta (slike 4 i 5). Najčešće je to: *pojava 7 ili više uzastopnih tačaka sa jedne ili druge strane*

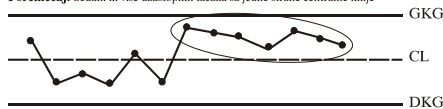
centralne linije, pojava 7 ili više uzastopnih tačaka sa jedne ili druge strane centralne linije koje pokazuju trend rasta ili opadanja vrednosti karakteristike kvaliteta, naizmenični trend rasta ili opadanja vrednosti tačaka (ciklusi), približavanje vrednosti karakteristika kvaliteta (tačaka) centralnoj liniji, približavanje tačaka kontrolnim granicama i sl.

Proces van kontrole - pojava tačaka van kontrolnih granica. Postoje značajni uzroci koje treba identifikovati i otkloniti.



Slika 4 - Proces van statističke kontrole

Poremećaj: Sedam ili više uzastopnih tačaka sa jedne strane centralne linije

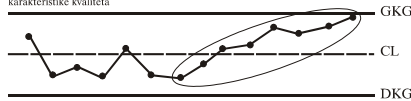


Mogući uzroci pojave

- \bar{X} - karta
1. Neispravna merna opreme
 2. Promena materijala
 3. Promena postupka rada
 4. Promena radnika
 5. Promena mašine

- R - karta
1. Neispravna merna opreme
 2. Promena materijala
 3. Promena radnika
 4. Promena mašine
 5. Nepravilno održavanje

Trend: Sedam ili više uzastopnih tačaka pokazuje trend rasta ili opadanja karakteristike kvaliteta

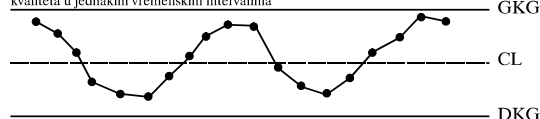


Mogući uzroci pojave

- \bar{X} - karta
1. Habanje alata
 2. Kvar mašine
 3. Promena mikroklimata
 4. Zamor radnika

- R - karta
1. Habanje alata
 2. Promena materijala
 3. Zamor radnika

Ciklusi: Naizmenični trendovi rasta i pada vrednosti karakteristike kvaliteta u jednakim vremenskim intervalima

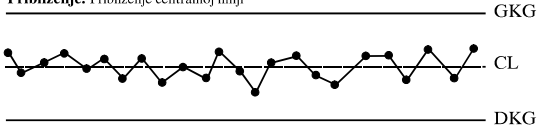


Mogući uzroci pojave

- \bar{X} - karta
1. Promena temperature
 2. Promena vlažnosti
 3. Zamor radnika

- R - karta
1. Habanje alata
 2. Zamor radnika

Približenje: Približenje centralnoj liniji

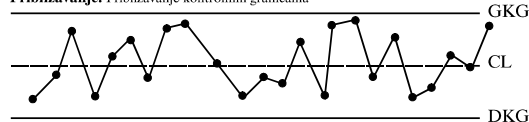


Mogući uzroci pojave

- \bar{X} - karta
1. Poboļšani proces
 2. Proces pod kontrolom
 3. "Štimovani" podaci

- R - karta
1. Uzorci iz različitih procesa
 2. Proces pod kontrolom
 3. Poboļšani proces

Približavanje: Približavanje kontrolnim granicama



Mogući uzroci pojave

- \bar{X} - karta
1. Podaci iz različitih procesa
 2. Različite mašine
 3. Različiti kvalitet materijala

- R - karta
1. Promene radnika
 2. Različiti kvalitet materijala

Slika 5 - Analiza i ocena sposobnosti procesa metodom kontrolnih karata

2.2 Indeksi sposobnosti procesa

Pet pokazatelja sposobnosti procesa i opreme C_p , CPU , CPL , k i C_{pk} predstavljaju potpun skup pokazatelja ocene sposobnosti - kvaliteta procesa (tabela 1).

Tabela 1 - Pet pokazatelja sposobnosti procesa

Pokazatelj	Zavisnost	Naziv
C_p	$\frac{GGT - DGT}{6 \cdot \sigma}$	Potencijal procesa
CPU	$\frac{GGT - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}$	Pokazatelj sposobnosti procesa u odnosu na gornju granicu odstupanja
CPL	$\frac{\bar{X} - DGT}{3 \cdot \sigma}$	Pokazatelj sposobnosti procesa u odnosu na donju granicu odstupanja
k	$\frac{2 \cdot m - \bar{X} }{GGT + DGT}$	Koeficijent odstupanja srednje vrednosti procesa od sredine tolerantnog polja
C_{pk}	$\min\{CPL, CPU\} = (1 - k) \cdot C_p$	Indeks sposobnosti procesa

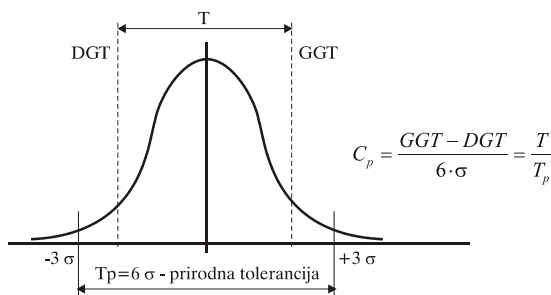
Mnoge Japanske kompanije u različitim industrijskim granama primenjuju svih 5 pokazatelja. Široko se koriste ne samo za ocenu procesa, već i za donošenje odluke o kupovni proizvoda. U osnovi interesantni su indeksi C_p i C_{pk} , primenjeni u Japanu (Sullivan 1984.) i automobilske industriji SAD (Ford od 1984.). To znači da se sposobnost procesa, sistema, stanje opreme i sl., najčešće, ocenjuje korišćenjem dva indeksa:

- indeksa potencijala C_p za proces i C_m za opremu i
- indeksa sposobnosti C_{pk} za proces i C_{mk} za opremu.

Procesi (oprema) je sposoban ukoliko su precizni i tačni ili kada su indeksi:

- preciznosti $C_p \geq 1,33$ (atributivna ocena: precizan) i
- tačnosti $C_{pk} \geq 1,33$ (atributivna ocena: tačan).

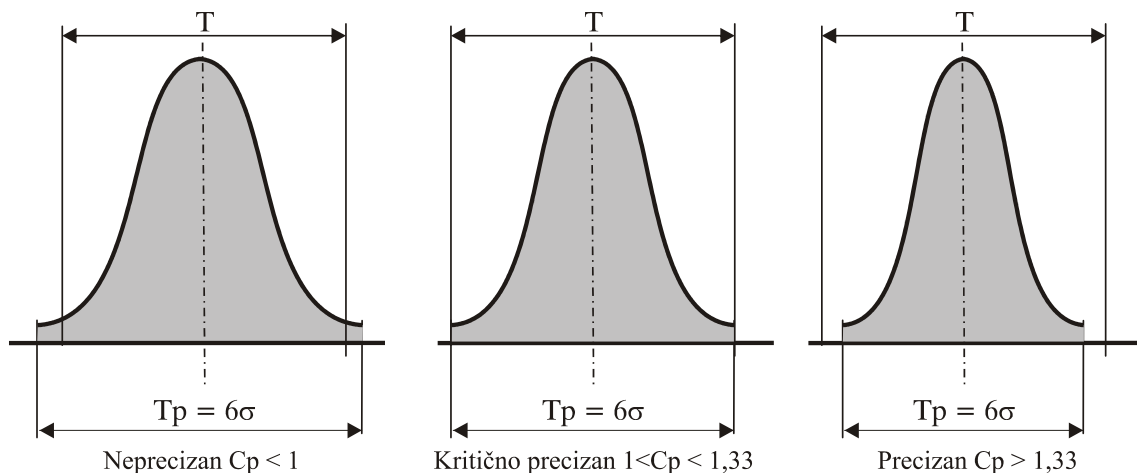
Indeks potencijala procesa (slika 6) je odnos propisane (T) i prirodne (nominalne) tolerancije ili rasipanja procesa (T_p).



Slika 6 - Indeks potencijala procesa

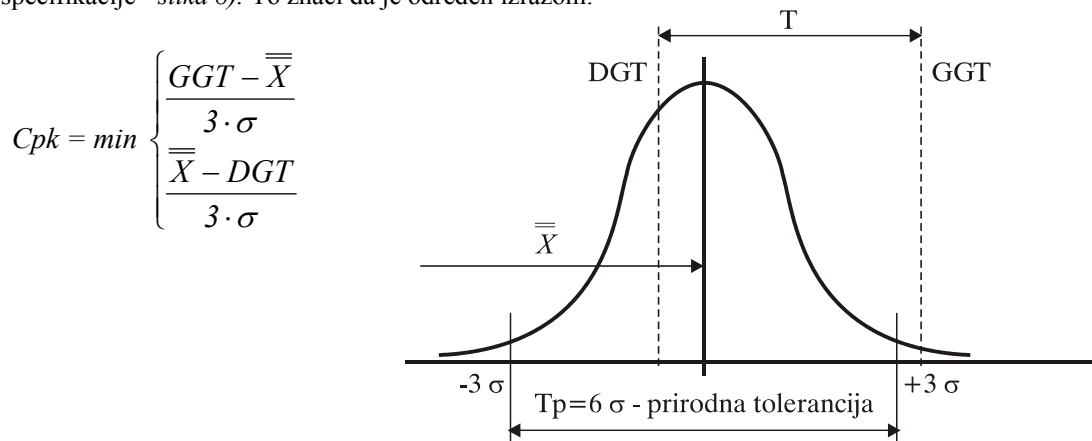
Indeks potencijala procesa C_p ukazuje na preciznost i rasipanje procesa, pa se često naziva i **indeksom preciznosti**. U zavisnosti od vrednosti C_p proces (oprema, slika 7) se ocenjuje kao:

- neprecizan $C_p < 1$,
- kritično precizan $1 < C_p < 1,33$ i
- precizan $C_p \geq 1,33$.



Slika 7 - Ocena potencijala procesa preko indeksa C_p

Indeks sposobnosti procesa ukazuje na podešenost procesa (položaj procesa u odnosu na granice specifikacije - slika 8). To znači da je određen izrazom:



Slika 8 - Položaj procesa u odnosu na granice specifikacije

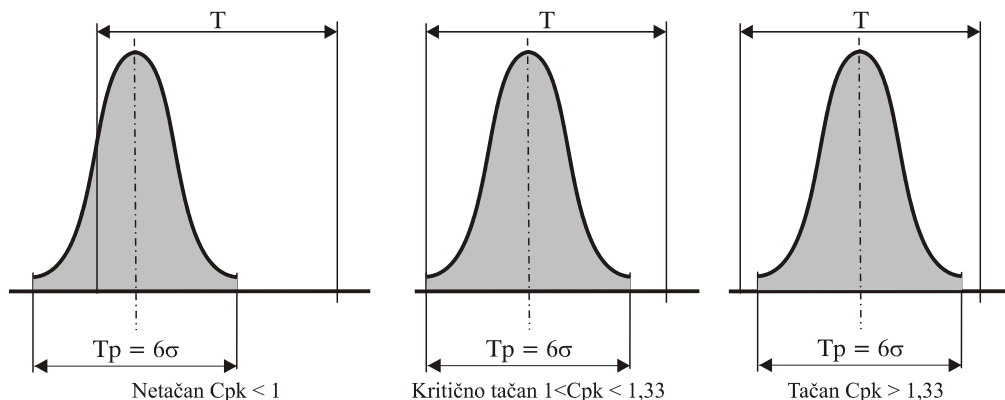
Indeksom C_{pk} se normira rastojanja sredine procesa i bliže granice tolerancije - specifikacije (definisanog koeficijentom k), tako da se može prikazati i relacijom:

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

Indeks sposobnosti C_{pk} ukazuje na tačnost (podešenost) procesa i opreme (slika

9) i često se naziva **indeksom tačnosti**. U zavisnosti od vrednosti C_{pk} proces (oprema) se ocenjuje kao:

- netačan $C_{pk} < 1$,
- kritično tačan $1 < C_{pk} < 1,33$ i
- tačan $C_{pk} \geq 1,33$.



Slika 9 - Ocena podešenosti procesa preko indeksa Cpk

Pokazatelji sposobnosti su pogodan bezdimenzionalni sistem pokazatelja sposobnosti procesa. Zato su oblasti primene pokazatelja značajne, kao na primer:

- *Prevenција pojave škarta.*
- *Neprekidno unapređenje i usavršavanje.*
- *Utvrđivanje prioriteta unapređenja i usavršavanja.*
- *Analiza i ocena rasipanja i podešenosti procesa i opreme.*
- *Provera sposobnosti proizvodnog sistema i sl.,*

posebno ako se ima u vidu da predstavljaju opšti jezik komunikacije među stručnjacima.

Tabela 2 - Rezultati merenja prečnika osovine 22^{+0,3} mm

r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost
1	21,96	9	21,98	17	21,97	25	21,98
2	21,96	10	21,97	18	21,97	26	21,96
3	21,96	11	21,97	19	21,96	27	21,97
4	21,98	12	21,97	20	21,96	28	21,97
5	21,99	13	21,97	21	21,96	29	21,96
6	21,97	14	21,96	22	21,99	30	21,96
7	21,97	15	21,98	23	21,96		
8	21,96	16	21,96	24	21,97		

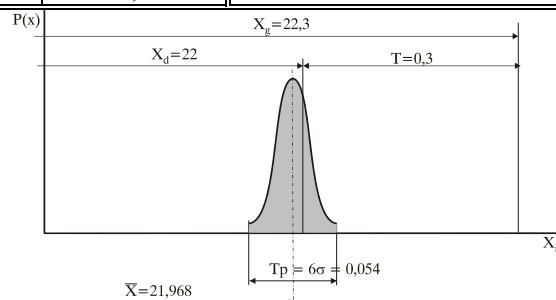
Na osnovu rezultata merenja izračunati su parametri raspodele rezultata merenja: $\bar{X} = 21,968$, mm, $\sigma = 0,009$, mm i $R = X_{max} - X_{min} = 21,99 - 21,96 = 0,03$, mm, tako da su odgovarajuće tolerancije: **propisana**: $T = 0,3$, mm i **prirodna**: $T_p = 6 \cdot \sigma = 6 \cdot 0,009 = 0,054$, mm, dok su **indeksi sposobnosti procesa (opreme)**:

» **indeks potencijala procesa:**

$$C_p = \frac{T}{T_p} = \frac{0,3}{0,054} = 5,55 > 1,33$$

3. OCENA PROCESA PREKO INDEKSA SPOSOBNOSTI

Za ilustraciju ocene sposobnosti procesa i opreme primenom pokazatelja sposobnosti procesa može poslužiti praktični primer izrade osovine nominalnog prečnika 22^{+0,3}, mm u uslovima serijske proizvodnje. Merenje prečnika osovine izvedeno je na uzorku od 30 komada pomičnim merilom sa digitalnim očitavanjem, tačnosti 0,01 mm, a rezultati merenja su prikazani u tabeli 2.



Slika 10 - Statističke karakteristike procesa izrade osovine

» **indeks sposobnosti procesa:**

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{GGT - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}, \frac{\bar{X} - DGT}{3 \cdot \sigma} \right\} = \min \left\{ \frac{21,968 - 22}{3 \cdot 0,009}, \frac{21,968 - 22}{3 \cdot 0,009} \right\} = -1,18 < 1,33$$

Na osnovu vrednosti pokazatelja sposobnosti evidentno je da proces izrade osovine ili izabrana oprema (slika 10) spada u grupu **preciznih i netačnih (nepodešenih)**. Rezultati analize rasipanja dimenzija osovine pokazuju da je proces izrade osovine visokog potencijala (vrlo malo rasipanje dimenzija unutar raspona 0,03 mm), ali nepodešen. Potrebno je proces prepodesiti ili promeniti odstupanja nominalne mere.

Ako bi se izvelo preispitivanje konstrukcije i projektovalo, ukoliko je to moguće, dozvoljeno odstupanje u granicama + 0,2 do - 0,1, mm, indeks sposobnosti bi iznosio:

$$C_{pk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{GGT - \bar{X}}{3 \cdot \sigma} \\ \frac{\bar{X} - DGT}{3 \cdot \sigma} \end{array} \right. = \frac{21,9 - 21,968}{3 \cdot 0,009} = 2,52 > 1,33$$

i pokazao da je proces (oprema) podešen.

4. ZAKLJUČCI

Ispitivanje, analiza i ocena mogućnosti (sposobnosti) procesa i opreme se može izvesti korišćenjem tri grupe metoda: *krivih rasipanja, kontrolnih karata i pokazatelja sposobnosti procesa*. Ocenom se formira odgovor na pitanje: *da li su proces, radnik-operator, mašina (oprema),*

alat i pribor u stanju da obezbede zahtevani nivo kvaliteta proizvoda?

Pokazatelji sposobnosti su pogodan bezdimenzionalni sistem pokazatelja sposobnosti, jer pokazuju: *ima li proces nisku nestabilnost? zadovoljava li proces granice specifikacije? postoje li problemi podešavanja procesa? itd.* Najznačajnija prednost indeksa je usmerenje na prevenciju pojave neusaglašenosti (škarta), ali i monitoring procesa i neprekidno unapređenje i usavršavanje u širokom dijapazonu. I ne samo to, indeksi obezbeđuju veliki broj informacija o potencijalu procesa i njegovoj sposobnosti, na jeziku koji je lako razumeti.

Zato je odgovor na postavljeno pitanje u naslovu rada jasan: *Ispitivanje, analiza i ocena sposobnosti procesa i opreme, posebno primenom pokazatelja sposobnosti, je osnovna pretpostavka za unapređenje kvaliteta.*

LITERATURA

[1] **Lazić M.**, Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta, univerzitetski udžbenik, *Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006.* (u štampi)