

INDEKSI SPOSOBNOSTI PROCESA – MERA KVALITETA PROCESA ^{*)}
**INDEX PROCESS CAPABILITY - THE MEASURE OF QUALITY OF THE
PROCESS**

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 itd. koriste se pokazatelji sposobnosti procesa.

U radu je prikazana suština i značaj metodologije ispitivanja, analize i ocene sposobnosti procesa (opreme) kao osnovne pretpostavke u procesima kontinualnih unapređenja. Naglasak je na osnovne pokazatelje: indeks potencijala (rasipanja) i sposobnosti (podešenosti) procesa kao indikatore kvaliteta procesa. Ilustracija metodologije utvrđivanja indeksa, korišćenjem programskog paketa Statistica (Modula Industrijska statistika i šest sigma), urađena je za primer izrade osovine u serijskoj proizvodnji.

Ključne reči: Sposobnost procesa, Pokazatelji sposobnosti, Indeks potencijala, Indeks sposobnosti, Industrijska statistika i šest sigma

Abstract: The study and analysis of features and capabilities of the testing and distribution of characteristics of the process in order to evaluate the ability of the various products within the limits of waste established technical requirements. In the automotive industry, space technology, electronics, food industry, etc. indicator of the ability are used.

The paper presents the essence and importance of the research methodology, analysis and evaluation of the ability (of equipment) as the basic assumptions in the process of continual improvements. The emphasis is on basic indicators: potential index and ability (adjustment) as indicators of the quality of the process. Illustration of the methodology of determining the index, using the software package Statistica (modules of industrial statistics and six sigma), were an example of axis in serial production.

Key words: Capability of the process, Indicator of the ability, Potential Index, Index abilities, Industrial statistics and six sigma

^{*)} Rad je nastao kao rezultat istraživanja na projektu 14005 koga finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

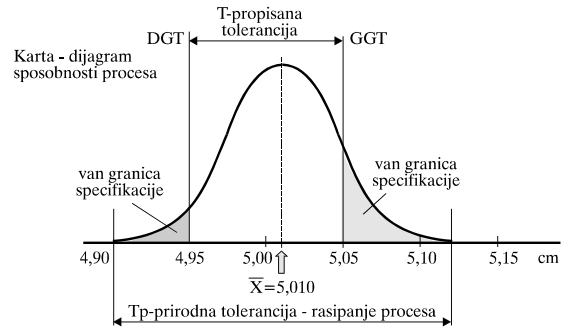
¹⁾ dr Miodrag Lazić, redovni profesor, Mašinski fakultet, Kragujevac, mail: laza@kg.ac.

1. UVODNE NAPOMENE

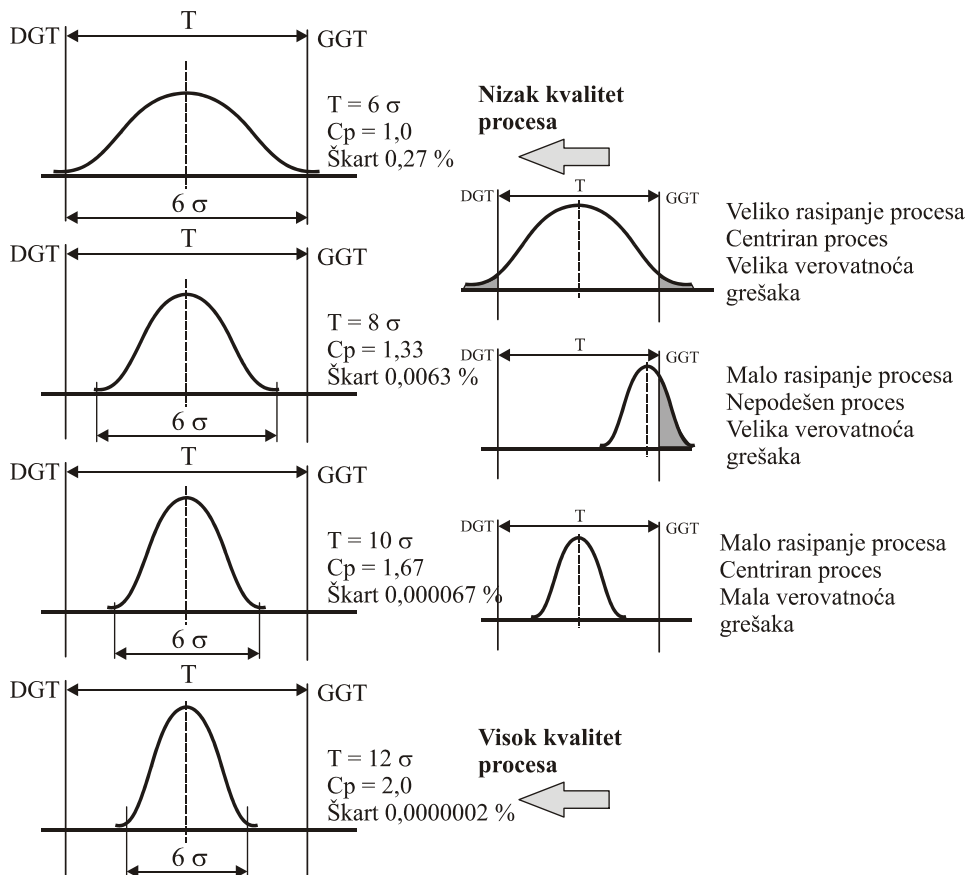
Ocena mogućnosti procesa je ocena rasipanja i podešenosti procesa u stanju statističke kontrole (slika 1). Kada podaci slede normalnu raspodelu sposobnost se definiše terminom »rasipanje« procesa i meri prirodnom tolerancijom $T_p = 6 \cdot \sigma$, gde rasipanje sadrži 99,73 % usaglašenih proizvoda.

Pošto je σ mera rasipanja procesa evidentno je da je σ i mera kvaliteta, jer je rasipanje isključivo problem kvaliteta procesa, proizvoda i usluga. Prema veličini rasipanja određuje se nivo kvaliteta proizvoda i usluga u užem smislu (slika 2). Unapređenje kvaliteta postiže se smanjenjem rasipanja, tako da je suština unapređenja u iznalaženju uzroka rasipanja i preduzimanju mera za smanjenje rasipanja.

Uzroci se iznalaze isključivo merenjima. Zato su merenja osnova analize procesa i unapređenja kvaliteta procesa i proizvoda (usluga).



Slika 1. Primer rasipanja procesa



Slika 2. Nivo kvaliteta procesa u funkciji rasipanja

Analiza sposobnosti procesa ili opreme se izvodi sa ciljem ocene usaglašenosti parametara procesa ili opreme sa zahtevima definisanim crtežima, specifikacijama, u procesu proizvodnje ili u probnoj proizvodnji, pre i na početku serijske proizvodnje. Analiza obezbeđuje i identifikovanje karakteristika procesa potrebnih za projektovanje mera i primenu metoda i tehnika unapređenja

kvaliteta. Kroz analizu i ocenu sposobnosti procesa (opreme) formira se odgovor na pitanje: da li su operacija (proces), radnik - operator, mašina, alat i pribor u stanju da obezbede zahtevani nivo kvaliteta proizvoda?

Sposobnost procesa se češće ispituje, analizira i ocenjuje korišćenjem indeksa sposobnosti kao što su: indeks potencijala ili preciznosti procesa C_p

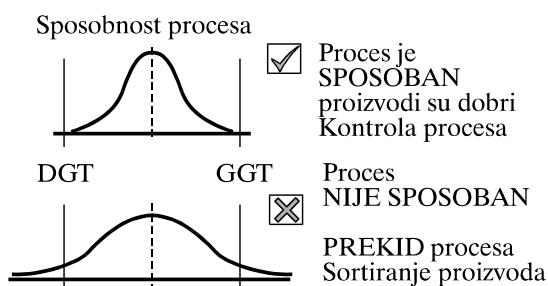
(mera rasipanja procesa) i indeks sposobnosti - tačnosti Cpk (mera podešenosti procesa).

2. INDEKSI SPOSOBNOSTI PROCESA

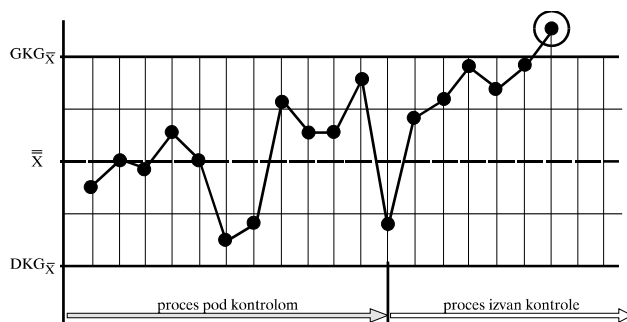
Za ocenu sposobnosti procesa i opreme koriste se tri metode:

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

Dijagram rasipanja (slika 3), formiran statističkom obradom prikupljenih podataka, pruža jasnu sliku sposobnosti procesa.



Slika 3. Ocena sposobnosti procesa preko dijagrama rasipanja



Slika 4. Dve osnovne ocene stanja procesa

Tabela 1: Pet pokazatelja sposobnosti procesa

Pokazatelj	Zavisnost	Naziv
C_p	$\frac{GGT - DGT}{6 \cdot \sigma} = \frac{T}{T_p}$	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
Cpk	$\min\{CPL, CPU\} = (1 - k) \cdot C_p$	Indeks sposobnosti procesa

U osnovi interesantni su indeksi C_p i Cpk , primenjeni u Japanu (Sullivan 1984.) i automobilskoj industriji SAD (Ford od 1984.). To znači da se sposobnost procesa, sistema, stanje

Metod kontrolnih karata (slika 4) dovodi do dve ocene stanja procesa:

- » proces pod statističkom kontrolom ili
- » proces izvan statističke kontrole.

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

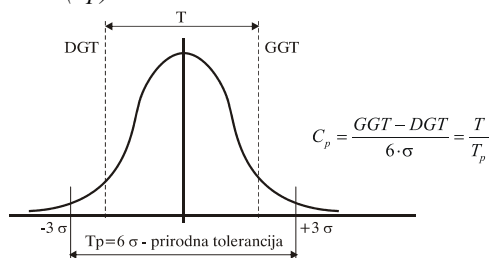
2.1 Indeksi sposobnosti procesa

Pet pokazatelja sposobnosti procesa i opreme C_p , CPU , CPL , k i Cpk su potpun skup pokazatelja sposobnosti - kvaliteta procesa (tabela 1).

opreme i sl., najčešće, ocenjuje korišćenjem indeksa:

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

Indeks potencijala procesa (slika 5) je odnos propisane (T) i prirodne tolerancije ili rasipanja procesa (T_p).



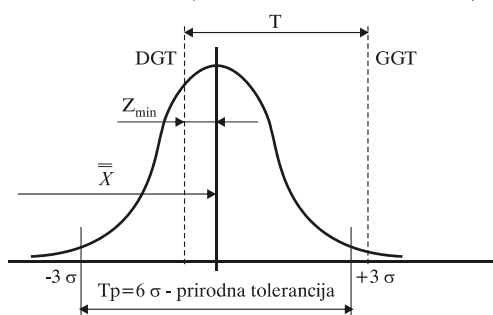
Slika 5. Indeks potencijala procesa

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 se ocenjuje kao [1]: *neprecizan* $C_p < 1$, *kritično precizan* $1 < C_p < 1,33$ i *precizan* $C_p \geq 1,33$.

Indeks sposobnosti procesa ukazuje na podešenost procesa (položaj procesa u odnosu na granice specifikacije - slika 6). To znači da je određen izrazom:

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3 \cdot \sigma}$$

gde je: $Z_{min} = \min (GGT - \bar{X}, \bar{X} - DGT)$.



Slika 6. Položaj procesa u odnosu na granice specifikacije

Indeks C_{pk} ukazuje na tačnost (podešenost) procesa i opreme i često se naziva **indeksom tačnosti**. Zavisno od vrednosti C_{pk} proces se ocenjuje kao: *netačan (nepodešen)* $C_{pk} < 1$, *kritično tačan (kritično podešen)* $1 < C_{pk} < 1,33$ i *tačan (podešen)* $C_{pk} \geq 1,33$ [1].

Procesi (oprema) su sposobni 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 - podešen).

Mogućnosti procesa, korišćenjem indeksa C_p i C_{pk} , mogu se oceniti na sledeći način:

- » ako je $C_p \geq 1,33$ i $|C_p - C_{pk}| \leq 0,1$ $|C_p|$ - mogućnosti procesa su visoke (proces je precizan i tačan),
- » ako je $1 \leq C_p \leq 1,33$ i $|C_p - C_{pk}| \leq 0,1$ $|C_p|$ - mogućnosti procesa su zadovoljavajuće, ali je neophodno stalno praćenje i monitoring procesa,
- » ako je $C_p < 1$ - mogućnosti procesa su nezadovoljavajuće i pod hitno je potrebno preduzeti mere unapređenja mogućnosti procesa (povećanje tačnosti tehnološkog procesa zamenom ili remontom opreme...).

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

- » Prevencija pojave škarta.
- » Nprekidno 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.

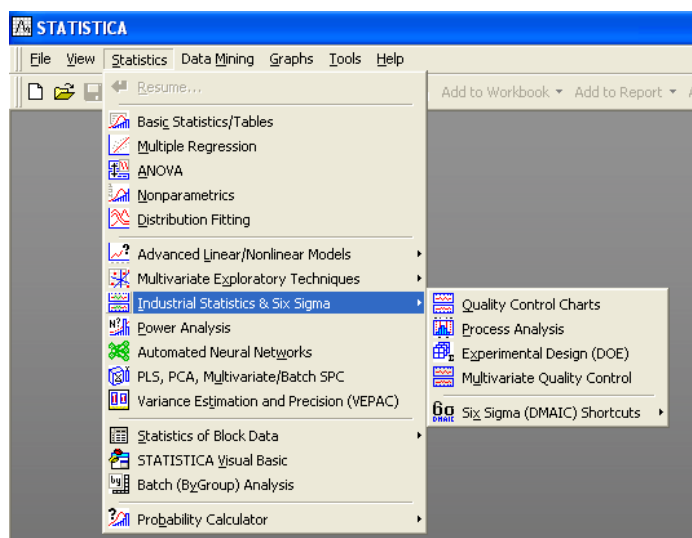
3. OCENA PROCESA PREKO INDEKSA SPOSOBNOSTI

Za ilustraciju ocene sposobnosti procesa i opreme primenom pokazatelja sposobnosti procesa može poslužiti praktični primer izrade osovine nominalnog prečnika 55,6 (+0,4; -0,4), mm u uslovima serijske proizvodnje. Merenje prečnika osovine izvedeno je na uzorku od 56 komada pomičnim merilom sa digitalnim očitavanjem, tačnosti 0,01 mm, a rezultati merenja su prikazani u tabeli 2.

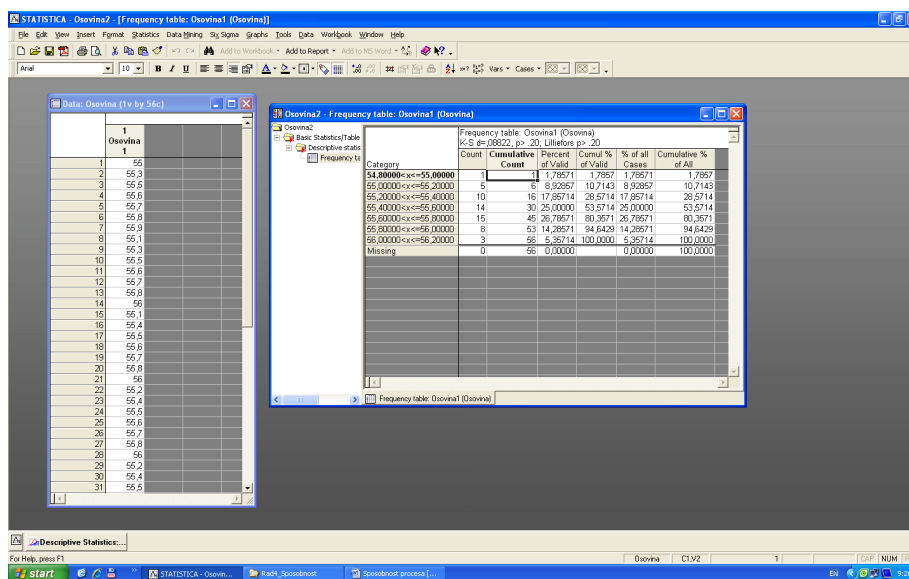
Za statističku obradu podataka dobijenih merenjima razvijeni su mnogi programski paketi (softveri), a jedan od najpogodnijih je softverski paket *Statistika*. Programski paket *Statistica* sadrži mnoge module za statističku obradu podataka (rezultata merenja), slika 7. Tako na primer, modul *Industrijska statistika i šest sigma* (slika 7) sadrži potrebne metode kontrole, praćenja i unapređenja procesa (kontrolne karte, analiza proizvodnih procesa, planiranje eksperimenata - DoE i šest sigma).

Tabela 2: Rezultati merenja prečnika osovine 55,6 (+0,4; -0,4), mm

r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost	r.br.	vrednost
1.	55,0	15.	55,1	29.	55,2	43.	55,3
2.	55,3	16.	55,4	30.	55,4	44.	55,4
3.	55,5	17.	55,5	31.	55,5	45.	55,5
4.	55,6	18.	55,6	32.	55,6	46.	55,7
5.	55,7	19.	55,7	33.	55,7	47.	55,8
6.	55,8	20.	55,8	34.	55,8	48.	55,9
7.	55,9	21.	56,0	35.	56,0	49.	56,1
8.	55,1	22.	55,2	36.	55,2	50.	55,3
9.	55,3	23.	55,4	37.	55,4	51.	55,4
10.	55,5	24.	55,5	38.	55,5	52.	55,6
11.	55,6	25.	55,6	39.	55,6	53.	55,7
12.	55,7	26.	55,7	40.	55,7	54.	55,8
13.	55,8	27.	55,8	41.	55,9	55.	55,9
14.	56,0	28.	56,0	42.	56,1	56.	56,2



Slika 7. Ekran programa Statistica - modul Industrijska statistika i šest sigma

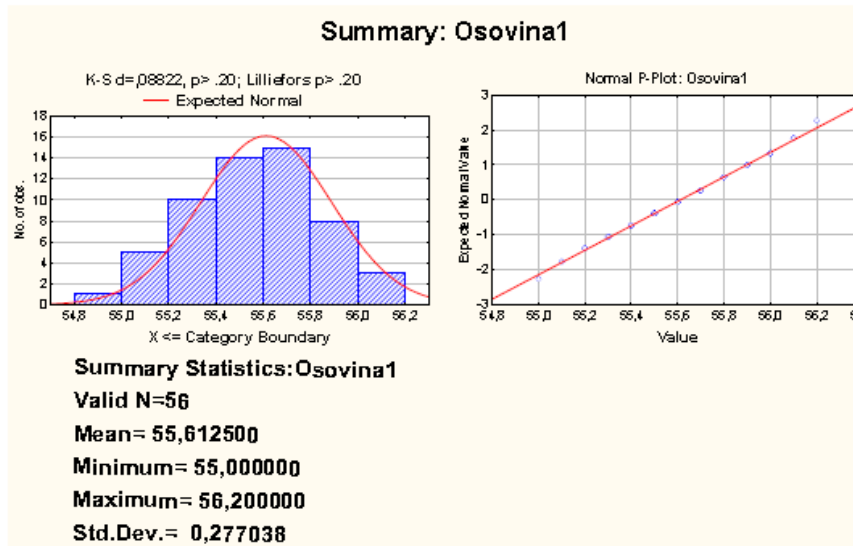


Slika 8. Ekran programa Statistica - modul Opisna statistika sa podacima merenja i frekventnom tabelom

Na osnovu rezultata merenja relevantne karakteristike procesa (tabela 2) korišćenjem softverskog paketa *Statistica* - modul *Opisna statistika* (u okviru Bazne statistike/tabela) dobijaju se frekventna tabela sa grupisanim vrednostima i frekvencijama pojave pojedinih vrednosti (slika 8), proverava normalnost raspodele rezultata merenja i izračunavaju osnovni

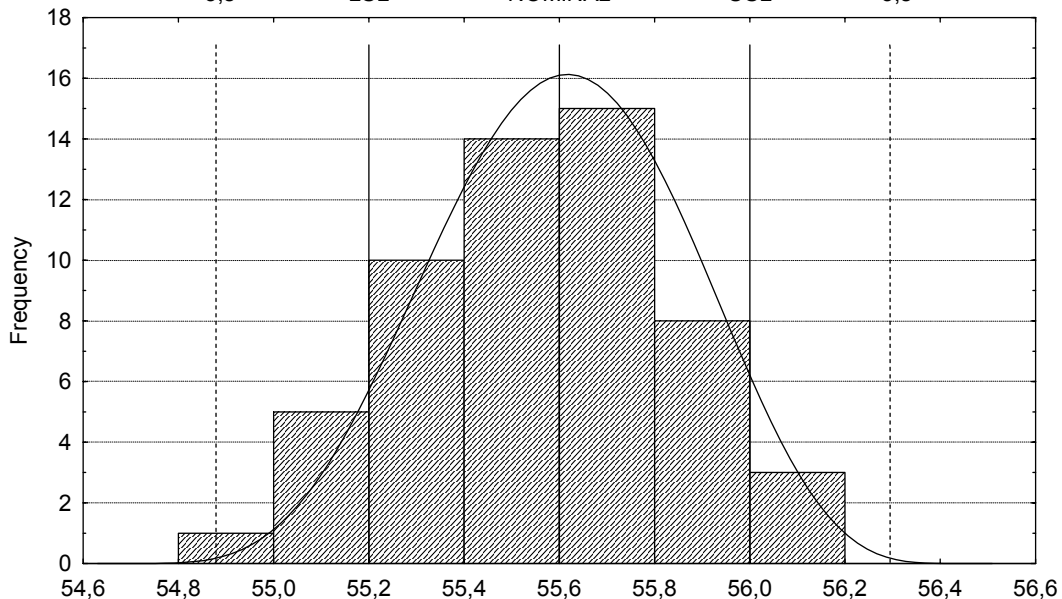
statistički parametri raspodele (slika 9) - srednja vrednost i standardna devijacija σ .

Program *Statistica* obezbeđuje, preko modula *Industrijska statistika i šest sigma*, **analizu procesa** odnosno proračun osnovnih pokazatelja procesa - indeksa sposobnosti Cp, Cpk, Cpl i Cpu (slika 10).



Slika 9. Izveštaj iz programa *Statistica* - modul *Opisna statistika* sa proverom normalnosti i osnovnim statističkim parametrima raspodele rezultata merenja

Variable: Osovina1 Mean: 55,6125 Sigma: ,277038
 Non-Normal Fit; Skewness: -,07574 Kurtosis: -,50013
 Specifications: LSL=55,2000 Nominal=55,6000 USL=56,0000
 (NOTE: Sigma limits are indicated at equivalent percentile values)
 Normal: Cp=,6567 Cpk=,6362 Cpl=,6773 Cpu=,6362 Non-Normal: Cp=,7716 Cpk=,7691



Slika 10. Izveštaj iz programa *Statistica* - modul *Industrijska statistika i šest sigma* sa rezultatima analize procesa (vrednostima indeksa sposobnosti)

Iz izveštaja (slika 10) je očigledno da je rasipanje procesa ($\pm 3\sigma$) u značajnoj meri izvan granica specifikacija (donje LSL i gornje USL), što je prvi znak da proces nije sposoban i da ga treba prekinuti, uz sortiranje proizvoda (odvajanje usaglašenih od neusaglašenih). Na osnovu vrednosti pokazatelja sposobnosti (indeksi sposobnosti $C_p = 0,6567 < 1,33$ i $C_{pk} = 0,6362 < 1,33$ imaju relativno niske vrednosti) evidentno je da proces izrade osovine ili izabrana oprema spadaju u grupu **nepreciznih** i **netačnih (nepodešenih)** procesa. Ova činjenica zahteva svestrana preispitivanja i analize procesa izrade osovine, koja obuhvataju proveru i preispitivanje izabranog procesa, izabrane opreme, podešavanje procesa i opreme itd.

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 visoku sposobnost? zadovoljava li proces granice specifikacije? postoje li problemi podešavanja procesa? itd.*

Najznačajnija prednost indeksa je usmerevanje aktivnosti 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: *Indeksi sposobnosti procesa su mera kvaliteta procesa i osnovna pretpostavka unapređenja kvaliteta.*

Programski paket *Statistica* je idealan jer uključuje suštinu sistema kontrole kvaliteta u industriji. U modulu *Industrijska statistika i šest sigma* realizovane su sve potrebne metode kontrole, praćenja i unapređenja procesa (kontrolne karte, analiza proizvodnih procesa, planiranje eksperimenata - DoE i šest sigma).

5. LITERATURA

- [1] **Lazić M.**, Alati, metode i tehnike unapređenja kvaliteta, univerzitetski udžbenik, *Mašinski fakultet, Kragujevac, 2006.*
- [2] **Lazić M.**, Ispitivanje, analiza i ocena sposobnosti procesa - pretpostavka unapređenja kvaliteta?, *Zbornik radova ISBN 86-80581-86-0, Festival kvaliteta 2006., Kragujevac, 2006.*