

SVETSKA KLASA KVALITETA

WORLD-CLASS QUALITY

Prof. Dr-Ing. Branko Popović¹⁾, MSc. Igor Nikodijević²⁾,

Rezime: Prema definicijama, kvalitet je nivo do kojeg skup postojećih trajnih karakteristika rezultata procesa ispunjava zahteve korisnika. Rezultat procesa je ostvareni izlaz organizacije, koji može biti materijalan ili nematerijalan, kao i njihova kombinacija, dok su zahtevi korisnika potreba ili očekivanje koje je utvrđeno, obavezno ili koje se podrazumeva. Kvalitet rezultata procesa je promenljiv, zavisno od zahteva korisnika i željene klase kvaliteta. Klasa kvaliteta (klasična, srednja, visoka, svetska) je kategorija ili rang, koji je dodeljen različitim zahtevima za kvalitetom rezultata procesa, za procesom ili za sistemom, koji imaju istu funkcionalnu primenu. Izgleda da su već prošla vremena postizanja rezultata procesa, koje zahtevaju obični korisnici na poznatom tržištu. Današnje vreme zahteva vrhunske rezultate procesa, koje zahtevaju većina korisnika na svetskom tržištu. U ovom saopštenju se prikazuju neki elementi svetske klase kvaliteta, koje se već uveliko postižu u SAD.

Ključne reči: *Sistem šest sigma, Kvalitet.*

Abstract: According to the definitions, the quality of the degree to which a set of existing permanent feature of the process meets the requirements. This process resulted in the actual output of the organization, which may be material or immaterial, and combinations thereof, and the requirements of the users need or expectation that is stated, or required to be given. The quality of the process is a variable, depending on user requirements and desired class quality. Quality class (classic, medium, high, world) is a category or rank, which is assigned to the different requirements of quality of the process, the process or the system that have the same functional application. Appear to have already gone through the process of time to achieve results, which require regular users of a famous market. Today's times require top performance process, requiring most users in the world market. This press release shows some elements of world-class quality, which are already achieved in the U.S.

Key words: *Six Sigma, Quality.*

1. KARAKTERISTIKE PROCESA

Proces, kao skup planiranih i povezanih aktivnosti, pretvara ulazne u izlazne elemente izvesnog sistema realizacije. Ulazni elementi sadrže materijalne i energetske količine a izlazni elementi su rezultati procesa izvesnog kvaliteta. Kvalitet je nivo skupa karakteristika kvaliteta, sa postavljenim ili podrazumevanim zahtevima, koje ispunjava isporučilac (supplier) na rezultatima procesa: poluproizvodu, proizvodu, dokumentaciji i usluzi. Kvalitet rezultat procesa nastaje u pojedinim proizvodnim, uslužnim ili poslovnim procesima, koji ostvaruju delove projektovanog kvaliteta (Quality of design) na projektu, realizovanog kvaliteta (Quality of conformance) pre isporuke i upotrebnog kvaliteta (Quality of use) kod korisnika (customer) [12].

Procesi realizacije rezultata procesa nisu statični već dinamički i promenljivi, zavisno od mnogobrojnih spoljnjih i unutrašnjih uticaja, što se verno odražava na karakteristikama procesa. Poboljšanje procesa se ostvaruje putem: 1. analize, 2. praćenja i 3. otklanjanjem štetnih uzroka, u

veličinama procesa. Analizom procesa utvrđuje se

stabilnost (ili nestabilnost), kao i preciznost i tačnost procesa (nedovoljna, dovoljna i dobra). Praćenje dinamike procesa zahteva primenu potrebnih kontrolnih karata, za merljive i nemerljive veličine procesa [1][3]. Otklanjanjem štetnih uzroka preventivno se otkrivaju i korektivno uklanjaju sistematski uzroci. Ako je proces stabilan, precizan i tačan onda ga treba pratiti i eventualno otklanjati mu štetne uzroke [13][9].

Karakteristike statičnih procesa obuhvataju veličine: granica, proseka, odstupanja, verovatnoće, tokova, stabilnosti, preciznosti i tačnosti, koje se definišu na celini skupa (seriji) ili na izdvojenim uzorcima. Veličine uzoraka u procesima su: (aritmetička) sredina (\bar{x}), medijan (*me*), raspon (*r*) i standardno odstupanje (devijacija, *s*). Veličine skupova u procesima su: granice (*DGT*, *GGT*), sredina (μ), (*Me*), raspon (*R*) i standardno odstupanje (σ) [10],[11]. Verovatnoće veličina, u procesima sa normalnom raspodelom,

1) Prof.Dr-Ing. Branko Popović, Mašinski fakultet Beograd, mail: branko@popovic.org,

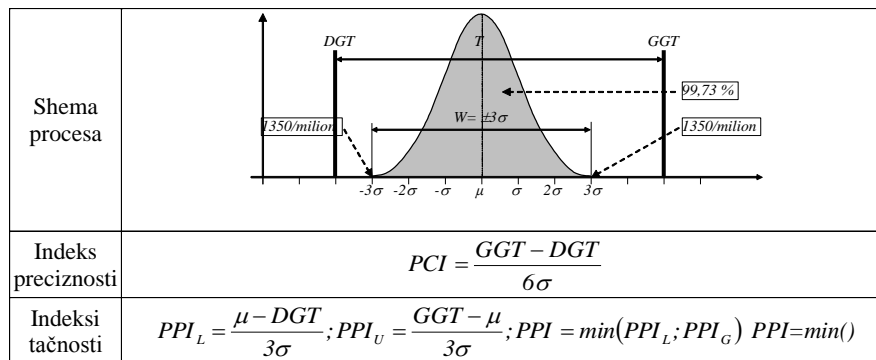
2) MSc, Igor Nikodijević, finansijski direktor, Industrija precizne mehanike, Beograd

3) Ovaj rad je rezultat istraživanja i primene Sistema šest sigma u usluživanju

obuhvataju nivo poverenja (P) i nivo rizika ($Q=1-P$). Veličine tokova procesa su centralna linija (\bar{x} , \bar{R}) i kontrolne granice (DKG , GKG) na kontrolnim kartama (dijagramima) [8],[2]. Veličine stabilnosti procesa se utvrđuju zavisno od 8 tipičnih nestabilnosti na kontrolnim kartama. Veličine preciznosti procesa su indeksi dvostrane (PCI) i jednostrane (PCI_D , PCI_G) preciznosti. Veličine tačnosti procesa su indeksi dvostrane (PPI) i jednostrane (PPI_D , PPI_G) tačnosti [7][5],[15]. U definisanju procesa posebno su značajni ovi standardizovani indeksi preciznosti i tačnosti, koji su poznati i u drugim različitim veličinama i oznakama (C_p , C_{pL} , C_{pU} , P_p , P_{pL} , P_{pU} , P_{pk} , C_{pm} , C_{pkm}).

2. STATIČNI I DINAMIČKI PROCESI

Na slici 1. prikazana je shema statičnog



Slika 1. Shema idealnog procesa bez pomeranja sa 0,27 % ili 2750 neispravnih od milion proizvoda

Isporučioći pomoću kontrolnih karata uvek obećavaju ispravnost, ne računajući na idealnost statičkih procesa i na realnost dinamičkih pomeranja procesa u vremenu. Zato korisnici i dobijaju neispravne rezultate procesa iako su isporučioći proveli svoje redovno kontrolisanje. Otuda su i nova vremena konačno definisala pojam kvaliteta i iskazala stalne težnje za povišenjem kvaliteta rezultata procesa, kome su naročito doprinele serije standarda: MIL (1959), NATO (1969), BS (1979), ISO (1987). Uočeno je da se nemože više računati sa statičkim (idealnim) procesima kod zahtevnih procesa, kao što su: lekarske i bolničke intervencije, letovi aviona, itd. Rešenje je 1986. našao Inž. Bill Smith (1929-1993) u Motoroli, koji je zbog realnosti dinamičkih procesa propisao nužno povišenje preciznosti procesa, uz ograničenje pomeranje procesa od $(1,5\sigma)$, koje zahteva projektovane tolerancije od $T=\pm 6\sigma$ ili $T=12\sigma$.

Povišenje preciznosti procesa u organizacijama zahteva znatno povećanje indeksa preciznosti procesa ($PCI \geq 1,33$). Povišenje preciznosti procesa

procesa, sa zakonom normalne raspodele i karakteristikama. Proces ima krivu zakona poznate normalne raspodele, sa sredinom skupa μ , ostvarenom standardnom devijacijom σ , širinom $W=\pm 3\sigma$, odnosno procenjene raspodele na osnovu uzorka ($\hat{\mu}, \hat{\sigma}$). Statičan proces i njegova ostvarena širina obuhvata vrednosti sa nivoom (verovatnoćom) poverenja $P=0,9973$ ili 99,73 %, dok su izvan procesa vrednosti proizvoda, sa rizikom poverenja i verovatnoćom $Q=1-P=0,00135$ ili 0,27 %, odnosno 2750 neispravnih od milion proizvoda. Sredina skupa ima idealni srednji položaj u odnosu na granice projektovane tolerancije (DGT , GGT), indeksi preciznosti i tačnosti se pokoravaju sledećim kriterijumima: nedovoljna ($PCI \leq 1$), dovoljna ($1 < PCI \leq 1,33$) i dobra ($PCI > 1,33$), preciznost, odnosno nedovoljna ($PPI \leq 1$), dovoljna ($1 < PPI \leq 1,33$) i dobra ($PPI > 1,33$) tačnost procesa.

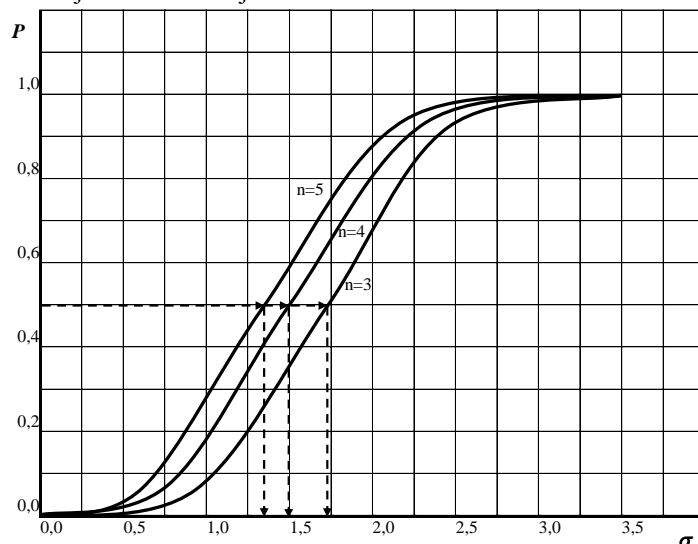
je postupak koji se primenjuje odmah posle postupka eliminisanja nestabilnosti procesa. Povišenje preciznosti procesa zahteva razmatranje mogućih pomeranja procesa, čija se entropija stalno povećava pa se ispravni statički procesi posle izvesnog perioda pretvaraju u neispravne, zbog dinamičnosti. Zato je neophodno razmatranje mogućih pomeranja procesa, analiziranjem stabilnosti pomoću kontrolnih karata (obično sa 25 ili više uzoraka, sa 3-5 izmerenih vrednosti). Primenom kontrolnih karata lako se utvrđuju neispravnos procesi sa pomeranjima iznad $\pm 2\sigma$, pa je neophodna intervencija kod pomeranja procesa ispod 2σ .

Ako se postavi hipoteza da verovatnoća otkrivanja kritičnih pomeranja zavisi od veličine uzorka ($H_0: P=f(n) \Rightarrow \alpha$) onda se dobija operativna kriva, sa nivoom poverenja (α) [14]. Na slici 2. prikazan je dijagram krive jačine testa (power curve) sa verovatnoćama otkrivanja kritičnih pomeranja procesa $\Delta(\sigma)$, za moguće veličine uzoraka ($n=3, 4, 5$). Uočava se da je dovoljna verovatnoća otkrivanja $P=0,5$, kod sledećih

kritičnih pomeranja procesa: $\Delta=1,34\sigma$, $\Delta=1,5\sigma$ i $\Delta=1,73\sigma$. Praktičnosti radi Inž. Smith je u Motoroli usvojio veličinu kritičnog pomeranja procesa od $\Delta=1,5\sigma$, što omogućava verovatnoću otkrivanja pomeranja od $p=50\%$. Koristeći ovu usvojenu vrednost, kritičnog pomeranja procesa, omogućeno je željeno povišenje preciznosti procesa, na osnovu kojih se mogu razlikovati pojedine klase kvaliteta organizacija.

Danas je u svetu uobičajeno razlikovanje četiri

sljedeće klase kvaliteta rezultata procesa: klasična, srednja, visoka i svetska klasa, sa njihovim karakteristikama prema tabeli na slici 3. Vidi se da svetska klasa kvaliteta primenjuje procese sa projektovanom tolerancijom $T=\pm 6\sigma$, uz ostvarenu standardnu devijaciju σ , indeks preciznosti $PCI=2$ i indeks tačnosti $PPI=1,5$.



Slika 2. Kriva jačine testa sa verovatnoćama otkrivanja pomeranja procesa

Klasa kvaliteta	Tolerancija T	Kritična pomeranja Δ	Indeks preciznosti PCI	Indeks tačnosti PPI	Nivo poverenja $\mathcal{O}(x)$	Rizik $\tau=1-\mathcal{O}(x)$	Neispravnih od milion $PPM=10^6 \tau$
Klasična	$\pm 3\sigma$	$1,5\sigma$	1,00	0,50	0,93319	0,0668100	66810
Srednja	$\pm 4\sigma$	$2,5\sigma$	1,33	0,83	0,99379	0,0062100	6210
Visoka	$\pm 5\sigma$	$3,5\sigma$	1,67	1,17	0,999767	0,0002330	233
Svetska	$\pm 6\sigma$	$4,5\sigma$	2,00	1,5	0,9999966	0,0000034	3,4

Slika 3. Klase kvaliteta rezultata procesa i njihove karakteristike

aparati, traktori, poljoprivredne mašine, turističke

3. KLASIČNA KLASA KVALITETA

Klasična klasa kvaliteta ima projektovanu toleranciju $T=\pm 3\sigma$ i sa kritičnim pomeranjem $\Delta=1,5\sigma$ postiže indeks preciznosti $PCI=1,0$ i indeks tačnosti $PPI=0,50$, kao što je prikazano u primeru ($\sigma=1$) na slici 4. Uz nivo poverenja od $\mathcal{O}(x)=0,93319$ i rizik $\tau=0,06681$ realno se stvara 6,68 % neispravnosti ili $PPM=66810$ neispravnih, od milion realizovanih rezultata procesa (samo 3,4 neispravnih/milion, ispod DGT i 66807 neispravnih/milion iznad GGT).

Klasičnu klasu kvaliteta uglavnom primenjuju organizacije na već osvojenom tržištu, za postizanje nekoliko traženih rezultata procesa, u procesima projektovanog kvaliteta (funkcionalnost), kvaliteta izrade (trajnost) i kvaliteta korišćenja (pouzdanost). To su uglavnom: serijski proizvodi, delovi proizvoda,

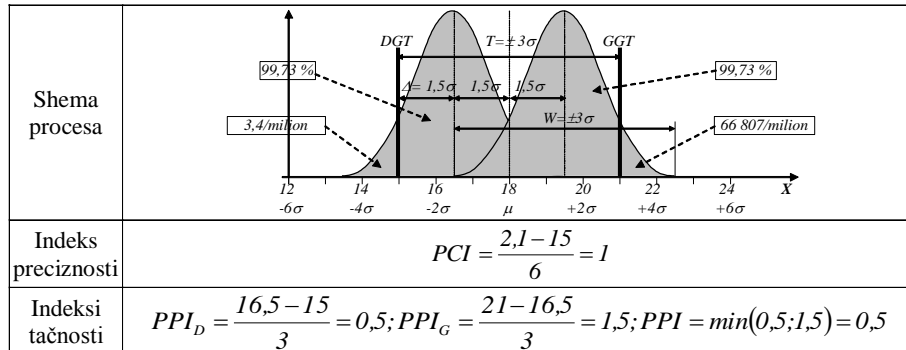
usluge, itd. opstanak. (Npr. organizacije: domaći isporučioi, Lada, Mahindra, Tata, razni servisi, restorani, itd., koji posluju na regionima južne Evrope (Srbija, Hrvatska), Azija i Afrike.

4. SREDNJA KLASA KVALITETA

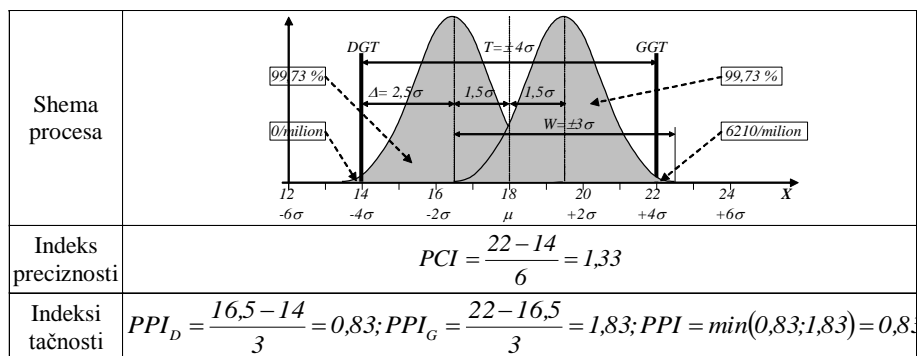
Srednja klasa kvaliteta ima projektovanu toleranciju $T=\pm 4\sigma$ i sa kritičnim pomeranjem $\Delta=2,5\sigma$ postiže indeks preciznosti $PCI=1,33$ i indeks preciznosti $PPI=0,83$ kao što je prikazano u primeru ($\sigma=1$) na slici 5. Uz nivo poverenja od $\mathcal{O}(x)=0,99379$ i rizik $\tau=0,00621$ realno se stvara 0,621 % neispravnosti ili $PPM=6210$ neispravnih od milion realizovanih rezultata procesa (skoro 0 neispravnih/milion ispod DGT i 6210 neispravnih/milion iznad GGT).

Srednju klasu kvaliteta uglavnom primenjuju organizacije na novom tržištu, jer im je potreban sigurniji opstanak, u procesima projektovanog kvaliteta (funkcionalnost, trajnost), kvaliteta izrade (pouzdanost) i kvaliteta korišćenja (efektivnost, raspoloživost). To su uglavnom: maloserijski

proizvodi, sklopovi, vozila, alatne mašine, instrumenti, laboratorijske usluge, transportne usluge, itd. (Npr. organizacije: stranih isporučilaca, Volkswagen, Renault, Peugeot-Citroen, itd., koji posluju na regionima istočne Evrope, Češka, Rusija, Kina, Južna Koreja).



Slika 4 Primer odstupanja procesa klasične klase sa 66810 neispravnosti



Slika 5 Primer odstupanja procesa srednje klase sa 6210 neispravnosti

5. VISOKA KLASA KVALITETA

Klasična klasa kvaliteta ima projektovanu toleranciju $T = \pm 5\sigma$ i sa kritičnim pomeranjem $A = 3,5\sigma$ postiže indeks preciznosti $PCI = 1,67$ i indeks tačnosti $PPI = 1,17$, kao što je prikazano u primeru na slici 6. Uz nivo poverenja od $\Theta(x) = 0,999767$ i rizik $\tau = 0,000233$ realno se stvara 0,023 % neispravnosti ili $PPM = 233$ neispravnih, od milion realizovanih rezultat procesa (skoro 0 neispravnih/milion ispod DGT i 233 neispravnih/milion iznad GGT).

Visoku klasu kvaliteta uglavnom primenjuju organizacije za isporuku na regionalnim tržištima, jer im je nephodan opstanak. Visoka klasa kvaliteta se primenjuje, za postizanje vrhunskih rezultata procesa, u procesima projektovanog kvaliteta (funkcionalnost, trajnost, pouzdanost), kvaliteta izrade (efektivnost, raspoloživost) i kvaliteta korišćenja (efikasnost, sigurnost). To su uglavnom sledeći proizvodi: motori, transportna sredstva, avionski motori, vazduhoplovi, avionski prevoz, saobraćajne usluge, lekarske usluge, itd.

(Npr. organizacije: Mercedes Benz, Jaguar, BMW, itd. koji posluju na regionima zapadne i srednje Evrope, Engleska, Nemačka, Francuska).

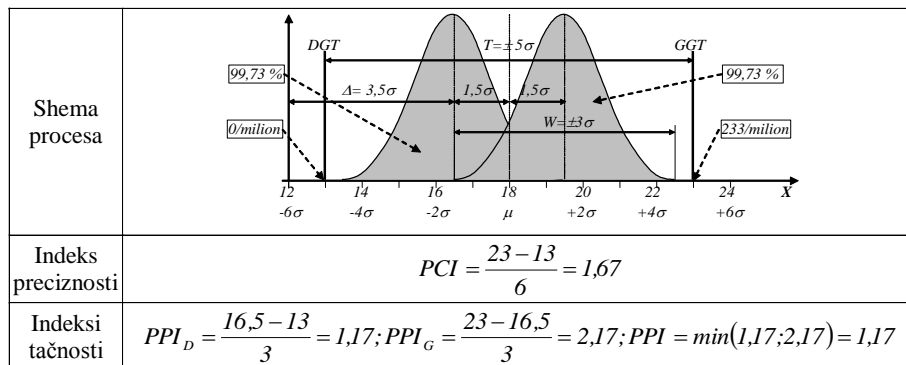
6. SVETSKA KLASA KVALITETA

Svetska klasa kvaliteta ima projektovanu toleranciju $T = \pm 6\sigma$ i sa kritičnim pomeranjem $A = 4,5\sigma$ postiže indeks preciznosti $PCI = 2,0$ i indeks tačnosti $PPI = 1,5$, kao što je prikazano u primeru na slici 7. Uz nivo poverenja od $\Theta(x) = 0,999966$ i rizik $\tau = 0,000034$ realno se stvara 0,00034 % neispravnosti ili $PPM = 3,4$ neispravnih od milion realizovanih rezultata procesa (skoro 0 neispravnih/milion ispod DGT i 3,4 neispravnih/milion iznad GGT).

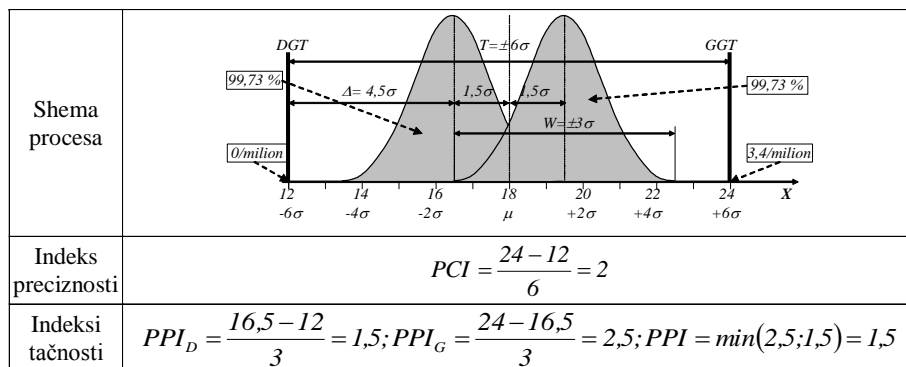
Svetsku klasu kvaliteta uglavnom primenjuju organizacije za isporuku na svetskom tržištu, jer im je potrebna sigurnija budućnost, u procesima projektovanog kvaliteta (funkcionalnost, trajnost, pouzdanost, raspoloživost), kvaliteta izrade (efikasnost, efektivnost, sigurnost) i kvaliteta korišćenja (tačnost, udobnost, bezbednost). To su

uglavnom: bezbedni proizvodi, mobilni telefoni, računari, humane usluge, automobilski, autobuski i avionski saobraćaj, bolničke usluge. (Npr.

organizacije: Motorola, Toyota, Ford Motors, Chrysler, General Motors, Boing), koje posluju na celokupnom svetskom tržištu.



Slika 6. Primer odstupanja procesa visoke klase sa 233 neispravnosti



Slika 7. Primer odstupanja procesa svetske klase sa 3,4 neispravnosti

Primena svetske klase kvaliteta rezultata procesa donosi isporučiocima više prednosti, kao što su: smanjenje odstupanja u procesima, sniženje mogućih troškova, racionalno skraćivanje vremena, radikalno eliminisanje gubitaka, bitno povišenje kvaliteta proizvoda i povećanje profita preduzeća. Postoji veliki broj raznih izveštaja, naročito iz SAD, o postizanju izuzetnih rezultata sa primenom svetske klase kvaliteta [6][4].

Motorola je objavila da je samo u 2006. uštedela preko 17 milijardi dolara, slične rezultate su postigli Honeywell (AlliedSignal) i General Electric. Računa se da je počevši od 1990. preko 500 organizacija počelo da primenjuje svetsku klasu kvaliteta. [11]

Na slici 8. prikazana je tabela sa očekivanim efektima procesa, kod pojedinih klasa kvaliteta. Uočava se da primena svetske klase kvaliteta daje povišenje profita od 5 % na 35 % i smanjenje gubitaka (u odnosu na prodaju) od 30÷40 % na manje od 1 %. Danas se u svetu svakog sata izgubi oko 225000 poštanskih pošiljki, koje bi se primenom svetske klase kvaliteta mogle da se

svedu na samo 7 na sat. Danas u svetu godišnje nastupa oko 540000÷1080000 smrti zbog bolničkih grešaka, koje bi se primenom svetske klase kvaliteta mogle da svedu na samo 17÷34 godišnje.

7. ZAKLJUČAK

Nesumljivo je da je kvalitet rezultata procesa promenljiv, zavisno od zahteva korisnika i željene klase kvaliteta. Izgleda da su već prošla vremena, kontrolisanja statičnih procesa, koje obmanjuju korisnike i daju lažne rezultate. Današnje vreme zahteva vrhunske rezultate procesa sa svetskom klasom kvaliteta, koji se zahtevaju na tržištu. Svetska klasa kvaliteta se može postići povećanjem preciznosti procesa, uz: indekse preciznosti i tačnosti procesa ($PCI \leq 2, PPI \leq 1,5$), projektovanu toleranciju sa utvrđenim odnosom prema ostvarenoj standardnoj devijaciji ($T = \pm 6\sigma$), sa mogućim pomeranjem ($1,5\sigma$) pomoću savremenih CNC mašina i odgovorne organizacije.

Klase kvaliteta	Očekivani efekti procesa kod pojedinih klasa kvaliteta									
	Moguće povišenje profita	Mogući gubici prema prodaji	Izgublje poštanske pošiljke	Izostanak električne energije	Odbijene servisne reklamacije	Popijene čaše nečiste vode	Loših sletanje aviona	Pogrešno napisanih recepata	Loših hirurških operacija	Smrti zbog bolničkih grešaka
Klasična klasa	5 %	30÷40 %	225 000 na sat	45 sata mesečno	33 za nov automobil	168 dnevno	24 od 100	2 250 000 godišnje	56 250 sedmično	540 000 ÷ 1 080 000 godišnje
Srednja klasa	10 %	15÷30 %	20 000 na sat	4 sata mesečno	3 za nov automobil	15 dnevno	25 od 1000	200 000 godišnje	5 000 sedmično	48 000÷ 96 000 godišnje
Visoka klasa	20 %	5÷15 %	751 na sat	9 min mesečno	1 od 10 novih automobila	0,5 dnevno	1 od 10000	7 618 godišnje	187 sedmično	1 804÷ 3 609 godišnje
Svetska klasa	35 %	< 1 %	7 na sat	8 s mesečno	1 na 980 automobila	samo 1 u 7 meseci	12 od 1 000 000	68 godišnje	1,7 sedmično	17÷34 godišnje

Slika 8. Mogući očekivani efekti procesa kod pojedinih klasa kvaliteta

8. LITERATURA

- [1] ISO/DIS 7870-1,2013, Control charts – Part 1: General guidelines
- [2] ISO 7870-2:2013, Control charts – Part 2: Shewhart control charts
- [3] ISO 7870-3:2012, Control charts – Part 3: Acceptance control charts
- [4] Popović B., Ivanović G., Sistem šest sigma u projektovanju rezultata procesa – Design for six sigma, Mašinski fakultet, Beograd (2011) 408
- [5] ISO 22514-1:2009, Statistical methods in process management – Capability and performance – Part 1: General principles and concepts
- [6] Popović B., Klarin M., Veljković Z., Sistem šest sigma u realizovanju rezultata procesa – Processing for six sigma, Mašinski fakultet, Beograd (2008) 338,
- [7] ISO 21747:2006, Statistical methods – Process performance and capability statistics for measured quality characteristics
- [8] ISO 7870-1:2007, Control charts – Part 1: General guidelines
- [9] Popović B., Klarin M., Realizovani kvalitet proizvoda – Quality of conformance, Mašinski fakultet, Beograd (2007) 335
- [10] ISO 3534-1:2006, Statistics – Vocabulary and symbols – Part 1: General statistical terms and terms used in probability
- [11] ISO 3534-2:2006, Statistics – Vocabulary and symbols – Part 2: Applied statistics
- [12] ISO 9000:2006, Quality management systems – Fundamentals and vocabulary
- [13] Popović B., Klarin M., Upravljanje proizvodnjom i usluživanjem – Operations management, Mašinski fakultet, Beograd (2005) 599
- [14] ISO 2602:1980, Statistical interpretation of test results – Estimation of the mean – Confidence interval
- [15] ISO/FDIS 22514-2, Statistical methods in process management – Capability and performance – Part 2: Process capability and performance of time-dependent process models