

KONTROLNE KARTE KAO SREDSTVO STATISTIČKE KONTROLE KVALITETA

Aleksandar Ž. Drenovac, 98. vazduhoplovna brigada,
98. vazduhoplovnotehnički bataljon, VP 5017 Lađevci,
Bratislav Ž. Drenovac, Centar za obuku i usavršavanje
podoficira, VP 1442 Pančevo,
Dušan M. Drenovac, Fakultet inženjerskih nauka,
Kragujevac

DOI: 10.5937/vojtehg61-2292

OBLAST: matematika, kontrola kvaliteta – statističke metode sa primenom u
specifičnim oblastima

VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

Primena statističkih metoda može u velikoj meri doprineti povećanju kvaliteta proizvoda i usluga, a samim tim i povećanju rejtinga ustanova. Definisane optimalnih, odnosno upozoravajućih i graničnih vrednosti, zasnovano je na – statističkoj analizi uzoraka. Kontrolne karte predstavljaju veoma pouzdano, jednostavno za upotrebu i efikasno sredstvo kontrole procesa, kojim se proces stalno održava u zadatim okvirima. Kao takve, mogu naći veliku primenu u kontroli kvaliteta u procesima proizvodnje naoružanja i vojne opreme, u procesima održavanja tehničkih sistema, ali i u uspostavljanju standarda i podizanju nivoa kvaliteta za brojne druge aktivnosti.

Ključne reči: kontrola kvaliteta, statistička kontrola kvaliteta, statističke metode, kontrolne karte.

Uvod

Savremeno doba karakteriše izuzetno veliki i nagli porast značaja kvaliteta u proizvodnji i upotrebi proizvoda, kao i njegov uticaj na produktivnost i prihod proizvodnih organizacija. U tom smislu, osnovni ciljevi u svim procesima treba da budu poboljšanje kvaliteta, povećanje pro-

duktivnosti i smanjenje troškova, a kao preduslov za njihovo ostvarenje isticanje i prihvatanje važnosti kvaliteta (Stuart, et al, 1996, pp. 203–204). Takav pristup dovodi i do razvoja principa unapređenja kvaliteta, ali i svesti o značaju kvaliteta i kontroli kvaliteta, kao i metodama obezbeđenja kvaliteta proizvoda i usluga (Bakija, 1978, p. 26).

Imajući u vidu i sve veću konkurenciju na globalnim tržištima, kontrola kvaliteta se nameće kao nezaobilazan proces u svim institucijama, i predstavlja jedan od osnovnih činilaca koji utiču na podizanje rejtinga, a samim tim i na obezbeđenje bolje pozicije na tržištima širom sveta i povećanje produktivnosti. Kvalitet je tako, u suštinskom i organizacionom smislu, postao prvo-razredni činilac u međunarodnoj razmeni (Vulanović, et al., 2003, p. 61).

Kontrola kvaliteta, kao specifična oblast u proizvodnim sistemima i sistemima održavanja, u svetu se odavno nametnula kao nužan i nezaobilazan alat u svim procesima rada. Stoga, sve ozbiljne institucije imaju posebne sektore kontrole kvaliteta, zadužene za propisivanje, sprovođenje i kontrolu aktivnosti i rezultata, a sve radi dostizanja, održavanja i unapređenja standarda kvaliteta. U proizvodnim pogonima kvalitet se definiše kao stepen podudarnosti sa zahtevima datim u tehničkoj dokumentaciji ili nekom opštem standardu.

Sam pojam kvaliteta usko je povezan sa standardizacijom. Na međunarodnom nivou postoji više organizacija koje se bave standardizacijom, od kojih su najznačajnije ISO (International Organization for Standardization), koja je globalnog karaktera, kao i CEN (European Committee for Standardization- Evropski komitet za standardizaciju) na nivou Evropske unije. Jedna od tehničkih komisija u sastavu ISO nadležna je za standarde kvaliteta, koji su označeni kao ISO 9000 (Radojević, 1997, p. 24). Takođe, vrlo je značajno da „organizacije koje imaju sertifikovan standard ISO 9000 poznate su po svojoj doslednosti, pouzdanosti i dostižu reputaciju kroz primenu tog standarda“ (Karović, Komazec, 2010, pp. 146–161). Osim propisivanja određenih standarda i uvođenja sistema kvaliteta, veoma je važno i njegovo sistematsko sprovođenje (Lynch, 2012, pp. 64–68). Jedan od nezaobilaznih alata u unapređenju kvaliteta proizvoda jeste primena statističkih metoda. Odavno poznata činjenica jeste da statistika zauzima značajno mesto u procesima proizvodnje i održavanja, odnosno u kružnom ciklusu čiji su elementi razvoj, proizvodnja, prodaja i istraživanje.

Primenom statističkih metoda se, preciznim i jasno definisanim parametrima, postavljaju osnove za dosledno sprovođenje politike kvaliteta. Razvijene statističke metode predstavljaju pogodna sredstva za definisanje standarda proizvodnje i usluga, čijim se poštovanjem obezbeđuje visok nivo kvaliteta, a samim tim utiče i na krajnje rezultate poslovanja.

Povremena provera, poznata u industriji kao „leteća“ kontrola, jeste najjeftiniji način kontrole i može se primeniti tamo gde prethodni podaci pokazuju da je proces dovoljno stabilan i da ne treba očekivati česte pro-

mene u procesima. Stoga, kad je potrebno pratiti izrazito važne karakteristike kvaliteta u procesima koji ne pokazuju potpunu stabilnost, upotreba kontrolnih karata je najekonomičnija.

Vojna industrija Srbije se novim proizvodima može predstaviti mnogim zainteresovanim stranama na različitim tržištima, a statistička kontrola kvaliteta može predstavljati odskočnu dasku koja će obezbediti prepoznatljivost kvaliteta naših proizvoda, kao konkurentsku prednost. Isto tako, statistička kontrola kvaliteta može naći veliku primenu i u procesima održavanja, snabdevanja i ostalim logističkim funkcijama.

Pojava statističkih metoda u kontroli kvaliteta

Statistika kao nauka o podacima i statističke metode kao oblast kvantitativnih metoda našli su veliku primenu u industrijskoj praksi, a naročito u kontroli kvaliteta. Prvi teorijski radovi i praktični pokušaji primene matematičke statistike i kontrole kvaliteta datiraju još iz 1923. godine, kada je Volter Šjuart iz *Bell Telephone Laboratories* iz SAD dao skicu prve kontrolne karte, a na osnovu njegovih rezultata su nešto kasnije Harold Dodž i Hari Romig započeli radove na izradi metoda za uzimanje uzoraka pri preuzimanju serija. Nakon ovih radova sledili su brojni radovi u mnogim zemljama sveta. Pojedine metode izrađene su za vlastitu upotrebu većih preduzeća, dok su, sa druge strane, američki vojni standardi MIL-STD (Military Standard) prihvaćeni u opštoj upotrebi i postali sastavni deo nacionalnih standarda mnogih zemalja. Međutim, značajnija primena statističkih metoda javlja se tek u industriji SAD za vreme Drugog svetskog rata.

Ozbiljniji pristup kontroli kvaliteta započinje u Japanu 1950. godine, kada je i osnovan pododbor za kontrolu kvaliteta pri Udruženju japanskih naučnika i inženjera. Približno u isto vreme je i Japansko društvo za standarde počelo da organizuje seminare o kontroli kvaliteta statističkim metodama, a iste godine na njihov poziv se za podučavanje japanskih stručnjaka kontroli kvaliteta statistikom angažuje i Vilijem Edvards Deming, istaknuti američki stručnjak iz oblasti (statističkog) unapređenja kvaliteta.

Generalno, praćenje svakog faktora koji utiče na kvalitet i uočavanje pojedinačnih slučajeva nije cilj statističkih metoda unapređenja kvaliteta. Ovim načinom praćenja zahvata se ukupno stanje i kretanje kvaliteta proizvoda u celini, i u slučaju potrebe može se intervenisati na neke posebne pojave, sa posebnim težištem na analizi procesa i sprovođenja korektivnih mera.

Zahvaljujući statističkom gledanju na kvalitet, i pored utvrđenih granica (tolerancija) za neku karakteristiku kvaliteta, postoji i dozvoljeni procenat jedinica proizvoda koje mogu prekoračiti ove granice. Isto tako, određuje se i utvrđuje verovatnoća tačnosti ispitanih karakteristika kvaliteta.

Statističke metode i tehnike unapređenja kvaliteta podrazumevaju prikupljene podatke, pri čemu se stvara dokumentovana osnova za dalje analize. Registrovanjem podataka stvara se i objektivniji i odgovorniji odnos izvršilaca prema svom poslu. Posebno, adekvatnom implementacijom rezultata statističkih analiza stvaraju se adekvatni preduslovi za usmeravanje procesa u željenom smeru, tj. za proizvodnju u skladu sa planovima, odnosno sa zahtevima tržišta ili kupca.

Poznati koncepti upravljanja totalnim kvalitetom upućuju na značaj korišćenja statističkih metoda kontrole kvaliteta u čitavom životnom veku proizvoda, sa preporukom da se inženjerske metode kombinuju i primenjuju zajedno sa statističkim, kao deo ukupnog sistema projektovanja proizvoda i procesa za kvalitet (Majstorović, 2012).

Primena odgovarajućih metoda kontrole kvaliteta obezbeđuje sigurnost i zaštitu od neželjenih produkata, a u isto vreme služi kao sredstvo za identifikaciju rizika, odnosno privremeno zaustavljanje procesa do otklanjanja uzroka poremećaja.

Statističke osnove kontrolnih karata

Kod praćenja bilo koje karakteristike kvaliteta, kao statističke veličine, dobijaju se razne vrednosti koje imaju svoju distribuciju (raspodelu). Kada govorimo o kontinuiranim statističkim skupovima, kod kojih posmatrano obeležje (karakteristika kvaliteta) može poprimiti bilo koju vrednost unutar nekog intervala, onda kvalitet ocenjujemo pomoću merenih veličina, čije vrednosti zavise samo od preciznosti mernog instrumenta.

Rezultati podataka dobijeni pomoću mernih veličina u praksi najčešće pokazuju gomilanje oko neke srednje vrednosti, sa sve manje podataka udaljavanjem od te sredine. Empirijske raspodele učestalosti podataka često pokazuju tendencije koje upućuju na normalnu, Gausovu raspodelu, pa ona u velikom broju slučajeva predstavlja teoretsku osnovu statističkih metoda u praksi. Takođe, veliki broj slučajnih promenljivih ima aproksimativno normalan raspored (Ivković, 1992, p. 17). Ono što se i javlja u procesu proizvodnje jesu upravo obeležja koja variraju pod delovanjem slučajnih uzroka, što predstavlja prirodno rasipanje obeležja procesa, pa se lako mogu izračunati granice slučajnih rasipanja određenih parametara.

Za slučajnu promenljivu kažemo da je distribuirana po zakonu normalne ili Gausove raspodele ako je područje njenih vrednosti od $-\infty$ do $+\infty$, a funkcija verovatnoće data izrazom:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Odavde se može lako zaključiti da je normalna raspodela određena parametrima aritmetičke sredine i standardnog odstupanja.

U standardizovanom obliku dobijamo da je:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}z^2} \quad (2)$$

Standardizacijom slučajne promenljive (z) vrši se standardizacija svake realizovane vrednosti, čime za svaku vrednost (x) dobijamo meru njenog odstupanja od srednje vrednosti (μ) u odnosu na standardnu devijaciju populacije σ . Iz izraza $z \cdot \sigma = x - \mu$ dolazimo do zaključka da nam standardizovana vrednost slučajne promenljive zapravo pokazuje njenu udaljenost od srednje vrednosti, izraženu u standardnim devijacijama σ . Drugim rečima, to bi značilo da će $z=3$ značiti da je realizovana vrednost promenljive X udaljena od srednje vrednosti 3σ . Integracijom funkcije verovatnoće dolazimo do površine ispod funkcije, odnosno do rezultata da je verovatnoća da slučajna promenljiva uzme vrednost iz intervala (a, b) data Laplasovom funkcijom (Merkle, 2010, p. 94).

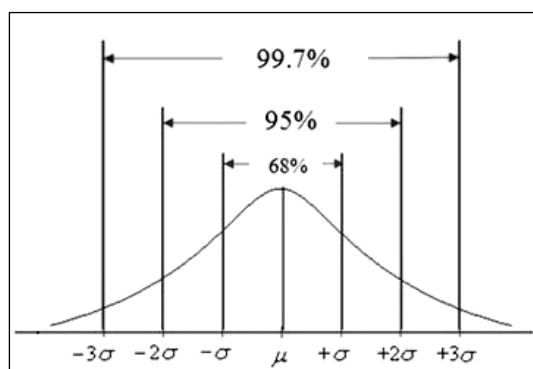
$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} e^{-\frac{z^2}{2}} dt \quad (3)$$

S obzirom na to da dati integral nema primitivnu funkciju, vrednost nalazimo iz tablica standardne normalne raspodele (Vukadinović, Popović, 2008, p. 613). Tako dolazimo do rezultata o verovatnoćama pojavljivanja vrednosti slučajne promenljive X u određenim intervalima, u odnosu na srednju vrednost populacije μ , što je prikazano na slici 1:

$$P(\mu - \sigma \leq X \leq \mu + \sigma) = 68,26\%$$

$$P(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) = 95,46\%$$

$$P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) = 99,73\%$$



Slika 1 – Raspodela verovatnoća oko srednje vrednosti
Figure 1 – Distribution of probabilities around the mean

Poslednji zaključak ukazuje na to da će se 99,7% svih podataka naći u intervalu od $\pm 3\sigma$ od srednje vrednosti posmatranog obeležja, odnosno da se očekuje da 99,7% vrednosti svih merenja bude u tom intervalu (Nelson, 2006, pp. 71–74).

Kada podaci slede normalnu raspodelu, sposobnost procesa definiše se terminom rasipanje procesa i meri se prirodnom tolerancijom $T=6\sigma$, gde rasipanje sadrži 99,73% usaglašenih proizvoda (Lazić, 2011a). To će značiti da će se van tog intervala širine 6σ naći zanemarljiv broj podataka. Zbog toga se u praksi granice od $\pm 3\sigma$ uzimaju kao granice verovatnoće za ocenu neke pojave.

Normalna raspodela je najvažnija među svim raspodelama, jer mnoštvo pojava pri posmatranju kontinuiranih obeležja upućuje, po svom obliku raspodele vrednosti obeležja, na normalnu raspodelu, ali u određenim uslovima (koji su u praksi često ispunjeni) raspodele diskontinuiranih obeležja mogu se, takođe, aproksimirati normalnom raspodelom. Mnoge statističke analize zasnivaju se na pretpostavci da osnovni skup iz kojeg se uzimaju uzorci sledi zakon normalne raspodele.

U razmatranjima bitnim za praćenje procesa značajne su karakteristike srednje vrednosti i karakteristike rasipanja. Značajne karakteristike – mere srednje vrednosti jesu aritmetička sredina, medijana i modus, a značajne karakteristike rasipanja su raspon vrednosti, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Kod većeg broja izmerenih vrednosti, u praktičnim primenama statističkih metoda, najčešće se koriste aritmetička sredina i standardno odstupanje.

Uloga i značaj kontrolnih karata

U procesu proizvodnje pojavljuje se veliki broj faktora koji utiču na kvalitet proizvoda. Da bi se ti faktori otkrili i na njih blagovremeno uticalo, potrebno je da se proces stalno prati. Svakom procesu imanentni su nedostaci koji uzrokuju popravke, dorade, gubitke, dodatno vreme izrade i povećane troškove. Usredsređivanjem na te nedostatke i koncentrisanjem napora za njihovo smanjenje, smanjiće se i vreme izrade i troškovi procesiranja (Rajković, 2012). Troškovi se mogu smanjiti smanjenjem rasipanja. Kada se to postigne, automatski se podiže i nivo kvaliteta proizvoda (Lazić, 2011b). U svakom procesu potrebno je pratiti karakteristike kvaliteta proizvoda ili usluge. Kod novog proizvoda najznačajnije je ustanovljavanje tolerancija dimenzionalnih mera. Odrednice za kvalitet potrebno je utvrditi još u fazi planiranja (Đedović, 2009, p. 122). Konstruktor određuje tolerancije, koje proces proizvodnje često nije u stanju da zadovolji. Čak i ukoliko je kvalitet jasno definisan za sve operacije proizvoda, i ustanovljeno da su obezbeđeni svi preduslovi da se ispravna proizvodnja nastavi, to još uvek ne znači da za vreme rada neće doći do određenih promena u procesu. Zbog toga je potrebno karakteristike kvaliteta pratiti jedinstvenom kartom.

Naravno, sasvim je jasno da radnik u proizvodnji neće moći odmah da uoči da je došlo do odstupanja koja su značajna za kvalitet, s obzirom na to da se odstupanja u karakteristikama kvaliteta očigledno retko pokazuju. Zbog toga je potrebno organizovati i neki način kontrole dok proizvodnja teče, te se kontrolne karte i javljaju kao pogodno sredstvo.

Pri upotrebi kontrolnih karata, bilo za merene veličine, bilo za atributivne ocene, uzimaju se uzorci iz procesa u određenim intervalima, a u kartu upisuju statističke karakteristike uzoraka. Kontrolne granice, kao granice slučajnih rasipanja statističkih karakteristika uzoraka iz procesa za određeni interval poverenja, takođe se ucrtavaju u kontrolnu kartu. Računanje kontrolnih granica zasniva se na pretpostavci statistički stabilnih procesa, odnosno procesa na koje deluju samo slučajni uzroci. Pojava značajnih uzroka u procesu manifestovaće se na kontrolnoj karti tačkama izvan kontrolnih granica, što će predstavljati pokazatelj potrebe za preduzimanjem određenih korektivnih zahvata.

Vrlo je malo industrijskih procesa koji su statistički potpuno verno objašnjeni, naročito za neki duži vremenski proizvod. Međutim, ova činjenica ne umanjuje važnost kontrolnih karata, s obzirom na njihovu malu osetljivost na odstupanja od normalnosti pojave koju pratimo.

Brojne stručne rasprave i iskustva iz prakse pokazuju da su kontrolne karte izuzetno prikladno i vrlo jeftino sredstvo za praćenje i upravljanje procesima, naročito ako se pravilno primene na pravom mestu u proizvodnom procesu.

Tehnika kontrolnih karata zapravo predstavlja statističko regulisanje procesa, što podrazumeva statističku kontrolu tekućih aktivnosti radi intervenisanja u slučajevima kada proces izađe van propisanih kontrolnih granica (Carter, 2012). Kada kažemo da je neki proces pod kontrolom, to znači da je variranje kvaliteta u granicama intervala poverenja za zadati interval značajnosti i da je proces stabilan. Kad proces nije pod kontrolom, imamo nenormalno variranje kvaliteta, čija je posledica nestabilnost procesa. U tom smislu, njihov zadatak je da:

- održavaju proces u stanju kontrole;
- dovedu proces u stanje kontrole, i
- pokažu da li je postignuto stanje kontrole.

Iz opisanog postupka može se zaključiti da je postupak vrlo jednostavan, i da bi se o njemu lako pripremlilo uputstvo i radniku, ali planiranje kontrole u pogledu određivanja mesta, karakteristika i učestalosti praćenja, računanja kontrolnih granica i interpretacije dobijenih rezultata zahteva stručno poznavanje osnova na kojima se zasnivaju kontrolne karte.

Najpre se treba usmeriti na karte srednjih vrednosti, čija ideja je veoma jednostavna, i zasniva se na konstrukciji kritične oblasti testa značajnosti koji se odnosi na hipotezu o matematičkom očekivanju. Obeležje X koje posma-

tramo kod svakog proizvoda treba da ima propisanu određenu vrednost x_0 , statistički shvaćeno. Usled raznih slučajnih (dakle, nepredvidivih i nekontrolisanih) fluktuacija u proizvodnom procesu, obeležje X je slučajna promenljiva za koju, po centralnoj graničnoj teoremi, možemo smatrati da ima normalnu raspodelu. Tada je propisana vrednost x_0 ostvarena ukoliko je matematičko očekivanje slučajne promenljive X jednako baš x_0 .

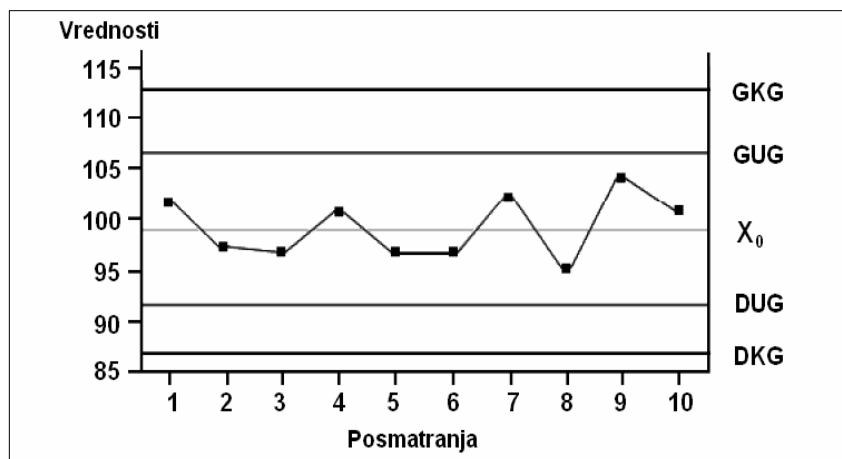
Da bismo proverili da li se proces odvija u dozvoljenim granicama, uzimamo periodično po n uzoraka, merimo njihovo obeležje X , i iz tako uzetog uzorka nalazimo srednju vrednost.

Sa usvojenim pragom značajnosti α testiramo hipotezu $H_0(x = x_0)$, tj. proveravamo da li \bar{x} pripada kritičnoj oblasti. Ukoliko pripada, to je signal da je proces znatno odstupio od dozvoljenih granica i da je potrebna intervencija da bi se otklonio uzrok tog odstupanja. Polazi se od varijanse sredine populacije date relacijom: $\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma^2 / n$, i standardne greške sredine populacija date relacijom $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$.

Ova procedura testiranja je maksimalno uprošćena primenom kontrolnih karata, u kojima se kao ordinate nanose srednje vrednosti \bar{x} periodično unetih proba obima n , i na kojima je kritična oblast odvojena dvema paralelnim horizontalnim pravama, koje označavaju donju i gornju granicu – interval poverenja ocene srednje vrednosti:

$$DKG_{\bar{x}} = x_0 - z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{x}} = x_0 + z_{1-\alpha} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

U primeni ove formule specificiran je nivo poverenja $1 - \alpha$, iz kojeg mi determinišemo vrednost: α , $\alpha/2$, $z_{\alpha/2}$, primenom odgovarajućih tablica.



Slika 2 – Prikaz osnovnih elemenata kontrolne karte
Figure 2 – Presentation of the essential elements of the control card

Ukoliko su u nizu uzetih uzoraka srednje vrednosti \bar{x} između granica DKG i GKG, proces proizvodnje je stabilan; ukoliko \bar{x} pređe ispod DKG ili iznad GKG, onda je proces izašao van kontrolisanog stanja i zahteva regulisanje. Tada se obično kontrolišu svi proizvodi od prethodne zadovoljavajuće provere. Kako bi se sprečilo odstupanje proizvoda od zadatih granica, veoma često se definišu i donje i gornje upozoravajuće granice (DUG i GUG), koje predstavljaju vrednosti koje signaliziraju da proces ima tendenciju nestabilnosti, odnosno da je potrebno pratiti rezultate narednih merenja sa povećanom pažnjom.

Pored toga, kontrolne karte pružaju objektivnu informaciju o stanju kvaliteta rukovodećem osoblju. One imaju i psihološko dejstvo, jer radnik, podešavač, kontrolor, neposredni rukovodilac i tehnolog dobijaju vizuelnu predstavu o valjanosti i sposobnosti procesa, pa doživljavaju ličnu satisfakciju za uspešno obavljene poslove ili osećaju potrebu da preduzmu ili pokrenu korektivnu aktivnost za otklanjanje uzroka lošeg kvaliteta.

Veliki je broj karakteristika kontrolnih karata koje potvrđuju ovu tvrdnju, pa se za kontrolnu kartu može reći:

- da je prikladan način da radnik ili kontrolor upisuju podatke kontrole;
- da omogućava jasan pregled stanja i kretanja procesa, u odnosu na pojedinačne i momentalne utiske kojima su ljudi često skloni;
- da je vrlo osetljiva na promene u procesu, pa se može upotrebljavati i za delimično predviđanje pojava u vreme odvijanja procesa;
- da pregledno razdvaja slučajne i značajne uzroke promena u procesima i predstavlja kontinuiran grafički test značajnosti, odnosno javlja se kao testiranje hipoteze statističke stabilnosti procesa;
- da može služiti u sprečavanju prekomernog regulisanja procesa od strane proizvodnog radnika, kada radnik novim podešavanjem reaguje na slučajna odstupanja i tako menja dobro podešen proces;
- da daje pouzdanu sliku o procesu, a u slučaju „hroničnih“ problema pregledno i uverljivo pomaže u uveravanju rukovodstva pri odlučivanju o preduzimanju korekcionih mera, i
- da je kontrolna karta izuzetno pogodan način komuniciranja o vrlo konkretnim problemima procesa, i to prvenstveno od radnika i kontrolora u proizvodnji, prema tehnologiji, konstrukciji i ostalim sektorima u organizaciji.

Kontrolne granice izračunavaju se na tri načina:

- na osnovu snimljenih podataka tehnološkog procesa;
- na osnovu zadate tolerancije karakteristike kvaliteta koja se prati;
- na osnovu poznavanja sposobnosti tehnološkog sistema (6σ).

U literaturi o statističkoj kontroli kvaliteta javljaju se različite kontrolne karte za praćenje kvaliteta pomoću merenih veličina i atributivnih ocena, ali se za nadgledanje srednjih vrednosti procesa najčešće upotrebljavaju \bar{x} R kontrolne karte, a za praćenje pojedinačnih slučajeva X-karta.

Kontrolne karte $\bar{X}R$

Klasične kontrolne karte, u kojima se prati kretanje aritmetičkih sredina \bar{x} i raspona R uzoraka koji se povremeno uzimaju iz procesa sastavljene su tako da koriste potpunu prednost ocene na osnovu matematičke statistike. Takva karta omogućava brze i pouzdane ocene prikazivanja i praćenja promene tehnološkog procesa. Naročito je pogodna u procesima u kojima se proizvodi na posmatranoj operaciji pojedinačno tretiraju, ali se takođe uspešno primenjuje i u procesnoj industriji. Kontrolnom tehnologijom definiše se veličina uzorka i učestalost kontrolisanja, a kontrolor vrši obilaske kako je to propisano i meri karakteristiku kvaliteta čije se variranje posmatra.

Kontrolor u svakom posmatranju evidentira pojedinačne vrednosti za posmatranu karakteristiku kvaliteta na uzorku koji ispituje. Iz ovih vrednosti se za svako posmatranje izračunava prosek \bar{x} i raspon R.

Postupak rada je sledeći:

- iz procesa koji pratimo uzimaju se relativno mali uzorci (3–5), obično u neredovnim vremenskim razmacima, čija učestalost zavisi od stabilnosti procesa;
- na uzorku se meri praćena karakteristika kvaliteta, pri čemu se dobija n izmerenih vrednosti;
- za izmerene vrednosti u uzorku izračunaju se aritmetička sredina i raspon;
- izračunate vrednosti aritmetičke sredine i raspona uzorka upisuju se u kontrolnu kartu $\bar{X}R$;
- za aritmetičke sredine i raspone uzoraka računaju se kontrolne granice i ucrtavaju u kontrolnu kartu.

Tabela 1

Prikaz osnovne postavke procesa uzorkovanja

Table 1

Presentation of the essentials of the sampling process

	Posmatranja				
	1	2	3	...	k
Vrednosti u datom posmatranju (from given observation)	x_{11} x_{21} x_{31} · · x_{n1}	x_{12} x_{22} x_{32} · · x_{n2}	x_{13} x_{23} x_{33} · · x_{n3}	· · · · · ·	x_{1k} x_{2k} x_{3k} · · x_{nk}
Srednje vrednosti (Mean)	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	·	\bar{x}_k
Raspon (Range)	R_1	R_2	R_3	·	R_k

$$\bar{x}_j = \frac{x_{1j} + x_{2j} + x_{3j} + \dots + x_{nj}}{n}$$

$$R_j = x_{j(max)} - x_{j(min)}$$

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}R$ kontrolne karte na osnovu snimljenih podataka tehnološkog procesa

Ukoliko se za kritične granice zadaje prag značajnosti $\alpha=0,0027$ ($z_{1-\alpha}=z_{0,9973}=3$), koji podrazumeva da se samo 27 od 10 000 primeraka može naći van zadatih granica, u tom slučaju ćemo tvrditi da se 99,73% vrednosti nalazi u intervalu $\pm 3\sigma$ u od srednje vrednosti. Za upozoravajuće granice obično se uzima $\alpha=0,005$ ($z_{1-\alpha}=z_{0,995}=1,96$). Za $1-\alpha=0,95$ sledi da je $\alpha=0,05$, $\alpha/2=0,025$, a $z_{\alpha/2}=z_{0,25}=1,96$.

U tom slučaju, kontrolne granice će biti:

$$DKG_{\bar{x}} = x_0 - 3 \cdot s_{\bar{x}} \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{x}} = x_0 + 3 \cdot s_{\bar{x}} \quad (6)$$

a upozoravajuće

$$DUG_{\bar{x}} = x_0 - 1,96 \cdot s_{\bar{x}} \quad \text{i} \quad GUG_{\bar{x}} = x_0 + 1,96 \cdot s_{\bar{x}} \quad (7)$$

Gde je $s_{\bar{x}}$ standardna devijacija uzorka i jednaka je korenu varijanse uzorka $s_{\bar{x}} = \sqrt{s^2}$.

Kao što se i vidi, kontrolne granice zavise od x_0 i σ , od praga značajnosti α i veličine probe n . U praktičnim primenama parametri x_0 i σ^2 obično nisu poznati. Tada se postupa tako što nepoznate zamenjujemo njihovim ocenama na osnovu uzoraka. Za inicijalno formiranje statističkih osnova karte uzorak je obično mali, ali je radi pouzdanosti podataka preporučljivo da bude 5–10, s tim što je potrebno da broj posmatranja k bude bar 20–30, kako bi ovu kontrolnu kartu mogli podvrći kvalitetnoj statističkoj analizi.

Za ocenu x_0 uzimamo vrednost:

$$x_0 = \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j \quad (8)$$

dok za ocenu varijanse uzimamo:

$$s^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k s_j^2, \quad \text{gde je} \quad s_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij}^2 - \bar{x}_j^2) \quad (9)$$

Međutim, u praksi se radije koriste druge ocene, gde se računski deo posla pojednostavi. Za računanje kontrolnih granica koristi se tabela faktora za izračunavanje kontrolnih granica za izmerene vrednosti karakteristike kvaliteta, čiji je deo prikazan u sledećoj tabeli.

Prikaz faktora za izračunavanje kontrolnih granica

Tabela 2

Presentation of the factors for the calculation of control limits

Table 2

n	A	A ₁	A ₂	B ₃	B ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	d ₂
2	2,121	3,760	1,880	0,000	3,267	0,000	3,687	0,000	3,269	1,128
3	1,732	2,394	1,023	0,000	2,569	0,000	4,357	0,000	2,574	1,693
4	1,500	1,880	0,729	0,000	2,267	0,000	4,699	0,000	2,282	2,059
5	1,342	1,596	0,577	0,000	2,090	0,000	4,918	0,000	2,114	2,326
6	1,225	1,410	0,483	0,030	1,970	0,000	5,078	0,000	2,004	2,534
7	1,134	1,277	0,419	0,117	1,883	0,205	5,203	0,076	1,924	2,704

Prikazani parametri predstavljaju pondere u izračunavanju donjih i gornjih granica kod različitih kontrolnih karata.

Korišćenjem podataka iz tabele čiji je deo prikazan, možemo lako doći do kontrolnih granica. Za ocenjenu srednju vrednost podataka uzimamo x_0 , koja predstavlja srednju vrednost računatu kao što je pokazano u jednačini 6. U svakom probnom uzorku odredimo raspon R , i izračunamo aritmetičku sredinu raspona \bar{R} i standardnu devijaciju uzorka $S_{\bar{x}}$.

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k R_j \quad \text{i} \quad s_x = \frac{R}{d_2 \cdot \sqrt{n}} \quad (10)$$

Oдавde sada lako možemo izračunati kontrolne granice iz jednačine 6: $DKG_{\bar{x}} = x_0 - 3 \cdot s_x$ i $GKG_{\bar{x}} = x_0 + 3 \cdot s_x$

Kontrolne granice procesa pokazuju kvalitativno kretanje procesa, njegovu stabilnost i sposobnost. To su granice mogućnosti jednog procesa i predstavljaju normalne varijacije koje se mogu očekivati.

S obzirom na to da su vrednosti kojima se raspolaže dobijene merenjem uzoraka, za izračunavanje kontrolnih granica koriste se koeficijenti A_2 , D_3 i D_4 , koji zavise samo od veličine uzorka n (Bakija, 1978).

$$DKG_{\bar{x}} = x_0 - A_2 \cdot \bar{R} \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{x}} = x_0 + A_2 \cdot \bar{R} \quad (11)$$

$$DKG_{\bar{R}} = D_3 \cdot \bar{R} \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{R}} = D_4 \cdot \bar{R} \quad (12)$$

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}\bar{R}$ kontrolne karte na osnovu zadate tolerancije karakteristike kvaliteta

Kao i u drugim slučajevima, i u ovom se usvaja da se pojava koju analiziramo ponaša po zakonu normalne raspodele. Da bi se izračunale kontrolne granice, potrebno je prethodno specificirati zadatu toleranciju T i meru srednjeg tolerantnog polja x_0 (Mitrović, 1996, p.144). Takođe, uvođi se pretpostavka da je $T=6\sigma$.

Kontrolne granice srednjih vrednosti uzoraka izračunavaju se kao:

$$DKG_{\bar{x}} = x_0 - A \cdot T \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{x}} = x_0 + A \cdot T \quad (13)$$

dok se kontrolne granice raspona računaju kao:

$$DKG_R = D_1 \cdot T \quad \text{i} \quad GKG_R = D_2 \cdot T \quad (14)$$

Izračunavanje granica na osnovu zadate tolerancije vrši se u slučajevima kada, zbog kratkog vremenskog roka, nismo u mogućnost da snimimo proces.

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}\bar{R}$ kontrolne karte na osnovu poznavanja sposobnosti tehnološkog procesa

Izračunavanje kontrolnih granica na osnovu snimljenog tehnološkog procesa zahteva mnogo vremena i brižljive pripreme, kako dobijeni podaci ne bi dali krivu sliku o stvarnom stanju. Tačno snimljeni podaci omogućavaju izračunavanje kontrolnih granica. Njihova vrednost zadržava se tokom praćenja i ima prednost nad kontrolnim granicama izračunatih pomoću zadate tolerancije, s obzirom na to da uzimaju u obzir sposobnost tehnološkog procesa.

$$DKG_{\bar{x}} = x_0 - A \cdot \sigma_0 \quad \text{i} \quad GKG_{\bar{x}} = x_0 + A \cdot \sigma_0 \quad (15)$$

dok se kontrolne granice raspona računaju kao:

$$DKG_R = D_1 \cdot \sigma_0 \quad \text{i} \quad GKG_R = D_2 \cdot \sigma_0 \quad (16)$$

Kontrolne karte $\bar{X}\sigma$

Kontrolne karte $\bar{X}\sigma$ služe za praćenje tehnološkog procesa preko aritmetičke sredine i standardne devijacije mernih veličina uzoraka. Primjenjuju se za praćenje tehnološkog procesa sa većim brojem komada u uzorku, a redovno više od 15 komada.

Ova karta koristi se u procesu proizvodnje kada je trajanje operacije duže, i pri kojem postoji relativno veće rasipanje, tj. kada su potrebni što pouzdaniji podaci i kada je veći uzorak neophodan za detaljan uvid u rezultate.

Umesto raspona, ovde se standardna devijacija pojavljuje kao mera rasipanja. Zbog složenosti izračunavanja standardne devijacije, čak i u slučajevima korišćenja računskih pomagala, ova kontrolna karta se koristi samo onda kada je to izuzetno neophodno. Praktično se pokazalo da se raspon sa dovoljnom tačnošću može upotrebljavati umesto standardne devijacije. Kontrolne granice izračunavaju se za ista tri slučaja kao i kod kontrolne karte $\bar{X}R$.

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}\sigma$ kontrolne karte na osnovu snimljenih podataka procesa

Za izračunavanje ovih granica potrebno je najpre naći centralnu liniju standardne devijacije i centralnu liniju srednjih vrednosti uzoraka. Centralna linija srednjih vrednosti uzoraka računa se na isti način kao i kod kontrolne karte $\bar{X}R$, dok se centralna linija standardne devijacije računa kao:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i}{k} \quad (17)$$

Sada se na osnovu tih podataka računaju kontrolne granice. Kontrolne granice standardne devijacije izračunavaju se kao:

$$DKG_{\sigma} = B_3 \cdot \bar{\sigma} \quad DKG_{\sigma} = B_3 \cdot \bar{\sigma} \quad (18)$$

dok se kontrolne granice srednjih vrednosti računaju kao:

$$DKG_{\bar{x}} = \bar{x} - A_1 \cdot \sigma_0 \quad GKG_{\bar{x}} = \bar{x} + A_1 \cdot \sigma_0 \quad (19)$$

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}\sigma$ kontrolne karte na osnovu zadate tolerancije

Sa unapred zadatom tolerancijom, kontrolne granice standardne devijacije izračunavaju se kao:

$$DKG_{\sigma} = B_1 \cdot T \quad \text{i} \quad GKG_{\sigma} = B_2 \cdot T \quad (20)$$

dok se kontrolne granice srednjih vrednosti računaju kao:

$$DKG_x = x_0 - A \cdot T \quad \text{i} \quad GKG_x = x_0 + A \cdot T \quad (21)$$

Izračunavanje kontrolnih granica $\bar{X}\sigma$ kontrolne karte na osnovu sposobnosti tehnološkog procesa

U slučajevima kada su nam poznate karakteristike tehnološkog procesa, kontrolne granice standardne devijacije izračunavaju se kao:

$$DKG_{\sigma} = B_1 \cdot \sigma_0 \quad \text{i} \quad GKG_{\sigma} = B_2 \cdot \sigma_0 \quad (22)$$

dok se kontrolne granice srednjih vrednosti računaju kao:

$$DKG_x = x_0 - A \cdot \sigma_0 \quad \text{i} \quad GKG_x = x_0 + A \cdot \sigma_0 \quad (23)$$

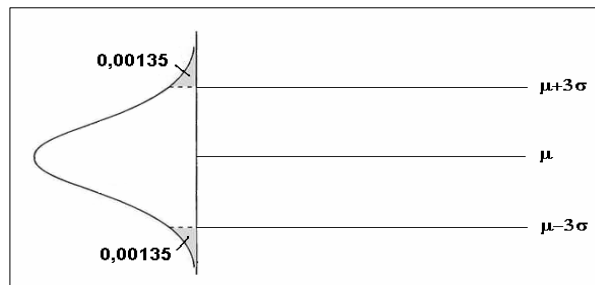
Kontrolne X-karte

Kontrolna X-karta, ili kontrolna karta pojedinačnih slučajeva, predstavlja grafik vremenskog niza pojedinačnih merenja karakteristike i rezultata procesa, na kojem su ucrtane centralna linija i kontrolne granice. U stalnim procesima ova karta je pogodnija od \bar{X}_R i $\bar{X}\sigma$ kontrolnih karata, i pruža znatno jednostavniju obradu rezultata, kao i analizu dnevnih rezultata u procesima u kojima aktivnosti nemaju serijski karakter.

Zapravo, X-karta je najjednostavniji oblik kontrolne karte, koji ispunjava osnovne zahteve postavljene kontrolnom kartom, brzi uvid u stanje i dovoljno detaljan prikaz za zaključivanje. Iz nje se jasno može videti gde se nalaze izmerene pojedinačne vrednosti u odnosu na tolerantno polje, a takođe se vidi i raspon pojedinih izmerenih veličina.

Centralna linija i ovde predstavlja prosečnu vrednost karakteristike kvaliteta kada je proces u stanju statističke kontrole. Kontrolne granice određuju se tako da, kada je proces pod kontrolom, postoji veoma mala

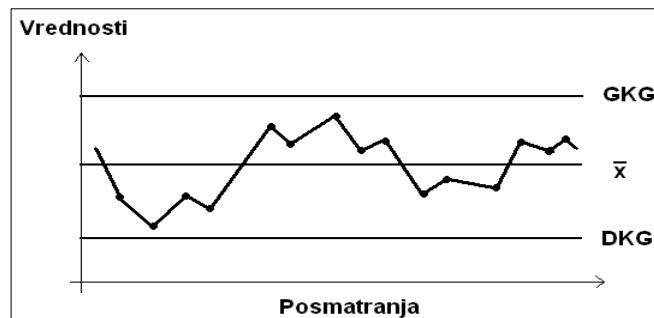
moćnost da pojedinačna vrednost promenljive – karakteristike procesa budu van granica kontrolne karte. U praksi se kontrolne granice najčešće postavljaju na rastojanju od 3 standardne devijacije (3σ) od centralne linije (proseka procesa). Ukoliko je proces pod kontrolom i ima normalan raspored, verovatnoća da pojedinačna merenja budu van kontrolnih granica je $\alpha=0,0027$. Tada je $\alpha/2=0,00135$.



Slika 3 – Verovatnoće merenja posmatrane karakteristike procesa
Figure 3 – Probabilities of the measure of the observed characteristic of a process

Sve dok pojedinačne vrednosti ostaju u okviru kontrolnih granica, smatramo da je proces pod kontrolom. Ako se jedna ili više vrednosti nađu van kontrolnih granica, to će značiti da se radi o nekoj retkoj pojavi ili da je proces van kontrole. U svakom slučaju, to je signal da treba pratiti proces. Ukoliko se pokaže da je proces van kontrole, potrebno je preduzeti adekvatne korektivne mere za eliminisanje postojećih posebnih uzroka varijacije.

Naravno, ovde se za svaku tačku unetu u grafik praktično vrši dvostrani test hipoteze, pri čemu kontrolne granice funkcionišu kao kritične vrednosti za test. Kontrolne granice su funkcije prirodne varijabilnosti procesa. Pod pretpostavkom da se koriste 3σ granice, položaj kontrolnih granica je funkcija standardne devijacije procesa.



Slika 4 – Prikaz kontrolne X-karte
Figure 4 – Presentation of the X- control card

Konstrukcija kontrolne X-karte može se prikazati primerom podataka iz sledeće tabele (slučaj iz prakse), praćenjem prečnika određenog elementa proizvodnje.

Tabela 3

Izmerene vrednosti prečnika elementa

Table 3

Measured values of the element diameter

Red. br.	Prečnik	Red. br.	Prečnik	Red. br.	Prečnik	Red. br.	Prečnik
1	1000	11	1000	21	1000	31	998
2	998	12	999	22	1002	32	998
3	1001	13	997	23	1001	33	997
4	1000	14	997	24	999	34	999
5	999	15	998	25	998	35	1000
6	1000	16	1000	26	1000	36	999
7	1001	17	1002	27	1002	37	1001
8	1001	18	1000	28	1003	38	1002
9	1002	19	999	29	1001	39	1000
10	1001	20	1001	30	1000	40	1001

Na osnovu podataka iz tabele računamo srednju vrednost i standardnu devijaciju, gde su x_i podaci, a f_i učestalost njihove pojave:

Tabela 4

Pomoćna tabela za računanje aritmetičke sredine i standardne devijacije

Table 4

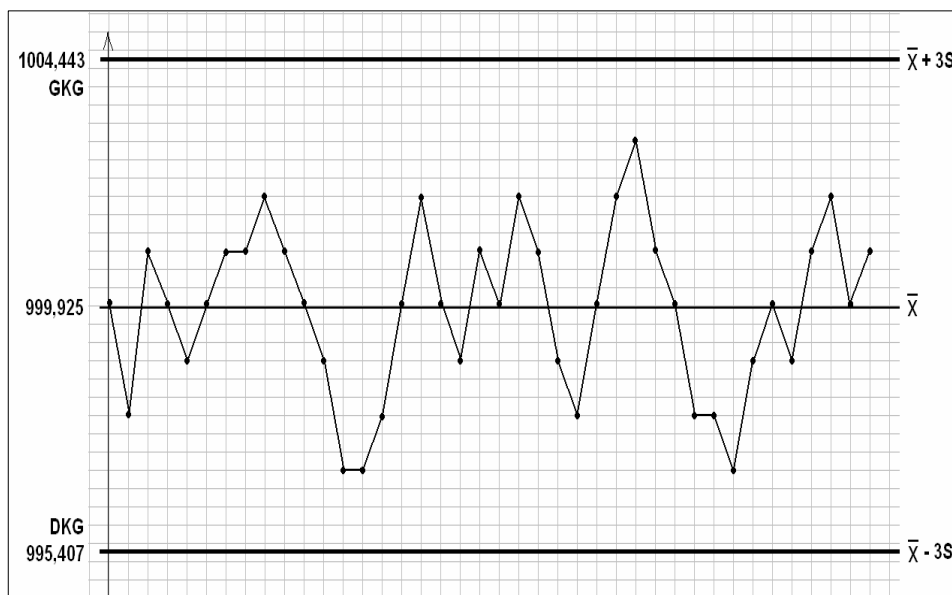
Auxiliary table for the calculation of the mean and the standard deviation

X_i	f_i	$x_i \cdot f_i$	$x_i^2 \cdot f_i$
997	3	2991	2982027
998	5	4990	4980020
999	6	5994	5988006
1000	11	11000	11000000
1001	9	9009	9018009
1002	5	5010	5020020
1003	1	1003	1006009
	$\Sigma f_i = 40$	$\Sigma(x_i \cdot f_i) = 39997$	$\Sigma(x_i^2 \cdot f_i) = 39994091$

$$\bar{x} = \frac{\sum(x_i \cdot f_i)}{\sum f_i} \Rightarrow \bar{x} = \frac{39997}{40} \Rightarrow \bar{x} = 999,925$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i^2 \cdot f_i)}{\sum f_i} - \bar{x}^2} \Rightarrow s = \sqrt{2,269375} \Rightarrow s = 1,506 \Rightarrow 3s = 4,518$$

Iz dobijenih rezultata centralnu liniju postavljamo tako da ordinatu preseca na 999,925, dok kontrolne granice postavljamo na $\pm 3s$ (s je standardna devijacija uzorka) u odnosu na nju. To će značiti da gornju kontrolnu granicu postavljamo na rastojanju $3s$ iznad centralne linije, a donju kontrolnu granicu na $3s$ ispod centralne linije. Tako će gornja kontrolna granica (GKG) biti na 1004,443, a donja kontrolna granica (DKG) na 995,407. Kada su postavljene kontrolne granice, na kontrolnu kartu se unose tačke koje predstavljaju realizovane vrednosti karakteristike kvaliteta koju merimo, u ovom slučaju dužine, i to onim redom kojim su nastajale.



Slika 5 – Prikaz kontrolne X-karte za praćenje prečnika elementa
Figure 5 – Presentation of the X- control card for monitoring the element diameter

Kako se može i videti sa kontrolne karte za dati primer, sva merenja bila su u okviru zadatih granica, te se ne može odbaciti hipoteza da je proces pod kontrolom.

Pored kontrolnih, proces može biti određen i specifikacionim granicama, koje ne zavise od procesa. Specifikacione granice, odnosno granične tačke koje definišu prihvatljive vrednosti za posmatrano obeležje procesa, određuju rukovodioci, tehnolog ili kupci, što olakšava definisanje granica. Slično kontrolnim, i specifikacione granice mogu biti jednostrane i dvostrane. Za rezultat procesa koji se nađe u okviru specifikacionih granica kažemo da se slaže sa specifikacijom, a u suprotnom slučaju da je neprilagođen.

Zaključak

Nametanjem standarda u svim oblastima, posebno u proizvodnji i uslugama, i u vezi sa tim održavanjem i snabdevanjem, dolazi se do jedinstvenih pogleda i uspostavljanja zajedničkih kriterijuma. Već samom opredeljenošću za dostizanje standarda kvaliteta preuzima se i obaveza uspostavljanja mehanizama i procedura kojima će se obezbediti ostvarenje planiranog i zahtevanog.

Statistička kontrola kvaliteta odavno se pokazala kao pouzdan, neizbežan i nezamenljiv alat u kontroli procesa. Sa druge strane, statistički podaci na dovoljnom broju uzoraka služe i kao parametar kojim se mogu definisati značajni parametri poput garantnog roka. Takođe, statistički podaci predstavljaju i pokazatelje kojima se definiše prihvatanje određenog proizvoda/usluge, odnosno definiše interval pouzdanosti za datu karakteristiku kvaliteta.

Kontrolne karte, kao inženjersko-matematičko sredstvo, predstavljaju veoma pogodan alat za ostvarenje ciljeva statističke kontrole. Optimalnom primenom kontrolnih karata obezbeđuje se konstantno praćenje procesa, usmeravanje ka željenom toku i preduzimanje eventualnih korektivnih mera. Takođe, njihovom primenom osigurava se ispunjenje projektovanih ili zahtevanih karakteristika kvaliteta, odnosno ispunjenje zahteva određenog standarda. Svojom jednostavnošću primene i pouzdanošću obezbeđuju korisnicima pogodnost u radu i relevantne pokazatelje procesa, a kontrolorima procesa daju validne podatke o toku procesa. Kao takve, predstavljaju alat kojim se čitav proces drži u zadatim granicama.

Najznačajniju primenu kontrolne karte mogu naći u proizvodnim procesima, ali i u ostalim povezanim funkcijama, poput održavanja, snabdevanja, transporta, itd. Prilagođavanjem konkretnim problemima, statistička kontrola kvaliteta i kontrolne karte mogu imati značajno mesto u vojnoj industriji. Tako, na primer, procesi proizvodnje pešadijskog naoružanja, artiljerijskih oruđa umnogome mogu biti zavisni od kalibra cevi ili mase projektila, a u vazduhoplovstvu elementi krila aviona ili hidro-komponenti stajnog trapa zahtevaju strogu kontrolu kvaliteta. Stoga, statistička kontrola kvaliteta treba da ima prvorazredni značaj u uspostavljanju ili dostizanju standarda, a sve radi stalnog unapređenja stanja i obezbeđenja pozicija na tržištima.

Literatura

Bakija, I., 1978, *Kontrola kvalitete*, Zagreb, Tehnička knjiga.

Carter, M., *Control charts in quality control- Shewart charts*, Dostupno na: <http://printfu.org/read/>, Preuzeto: 13. 02. 2012.godine.

Đedović, B., 2009, *Vođenje i vrednovanje projekata*, Beograd, Fakultet za menadžment MSP.

- Ivković, Z., 1992, *Matematička statistika*, Beograd, Naučna knjiga.
- Karović, S., Komazec, N., 2010, *Upravljanje rizicima kao preduslov integrisanog menadžment sistema u organizaciji/Risk Management as a prerequisite of the integrated management system in organizations*, Beograd, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 58(3), pp. 146–161.
- Lazić, M., 2011, Sposobnost procesa – merenje i ocena kvaliteta procesa, pp. 64–66, *Nacionalna konferencija o kvalitetu Festival kvaliteta*, Kragujevac, Maj 19–21.
- Lazić, M., 2011, Šest sigma – metodologija unapređenja kvaliteta, pp. 26–30, *Nacionalna konferencija o kvalitetu Festival kvaliteta*, Kragujevac, Maj 19–21.
- Lynch, D., 2012, *ISO 9000 and Organizational Effectiveness*, Quality Management Journal, 14(1), pp. 64–68.
- Majstorović, V., 2012, *Upravljanje kvalitetom proizvoda – materijal za nastavu*, Beograd, Mašinski fakultet.
- Merkle, M., 2010, *Verovatnoća i statistika za inženjere i studente tehnike*, Beograd, Akademska misao.
- Mitrović, Ž., 1996, *Sistem integralne kontrole kvaliteta proizvoda*, Beograd, Yupik.
- Nelson, L., 2006, Interpreting Shewhart X Control Charts, *Journal of Quality Technology*, 36(2), pp. 71–74.
- Radojević, R., 1997, *Inženjering kvaliteta*, Beograd, Društvo operacionih istraživača Srbije.
- Rajković, V., 2012, Lean Six Sigma koncept, *Nacionalna konferencija o kvalitetu Festival kvaliteta*, Kragujevac, Jun 7–9.
- Stuart, M., Mullins, E., Drew, E., 1996, Statistical Quality Control and Improvement, *European Journal of Operational Research*, 19(4), pp. 203–204.
- Vukadinović, S., Popović, V., 2008, *Matematička statistika*, Beograd, Saobraćajni fakultet.
- Vulanović, V., 2003, *Metode i tehnike unapređenja procesa rada-statističke, inženjerske, menadžerske*, Novi Sad, Istraživački i tehnološki centar – Fakultet tehničkih nauka.

CONTROL CARDS AS A STATISTICAL QUALITY CONTROL RESOURCE

FIELD: Mathematics, Quality Control, Statistical methods applied in specific fields
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

Statistical methods can significantly contribute to the increase of product and service quality, as well as to the increase of institution rating. The definition of optimal, anticipatory and limit values is based on a sample statistical analysis. Control cards represent a very confident instrument simple for use and efficient for process control, by

which a process is maintained in set borders. Control cards can thus be applied in the quality control of processes of weapon and military equipment production, maintenance of technical systems as well as for setting standards and increasing quality levels for many other activities.

Statistical essentials of control cards

An observed characteristic of some process, namely a quality characteristic, can take any value within a given interval. The measurement results are mostly grouped around the mean value, so most stochastic processes are distributed by Gauss's law.

Role and impact of control cards

The control cards technique represents a statistical regulation of a process, which implies a statistical process control in order to react in situations when a process leaves the control limits. Control cards thus ensure the process stability.

$\bar{X}R$ control cards

These are classical control cards, applied in processes in which relatively small samples are taken (3–5) and where sampling frequency depends on process stability. They are based on the monitoring of the mean and the range of a quality characteristic in a sample.

$\bar{X}\sigma$ control cards

These control cards are applied for monitoring processes in which samples larger than 15 pieces are taken due to longer operations and larger dissipation. They are based on the monitoring of the mean and the standard deviation of a quality characteristic in a sample.

X control cards

These control cards are appreciably simpler than the previous ones, so they are particularly applied in processes of control of individual activities or nonserial processes. They represent a proper resource for control in daily processes, and they are based on a simple sample analysis, with control limits set at $\pm 3\sigma$ from the sample mean.

Conclusion

Standardization has become a very significant process in all business activities, so reaching and applying standards is obligatory in every aspect of business nowadays.

Statistical quality control shows to be a confident, obligatory and irreplaceable tool in process control. Control cards, as an engineering-mathematical resource, represent a very useful tool for achieving statistical control aims. Optimal application of control cards ensures constant process monitoring, direction towards a desirable course as well as implementation of corrective measures. Their application also ensures the realization of projected or required quality characteristics, i. e. the realization of the requirements of a certain standard.

Control cards can have the most significant application in production processes as well as in other related functions such as maintenance, supply, transport, etc. Adapted control cards can have a very important role in military industry for permanent improvement, i. e. realization and maintenance of quality standards.

Keywords: Quality control, statistical quality control, statistical methods, control cards.

Datum prijema članka/Paper received on: 19. 07. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/
Manuscript corrections submitted on: 01. 10. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted
for publishing on: 03. 10. 2012.