

Statistična kontrola procesov: empirična primerjava metod kontrolnih kart

Rok ZUPANČIČ, Alojzij SLUGA

Izvleček: Statistična kontrola procesov je danes poleg načrtovanja eksperimentov najbolj razširjen postopek statistične kontrole kakovosti. Hitrost odkrivanja sprememb v procesu je odvisna od vrste kontrolne karte in velikosti vzorca. V članku je narejena empirična primerjava Shewhartovih, Cusum in EWMA kontrolnih kart. Predstavljene so operacijske karakteristike Shewhartovih kontrolnih kart in odvisnost kontrolnih mej od velikosti vzorcev. Primerjava je podkrepljena s konkretnim primerom iz industrije.

Ključne besede: kontrolne karte, Cusum, EWMA, ARL,

1 Uvod

Kakovost lahko razumemo kot sposobnost zadovoljevanja zahtev odjemalca. Želja vsakega proizvajalca je proizvajati kakovostne izdelke, zato je potrebno načrtovanje, vodenje in kontroliranje kakovosti. V tem članku obravnavamo kontroliranje kakovosti. Ta postopek je povezan z velikimi stroški, saj na izdelku ne ustvarja vidne dodane vrednosti, vseeno pa predstavlja stroške. Sodobne metode kontrole kakovosti temeljijo na statistični kontroli procesov in načrtovanju eksperimentov, saj imajo prednost pred metodami kontrole samih izdelkov. Pri tem gre za sklepanje: če je proces pod kontrolo, bodo tudi izdelki skladni z zahtevami odjemalca.

Ključ uspeha v globalnem boju med proizvodnimi podjetji je hiter odziv na hitro spreminjajoče se potrebe trga z visoko kakovostnimi in

konkurenčnimi izdelki. Ameriška industrija letno porabi na stotine milijonov dolarjev za vzdrževanje in obnovo orodij za kakovost, ti stroški pa se povečujejo za 10–15 % letno. Glavni vzrok za to je predolgo ugotavljanje napak. Na srečo je napredek informacijskih tehnologij in tehnologij merjenja omogočil obilo merjenj procesov/izdelkov za uspešno kontrolo procesov. [1]

Procese lahko kontroliramo na osnovi njihovih statističnih parametrov, kjer lahko ustreznost procesa ocenjujemo s spremenljivkami ali z atributi. O kakovosti procesa sklepamo na podlagi vrednosti specifičnih spremenljivk na izdelkih oziroma atributno, kjer povemo le to, ali je določen izdelek ustrezen ali ne. Atributna kontrola je uporabljena, kadar s spremenljivkami ni možno popisati zahtevanih karakteristik izdelka ali pa je merjenje zvezne velikine predrago. Glede na to, koliko spremenljivk, ki predstavljajo kakovostne karakteristike, spremljamo, ločimo enospremenljivo in večspremenljivo kontrolo kakovosti. V nadaljevanju se bomo omejili na procese, kjer nas zanima vrednost posameznih zveznih spre-

menljivk. Pri tovrstni kontroli spremljamo vrednost spremenljivke, npr.: premer gredi, debelina pločevine, natezna trdnost vlaken, itd.

Proizvodni proces kontroliramo na podlagi relevantne spremenljivke procesa, to pa na podlagi statističnega vzorca izdelkov. Pri tem predpostavimo, da je srednja vrednost vzorca normalno porazdeljena.

Cilj statistične kontrole procesov je čim hitreje odkrivanje sprememb v procesu ob čim manjših stroških. To pomeni, da med pojavom spremembe v procesu in njeno identifikacijo mine čim manj časa, kar obenem pomeni tudi čim manjše število izdelkov, za katere ne moremo trditi, da so kakovostni.

Odlično grafično orodje za odkrivanje sprememb v procesu so kontrolne karte, ki so zaradi enostavnosti interpretacije zelo uporabne na različnih nivojih strukture podjetja. Odlična grafična predstavitev omogoča njihovo interpretacijo brez znanja statistike, za njihovo načrtovanje in stroškovno optimizacijo kontrole procesov pa je potrebno tudi poznavanje njihovega ozadja. Kontrolne

Rok Zupančič, univ. dipl. inž.,
Elan, d. o. o., Begunje; lizr. prof.
dr. Alojzij Sluga, univ. dipl. inž.,
Univerza v Ljubljani, Fakulteta
za strojništvo

karte se lahko uporabljajo tako za spremljanje proizvodnih procesov kakor tudi različnih storitev, za katere ni nujno, da so povezane s proizvodnjo. Klasične metode kontrole procesov, kot so metoda Shewhartovih, Cusum in EWMA kontrolnih kart, omogočajo zaznavanje sprememb v procesu šele takrat, ko se te spremembe že zgodijo. Novejši pristopi, ki vključujejo tudi genetske algoritme in nevronske mreže, pa omogočajo tudi napovedovanje sprememb procesa, še preden se te spremembe zgodijo.

2 Metoda Shewhartovih kontrolnih kart

Metoda Shewhartovih kontrolnih kart se je pojavila okrog leta 1930. To je metoda za statistično kontrolo procesov, s katero lahko zaznavamo spremembe srednje vrednosti procesa in spremembe variabilnosti procesa. O teh statističnih parametrih sklepamo na podlagi vzorcev. Večji kot so vzorci, bolj zanesljive so ocene.

Shewhartove kontrolne karte so primarne za spremljanje večjih premikov srednjih vrednosti, in sicer v velikosti $1,5 \sigma$, kjer σ pomeni standardno deviacijo procesa. Za spremljanje manjših premikov moramo imeti neprimerno večjo velikost vzorca, kar pa ni ekonomsko sprejemljivo. Metoda Shewhartovih kontrolnih kart narekuje naslednji postopek:

- Izberemo velikost vzorca.
- Na podlagi preliminarnih (npr. 20) vzorcev predpostavimo srednjo vrednost vzorcev in standardno deviacijo srednjih vrednosti vzorcev. Slednjo lahko ocenimo iz razpona vzorcev (R) ali vzorčne standardne deviacije (S).
- Določimo kontrolne meje za posamezno kontrolno karto. Določata se zgornja kontrolna meja (UCL) in spodnja kontrolna meja (LCL).
- Začnemo uporabljati kontrolne karte za nadaljnjo produkcijo.

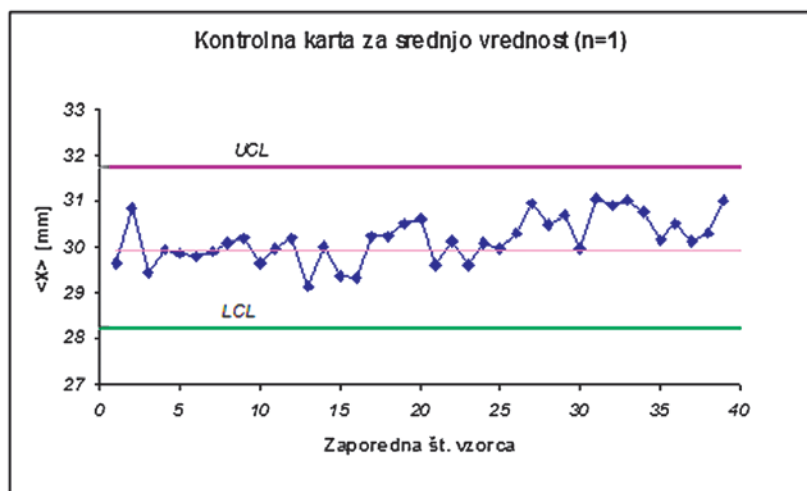
Pri izbiri velikosti vzorca se je potrebno zavedati, da s tem določamo naslednje:

- stroške kontrole;

- zanesljivost ocene oz. jakost testa ($1-\beta$);
- število vzorcev med premikom srednje vrednosti procesa in identifikacijo, da je proces izven kontrole: ARL1 (Average Run Length);
- pričakovano število kosov, ki jih moramo pregledati, da ugotovimo spremembo (I).

Shewhartove kontrolne karte temeljijo na testiranju statističnih hipotez, kjer je osnovna hipoteza H_0 , alternativna hipoteza pa H_1 :

testa ($1-\beta$), obenem pa tudi količina lažnih alarmov. Lažni alarm pomeni, da zaznamo vrednost zunaj kontrolnih mej, čeprav se v procesu ni nič spremenilo, tj., da proces teče pod kontrolo. Vzrok temu je neskončnost normalne porazdelitvene funkcije, kar pomeni, da je povsem realno pričakovati, da bodo v povprečju približno 3 vrednosti od 1000 presegle kontrolne meje $\pm 3 \sigma_{\bar{x}}$. Primer kontrolne karte za srednjo vrednost je prikazan na *sliki 1*, interpretacija rezultatov kontrolnih kart pa v *tabeli 1*.



Slika 1. Shewhartova kontrolna karta za srednjo vrednost, velikost vzorca ($n = 1$)

Tabela 1. Možne interpretacije rezultatov kontrolnih kart

	Srednja vrednost znotraj kontrolnih mej	Srednja vrednost izven kontrolnih mej
Proces pod kontrolo	predpostavljeno stanje	lažni alarm
Proces izven kontrole	napaka 2. vrste	opažena sprememba v procesu

$H_0 = \{\text{Proces je pod kontrolo.}\}$

$H_1 = \{\text{Proces ni pod kontrolo.}\}$

Več o testiranju statističnih hipotez je podano v literaturi [2].

Za kontrolne meje se običajno uporablja odmik od povprečja srednjih vrednosti vzorcev za trikratno vrednost standardne deviacije srednjih vrednosti vzorcev v obe smeri ($\pm 3 \sigma_{\bar{x}}$). Od tega je odvisna jakost

3 Operacijske karakteristike testov

Operacijske karakteristike testov statističnih hipotez določajo verjetnost napake 2. vrste. To pri kontrolnih kartah pomeni, kakšna je verjetnost, da zaznamo srednjo vrednost znotraj kontrolnih mej, čeprav je proces izven kontrole. Verjetnost napake 2.

vrste je odvisna od kontrolnih mej, velikosti premika srednje vrednosti in velikosti vzorca. Verjetnost za napako 2. vrste (β) lahko izračunamo po naslednji formuli, izpeljavo pa najdemo v literaturi, npr. [3]:

$$\beta(k, n) = \Phi(L - k\sqrt{n}) - \Phi(-L - k\sqrt{n}) \quad (1)$$

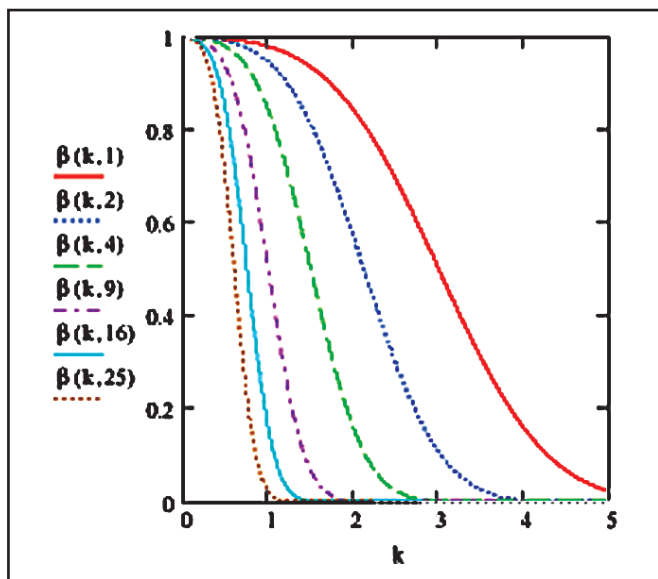
kjer $\Phi(\cdot)$ pomeni kumulativno normalno porazdelitveno funkcijo, $\pm L \sigma$ določa kontrolne meje, $k \sigma$ premik srednje vrednosti procesa, n pa velikost vzorca. Iz zgornje enačbe vidimo, da verjetnost napake 2. vrste ni odvisna od velikosti standardne deviacije procesa (σ). Primer ope-

4 Cusum kontrolne karte

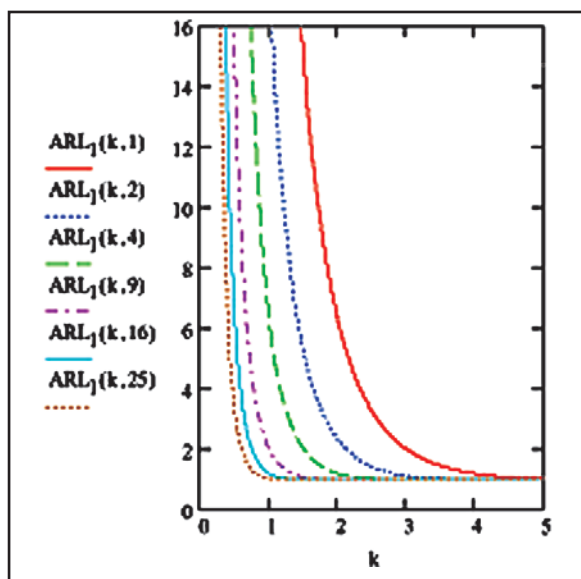
Shewhartove kontrolne karte so primerne za kontrolo procesov pri večjih vzorcih. če pa imamo opravka s procesi v individualni proizvodnji oziroma s procesi, kjer bi se meritve med seboj razlikovale le zaradi mer-skih napak, moramo izbrati velikost vzorca enako 1. Za individualne meritve in manjše velikosti vzorcev Shewhartove kontrolne karte niso primerne, ker izkazujejo relativno veliko verjetnost za napako 2. vrste pri premikih srednje vrednosti procesa za manj kot $1,5 \sigma$ (slika 2). Posledično to pomeni tudi veliko vrednost ARL_1 (slika 3) ter I. Z namenom reševanja

tovrstnih problemov so nastale Cusum (Cumulative sum), (slika 4), in EWMA (Exponential Weighted Moving Average – eksponentno tehtano drseče povprečje) kontrolne karte (slika 5).

Za spremljanje premikov srednje vrednosti procesa se uporablja Tabular Cusum kontrolna karta (slika 4), za spremljanje sprememb variabilnosti pa Scale Cusum kontrolna karta. Cusum in EWMA kontrolne karte imajo prednost pred Shewhartovimi kontrolnimi kartami za spremljanje manjših sprememb v procesu, v primeru večjih sprememb pa so Shewhartove karte učinkovitejše.



Slika 2. Operacijske karakteristike za Shewhartove kontrolne karte: $\beta(k, n)$

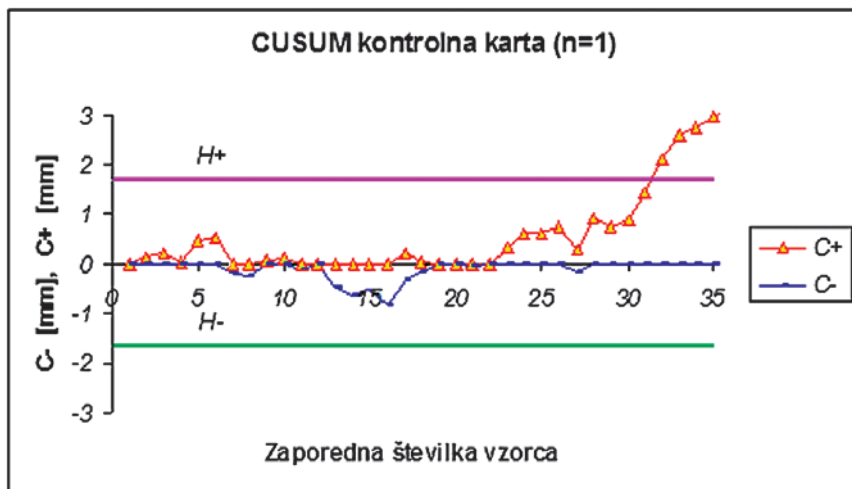


Slika 3. Povprečno število vzorcev do odkritja spremembe v procesu: $ARL_1(k, n)$

racijskih karakteristik, ki to opisujejo, je prikazan na sliki 2.

Jakost testa se izračuna kot $(1-\beta)$ in določa, kakšna je verjetnost, da spremembo srednje vrednosti procesa zaznamo takoj s prvim vzorcem po pojavu spremembe. Iz tega lahko izračunamo, koliko vzorcev je v povprečju potrebnih, da spremembo opazimo na kontrolnih kartah, in to imenujemo ARL_1 (Average Run Length).

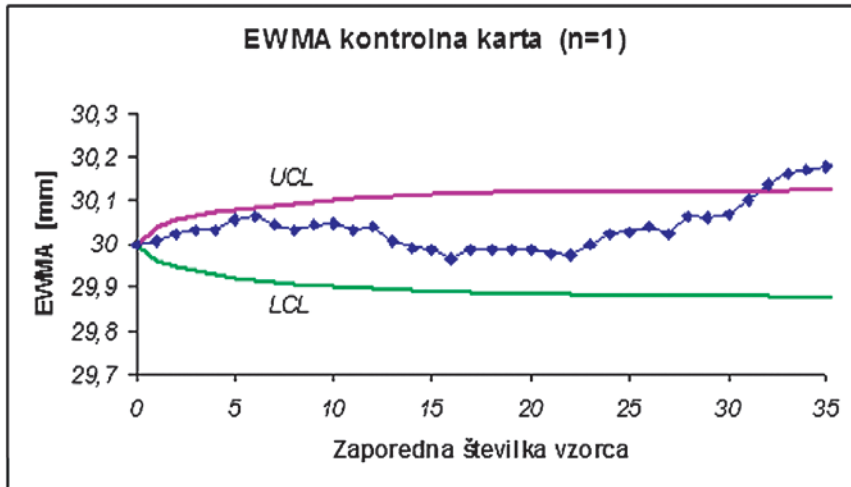
$$ARL_1(k, n) = \frac{1}{1 - \beta(k, n)} \quad (2)$$



Slika 4. Cusum kontrolna karta (Tabular Cusum) za velikost vzorca $n = 1$. Premik srednje vrednosti je $0,8 \sigma$ ($\mu_i = \mu_0 + 0,8 \sigma$)

5 EWMA kontrolne karte

EWMA kontrolne karte so podobno kakor Cusum kontrolne karte primerne za ugotavljanje manjših premikov srednje vrednosti procesa od $1,5 \sigma$.



Slika 5. EWMA kontrolna karta ($L_E = 2,615$, $\lambda = 0,05$) za velikost vzorca $n = 1$. Premik srednje vrednosti je $0,8 \sigma$ ($\mu_1 = \mu_0 + 0,8 \sigma$)

6 Izbira kontrolnih kart

Smisel kontrole določene spremenljivke na izdelkih, ki izstopajo iz določenega procesa, temelji na stroških. Če nekakovosten izdelek predstavlja zanemarljive stroške, potem kontrola nima pomena. Če pa slab izdelek predstavlja stroške, postane kontrola kakovosti smiselna. Statistično kontrolo procesov lahko izvajamo na različne načine, in sicer z različnimi kontrolnimi kartami. Od izbire kontrolne karte in velikosti vzorca je odvisno, kako majhna sprememba v procesu bo opazna in kako hitro. V nadaljevanju se bomo osredotočili na kontrolne karte za spremljanje srednje vrednosti procesa. Tabele 2a, 2b, 3a, 3b in 4 so izdelane glede na velikost vzorca (n) in velikost spremembe srednje vrednosti procesa ($\mu_1 = \mu_0 + k \sigma$).

V tabeli 2a je prikazano povprečno vzorcev med premikom srednje vrednosti procesa za $k \sigma$ in identifikacijo premika, v tabeli 2b pa pričakovano

število izdelkov, ki so bili v tem času kontrolirani.

Pričakovano število kosov, ki jih je potrebno kontrolirati, da zaznamo spremembo v procesu, označimo z I , izračuna pa se sledeče:

$$I(k, n) = ARL_1(k, n) \cdot n \quad (3)$$

Tabela 2a. ARL_1 za Shewhartove kontrolne karte

k	n		
	1	4	9
0	370,4	370,4	370,4
0,25	281,2	155,2	81,2
0,5	155,2	43,9	15,0
0,75	81,2	15,0	4,41
1	43,9	6,30	2,00
1,5	15,0	2,00	1,07
2	6,30	1,19	1,00
2,5	3,24	1,02	1,00
3	2,00	1,00	1,00

VENTIL
REVUIJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

telefon: + (0) 1 4771-704
telefaks: + (0) 1 4771-761
<http://www.fs.uni-lj.si/ventil/>
e-mail: ventil@fs.uni-lj.si

Tabela 2b. Pričakovano število kosov v času, ko proces ni pod kontrolo (I) za Shewhartove kontrolne karte

k	n		
	1	4	9
0	370	1482	3334
0,25	281	620	729
0,5	155	176	135
0,75	81	60	36
1	44	25	18
1,5	15	8	10
2	6	5	9
2,5	3	4	9
3	2	4	9

V tabeli 2a opazimo, da se nekatere vrednosti ARL_1 ponavljajo. ARL_1 je odvisen od standardne deviacije vzorčnega povprečja, ki jo zapišemo sledeče:

$$\sigma_{(\bar{x})} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Standardna deviacija vzorčnega povprečja je pristranska cenilka procesa, saj je odvisna od velikosti vzorca (n). To nam omogoča, da lahko na podlagi ARL_1 za velikost vzorca $n = 1$ napovemo ARL_1 za poljubno velikost vzorca. Oglejmo si to na konkretnem primeru (tabela 3a), kjer je stolpec za $n = 1$ povzet po [3], ostale vrednosti pa so izračunane.

Tabela 3a. ARL_1 za Cusum kontrolne karte ($k_c = 1/2$; $h_c = 5$)

k	n		
	1	4	9
0	465	465	465
0,25	139	38,0	17,0
0,5	38,0	10,4	5,75
0,75	17,0	5,75	3,11
1	10,4	4,01	2,57
1,5	5,75	2,57	<2
2	4,01	2,01	
2,5	3,11	<2	
3	2,57		
4	2,01		

Tabela 3b. Pričakovano število kosov v času, ko proces ni pod kontrolo (I) za Cusum kontrolne karte ($k_c = 1/2$; $h_c = 5$)

k	n		
	1	4	9
0	465	1860	4185
0,25	139	152	153
0,5	38	42	52
0,75	17	24	27
1	10	16	18
1,5	6	12	<18
2	4	8	
2,5	3	<8	
3	3		
4	2		

Tabela 4. ARL_1 za EWMA kontrolne karte ($n = 1$) [4]

k	$L_E = 3,054$	$L_E = 2,998$	$L_E = 2,962$	$L_E = 2,814$	$L_E = 2,615$
	$\lambda = 0,40$	$\lambda = 0,25$	$\lambda = 0,20$	$\lambda = 0,10$	$\lambda = 0,05$
0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
0,25	224,0	170,0	150,0	106,0	84,1
0,5	71,2	48,2	41,8	31,3	28,8
0,75	28,4	20,1	18,2	15,9	16,4
1	14,3	11,1	10,5	10,3	11,4
1,5	5,9	5,5	5,5	6,1	7,1
2	3,5	6,3	3,7	4,4	5,2
2,5	2,5	2,7	2,9	3,4	4,2
3	2,0	2,3	2,4	2,9	3,5
4	1,4	1,7	1,9	2,2	2,7

V tabeli 4 so prikazane vrednosti ARL_1 za EWMA kontrolne karte, in sicer za različne kombinacije vrednosti L_E in λ pri velikostih vzorcev $n = 1$. Podobno kot za Cusum kontrolne karte lahko tudi za EWMA kontrolne karte izračunamo vrednosti ARL_1 za velikosti vzorcev $n > 1$ ter pričakovano število kosov, ki jih v povprečju kontroliramo v času med pojavom spremembe v procesu in njenim odkritjem (I). Sleherni spremembe v procesu želimo odkrivati čim prej in na ta

način proizvajati čim manjše število slabih kosov. če v procesu pride do spremembe, bo število kosov izven toleranc povečano za vrednost, ki je odvisna od pogostosti vzorčenja, velikosti vzorca in velikosti spremembe v procesu. Glede na to, kako velike spremembe srednje vrednosti procesa želimo zaznati, je odvisna optimalna velikost vzorca.

7 Primer uporabe kontrolnih kart

V nadaljevanju je predstavljen primer kontrolnih kart iz podjetja ABC. Podjetje se ukvarja s serijsko proizvodnjo športnih izdelkov, predstavljene karte pa so namenjene kontroli širine izdelka z imensko mero 30

mm in tolerancami $\pm 1,0$ mm. Glede na tolerance izdelka je za kakovostno produkcijo potrebno dosegati čim večje razmerje med razliko toleranc ter 6σ . To razmerje označimo s PCR (process capability ratio).

$$PCR = C_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma} = \frac{31 - 29}{6 \cdot 0,27} = 1,235 \quad (5)$$

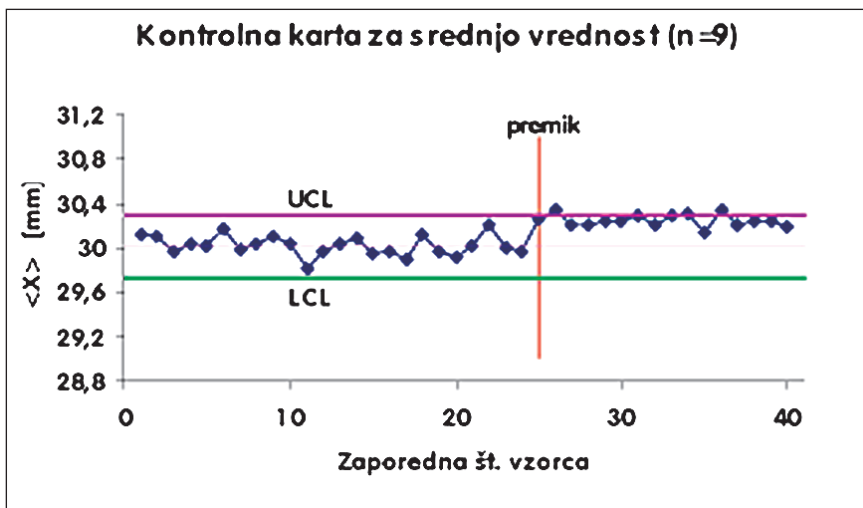
števec ulomka predstavlja razliko toleranc, ki so določene glede na funkcionalnost izdelka. Imenovalec predstavlja šestkratno vrednost

standardne deviacije procesa. če je PCR = 1 in so kontrolne meje odmaknjene od srednje vrednosti za $\pm 3\sigma$, bo 0,27 % izdelkov izven toleranc, če bo proces pod kontrolo. če nam uspe doseči večjo vrednost PCR, bo delež izdelkov izven toleranc manjši. V konkretnem primeru je PCR enak 1,235. To pomeni, da bo izven toleranc samo 0,02 %, če bo proces pod kontrolo.

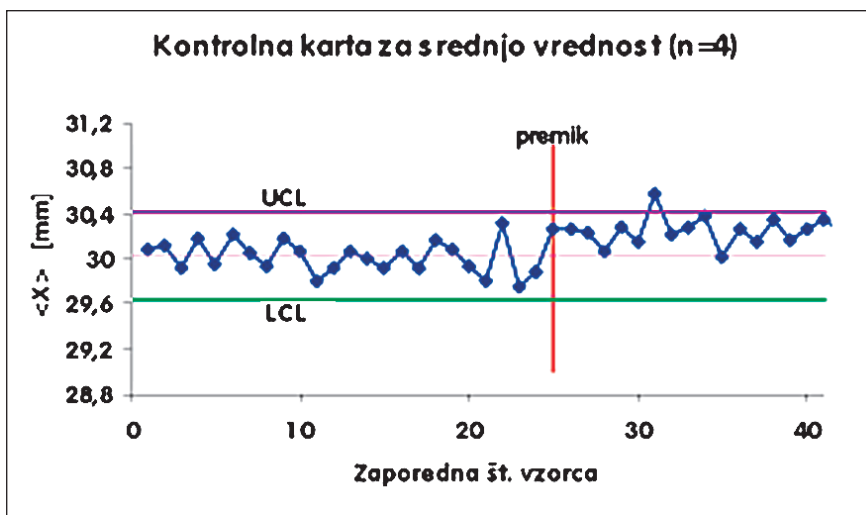
Potrebno je ločevati med specifikacijskimi mejami (USL, LSL), ki jih določajo tolerance izdelka, in kontrolnimi mejami (UCL, LCL), ki so odvisne tudi od velikosti vzorca. Med specifikacijskimi in kontrolnimi mejami ni neposredne povezave.

Če primerjamo kontrolne meje na kontrolnih kartah za srednjo vrednost pri $n = 4$ (slika 6) in $n = 9$ (slika 7), vidimo, da se z večanjem velikosti vzorcev kontrolne meje krčijo. Temu je vzrok to, da je vzorčna srednja vrednost nepristranska cenilka procesa, standardna deviacija srednje vrednosti vzorca pa pristranska cenilka. Slednja je odvisna od velikosti vzorca, in sicer se ji z večanjem velikosti vzorca vrednost zmanjšuje. Stanje procesa ugotavljamo na podlagi vzorcev in statistik vzorca, zato so kontrolne meje odvisne od velikosti vzorca.

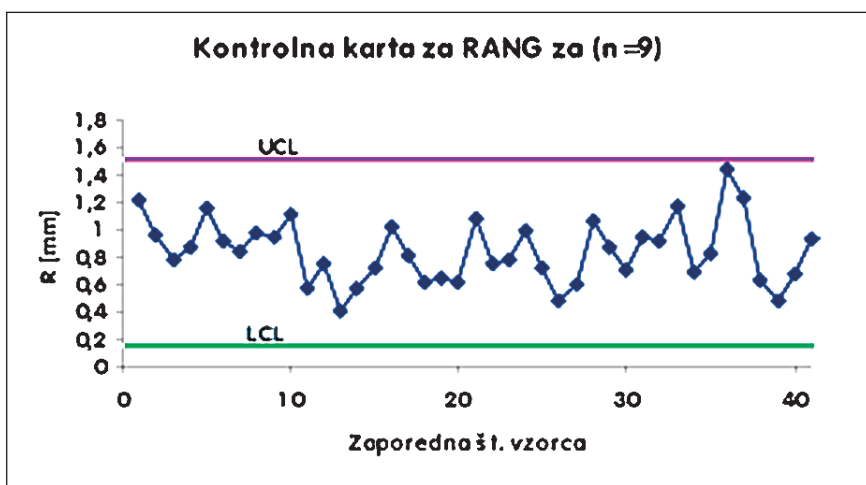
Tako pri velikosti vzorcev $n = 9$, kakor tudi pri $n = 4$, so uporabljeni enaki podatki, kontrolne meje pa so bile postavljene na podlagi 20 preliminarnih vzorcev. Standardna deviacija procesa je bila $\sigma = 0,27$ mm in predpostavljena srednja vrednost $\mu_0 = 30,02$ mm. Srednja vrednost procesa po premiku je bila 30,26 mm, kar je približno $\mu_0 + 1\sigma$. Pri velikosti vzorca $n = 9$ je sprememba procesa opažena po 2. vzorcu, pri velikosti vzorca $n = 4$ pa šele po 7. vzorcu. V prvem primeru je bilo do identifikacije procesa izven kontrole potrebno pregledati 18 izdelkov, v drugem primeru pa 28. To potrjuje dejstvo, da lahko pri večji velikosti vzorcev hitreje zaznamo premike srednje vrednosti procesa. Obenem lahko vidimo (slika 8), da se pri tem variabilnost, ki jo spremljamo z R-karto, ni prekomer-



Slika 6. Kontrolna karta za srednjo vrednost pri velikosti vzorca $n = 9$; premik srednje vrednosti procesa je 1σ



Slika 7. Kontrolna karta za srednjo vrednost pri velikosti vzorca $n = 4$; premik srednje vrednosti procesa je 1σ



Slika 8. Shewhartova kontrolna karta (R-karta) za spremljanje variabilnosti

no povečala. Za primerjavo je narejena še Shewhartova kontrolna karta z velikostjo vzorca $n = 1$ (slika 1), kjer opazimo, da so kontrolne meje širše. Za interpretacijo, da proces ni več pod kontrolo, ni edini pogoj da pade srednja vrednost vzorca izven kontrolnih mej, ampak obstajajo tudi dodatni kriteriji. V podjetju ABC se uporabljajo Shewhartove kontrolne karte z velikostjo vzorca $n = 9$. To omogoča večjo občutljivost kontrolnih kart na manjše premike srednje vrednosti procesa kakor pri velikostih vzorcev $n = 4$. Čeprav imamo velike vzorce, se prekomernim stroškom lahko izognemo tako, da vzorčimo z nekoliko manjšo frekvenco.

8 Zaključek

Shewhartove kontrolne karte so tehnika statistične kontrole procesov. Predstavljen je primer, ki prikazuje vpliv velikosti vzorca na odkrivanje sprememb v procesu. Poleg predstavljene R-karte za spremljanje variabilnosti obstaja tudi S-karta za spremljanje vzorčne standardne deviacije. Cusum in EWMA kontrolni karti sta nekoliko novejši metodi, ki sta še posebej uporabni, kadar je velikost vzorca enaka 1. Vse naštetje tehnike do danes zaradi svoje zahtevnosti niso zaživele v polni meri. Današnje možnosti avtomatiziranega zajema podatkov ter obsežne možnosti obdelave podatkov s statističnimi orodji delajo metode kontrolnih kart znova aktualne. V bližnji prihodnosti bodo na voljo internetni servisi, ki bodo nudili statistično obdelavo podatkov iz proizvodnje in tudi interpretacijo rezultatov. Delovali bodo preko interneta in nudili popolno ekspertizo v smislu statistične kontrole procesov poljubne proizvodnje.

Viri

- [1] Jin, N.: Data-driven self-improving fault detection and diagnosis methodologies in complex manufacturing process, AAT 3222806, The University of Wisconsin – Madison, 2006.
- [2] Grabec, I., Gradišek, J.: Opis naključnih pojavov, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, 2000.

[3] Montgomery, Douglas C.: Introduction to statistical quality control, Wiley, 2001, 4. izdaja.

[4] Lucas, J. M., Saccucci, M. S.: Eksponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements, Technometrics (32), 1990.

erties and Enhancements, Technometrics (32), 1990.

Statistical process control: empirical comparison of control chart methods

Abstract: Statistical process control is beside design of experiments the most extended method of statistical quality control today. Quickness of process shift detecting depends on a control chart's type and sample size. In this article an empirical comparison of Shewhart, Cusum and EWMA control charts is presented. The operating-characteristic function of Shewhart control charts and control limits depending on a sample size are presented. The comparison of control chart methods is grounded in an example from industry.

Keywords: control charts, Cusum, EWMA, ARL,

Legenda uporabljenih oznak

$\langle X \rangle$... vzorčno povprečje, srednja vrednost vzorca	k_c ... srednje vrednosti procesa	UCL ... zgornja kontrolna meja
ARL ₁ ... povprečno število vzorcev do odkritja spremembe v procesu	H_0 ... osnovna hipoteza	USL ... zgornja tolerančna meja
C- ... negativna komponenta Cusum	H_1 ... alternativna hipoteza	β ... verjetnost napake 2. vrste
C+ ... pozitivna komponenta Cusum	L ... mnogokratnik standardne deviacije za kontrolne meje	λ ... parameter EWMA kontrolne karte
h_c ... parameter Cusum kontrolne karte	LCL ... spodnja kontrolna meja	μ_0 ... začetna, predpostavljena srednja vrednost procesa
I ... povprečno število kontroliranih izdelkov do odkritja spremembe	L_E ... parameter EWMA kontrolne karte	μ_1 ... spremenjena srednja vrednost procesa
k ... mnogokratnik standardne deviacije pri premiku	LSL ... spodnja tolerančna meja (toleranca)	σ ... standardna deviacija procesa
	n ... velikost vzorca	$\sigma_{\langle X \rangle}$... standardna deviacija vzorčnega povprečja
	PCR ... (Cp) razmerje med razliko toleranc ter 6σ	$\Phi(\cdot)$... Laplace-ova funkcija – kumulativna normalna verjetnostna funkcija
	R ... razpon, rang	
	S ... vzorčna standardna deviacija	



Frekvenčni regulator Commander SK

- Za moči od 0,25 kW do 132 kW
- Vgrajen filter
- Možnost prigradnje internega PLK (Logic Stick)
- Smart Stick za kloniranje parametrov
- Vgrajen PID regulator
- Na zalogi
- Ugodna cena



Družba za projektiranje in izdelavo strojev, d.o.o.

Kalce 38b, 1370 Logatec
Tel: 01/750-85-10 E-mail: ps-log@ps-log.si
Fax: 01/750-85-29 www.ps-log.si

- Izvajamo:
- konstrukcije in izvedbe specialnih strojev
 - predelava strojev
 - regulacija vrtenja motorjev
 - krmiljenje strojev

- Dobavljamo:
- servo pogone
 - frekvenčne in vektorske regulatorje
 - merilne sisteme s prikazovalniki
 - pozicijske krmilnike
 - planetne reduktorje



Prikazovalnik pozicije Z-58

- Univerzalni pozicijski prikazovalnik za inkrementalne in absolutne merilne sisteme
- 5 dekadni LED prikazovalnik, višina 14 mm
- Vmesnik RS232 in RS422
- Dva relejna izhoda
- Analogni vhod in izhod 0-10V ali 0-24mA