

ÚJ KOCKÁZATALAPÚ SZABÁLYOZÓ KÁRTYÁK TERVEZÉSE, KIVÁLASZTÁSA ÉS FOLYAMATHOZ ILLESZTÉSE

DESIGN, SELECTION, PROCESS SETTINGS OF NEW RISK-BASED CONTROL CHARTS

DR. KOSZTYÁN ZSOLT TIBOR egyetemi docens

KATONA ATTILA junior minőségügyi mérnök

HEGEDÚS CSABA egyetemi tanársegéd

Pannon Egyem, Kvantitativ Módszerek Intézeti Tanszék

Le Bélier Magyarország Formaöntöde Zrt.

Abstract

Though statistical control charts are widely used tools for quality (conformity) control, they have some shortcomings: these control charts are designed on reliability base instead of risk base; they do not take the consequences of decisions into account. In addition the applicability of most control charts is confined to normality. Reducing these decision failures can be important in case of food industry. The data is obtained from measurements that are subject to uncertainty, and this uncertainty can lead to incorrect decision. This paper proposes a solution for practical specialist to choose and fit the right control chart to the analyzed process. The suggested method makes it possible to minimize the effects of the measurement uncertainty. This application determines the optimal bounds of the acceptance region and the control rules of the chosen chart considering the cost of decision errors and measurement uncertainty. In this paper we present the applicability of this control chart fitting method through a practical example, which is a cartridge filling process.

1. Bevezetés

A statisztikai folyamatszabályozás széles körben elterjedt eszközei az ellenőrző kártyák (control charts), melyek alkalmazhatósága meglehetősen korlátozódik, ha a mért értékek eloszlása normálistól eltérő eloszlást követ. A klasszikus (\bar{X} , s , R , \bar{X} , medián, MR , s^2) kártyák esetében ez a folyamat alul, vagy túlszabályozásához is vezethet. További problémát jelent, hogy a gyakorlatban alkalmazott szabályozó kártyák a legtöbb esetben nem számolnak a várható pénzügyi kockázattal.

Munkánk célja a módszer felülvizsgálata, illetve olyan megoldás kidolgozása, amely segítségével a szabályozó kártyák használata során bemutatjuk a megfelelő ellenőrző kártya (kártyák) kiválasztásának menetét, illetve a kiválasztott kártyák illesztését a szabályozni kívánt folyamatra.

E cikkben olyan módszert mutatunk be, amely újításként tartalmazza a mérési bizonytalanság figyelembe vételét, és a vizsgált folyamatra kockázatalapon működő ellenőrző kártyát (kártyákat) illeszt. A megfelelő kártya kiválasztása után bemutatjuk a beavatkozási határok módosításának menetét a mérési bizonytalanság figyelembevételével. A módszert olyan méréses kockázatalapú ellenőrző kártyákra vonatkozóan ismertetjük, melyeknek alkalmazása újdonságnak tekinthető a szabályozó kártyák területén.

A következő részben ismertetjük a témához kapcsolódó szakirodalmi hátteret.

2. Szakirodalmi háttér

A szabályozó kártyák alkalmazhatósági feltételeivel, és a felmerülő kérdésekkel számos kutatás foglalkozik. Ezek áttekintésének eredményét az alábbi táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Az alkalmazott ellenőrző kártyák kutatási területeinek helyzete
Table 1. The research scope of the practical implemented control charts

Ellenőrző kártyák					
		Megbízhatóság alapú		Kockázatalapú	
		Allandó kártya-paraméterek	Változó kártya-paraméterek	Allandó kártya-paraméterek	Változó kártya-paraméterek
Normalitás teljesül		X-bar, S, R, CUSUM, EWMA, MA	CUSUM, X-bar, S, EWMA, MA, T^2	X	
Normalitás nem teljesül		X-bar, R, CUSUM, EWMA, MA	X-bar, CUSUM, EWMA, MA		

Források: Alexander S., 1995; Chen Y. S., 2002; Chen Y. S., Yang Y. M., 2002; Chen, Y. K., 2006; Chou C.-Y., 2006; Epprecht E. K., 2010; Haridy Abdellatif M. A., 1996; He David, 2005; Kao S.-C., 2007; Luo Z., 2009; Maravelakis P. E., 2005; Serel D. A., 2008; Wang, H., 2007; Yu F.-J., 2004; Zhou W., Lian Z., 2011; Hegedús Cs., Dr. Kosztyán Zs., 2008.

A táblázat összeállításakor, azt vizsgáltuk, hogy az egyes ellenőrző kártyák tervezésekor mely területekkel foglalkoztak mélyrehatóbban. A szempontok a vizsgált jellemző eloszlásának típusa (normális, vagy attól eltérő eloszlás), a megfigyelt a változók száma (egy változó, több változó) és a mintaelemszám, illetve a mintavételi időköz jellemzője (állandó, illetve változó).

A napjainkban alkalmazott ellenőrző kártyák szinte mind megbízhatóság alapúak. A táblázat alapján is látható, hogy egyes területek még hiányosak. Célszerű lehet olyan kártya fejlesztése, amely képes kezelni a többváltozós eseteket, emellett alkalmazható normálistól eltérő eloszlás és változó mintaelemszám, illetve mintavételi időköz esetén. Kockázatalapú ellenőrző kártyáról csak az átlag kártya esetében beszélhetünk. Véleményünk szerint, a jövőben érdemes lehet ezekkel a területekkel mélyrehatóbban foglalkozni, illetve fejleszteni őket.

Munkánk során nem csak a kártyák illesztésével, hanem azok kiválasztásával is foglalkozunk. Éppen ezért célszerű megvizsgálni azt is, hogy korábbi kutatásokban milyen szempontok alapján döntöttek bizonyos szabályozó kártyák alkalmazása mellett. A méréses és minősítéses kártyák közötti döntési mód megjelenik a Shah, Shridar és Gohil (2010) által kidolgozott folyamatban is. Ebben a döntési modellben a választás szempontjai a vizsgált jellemző mérhetősége, a mintaelemszám voltak, illetve az, hogy minősítéses kártyák esetén a hibák számát vagy pedig a hibás termékek számát akarjuk-e vizsgálni.

A következő részben bemutatjuk kártya kiválasztási, illetve illesztési folyamatunk módszertanát, továbbá azt, hogy a javasolt módszer milyen új elemeket tartalmaz a kártyák kiválasztása és illesztése terén.

3. Javasolt módszer bemutatása

Ha adott egy termelési folyamat, melyet a statisztikai folyamatszabályozás eszközeivel kívánunk szabályozni, elsődleges feladatunk annak elemzése, és a megfelelő szabályozó kártya (kártyák) kiválasztása. Az előző részben kitértünk egy korábbi kártya kiválasztási módszerre. Az általunk javasolt módszer annyiban tér el ettől, hogy nemcsak a mért jellemzők kategorizálásával indul, hanem figyelembe veszi a technológiai folyamat jellemzőit, az ellenőrzési módszert mélyebben elemzi, továbbá megjelenik benne a bemenő paraméterek vizsgálata, és lehetőséget nyújt a változó paraméterek kiválasztására is.

Módszerünk ehhez a következő lépéseket tartalmazza.

1. A technológiai folyamat és az ellenőrzés tulajdonságainak összegyűjtése;
2. méréses vagy minősítéses ellenőrző kártyák közötti döntés;
3. bemenő paraméterek és korlátozó tényezők meghatározása az egyes kártyák esetében;
4. az eddigi információk figyelembevételével a feltételeknek eleget tevő kártya (kártyák) kiválasztása;
5. az állandó és változó paraméterek kiválasztása;
6. a döntéshez társítható költség-, bevétel, és fedezeti értékek meghatározása;
7. beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével.

Vizsgáljuk meg e lépéseket részletesebben is!

3.1. A technológiai folyamat és az ellenőrzés tulajdonságainak összegyűjtése

A kártya illesztéséhez először az adott technológiai folyamatot, és az ellenőrzési módot kell elemezni. Ez a lépés nagyon fontos, mivel a következő lépések is erre épülnek, és a későbbi döntések alapjául szolgálnak az itt kinyert információk. Az első lépésben olyan kérdésekre keressük a választ, mint például mekkora a tervezett gyártási volumen, roncsolásos-e a vizsgálat, melyek a pontos specifikációs határok?

A kérdések alapvetően a folyamat, illetve a mintavételezési-ellenőrzési eljárás jellegére vonatkoznak.

3.2. Méréses és minősítéses ellenőrző kártyák közötti döntés

Ha a folyamat és az ellenőrzés jellegéről részletes képet kapunk, akkor elegendő információval rendelkezünk ahhoz, hogy a 2. lépést megtegyük, vagyis eldöntsük azt, hogy méréses, vagy minősítéses ellenőrző kártyát alkalmazzunk. Itt elsősorban azt kell megvizsgáljunk, hogy az adott terméket pontos mért adatokkal tudjuk-e jellemezni. Ha, a technológiai folyamat vizsgálatakor lehetőségünk nyílik pontos mérések elvégzésére, hogy a termék vizsgált minőségjellemzőit konkrét, mért adatokkal jellemezhesük, tehát nem csak azt tudjuk (vagy akarjuk) megmondani, hogy a termék megfelel-e a minőségi előírásoknak vagy sem, hanem azt is, hogy pontosan mennyivel tér el a jellemző értéke a kívánt célértéktől, akkor méréses ellenőrző kártyát célszerű alkalmazni. Ha valamely okból a termékjellemzők értékének mérése nehézségekbe ütközik, akkor a minősítéses ellenőrző kártyák alkalmazása indokolt.

3.3. Bemenő paraméterek és korlátozó tényezők meghatározása az egyes kártyák esetében

A következő lépés a bemenő paraméterek és alkalmazhatóságot korlátozó tényezők meghatározása. Ezt sorra mindegyik kártyánál meg kell határozunk, majd megállapítani, hogy melyek azok a kártyák, amelyek esetében meghatározhatók a szükséges bemenő

adatok és nincsenek alkalmazhatóságot korlátozó tényezők. Itt a mért adatok valószínűségi eloszlásának vizsgálata nagy jelentőséggel bír. A bemenő paraméterek vizsgálatához tudnunk kell, hogy a mért értékek milyen valószínűségi eloszlást követnek, ugyanis, ha a normalitás nem teljesül, akkor az a méréses ellenőrző kártyák közül transzformáció nélkül csak a mozgóátlag-, és az exponenciálisan súlyozott mozgóátlag-kártya alkalmazható, mert a centrális határeloszlás tételének megfelelően a mozgóátlagolt értékek akkor is normális eloszlást követnek, ha az eredeti mért értékek attól eltérő eloszlásból származnak.

3.4. Az eddigi információk figyelembe vételével a megfelelő kártya (kártyák) kiválasztása

Ha minden kártyát megvizsgáltunk a szükséges bemenő paraméterek és alkalmazhatóságot befolyásoló tényezők szempontjából, ki kell választanunk a lehetséges alternatívákat. Így tovább szűkül a szóba jöhető ellenőrző kártyák száma. Célszerű megtervezni a fennmaradó kártyákat a rendelkezésre álló mérési adatok felhasználásával. Így képet kaphatunk arról, hogy az egyes kártyák mennyire illeszkednek a figyelemmel kísért technológiai folyamathoz.

3.5. Állandó és változó paraméterek megválasztása

Ötödik lépésként határozzuk meg, hogy a használt kártya mely paraméterei legyenek állandók, és melyek változók. Ily módon változtathatjuk a mintavételi időközt (h), a mintaelemszámot (n), és a beavatkozási határokat (k). Így a kártyákat különböző hierarchia szintekre sorolhatjuk be aszerint, hogy a három paraméter mindegyik állandó (FP), egy (VSI, VSL, VSS), kettő (VSSI, VSSL, VSIL) illetve az összes paraméter változik (VP).

3.6. A döntéshez társítható költség-, bevétel, és fedezeti értékek meghatározása

Ahogy korábban említettük, a kártyaillesztési folyamatban számolunk annak a kockázatával is, hogy az általunk mért értékek eltérnek a valós értékektől. Ahhoz, hogy a későbbiekben a mérési bizonytalanságot figyelembe vehessük a kártya beavatkozási határainak számításakor, először is ismernünk kell ezt a bizonytalanságot, valamint a kockázat nagyságát. Ezt pedig az adott döntéshez társítható költségvonattal fejezhetjük ki. Ha ismerjük az egyes döntésekhez társítható költségvonatot, akkor azt is kalkulálhatjuk, hogy a mérési bizonytalanság az első-, és másodfajú hiba elkövetésének valószínűségét mennyiben befolyásolja, vagyis a rossz döntés a termék tovább engedésekor, illetve visszatartásakor mekkora költséget is jelent számunkra.

Döntéseinket tekintve négy alapeset lehetséges. Az adott terméket vagy tovább engedjük, mert úgy találjuk, hogy az megfelel a minőségi követelményeknek, vagy pedig visszatartjuk, mert nem tesz eleget nekik. Mindkét esetben hozhatunk helyes és helytelen döntést is, tehát a négy lehetőség a következő:

- D1: helyesen engedjük tovább a terméket,
- D2: Helyesen tartjuk vissza a terméket,
- D3: Helytelenül tartjuk vissza a terméket (elsőfajú hiba),
- D4: Helytelenül engedjük tovább a terméket (másodfajú hiba).

A számítások három lépésben elvégezhetők. Először meghatározzuk az egyes esetekhez társítható költséget, majd ugyanígy a bevételt, végül a kettő különbségeként a fedezetet.

3.7. A beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembevételével

A gyakorlatban általában nem valósul meg a mérések állandósága egy adott termékre vonatkoztatva, hiszen a mérésre számos tényező gyakorol hatást. Ezt úgy jelölhetjük, hogy az általunk mért érték a ténylegesen értéknek és a mérési hibának az összege, mely képletlet az alábbi módon fejezhető ki:

$$y_i(t) = x_i(t) + m_i(t)$$

Ahol $x_i(t)$ a vizsgált jellemző t időpontban kapott tényleges értéke a termék gyártásának i -edik fázisában, $m_i(t)$ a t időponthoz tartozó mérési hiba. Az általunk t időpontban mért érték pedig e kettő összegeként számítható.

Ha a mértértékeket mérési intervallumokkal helyettesítjük, akkor az adott intervallum hosszát úgy kapjuk meg, hogy a mérőműszer kalibrálásakor megállapított szórást szorozzuk egy k konstanssal. A k konstans értéke szimulációs módszerek segítségével meghatározható. Ha ismerjük a használt mérőműszer mérési bizonytalanságát, eloszlását, valamint a mérési hiba várható értékét, akkor, ha a mérési pontokat mérési intervallumokkal helyettesítjük, a következő relációt állíthatjuk fel a beavatkozási határookra vonatkozóan (Kosztján, Csizmadia, Hegedűs, 2008):

Megfelelő termék esetén:

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] > LSL \text{ és } [y(t) + k_{USL} \cdot u] < USL \quad k_{LSL}, k_{USL} \in \mathbf{R}$$

Nem megfelelő termék esetén:

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] \leq LSL \text{ vagy } [y(t) + k_{USL} \cdot u] \geq USL \quad k_{LSL}, k_{USL} \in \mathbf{R}$$

Az előző lépésben meghatároztuk a döntéshez társítható profitot. Ha minden hibatípus-hoz társítjuk a hozzá tartozó fedezeti (vagy profit) értéket, akkor a kapott értékeket összegezve a vizsgált folyamatra vonatkozó teljes fedezeti értéket számíthatjuk. Célunk a vizsgált folyamatra vonatkozó összegzett fedezeti érték maximalizálása. Szimulációs módszerekkel úgy optimalizáljuk k_{LSL} és k_{USL} értékét, hogy ez az összegzett fedezeti érték maximális legyen. Ez általában azt jelenti, hogy úgy kell meghatároznunk k_{LSL} és k_{USL} értékét, hogy a másodfajú hibák számát minimálisra csökkentsük, de emellett lehetőleg ne növekedjen jelenősen az elkövetett elsőfajú hibák száma (Kovács et al., 2010).

A javasolt módszer alkalmazása során már kockázatalapon működő szabályozó kártya áll rendelkezésünkre. Felmerülhet a kérdés, hogy a módszer megállja-e a helyét a gyakorlatban is? A következő fejezetben a gyakorlati alkalmazhatóságot mutatjuk be egy gázpatron töltési példán keresztül.

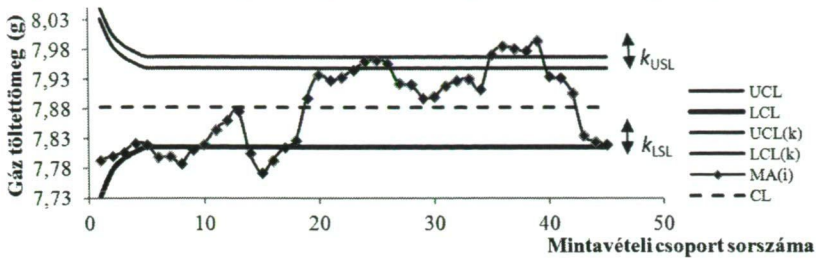
4. A gyakorlati alkalmazhatóság bemutatása

A vizsgált technológiai lépés célja, hogy a már legyártott, acél-lemezből kialakított patronhüvelybe 8 grammnyi gázt töltsünk. A vállalat, amely a gáztöltetű patron előállítja, többféle gázt alkalmaz a töltésre. A betöltött gázmennyiség maximum 0,40 g értékkel térhet el a célértéktől mindkét irányban (USL; LSL).

A 2. ábrán látható a folyamatra tervezett mozgóátlag- és exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártya. Az ábrán a piros vonalak jelölik a k_{USL} , illetve k_{LSL} paraméterek optimalizálásával számított módosított beavatkozási határokat.

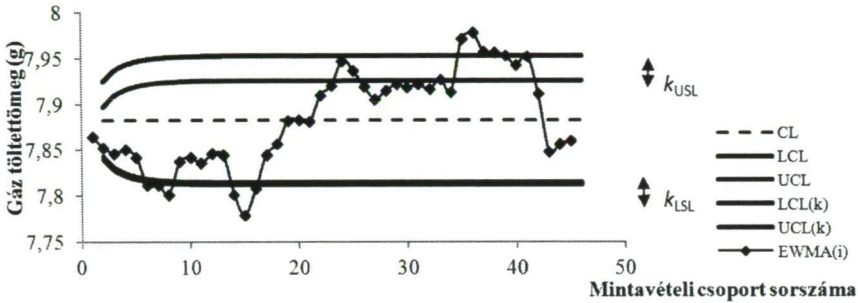
2. ábra. A folyamatra tervezett Mozgóátlag-kártya

Figure 2. The moving average chart designed to the analyzed process



3. ábra. A folyamatra tervezett Exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártya

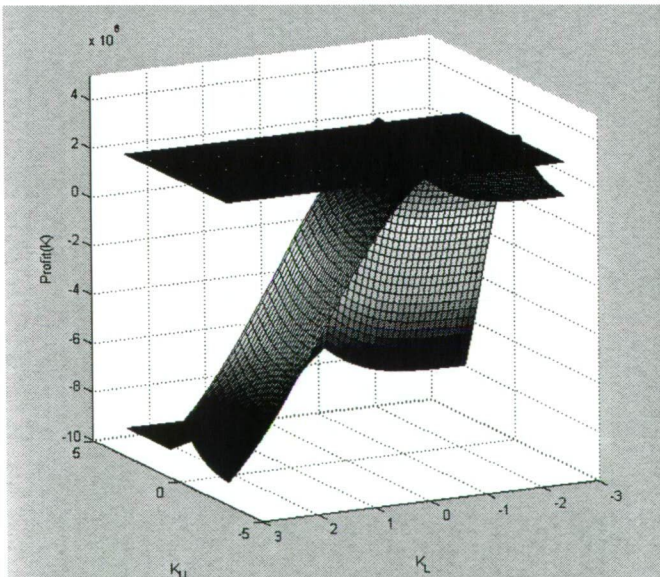
Figure 3. The exponential weighted moving average chart designed to the analyzed process



A módszer eredményességét nagy mennyiségben 100000 szimulált minta alapján modelleztük Matlab program segítségével.

4. ábra. Az összes vett mintára vonatkozó profit értékének alakulása a k_{LSL} és k_{USL} paraméterek függvényében, Mozgóátlag-kártya alkalmazásakor, ha a vizsgált minőségjellemzők értékei Weibull eloszlást követnek

Figure 4. The trend of the profit for all samples, depending on k_{LSL} and k_{USL} parameters for the moving average chart. The values of the analyzed parameter follows Weibull distribution



A 4. ábra a profit értékének alakulását mutatja be a k_{USL} és k_{LSL} paraméterek függvényében Mozgóátlag-kártya (MA chart) alkalmazásakor, ha a vizsgált minőségjellemzők értéke Weibull eloszlást követ. A fedezet értéke változatlan abban az esetben, ha nem alkalmazzuk a beavatkozási határok módosítását a mérési bizonytalanság figyelembevételében. Ezt szemlélteti az ábrán a vízszintes piros sík. Láthatjuk, hogy k_{LSL} és k_{USL} értékének változásával a fedezet is változik, valamint k_{USL} és k_{LSL} paraméterek optimális megválasztása mellett nagyobb fedezet érhető el, mint a módszer alkalmazása nélkül.

5. Összefoglalás

Munkánk során bemutattuk az ellenőrző kártyák alkalmazása során felmerülő problémákat, illetve megvizsgáltuk a szabályozó kártyákkal kapcsolatos kutatások fő irányultságát, megállapítva hogy a kockázatalapú ellenőrző kártyák területén hiányosságok fedezhetőek fel. A szabályozó kártyák kiválasztására és folyamatra illesztésére olyan módszert mutattunk be, amely összehasonlítva a korábban alkalmazottakkal új megközelítéseket is tartalmaz. Megjelenik benne a gyártási és ellenőrzési folyamat részletes elemzése, a szükséges bemenő paraméterek meghatározása, és lehetőséget kínál az állandó és változó paraméterek megválasztására. A kártyák kiválasztása és illesztése után bemutattunk a mérési bizonytalanság kezelésének és így a kockázatok csökkentésének egy lehetséges megoldását a kártyák beavatkozási határainak módosításával.

A módszer alkalmazhatóságát egy gázpatron töltési folyamaton keresztül szemléltettük mozgóátlag-, és exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártyák tervezésével. Mindkét esetben csökkentettük az elkövetett másodfajú hibák számát. Ez azért nagyon fontos eredmény, mert a másodfajú hiba negatív hatása igen csak erőteljes lehet, a goodwill romlását, és komoly kiadásokat eredményezhet (pl visszaküldött selejtes termékek garanciális javítása, újraválogatása).

Mindkét ellenőrző kártya esetében megközelítőleg 10%-os összfedezeti érték növekedést tudtunk elérni a mérési bizonytalanság figyelembevételével és a beavatkozási határok módosításával. A végzett számítások eredményeképp megállapítható, hogy a javasolt eljárás hosszú távon is alkalmazható, továbbá alkalmazhatóságát a normalitás hiánya sem befolyásolja.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

Felhasznált irodalom

- Hegedűs Cs., Dr. Kosztyán Zs. (2008): Mérési bizonytalanság kezelése a mintavételes minőségszabályozásban. V. Jedlik Ányos Szakmai Napok, Veszprém, 2008. március 27–29.
- Kosztyán Zs. T., Csizmadia T, Hegedűs Cs. (2008. december 5–13.): A mérési bizonytalanság kezelése mindendarabos és mintavételes mérések esetén. International Joint Conferences on Computer, Information, and System Sciences, and Engineering.

- Kovács Z., Dr. Kosztyán Zs., T., Dr. Csizmadia T., Hegedűs Cs. (2010): Mérési bizonytalanság figyelembe vétele a megfelelésértékelésekor. *Minőség és Megbízhatóság*, 43. évf. 8. sz. oldalszám: 87–93.
- Alexander S. M., Dillman M. A., Usher J. S., Damodaran B. (1995): Economic design of control charts using the Taguchi loss function, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 28. Issue 3, pp. 671–679, ISSN: 0360-8352
- Chen Y. S., Yang Y. M. (2002): Economic design of x-control charts with Weibull in-control times when there are multiple assignable causes, *International Journal of Production Economics*, Vol. 77, Issue 1, pp. 17–23, DOI:10.1016/S0925-5273(01)00196-7
- Chen Y. S., Yang Y. M. (2002): An extension of Banerjee and Rahim's model for economic design of moving average control chart for a continuous flow process, *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, Issue 3, pp. 600–610, DOI:10.1016/S0377-2217(01)00341-1
- Chen H., Cheng Y. (2007): Non-normality effects on the economic–statistical design of X charts with Weibull in-control time, *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, Issue 17, pp. 986–998, DOI:10.1016/j.ejor.2005.08.022
- Chou C.-Y., Chen C.-H., Chen C.-H., (2006): Economic design of variable sampling intervals T2 control charts using genetic algorithms, *Expert Systems with Applications*, Vol. 30, Issue 2, pp. 233–242, DOI:10.1016/j.eswa.2005.07.010
- Dadi He. (2010): Engineering Quality Systems: Cost of Quality. *Modern Applied Science*, Vol. 4. Issue 5, pp.102–104, ISSN: 1913-1852.
- Epprecht E. K, Simões B. F. T. Simões, Mendes F. C. T. (2010): A variable sampling interval EWMA chart for attributes, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 49. Issue. 1–4., pp. 281–292, DOI: 10.1007/s00170-009-2390-3
- Grøn, Hansen, Magnusson, Nordbotten, Krysell, Andersenand, Lund. (2007): Uncertainty from sampling, *A Nordtest Handbook for Sampling Planners on Sampling Quality Assurance and Uncertainty Estimation*, pp. 7–8.
- Haridy Abdellatif M: A., El-Shabrawy Adel Z. (1996): The economic design of cumulative sum charts used to maintain current control of non-normal process means, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 35, Issue 3–4, pp. 783-790, DOI:10.1016/S0360-8352(96)00242-2
- He David, Grigoryan Arsen (2005): Multivariate multiple sampling charts, *IIE Transactions*, pp. 509–521, DOI: 10.1080/07408170490507837
- Kao S.-C., Chuanching H. (2007): Robustness of R-Chart to Non Normality, *Communications in Statistics–Simulation and Computation*, Vol. 36, Issue 5, ISSN: 0361-0918, pp. 1089–1098.
- Luo Z., Li Z., Wang Z. (2009): Adaptive CUSUM control chart with variable sampling intervals, *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 53, Issue 7, pp. 2693–2701, DOI: 10.1016/j.csda.2009.01.006
- Maravelakis P. E., Panaretos J., Psarakis S. (2005): An Examination of the Robustness to Non Normality of the EWMAControl Charts for the Dispersion, *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, Vol. 34, Issue 4, pp. 1069–1079, ISSN: 0361-0918, DOI: 10.1080/03610910500308719
- Shah, S., Shridhar, P., D. Gohil, D. (2010), Control chart: A statistical process control tool in pharmacy, *Asian Journal of Pharmaceutics*, Volume: 4, Issue: 3, pp: 184–192.
- Serel Dogan A., Moskowitz H. (2008): Joint economic design of EWMA control charts for mean and variance, *European Journal of Operational Research*, Volume 184, Issue 1, pp. 157–168, DOI: 10.1016/j.ejor.2006.09.084
- Wang, H.,(2007): Comparison of p control charts for low defective rate, *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 53, Issue 12, pp. 4210–4220, DOI: 10.1016/j.csda.2009.05.024
- Yu F.-J., Wu H. H. (2004): An economic design for variable sampling interval MA control charts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 24, Issue 1–2, pp. 41–47, DOI: 10.1007/s00170-003-1625-y