

DIPLOMADOLGOZAT

Katona Attila Imre
2014

**Kockázatalapú többváltozós szabályozókártya kidolgozása
a Le Bélier Magyarország Formaöntöde Zrt.-nél**

Katona Attila Imre

2014



PANNON EGYETEM

Menedzsment Intézet

8201 Veszprém, Egyetem u. 10. Pf. 158.

Dr. Szabó Lajos intézetigazgató

Tel.: (88) 624-215 Fax: (88) 624-524

Katona Attila Imre

Okleveles közgazdász „Logisztikai
menedzsment” mesterszakon jelölt

diplomadolgozat feladatkiírása 2013-2014-es tanév

Kockázatalapú többváltozós szabályozókártya kidolgozása a Le Bélier Magyarország Formaöntöde Zrt.-nél

Feladat:

- Tanulmányozza a minőségsszabályozással, statisztikai folyamatszabályozással illetve mérési bizonytalansággal kapcsolatos szakirodalmat!
- Mutassa be a Le Bélier Zrt. történetét, termékeit, szolgáltatásait, valamint működésének főbb jellemzőit!
- Vizsgálja meg a jelenlegi folyamatszabályozási rendszert és tárja fel a másodfajú hibák előfordulásának fő kiváltó okait! Tervezen a folyamatra kockázatalapú szabályozókártyát, amely több minőségjellemző együttes kezelésére képes!
- Értékelje a kapott kutatási eredményeket, vizsgálja meg a módszer alkalmazásából származó előnyöket!

Teljesítés helye: Le Bélier Formaöntöde Zrt. 8200 Ajka, Gyártelep.

Külső konzulens: Simone Smolinska minőségügyi vezető

Témavezető: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor egyetemi docens

Dr. Kovács Zoltán
szakvezető

A diplomadolgozati feladatok teljesítését igazolom:

Dr. Kosztyán Zsolt Tibor
egyetemi témavezető

Érkezett

Nyomtatott	
Elektronikus	

Pannon Egyetem Gazdaságtudományi Kar

Eredetiségi nyilatkozat a diplomadolgozatról

Hallgató adatai									
Név, Neptun-kód	Katona Attila Imre						Z	4	O 2 V 8
Kar (rövidítve), szak	G	T	K	Logisztikai menedzsment, nappali					

Diplomadolgozat adatai									
Diplomadolgozat címe	Kockázatalapú többváltozós szabályozó kártya kidolgozása a Le Belier Magyarország Formaöntöde Zrt.-nél								
Szakszeminárium-vezető	Dr. Kosztyán Zsolt Tibor								
Beadási határidő	2	0	1	4	0	4	3	0	Oldalszám összesen 72

Alulírott Katona Attila Imre nyilatkozom, hogy a csatoltan beadott diplomadolgozat teljes egészében a saját munkám. A felhasznált forrásokat az irodalomjegyzékben feltüntettem, a rájuk vonatkozó, szabályszerű hivatkozásokat a szövegben megtettem. A dolgozat más szakon vagy intézményben sem a saját nevemben, sem máséban nem került beadásra. Tudatában vagyok annak, hogy plágium (más munkájának sajátomként történő feltüntetése) esetén a dolgozat érvénytelen, ezért elutasításra kerül.

.....

(aláírás)

Kivonat

A statisztikai folyamatszabályozás széles körben alkalmazott módszer a minősségssabályozás területén. Segítségével megállapíthatjuk, hogy a vizsgált folyamat ingadozásai a véletlennek tudhatók-e be, vagy pedig szisztematikus hatások eredménye. A statisztikai folyamatszabályozás eszközei a szabályozó kártyák. E szabályozó kártyák alkalmazásakor a mérés pontossága nagy jelentőséggel bír, hiszen a mérések bizonytalansága nagymértékben megnövelheti az első-, illetve másodfajú hiba elkövetésének valószínűségét, ami az alkalmazó vállalat számára pénzügyi kockázatot jelent. A gyakorlatban alkalmazott kártyák megbízhatóság alapon működnek, nem számolnak a mérések bizonytalanságával.

Korábbi munkáimban már foglalkoztam egyváltozós kockázatalapú szabályozó kártyák tervezésével és folyamatra illesztésével, melyek alkalmazásával növelni tudtam a mintavétel során számított fedezeti értéket. Az iparban azonban gyakorta találkozhatunk olyan jelenséggel, mikor egy termék megfelelőségét együttesen több minőségjellemző határozza meg. Ez esetben célszerűbb a többváltozós szabályozó kártya (T^2 , MCUSUM, MEWMA) alkalmazása, mert segítségével csökkenthető az elsőfajú hiba elkövetésének valószínűsége.

Diplomadolgozatomban először ismertetem a témával kapcsolatos hazai, illetve nemzetközi szakirodalmat, illetve irodalomkutatásaim eredményét.

A következő részben kutatási eredményeimet a Le Belier Magyarország Zrt. egy kezelendő problémáján keresztül, melynek során azonosítom a vállalatnál a fő problémát, melynek kezelésére e dolgozat keretein belül teszek jobbító javaslatokat. Dolgozatomban az egyváltozós kockázatalapú szabályozó kártyák tervezésének módszerét terjesztem ki többváltozós esetre vonatkozóan. Bemutatom a javasolt módszer alkalmazhatóságát a vállalati adatok tükrében, illetve javaslataim megvalósíthatósági tanulmányait ismertetem.

Végül összefoglalom az elért eredményeket és megválaszolom kutatási kérdéseimet.

Abstract

The statistical process control (SPC) is a widely used method of quality control. The most important tools of SPC are the control charts, with them we can determine, that the process shifts are results of systematic effects, or stem from random effects. In the course of the application of this control charts, the accuracy of the measure is a very important factor, because the measurement uncertainty can rise the number of the type I and type II errors, that means financial risk for the manufacturer company. In the practice, the most control charts are operating on reliability base, and they don't take the measurement uncertainty into account.

In my former researches, I dealt with economic design of univariate risk-based control charts, like X-bar, MA and EWMA chart. In the industry it is a frequent case, that the conformity of a product is determined by more product parameters. In this case it is worth to use a multivariate control chart, because with this method we can decrease the probability of false alarms.

In my thesis first I review the national and the international literature related to the topic and I present the result of my literature-research.

In the next part I demonstrate my research results through to a problem solving method at the Le Belier Hungary. During my work I give suggestions to the solution of the problem. In the thesis I use the risk-based chart designing method in a multivariate case and review the applicability of the chart designing method in a case study.

In the end I summarize the achieved results by using the suggested chart planing method, and answer the research questions.

TARTALOM

Irodalmi összefoglaló	1
1 A MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSRÓL	2
1.1 A megfelelés vs. minőség	2
1.2 A minőségcélok.....	3
1.3 A minőségköltségek	4
1.3.1 A minőségköltségek strukturálása:.....	4
1.3.2 A költségek alakulása:.....	6
1.3.3 A Taguchi féle minőségfogalom.....	7
1.4 A megfelelés értékelése	8
1.5 Minőségirányítási szabványok.....	10
2 A STATISZTIKAI FOLYAMATSZABÁLYOZÁS	12
2.1 Az ellenőrző kártyák.....	13
2.1.1 A méréses és minősítéses kártyák összevetése	14
2.1.2 A méréses ellenőrzőkártyák alkalmazásának esetei.....	14
2.1.3 A minősítéses ellenőrzőkártyák alkalmazásának esetei	14
2.2 Az ellenőrző kártyák kiválasztása	15
2.3 Több szempontú ellenőrző kártyák	19
2.4 Többváltozós ellenőrző kártyák	21
2.5 Az alkalmazhatóságot befolyásoló tényezők	22
2.6 Az ellenőrző kártyák használata az egyes alkalmazhatósági feltételek figyelembe vételével	23
3 A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG.....	25
3.1 A mérési bizonytalanság „A” és „B” típusú megközelítése	26
3.2 Miért fontos a mérési bizonytalanság figyelembevétele?.....	28

3.3	A mérési bizonytalanság kezelése.....	29
3.3.1	<i>A mérési bizonytalanság kezelése mindendarabos ellenőrzés esetén</i>	29
3.3.2	<i>Mérési bizonytalanság kezelése mintavétel esetén</i>	30
3.3	Ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan.....	30
4	A VÁLLALAT BEMUTATÁSA	32
5	A KUTATÁSI TERV	33
5.1	Problémafelvetés	33
5.2	A kutatási modell	39
5.2.1	<i>Konceptualizáció:.....</i>	40
5.2.2	<i>Operacionalizáció:</i>	41
5.3	Célkitűzés és relevancia.....	42
5.4	Kutatási kérdések és feltételezések	43
6	KUTATÁSI EREDMÉNYEK	44
6.1	A kártyatervezési módszer bemutatása.....	44
6.1.1	<i>A módszer lépéseinek ismertetése</i>	44
6.1.2	<i>Miért a szimulációs módszer?</i>	49
6.2	A módszer alkalmazhatóságának bemutatása	50
6.2.1	<i>Adatgyűjtés.....</i>	50
6.2.2	<i>A megbízhatóság alapú T^2 kártya tervezése</i>	51
6.2.3	<i>Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása</i>	53
6.2.4	<i>Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével (szimuláció segítségével)</i>	57
6.2.5	<i>Szimulációs eredmények</i>	58
7	JAVASLATTÉTEL	62
7.1	J1 javaslat: Kockázatalapú többváltozós szabályozó kártya alkalmazásának bevezetése.....	62

7.2	J2-es javaslat: A kártyatervezés folyamatának támogatása SciLab program segítségével.....	62
8	MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI TANULMÁNY.....	64
8.1	J1-es javaslat megvalósíthatóságának elemzése	64
8.2	J2-es javaslat megvalósíthatóságának elemzése	67
9	ÖSSZEFOGLALÁS.....	70
	Irodalomjegyzék.....	73

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A minőségköltségek alakulása.....	6
2. ábra: A Taguchi féle veszteségfüggvény	7
3. ábra: A Taguchi-féle veszteségfüggvény aszimmetrikus túrés esetén	8
4. ábra: A statisztikai folyamatszabályozás során végzett tevékenységek	13
5. ábra: Az ellenőrző kártyák kiválasztásának módszere	16
6. ábra: A mérés eredményét befolyásoló tényezők.....	25
7. ábra: Ok-okozati elemzés.....	34
8. ábra: A kutatási modell.....	39
9. ábra: A vizsgált termék.....	50
10. ábra: A szimuláció során tervezett T^2 kártya	52
11. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a módszer alkalmazása során	58
12. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a két minőségjellemzőre vonatkozó mérési bizonytalanság függvényében	60
13. ábra: A módszer bevezetéséhez szükséges beruházás megtérülése	66
14. ábra: A módszer alkalmazását támogató program kezelőfelülete	68

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Döntési mátrix többtényezős döntéshozatal esetén.....	9
2. táblázat: A több szempontú ellenőrző kártyák típusai.....	20
3. táblázat: Az ellenőrző kártyák kutatási területei	23
4. táblázat: A megfelelőség értékelésének lehetséges esetei	28
5. táblázat: A döntési mátrix szerkezete.....	47
6. táblázat: Az egyes döntésekhez társított fedezeti értékek	53
7. táblázat: A kapott eredmények.....	57
8. táblázat: Az összegzett fedezeti érték alakulása a másodfajú hiba fedezeti értékének függvényében	59

IRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ

A statisztikai folyamatszabályozás (Statistical Process Control), széles körben elterjedt eszközei az ellenőrző kártyák (Control Charts). Segítségükkel azt vizsgáljuk, hogy a mért értékek ingadozásai csak a véletlennek tulajdoníthatók-e (stabil folyamat), vagy olyan rendszeres hatások lépnek fel, amelyek a folyamat jellegét megváltoztatják, és kiküszöbölésükhöz beavatkozás szükségeltetik (instabil folyamat). A napjainkban alkalmazott ellenőrző kártyák azonban nem számolnak az alkalmazott mérőműszer mérési bizonytalanságával. A megfelelésértékelésekor az elkövetett első-, illetve másodfajú hibák pénzügyi kockázatot jelentenek. A kutatás során a probléma kezelésére olyan módszert dolgozok ki, amely többváltozós szabályozó kártya esetében képes e tényező kezelésére, így csökkentve a pénzügyi kockázatot mind termelői mind fogyasztói oldalról, immár kockázatalapon működő ellenőrző kártyát illesztve a szabályozni kívánt folyamatra.

Kutatási kérdések

1. Elérhető-e fedezeti érték növekedés többdimenziós szabályozó kártya esetén is?
2. Meghatározható-e a kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós kártya alkalmazásakor?
3. Milyen irányú kapcsolat állítható fel a másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között?

A kutatás célja

A kockázatalapú szabályozó kártyák tervezési módszerének kiterjesztése többváltozós esetre vonatkozóan. Az összes mintára számított fedezeti érték alakulásának vizsgálata a módszer alkalmazása során, továbbá a vizsgált folyamatra kockázatalapon működő ellenőrző kártya illesztése.

Kutatási prepozíció

A mérési bizonytalanság figyelembevételének hatását eddig csak egyváltozós (átlag, illetve mozgóátlag, exponenciálisan súlyozott mozgóátlag) kártyák esetében vizsgálták. Feltevésem, hogy a módszer alkalmazásával többváltozós ellenőrző kártya esetében növelhető az összes mintára számított fedezeti érték, és ez esetben is meghatározható a kiterjesztési tényező optimális értéke, amely mellett az összegzett fedezeti érték maximális.

A következőkben bemutatom a témával kapcsolatos hazai és idegen nyelvű szakirodalmat. Az első fejezet a minőségbiztosítás témakörével foglalkozik.

1 A MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSRÓL

Napjaink piaci versenyében a fogyasztói igényeknek való megfelelés, a minőség és az ezek eléréséhez szükséges tényezők biztosítása elengedhetetlen a versenyben résztvevő vállalatok számára. Joggal állíthatjuk, hogy a minőség kulcsszerepet játszik a versenyképesség elérésében és megtartásában. A következő fejezet bemutatja a minőség és megfelelés fogalmát, illetve a tényezők biztosításához kapcsolódó témaköröket. Ehhez azonban először célszerű tisztázni mit is értünk az igény kielégítési folyamat alatt.

Az igény kielégítési folyamat

Emberi természetünkből adódóan igényeink vannak. Ezek az igények az értékrendünkből erednek. Így számunkra az képvisel értéket, ami az értékrendünk alapján képes igényeink kielégítésére.

A minőségügy alapvető fogalma a piaci igény kielégítési folyamat. Ennek részét képezi a termelő, illetve szolgáltató által végzett termelési folyamat, melynek eredménye a termék, mely megjelenési formáját tekintve lehet gyártmány illetve szolgáltatás. Az áru a fogyasztóhoz kerül, aki a fogyasztási folyamat során felhasználja, elhasználja azt. A termék, illetve szolgáltatás megfelelése és minősége nagymértékben meghatározza a fogyasztó elégedettségét a felhasználás során. De mit is értünk megfelelés, illetve minőség alatt?

1.1 A megfelelés vs. minőség

A megfelelésen azt értjük, hogy meghatározzuk a termék, rendszer, illetve folyamat bizonyos mérhető, megfigyelhető tulajdonságainak értékét, majd a tulajdonságértékre követelményeket írunk elő és megvizsgáljuk, hogy a termék vagy tevékenység kielégíti-e a követelményrendszer által előírt követelményeket. A megfelelés tehát egy megfigyelhető, objektív jellemző. Ezzel szemben a minőség már sokkal inkább egy szubjektív szempont.

A minőség általános filozófiai értelmezése szerint adott dolog minősége a dolog azon tulajdonságainak összessége, melyek azzá teszik a dolgot ami.

Fogyasztói szemszögből a fogyasztási folyamat minőségét azok a funkciók határozzák meg, amelyek alkalmassá teszik a gyártmányt vagy szolgáltatást a fogyasztás során a fogyasztó által igényelt funkciók kielégítésére.

Termelői szemszögből az igény kielégítési folyamat minősége pedig attól függ, hogy a termelési folyamat és a termék a termelői érdekek szempontjából megfelelő-e. Vagyis a termelés folyamata az érdekeltek számára hasznos-e, gazdaságos-e?

A minőség és megfeleléség ugyanannak az objektumnak a két különféle szempontú értékelése. Ezért a két fogalom egymástól függetlenül nem is értelmezhető. Míg a minőség szubjektív, általában nehezen mérhető és érték dimenziójú, addig a megfeleléség objektív, könnyen értékelhető és naturális dimenziójú fogalom. Ahhoz, hogy egy vállalat a megfeleléség, illetve a minőség magas színvonalát érje el, alapvető fontosságú tényező a minőségcélok definiálása. (Veress, 1999, pp.17-18, 40-42.)

1.2 A minőségcélok

Ahhoz, hogy egy vállalat a piacon sikeres lehessen, elengedhetetlen a minőségcélok meghatározása. A vezetőség minőséggel kapcsolatos céljait és elkötelezettségét a minőségpolitika foglalja magába, amely általában igen tömör, reális célokat tartalmazó nyilatkozat. A minőségcélokat jól kitűzni csak akkor lehet, ha ehhez megfelelő mennyiségű és minőségű információ áll rendelkezésünkre. A minőségcélokkal szembeni elvárás, hogy legyenek mozgósítók, kihívók, megvalósíthatók, mérhetők és folyamatosan követhetők, egyértelműen megfogalmazottak, valamint meghatározott területre és időre szóljanak (Gyöngy, Papp, 2001, pp. 324-327).

A minőségcélok definiálását és megvalósításuknak módját segíti az úgynevezett FAIR modell alkalmazása. A modell elnevezése lépéseinek kezdőbetűiből származik (**F**ocus, **A**lignment, **I**ntegration, **R**esponsiveness). Első lépés az összpontosítás (Focus), ahol két kérdésre kell választ adnunk. Milyen célokat akarunk elérni? Ezen célok eléréséhez milyen erőforrásokra kell koncentrálnunk? Második lépés a csoportosítás és feladat kitűzés (Alignment). Ezen a ponton meghatározzuk, hogy milyen módszereket alkalmazzunk, valamint az egyes célokat szervezeti szintekhez kell rendelni és definiálni kell az egyes szintekhez tartozó feladatokat, feladatköröket is. A legtöbb tevékenységet magába foglaló lépés az integráció (Integration). Itt a legfontosabb feladat egyrészt annak a meghatározása, hogy a célok eléréséhez vezető folyamat lefutása milyen ütemben történjen, másrészt a megvalósítás, az integráció is e lépés keretein belül megy végbe. Utolsó lépésként az elemzés, és a megvalósított tevékenység hatásainak figyelemmel kísérése következik. Az elemzés során arra a kérdésre keressük a választ, hogy a meghatározott és megvalósított folyamat a célok elérésének megfelelően működik-e? (Nanda, 2003, pp. 1015-1021)

Parányi szerint a minőségstratégia az a vezetési folyamat, amelyen belül olyan döntéseket kell hozni, amelyek a vállalat jellegét és irányvonalát meghatározzák a minőség tekintetében. A minőségstratégia kialakításához két alapvető kérdést kell megválaszolni. Egyrészt, hogy a vállalat milyen akar lenni a jövőben, másrészt pedig, hogy a vállalat hogyan akarja elérni a meghatározott minőségcélokat. A minőségstratégia fő elemei a vállalatnak környezethez viszonyított jövőbeli helyzetének kijelölése, kitérve olyan termékminőségnek a meghatározására, amely különböző piacokon hatásosan teljesíti a meghatározott vevői csoportok igényeit. Továbbá meg kell határozni azokat a technológiai képesség-, és erőforrásfejlesztési-javítási igényeket, amelyek által a vállalat elérheti a kitűzött célokat. Fontos olyan objektív kritériumok és/vagy szabályok meghatározása, amelyek segítségével felmérhető a stratégia sikere. (Parányi, 1999, 52-53.)

A kitűzött célok eléréséhez számos erőfeszítés szükséges. Természetesen a minőségcélok eléréséhez szükséges tevékenységeknek is költségvonzata van. A következő alfejezet a minőségköltségeket mutatja be.

1.3 A minőségköltségek

A minőségmenedzsment célja a lehető legmagasabb színvonalú termékminőség elérése, a lehető legalacsonyabb költségek mellett. A megfelelő termék-, és szolgáltatásminőség együtt jár a megfelelő termék-, és szolgáltatásköltségekkel.

Feigenbaum szerint: „A nem megfelelő minőség egyben nem megfelelő erőforrás felhasználást is jelent. Ez pedig maga után vonja az anyagpazarlást, a munkaerőpazarlást és a berendezésidő pazarlását is és következésképpen magasabb költségekhez vezet. Ezzel szemben a megfelelő minőség megfelelő erőforrás hasznosítást és így alacsonyabb költségeket jelent.” (Feigenbaum, 1991, pp. 118)

1.3.1 A minőségköltségek strukturálása:

Az egyik széles körben elfogadott megkülönböztetés a Feigenbaum által meghatározott PAF- modell. Eszerint a minőségköltségeket a következőképpen csoportosíthatjuk:

- 1) megelőzési költségek
- 2) minősítési költségek
- 3) hibaköltségek

1. A minőségbiztosításról

A megelőzési költségek a hibák és a nemmegfelelőségek előfordulásának elkerülésére tett erőfeszítésekből származnak és tartalmazzák azokat a kiadásokat is, amelyek azon termékek előállításának a megelőzéséből fakadnak, amelyek nem teljesítik a minőségkövetelményeket.

A minősítési költségek magukba foglalják mindazon költségeket, amelyek a vállalat minőségszíntjének megtartásához kapcsolódnak (ellenőrzés, vizsgálat, külső jóváhagyás, minőség-felülvizsgálat).

A hibaköltségek azok a költségek, melyek az egyes minőségi követelmények nem teljesülésekor keletkeznek. A modell megkülönböztet belső és külső hibaköltségeket. A belső hibaköltségek jelentik az üzemben belül jelentkező, nem kielégítő minőség költségeit. Nagyobb kárt okozhatnak azonban a külső hibaköltségek, melyek a vállalaton kívül észlelt nemmegfelelőség hibaköltségei. Ebben az esetben a vevők akár el is pártolhatnak, ami komoly károkat jelenthet a vállalat számára. (Parányi, 1999, 280-284.)

Egy másik strukturálási mód (Process-Cost Modell) a minőségköltségeket két csoportra bontja, a megfelelés költségeire (cost of conformance: COC) és a nemmegfelelés költségeire (cost of non-conformance: CONC).

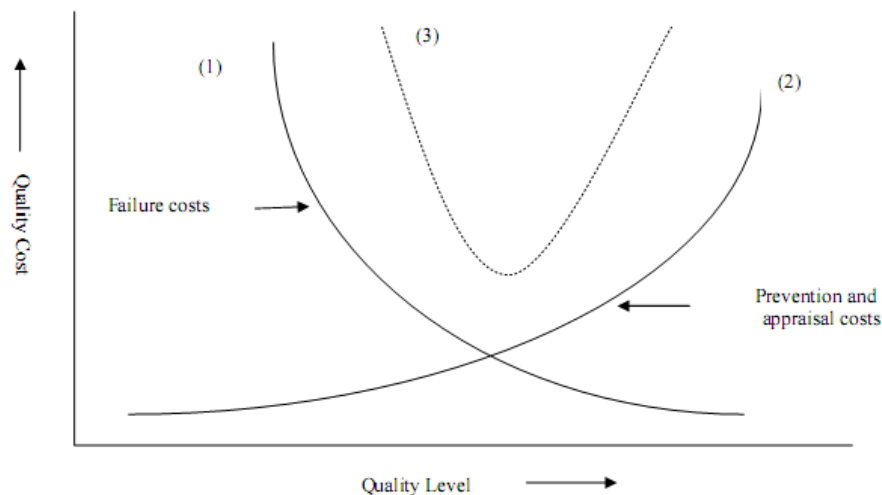
A megfelelés költségei alatt azokat a költségeket értjük, melyek azon folyamatok kapcsán merülnek fel, amelyek biztosítják, hogy az előállított termék eleget tegyen az előírt minőségi követelményeknek. A nem megfelelés költségei pedig azokkal a hibákkal járó költségek, amelyek miatt a gyártási folyamat nem tud az előírásoknak megfelelően működni. A teljes minőségköltséget e kettő komponens összege adja, vagyis:

$$COQ=COC+CONC \quad (1)$$

A gyakorlatban a vállalatok általában a hangsúlyt a nem megfelelés költségeinek vizsgálatára helyezik.

1.3.2 A költségek alakulása:

Az alábbiakban vizsgáljuk meg, hogy hogyan alakulnak az egyes költségek bizonyos esetekben. Az 1. ábrán látható koordináta rendszerben a megelőzési-, a hiba-, és az összes minőségköltség változása került ábrázolásra, a minőségi színvonal alakulásának függvényében. (Dadi He, 2010)



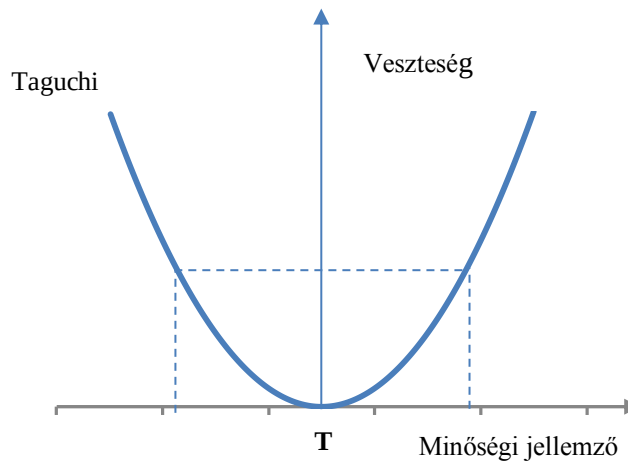
1. ábra: A minőségköltségek alakulása

Tegyük fel, hogy célul tűzzük ki egy adott termék, illetve gyártási folyamat minőségi szintjének növelését. Ez esetben a hibaköltség (egyes számú görbe) nyilván csökkenni fog, hiszen kevesebb selejtes termék fog keletkezni. Ezzel szemben a megelőzésre és ellenőrzésre fordított kiadásaink növekedni fognak, melyet a kettesszámú görbe reprezentál. Figyeljük meg, hogy a görbék nem lineárisan változnak. Az összes minőségköltség egy bizonyos pontig csökken, majd ez után a pont után a további beruházások már nem fogják csökkenteni az eredő költséget. (Dadi He, 2010, pp.102-104)

A minőségköltségek bemutatásakor fontos megemlíteni a Taguchi-féle veszteségfüggvényt is. A következő alfejezet e témakörrel foglalkozik.

1.3.3 A Taguchi féle minőségfogalom

A hagyományos minősszabályozás esetén célunk az, hogy olyan terméket állítsunk elő, amelynek bizonyos vizsgált paraméterei az előírt tartományokon belül vannak. Ha ez teljesül, a terméket megfelelőnek, ellenkező esetben nem megfelelőnek ítéljük. Taguchi szerint nem elegendő pusztán arra törekedni, hogy a vizsgált paraméter a határok között legyen, hanem az is fontos szempont, hogy a paraméter értéke e határok között pontosan hol helyezkedik el. Ezt az elképzelést fejezi ki a Taguchi –féle négyzetes veszteségfüggvény. A hagyományos veszteségfüggvény értéke nulla akkor, ha a paraméter értéke a tűréstartományon belül van, és ugrásszerűen megnő, ha a paraméter a tartományon kívülre esik. Ezzel szemben a Taguchi –féle veszteségfüggvény a tűrésen belüli veszteség alakulását is mutatja a paraméter értékének függvényében.



2. ábra: A Taguchi féle veszteségfüggvény

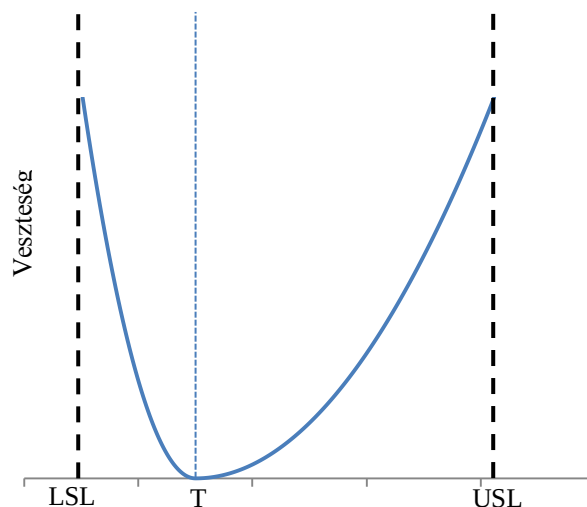
Jelölje y a vizsgált paramétert, T annak célértékét. Ekkor a veszteségfüggvény a következő Taylor polinommal közelíthető:

$$L(x) = L(T) + L'(T)(x - T) + L''(T) \frac{(x - T)^2}{2!} + \dots \quad (2)$$

A veszteség zérus abban az esetben, ha az y értéke éppen a T célérték, a minimum helyen ilyenkor az első derivált is zérus.

$$L(T) = L'(T) = 0 \quad (3)$$

A Taguchi-féle veszteségfüggvény akkor is értelmezhető, ha a tűréstartomány nem szimmetrikus. Ezt az esetet mutatja be az alábbi ábra (Kethley, B. R. 2008).



3. ábra: A Taguchi-féle veszteségfüggvény aszimmetrikus tűrés esetén

Ahogy láhattuk a döntésünknek komoly költségvonzata lehet. Ezek azonban sok esetben több tényezős döntések. A következő alfejezet e területtel foglalkozik.

1.4 A megfelelés értékelése

Egy megfelelően kiépített rendszer alkalmazása még nem jelenti azt, hogy hibák nem fognak felmerülni, mivel a rendszert folyamatosan érik különböző hatások, melyek változásokat eredményezhetnek mind termék, mind pedig a rendszer szintjén. Ezen hatások eredménye lehet a selejtes termék előállítása. A selejtek jelentkezhetnek üzemben belül, rosszabb esetben pedig az eladott termékek között. Utóbbi esetben sokkal kedvezőtlenebb helyzetbe kerülhetünk, hiszen ez a vevők elpártolásához vezethet. Ezért is fontos tényező a termékminőségnek és a rendszer működőképességének folyamatos ellenőrzése, vizsgálata.

Egy adott termék minőségének ellenőrzéséhez, ismernünk kell a termékre vonatkozó minőségjellemzőket. Ezek meghatározásának folyamata a vevők elvárásainak megismerésével kezdődik. Ha az elvárások adottak, akkor minőségjellemzővé kell transzformálni őket, majd az információ részletességét finomítani kell (Tang, Wang, Wang, 2007).

A minősíthető jellemzők lehetnek például geometriai (hossz, átmérő), szilárdságtani (folyáshatár), kinetikai (ütésállóság), villamos (ellenállás, kapacitás), optikai jellemzők. (Balogh, Dukáti, Sallay, 1980, pp. 14-15)

1. A minőségbiztosításról

A termelési folyamat vizsgálata során sok esetben kell döntéseket hoznunk (például, hogy beavatkozunk-e az adott folyamatba, hogy mely termékek fejlesztésére érdemesebb koncentrálni, rangsor felállítása az alkalmazott módszerekre vonatkozóan stb.). Döntéseinket általában egyszerre több értékelési tényező függvényében kel meghoznunk. A többtényezős döntéshozatal elsődleges célja, hogy tetszőleges, egymással összehasonlítható objektumokat egymással összehasonlítsa, illetve megadja ezen objektumok valamilyen szempontok szerinti legjobb sorrendjét vagy a vizsgált csoport legjobbját. Objektum lehet bármi, amihez rangsorolásra, csoportosításra alkalmas tulajdonságok (ezekhez pedig tulajdonságértékek) rendelhetők. A többtényezős döntések problémája tulajdonképpen a következő: Adva vannak az $A_1; \dots A_i; \dots A_n$ alternatívák, valamint a releváns tulajdonságok, illetve tényezők halmaza (értékelési tényezők: $E_1; \dots E_j; \dots E_m$). Valamennyi alternatívát mindegyik értékelési tényező szerint értékeljük. Tegyük fel, hogy az A_i alternatíva E_j értékelési tényező szerinti értékelését egyetlen e_{ij} számmal adjuk meg és $i=1; \dots n$ illetve $j=1; \dots m$. Így az A_i alternatíva egy e_i vektorral írható le ($e_i=e_{i1}; \dots e_{im}$). A döntési mátrix az 1-es táblázat által bemutatott formában írható fel: (Gaál, Szabó, 2007)

1. táblázat: Döntési mátrix többtényezős döntéshozatal esetén

E_j	E_1	$E_2 \dots$	$E_j \dots$	E_m
A_i				
A_1	e_{11}	$e_{12} \dots$	$e_{1j} \dots$	e_{1m}
A_2	e_{21}	$e_{22} \dots$	$e_{2j} \dots$	e_{2m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_i	e_{i1}	$e_{i2} \dots$	$e_{ij} \dots$	e_{im}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_n	e_{n1}	$e_{n2} \dots$	$e_{nj} \dots$	e_{nm}

A többtényezős döntési feladatokat három csoportra oszthatjuk céljuk alapján, ami irányulhat objektum kiválasztására, rangsorolásra és az objektumok csoportokba sorolására. (Gaál, Szabó, 2007, pp. 156-158.)

A többtényezős döntéshozatal lépései a következő sorrendben írhatóak fel:

1. az objektumok halmazán értelmezett értékfüggvény és a feladatra, valamint a tulajdonságértékekre vonatkozó korlátozási feltételek meghatározása
2. a lehetséges objektumok halmazának definiálása
3. az objektumok releváns tulajdonságainak kiválasztása
4. a tulajdonságok súlyszámmal történő ellátása

5. az egyes objektumok releváns tulajdonságainak mérése
6. összevont értékelés a tulajdonságonkénti értékelési eredmények figyelembe vételével
7. azon objektum (objektumok) kiválasztása, amelyre (amelyekre) a cél és a korlátozó feltételek teljesülnek.

Az értékelési tényezők utilitásának meghatározására alkalmazott módszerek például a rangmódszerek, kategória módszerek, direkt módszerek, szerencsejáték módszerek és indifferencia-módszerek. (Veress, 1999, pp. 259-262) A magas színvonalú minőség elérését nem csak a megalapozott döntések, hanem a szabványok bevezetése is támogatja. A következő részben a minőségirányítási szabványokat mutatom be.

1.5 Minőségirányítási szabványok

Mára már világossá vált, hogy a vállalatok versenyképességének alapja a megrendelők igényeinek és szükségleteinek magas szintű kielégítése. A konkurencia világméretűvé válásának hatására ez a szempont egyre inkább felértékelődik. (Bálint, 2006)

A termelő illetve szolgáltatást végző vállalkozások számára kulcsfontosságú tényező a vevők bizalmának megszerzése. Könnyen belátható, hogy a vevőben nagyobb bizalmat ébreszt egy termék iránt, ha az azt előállító, egy harmadik akkreditált fél által kibocsátott tanúsítvánnyal rendelkezik. Tanúsítvány megszerzésére külső illetve belső igény is felmerülhet. Külsőigény érkezhethet magától a vevőtől, vagy akár minisztériumtól. Ennél azonban fontosabb, ha belső igény alapján indul el a folyamat, melynek célja a versenyelőny elérése, hatékonyság növelése, vagy akár a szervezeti képességek fejlesztése. (Pálffy, 2005)

Az ISO 900X szabványcsalád első változata 1987-ben jelent meg. Napjainkban a szabványcsalád szűkebb értelmezésben három tagból, az ISO 9000, 9001 és 9004-ből áll. Az ISO 9001 és a család többi tagja közti alapvető különbséget az adja, hogy előbbi a cég minőségirányítási rendszerének tanúsítására szolgál, utóbbiak pedig útmutató jellegűek, vagyis magyarázatokat, ajánlásokat tartalmaznak. (Bálint, 2006)

Az ISO 900X szabványcsalád által bármely tevékenységet végző vállalat kaphat tanúsítást (feltéve, ha teljesíti az előírt követelményrendszert). Ezzel szemben találkozunk olyan szabványokkal, melyek szerint csak az autóipari beszállítók szerezhethetnek tanúsítványt. (Pálffy, 2005)

Ilyenek például a DaimlerChrysler, Ford és General Motors által fejlesztett QS-9000, ISO/TS 16949, vagy akár a német Verband der Automobilindustrie (VDA) által megjelentetett szabványok. (Róth András, 1996)

Az újabb szabványok kibocsátására azért volt szükség, mert a fejlett gépjárműgyártó országok olyan további előírásokat szabtak meg a beszállítóik számára, melyek nem szerepeltek az ISO 9001:2000-ben. (Dan Reid, 2005)

A szabványokról azonban általánosságban elmondható, hogy a szerzett tanúsítványok száma mind világszinten, mind pedig hazánk tekintetében növekvő tendenciát mutat. Ez azt bizonyítja, hogy a vállalatok egyre inkább felismerik, hogy versenyképességük alapja a minőség. (Pónyai 2004 ; Czimer, Csányi, 2010).

Az eddigiekben többek közt rávilágítottam a minőség magas színvonalának jelentőségére. Fontos azonban, hogy milyen módszerekkel érhetjük el a minőség magas színvonalát. Egy ilyen alkalmazás a statisztikai folyamatszabályozás, amely a minőségszabályozás egyik leggyakrabban alkalmazott eszköze. A következő nagy fejezet e témakörrel foglalkozik.

2 A STATISZTIKAI FOLYAMATSZABÁLYOZÁS

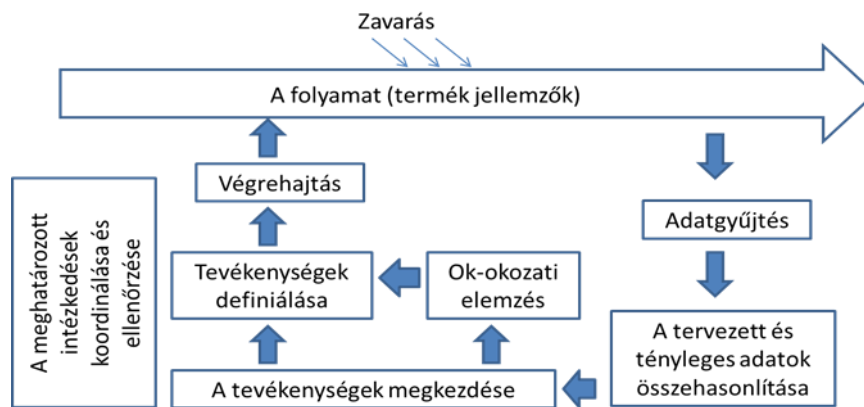
A kitűzött minőségcélokat csak olyan folyamatok során lehet elérni, melyek az elvárásoknak megfelelően működnek. Ezért a termelési folyamatokat nem elég létrehozni, de ellenőrizni és szabályozni is kell őket.

A statisztikai folyamatszabályozás (Statistical Process Control) a minőségirányítás területén tömeggyártás esetében alkalmazott statisztikai módszerek egyik legelterjedtebb alkalmazása. Célja a megnövekedett minőségi szint biztosítása. A statisztikai folyamatszabályozás során a folyamat jellemzésére alkalmas statisztikai módszerek segítségével elemezzük a folyamat paramétereit és beállításait úgy, hogy ellenőrzőkártyák segítségével, illetve a beavatkozási határok figyelembe vételével elemezzük a folyamatot és ha szükséges, beavatkozunk. Mindez legtöbbször a termékek mintavételes ellenőrzési eredményei alapján gazdaságos. (Balogh, 2010, pp. 5-15) (Koczor, 1999, pp. 299-300)

Statisztikai következtetésre csak a véletlen minta alkalmas. Ez azt jelenti, hogy véges sokaság bármelyik eleme egyenlő eséllyel rendelkezik arra, hogy kiválasszuk. A mért paraméterek eloszlásának ismeretében képet alkothatunk a folyamat eredményeiről (pl.: a selejtarányról). A teljes sokaságra jellemző eloszlás paramétereire a matematikai statisztika módszereivel, a sokaságból vett minta statisztikai jellemzőiből következtethetünk. A következtetéseknek két fő módja van, a becslés és a hipotézis vizsgálat. A statisztikai próbáknál kétféle hibát követhetünk el. Az egyik az, hogy elvetjük a nullhipotézist, pedig igaz, a másik esetben pedig elfogadjuk, holott nem igaz. Az előbbi esetben első-, az utóbbiban másodfajú hibáról beszélünk. (Kemény, Papp, Deák, 1998, pp. 37-38)

2. A statisztikai folyamatszabályozás

A mintavétel azonban a szükséges tevékenységeknek csak kis hányada. A módszernél alkalmazott körfolyamat ennél sokkal több lépésből áll. A statisztikai folyamatszabályozás alatt elvégzendő tevékenységek körfolyamatát mutatja be a 4. ábra. (Katalinic, 2010)



4. ábra: A statisztikai folyamatszabályozás során végzett tevékenységek

Az egy általunk vizsgált és szabályozni kívánt folyamat valamilyen szintű zavarásnak van kitéve az egyes hatások miatt. A mintavételezés útján mért adatokat összehasonlítjuk a tervezett értékekkel. Ha a mért értékek a beavatkozási határokon kívülre esnek, akkor be kell avatkoznunk a folyamatba. A beavatkozás első lépése, az ok-okozati elemzés elvégzése, hogy meghatározhassuk az értékek eltolódását kiváltó okokat. Ezek ismeretében definiáljuk a pontos tevékenységeket, majd végrehajtjuk őket. Végül a felvázolt tevékenység-hurok az újbóli mintavételezéssel kezdődik. (Katalinic, 2010, pp. 1341-1342)

Láthattuk, a statisztikai folyamatszabályozás menetének ismertetését. A következő alfejezet pedig bemutatja az SPC eszközeit, az úgynevezett ellenőrző kártyákat.

2.1 Az ellenőrző kártyák

A statisztikai folyamatszabályozás eszközei a folyamatok elemzésére az ellenőrző kártyák (angolul: control charts). Az ellenőrző kártyák használatának célja a folyamat stabilitásának vizsgálata. Segítségükkel azt vizsgáljuk, hogy az ingadozások csak a véletlennek tulajdoníthatóak-e (stabil folyamat), vagy pedig olyan rendszeres hatások lépnek fel, amelyek a folyamat jellegét megváltoztatják, és kiküszöbölésük beavatkozást igényel (instabil folyamat). Ekkor pontosabban azt elemezzük, hogy az eloszlás nem változott-e meg, illetve, hogy a paraméterei változatlanok-e?

A statisztikai döntéshez a stabil folyamat véletlen ingadozására fennálló paraméterek (pl.: normális eloszlás esetén m várható értéke és s^2 varianciája) ismerete szükséges. Ezeket a paramétereket a vett mintából becsülhetjük.

Az ellenőrző kártyára berajzoljuk az $x_0=\mu_0$ középvonalat (CL), és az alsó (LCL) illetve felső (UCL) beavatkozási határokat. Itt azonban meg kell jegyeznünk, hogy a beavatkozási határokat nem a tűrésmező szabja meg, hanem az eloszlás terjedelme. A kártya megrajzolásakor nem azt vizsgáljuk, hogy a gyártott termékek eleget tesznek-e az előírásoknak, hanem azt, hogy milyen a vizsgált minőségi jellemzőjük ingadozása.

Aszerint, hogy a vizsgált minőségi jellemzőt milyen skálán mérjük, megkülönböztetünk méréses (pl.: méret, tömeg, hatóanyag tartalom stb.) és minősítéses (pl.: selejtarány, fajlagos hibaszám stb.) ellenőrző kártyákat. (Kemény, Papp, Deák, 1998, pp. 87-88)

2.1.1 A méréses és minősítéses kártyák összevetése

Az alapvető különbség a méréses és a minősítéses kártyák között az, hogy, míg a méréses ellenőrző kártyák folytonos valószínűségi változóval dolgoznak, addig a minősítéses ellenőrző kártyák diszkrét valószínűségi változóval. További különbség a két kártyatípus között, hogy a méréses ellenőrzőkártyák több információt adnak, érzékenyebbek, és mivel méréses kártya alkalmazása esetén a növekvő eltolódás kimutatásához annak nem kell elérnie a tűréshatárt, nagyobb selejtarány megjelenése előtt jelzi a veszélyesebb hibákat. A méréses kártyák nem igényelnek akkora minta elemszámot, mint a minősítéses kártyák, azonban figyelembe kell vennünk azt is, hogy a mérés sok esetben költségesebb, mint a minősítés.

2.1.2 A méréses ellenőrzőkártyák alkalmazásának esetei

- új folyamat esetén
- ismert a folyamat, de új terméket vezetünk be
- ha a minősítéshez sok mintára van szükség
- szigorú tűréshatárok esetén
- ha a termék minőségi előírásai megváltoznak
- abban az esetben, ha a folyamat stabilitását és képességét állandóan bizonyítani kell (pl.: gyógyszeriparban)

2.1.3 A minősítéses ellenőrzőkártyák alkalmazásának esetei

- bonyolult folyamat esetén
- ha a termék minőségét csak a hibák számával tudjuk jellemezni
- ha nincs mérésre lehetőség

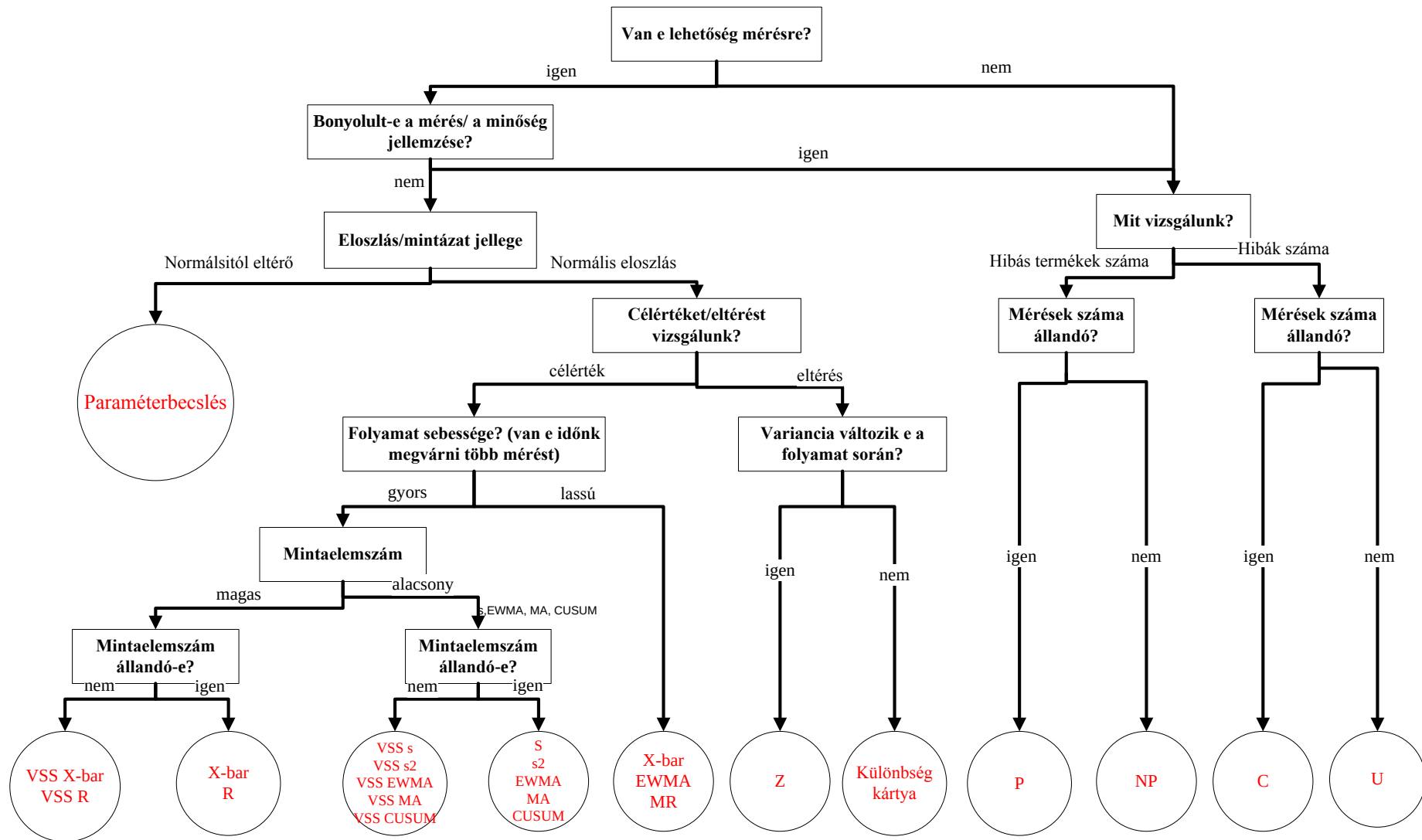
- ha a folyamat működésének nyilvántartása szükségeltetik (a nyilvántartás a minősítéses ellenőrző kártya alkalmazása esetén kevésbé költséges). (Kemény, Papp, Deák, 1998, pp. 205-206)

Az eddigiekben bemutatam a méréses és minősítéses ellenőrző kártyákat, illetve e két típus közötti alapvető különbségeket. A következő alfejezet a kártyaválasztás folyamatával foglalkozik.

2.2 Az ellenőrző kártyák kiválasztása

A statisztikai folyamatszabályozás során fontos kérdés, hogy a szabályozni kívánt folyamatra milyen ellenőrző kártyát illesszünk. Mivel mindegyik kártya más tulajdonságokkal illetve korlátozó feltételekkel rendelkezik, úgy kell meghoznunk döntésünket, hogy a kiválasztáskor figyelembe vesszük az egyes kártyák szükséges bemenő paramétereit és alkalmazást korlátozó feltételeit.

A hazai és idegen nyelvű szakirodalomban is egyaránt találunk ajánlásokat a megfelelő kártya (kártyák) kiválasztására vonatkozóan. Munkám során irodalomkutatót végeztem, hogy összegyűjtsem ezeket a szempontokat. A megvizsgált szakirodalmak alapján a következő ábrát állítottam össze.



5. ábra: Az ellenőrző kártyák kiválasztásának módszere

2. A statisztikai folyamatszabályozás

Ahogy az ábrán is látjuk, először arra kell választ adnunk, hogy van-e lehetőségünk a vizsgált termékjellemző mérésére. Ez azért fontos, mert méréses ellenőrző kártyát csak ebben az esetben alkalmazhatunk, de előfordulhat, hogy a mérés rendkívül körülményes, vagy egyáltalán nem tudjuk mért adattal jellemezni a termék megfelelőségét. Ebben az esetben a minősítéses ellenőrző kártyák közül kell választanunk.

Először vegyük végig a méréses ellenőrző kártyákra vonatkozó ágot!

Ha az általunk szabályozni kívánt termékparaméter mérhető és maga a mérés is kivitelezhető, akkor ebben az esetben méréses ellenőrző kártyákat alkalmazunk. Számos ellenőrző kártya feltétele azonban, hogy a mért értékek normális eloszlást kövessenek.¹ Ha ez a feltétel nem teljesül, arra az esetre a szakirodalom paraméterbecslést ajánl. Ennek során meghatározzuk az eloszlás paramétereit, majd erre illesztünk egy azt leíró függvényt..

Előfordulhat azonban olyan eset is, mikor egy adott géppel több hasonló, de eltérő vizsgált paraméterű terméket munkálunk meg. Ha magát a mért értéket, vagy a mintavételi csoportátlagot ábrázoljuk, akkor a különböző terméksorozatok esetén nem tudjuk összehasonlítani folyamat szabályozottságát a különböző szakaszokban. Ezért célszerű nem magát a mért értéket, vagy a mintavételi átlagot, hanem a megadott célértéktől való eltérést ábrázolni. Ebben az esetben különbség, illetve Z- kártyát alkalmazunk, mely abban különbözik az előbbitől, hogy az ábrázolt értéket standardizálással adjuk meg az alábbi egyenlet alapján:

$$Z_{\bar{X}_i} = \frac{\bar{X}_i - \mu_x}{\sigma_x / \sqrt{n}} \sim N(0,1) \quad (4)$$

Ahol X_i az i -edik mért érték, μ_x a várható érték, σ_x a szórás és n pedig a minta elemszám.

Ekkor még további problémát jelenthet, ha a variancia változik a folyamat során. A szakirodalom a különbség kártyát állandó, a Z kártyát pedig változó variancia esetére ajánlja.

Ha fentiekben taglalt probléma nem áll fenn, tehát mért értékekkel dolgozhatunk, akkor a következőkben fontos szempont lesz, a minta elemszám. Az egyes ellenőrző kártyák különböző mintavételi elemszámot igényelnek hatékony működésükhöz. Ha a folyamat lassú

¹ Itt megjegyzem, hogy a normalitás feltételének hiányában megoldást jelenthet a mozgóátlag-, és exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártyák alkalmazása, hiszen a centrális határeloszlás tétel értelmében a mért értékek mozgóátlagai akkor is normális eloszlást követnek, ha az eredeti sokaságból származó értékek esetén a normalitás nem teljesült.

lefolyású, vagyis nem tudunk nagyszámú mintát biztosítani a mérésekhez, akkor egyedi érték - mozgó terjedelem kártyapár, illetve exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártya választása javasolt. Ellenkező esetben is célszerű figyelembe venni, hogy mekkora elemszámmal kívánunk dolgozni, illetve, hogy indokolt-e a változó elemszámmal működő kártyák használata.²

A következőkben vizsgáljuk meg a minősítéses ellenőrző kártyákra vonatkozó ágot!

Minősítéses ellenőrző kártyát kell választanunk abban az esetben, ha a mért adat magára a folyamatra vonatkozó jellemző, mint például a hibás termékek vagy az összes hiba száma (A két érték nem azonos, mivel egy termék több szempontból is hibás lehet.). Előző esetben a selejtes termékek, másodikban a hibák számát vizsgáljuk. Mindkét esetben el kell döntenünk, hogy a mérések száma állandó-e az egyes alcsoportokat tekintve. A selejtszám vizsgálatának esetében, állandó mérésszámnál csak p kártyát, változó mérésszámnál p vagy np kártyát is használhatunk. A hibák számának vizsgálatakor hasonló a helyzet, mivel itt is a mérések számának állandóságát vesszük figyelembe. Állandó mérésszám esetén csak c kártyát, változónál pedig c illetve u kártyát is használhatunk. (Shah, Shridhar, Gohil, 2010, pp. 184-192)

Az eddigi fejezetben olyan ellenőrző kártyákkal foglalkoztunk, melyek paraméterei (mintavételi időköz, minta elemszám, beavatkozási határok) állandók voltak. Léteznek azonban olyan szabályozó kártyák, melyek esetében ezek megváltoztathatók. A következő alfejezet az úgynevezett több szempontú ellenőrző kártyákkal foglalkozik.

² W. Albers, Wilbert C.M. Kallenberg, S. Nurdiani: 2006; V.C.C Vargas, F.L.D. Lopes, A. M. Souza: 2004 ;Montgomery, 1991; Shah, Shridhar, Gohil, 2001, Kemény, Papp Deák, 1998; T. Stapenhurst, 2005, V. B. Vommia, Murty S.N. Seetala, 2007

2.3 Több szempontú ellenőrző kártyák

Egy termelési folyamat esetében a várható érték eltolódásának detektálásakor kulcsfontosságú tényező lehet a detektálás és a beavatkozás között eltelt idő. Belátható, hogy minél hosszabb a mintavételi időköz, annál később vesszük észre az eltolódást, mivel a két mintavétel között eltelt időszakról nincs információnk. A mintavételi időköz csökkentése azonban újabb megfontolásokat vet fel, hiszen a sűrűbb mintavétel a legtöbb esetben megnövekedett költségekkel is jár. Így célszerű olyan megoldást alkalmazni, ahol a mintavételi időköz a mért értékek figyelembevételével változik.

A klasszikus Shewart-féle ellenőrző kártyák esetében a kártyaparaméterek (minta elemszám, mintavételi időköz, beavatkozási határok) állandóak voltak. Reynolds és társai terveztek először ellenőrző kártyát változó mintavételi időközökkel. Munkájuk sok kutatót inspirált, így az újabb kutatásokban már nem csak a mintavételi időköz, hanem ily módon a minta elemszám és a beavatkozási határok is változó paraméterként jelennek meg (Pharbu et al. 1993, Costa et al. 1994). A változó minta elemszám és beavatkozási határok segítségével a vizsgált időhorizont során szigorúbban, illetve kevésbé szigorúbban felügyelt időszakokat különíthetünk el. Abban az esetben, ha a mért pontok a középvonal közelében helyezkednek el, akkor alacsonyabb, míg határ közeli értékek esetén magasabb minta elemszámmal dolgozhatunk. Ezzel egyrészt költség takarítható meg, másrészt pedig kritikus esetben (a magasabb minta elemszám miatt) pontosabb információt kaphatunk a vizsgált folyamatról.

A következőkben jelölje n a minta elemszámot, h a mintavételi időközt, w a figyelmeztető határ értékét, illetve k a beavatkozási határokat. Az több szempontú ellenőrző kártyák különböző típusait mutatja be az alábbi táblázat az állandó és változó paraméterek kombinációjának függvényében.

2. táblázat: A több szempontú ellenőrző kártyák típusai

Jelölés	Megnevezés	Változó paraméterek száma	Változó paraméterek	Állandó paraméterek
FP	Állandó paraméterek	0	-	n, h, w, k
VSL	Változó beavatkozási határok	1	w, k	n, h
VSI	Változó mintavételi időköz	1	h	n, w, k
VSS	Változó minta elemszám	1	n	h, w, k
VSSL	Változó minta elemszám és beavatkozási határok	2	n, w, k	h
VSSI	Változó minta elemszám és mintavételi időköz	2	n, h	w, k
VSIL	Változó mintavételi időköz és beavatkozási határok	2	h, w, k	n
VP	Változó paraméterű kártya	3	n, h, w, k	-

Forrás: (Magalhães, et al., 2009)

Ahogy azt a táblázatban is láthatjuk, a változó paraméterű kártyák különböző megjelölését alkalmazza a szakirodalom, annak megfelelően, hogy mely paraméterük változik egészen az állandó paraméterű kártyától kezdve (FP) a változó paraméterű kártyáig (VP). (Magalhães et al. 2009)

Eddig változó paraméterű kártyákat vizsgáltunk, előfordul azonban olyan eset is, mikor a termék megfelelőségét több változó határozza meg egy időben. A következő alfejezet a többváltozós ellenőrző kártyák témakörével foglalkozik.

2.4 Többváltozós ellenőrző kártyák

Sok esetben előfordul, hogy a minőséget egyszerre több megkülönböztethető jellemző határozza meg. Ilyenkor célunk a több minőségjellemző egyidejű nyomon követése. Ha a jellemzők függetlenek, akkor lehet több ellenőrző kártyát alkalmazni az egyes jellemzőkre, de ez megnövelné a téves riasztások számát. Ha mindegyik jellemzőre a $\pm 3\sigma$ határt alkalmazunk, akkor minden esetben 0,003-et engedünk meg a téves riasztásnak, és az együttes ellenőrzésnél túl nagy lesz ennek valószínűsége. Ilyen esetekben nyújt segítséget a T^2 kártya, amelyen a megjelenített érték a változók átlagtól vagy előírástól való eltérését egyetlen számmal jellemzi adott elemre vagy mintára vonatkozóan. Kétdimenziós esetben kontrollellipszisek is alkalmazhatóak. Az ellipszis középpontjának (tengelyei metszéspontjának) koordinátáit a minőségjellemzők középértékei adják, és az ellipszisen kívül eső pontok váltanak ki riasztást. (Ittész, 1999, pp. 226-231)

Többváltozós esetben nem csak a T^2 kártyák használatosak. Croiser 1988-ban a CUSUM-kártya ábrázolt értékeinek egyenletét alakította át. Ez az összefüggés a következőképpen írható fel:

$$S_n = \max(0, S_{n-1} + (X_n - a) - k\sigma) \quad (5)$$

Az összefüggésben a jelöli a célértéket, X_n a mért érték, σ a mért értékek szórása, k egy referencia érték és S_n pedig a kezdőérték, melynek értéke a folyamat elején 0. Croiser az egyenletben szereplő skalárokat vektorokkal helyettesítette, így egy többváltozós ellenőrző kártyát (MCUSUM= Multivariate CUSUM) kapott. A gyakorlatban ilyen módszerekkel nem csak az MCUSUM - kártya, hanem többváltozós exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártya (MEWMA= Multivariate EWMA) is alkalmazható.

Dimenzió redukciós módszer

Előfordulhat olyan eset is a gyakorlatban, hogy nagyszámú termékparaméter határozza meg a termék megfelelőségét, továbbá ezek egymással korrelálnak. Ilyen esetben alkalmazható a főkomponens elemzés, melynek során az egymással korreláló változókat egy főkomponensbe rendezzük. A szakirodalomban ilyen probléma kezelésére találunk főkomponenseken alapuló T^2 kártyát (T^2_{PCA}). E kártya által ábrázolt értékek a következőképpen határozhatók meg:

$$T^2_{PCA} = \sum_{i=1}^k \frac{z_i^2}{l_i} \quad (6)$$

Az egyenletben z_i jelöli az adott főkomponenst ($i=1,2,\dots,k$), l_i az i -edik főkomponens sajátértéke.

Az eddigiekben szó esett az egyváltozós ellenőrző kártyákról, több szempontú, illetve többváltozós kártyákról. A következőkben vizsgáljuk meg az ellenőrző kártyák alkalmazhatóságának korlátjait!

2.5 Az alkalmazhatóságot befolyásoló tényezők

A gyakorlatban sokszor kell számolnunk olyan tényezőkkel, melyek az ellenőrző kártyák alkalmazhatóságát befolyásolják.

Az eddig ismertett ellenőrző kártyákra igaz, hogy használatuk akkor indokolt, ha a mért x változó ingadozása normális eloszlást követ. Ha a feltétel nem teljesül, akkor ez a kártya paramétereit befolyásolja. A kérdéssel 2007-ben H. Chen és Y Cheng foglalkozott. A kutatás során Johnson eloszlást feltételeztek.

Az egyes paraméterek értékének változását elsősorban α_3 (az eloszlásgörbe ferdeségét kifejező paraméter) és α_4 (az eloszlásgörbe csúcsosságát kifejező paraméter) változásának függvényében vizsgálták. A megfigyelések alapján azt mondhatjuk, hogy α_3 értékének növekedése általában k (a középvonaltól (CL) számított szórás) növekedését, illetve n (minta elemszáma) és h (mintavételi időköz) csökkenését vonja maga után. α_4 értékváltozásának hatásait vizsgálva a következőket állapíthatjuk meg:

1. Ha α_3 értéke nullához közeli, akkor α (elsőfajú hiba elkövetésének valószínűsége) és β (másodfajú hiba elkövetésének valószínűsége) értéke nő, ha α_4 értéke is növekszik.
2. Ha α_3 értéke nullához közeli, és $p_1=p_2=0,01$, (p_1 jelöli az α -ra vonatkozó, míg p_2 a β -ra vonatkozó felső korlát értékét) akkor α_4 értékének növekedésével együtt n' (minta elemszámának optimális értéke) és k' (mintavételi időköz optimális értéke) értéke monoton nő. Ennek oka, hogy a tervezésnél alacsony p_1 és p_2 értékek esetén az első- és másodfajú hibák elkövetésének valószínűségei hatással vannak n' -re és k' -re nézve. Ha azonban a torzulás mértéke magas, akkor ez a növekedés fenn áll ugyan, de nem monoton.
3. A költségek tekintetében azt mondhatjuk, hogy α_4 növekedésével az óránkénti szabályozási költség is szintén növekszik. (Chen, Cheng, 2007, pp. 986–998)

A fent említett alkalmazhatóságot korlátozó tényezők nagy fontossággal bírnak a használandó ellenőrző kártya típusának kiválasztásakor. Az ellenőrző kártyákkal foglalkozó

szakirodalom feldolgozása során az egyes kártyák használhatóságát vizsgáltam, a témával kapcsolatosan megjelent publikációk alapján. Vizsgálataim eredményét a 2.6-os alfejezet ismerteti.

2.6 Az ellenőrző kártyák használata az egyes alkalmazhatósági feltételek figyelembe vételével³

Munkám irodalomkutatást végeztem, melynek során azt vizsgáltam, hogy az eddigi hazai és idegen nyelvű szakirodalomban az ellenőrző kártyák mely területére vonatkozóan végeztek kutatásokat. Ennek eredményét pedig a 3. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat: Az ellenőrző kártyák kutatási területei

		Ellenőrző kártyák			
		Megbízhatóság alapú		Kockázatalapú	
		Állandó paraméter	Változó paraméter	Állandó paraméter	Változó paraméter
Egydimenzió	Normáloszlás	p, np, X-bar, s, R, CUSUM, EWMA, u, c, MA, Z_x , Z_{s2}	CUSUM, X-bar, EWMA, T^2 , MA, p, np, s	X-bar	-
	Normálistól eltérő eloszlástípus	X-bar, CUSUM, R, EWMA, MA	X-bar, CUSUM, EWMA, MA	EWMA, MA	-
Többdimenzió	Normáloszlás	T^2 , MCUSUM, MEWMA, T^2_{PCA} , K^2 , ELR, MRMAX	T^2 , CUSUM, MCUSUM _{PCA} , EWMA	-	-
	Normálistól eltérő eloszlástípus	MCUSUM, MEWMA, T^2 , T^2_{PCA}	MCUSUM, MEWMA, T^2_{PCA}	-	-

A táblázat összeállításakor, azt vizsgáltam, hogy az egyes ellenőrző kártyák tervezésekor mely területekkel foglalkoztak mélyrehatóbban. A szempontok az eloszlás fajtája (normális, vagy attól eltérő eloszlás), a megfigyelt a változók száma (egy változó, több változó) és a minta elemszám, 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

³ 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). Hegedűs Cs., Dr. Kosztyán Zs., (2008), BinShams, M. A. et al. (2011), Pöllänen, K et al. (2006); Tuerhong, G., Kim, S., B., (2014), Zhang J. et al. (2010), Chen, Y. K. (2007)

fejlesztése, amely képes kezelni a többváltozós eseteket, emellett alkalmazható normálistól eltérő eloszlás és változó minta elemszám, illetve mintavételi időköz esetén. A Taguchi féle veszteségfüggvény figyelembevételével történő kártyatervezés az átlag, szórás, EWMA, illetve CUSUM kártyák esetében történt. Kockázatalapú ellenőrző kártyák tekintetében történtek már kutatások az átlag, a mozgóátlag, illetve exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártyák esetében is.

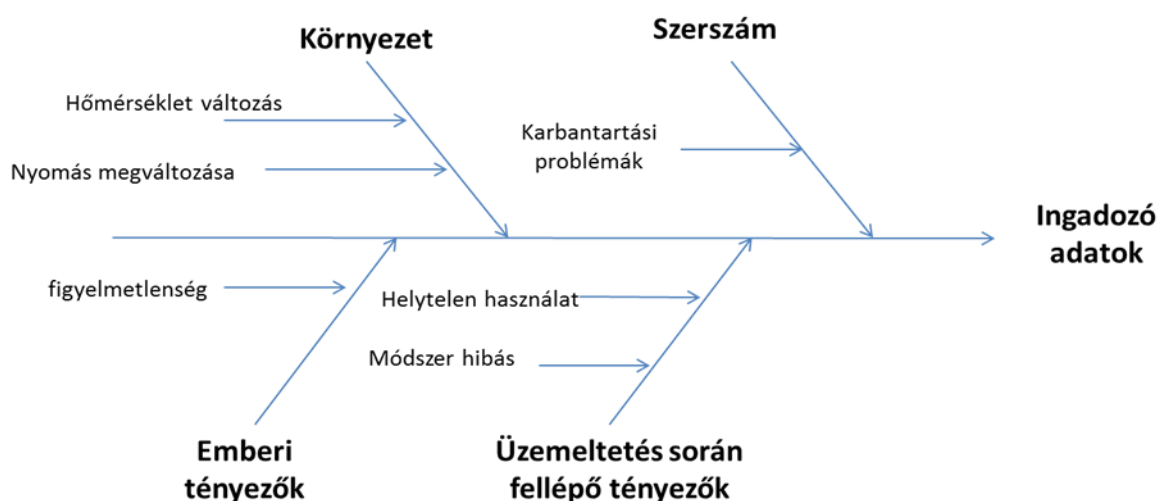
Megfigyelhetjük, hogy a kockázatalapú ellenőrző kártyák területe hiányosságokat mutat. Érdekes megvizsgálni, hogy a többi méréses ellenőrző kártya kockázatalapú kidolgozásával szintén elérhető-e a minőségköltségek csökkentése.

Többváltozós ellenőrző kártyák esetén főként a CUSUM, EWMA és T^2 kártyákkal foglalkoztak mélyrehatóan. Az alkalmazások olyan módszerével is találkozhatunk, ahol főkomponens elemzést alkalmaztak, a vizsgált változók számának csökkentésére. E területére is igazak a korábbi megállapítások, mi szerint a kutatások eddig a megbízhatóság alapú szabályozó kártyák területével foglalkoztak.

Ebben a fejezetben bemutatam a statisztikai folyamatszabályozás elméleti hátterét. Az SPC alkalmazásában a mérés központi szerepet játszik, éppen ezért nagyon fontos a mért értékek pontossága. A gyakorlatban sok tényező befolyásolhatja ezt. A következő nagy fejezet a mérési bizonytalanság, bemutatásával illetve annak kezelési módjával foglalkozik.

3 A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG

A folyamat szabályozása során, a minta elemein bizonyos méréseket kell elvégeznünk. Elméletileg a mérések eredménye ugyanarra az objektumra nézve többszöri mérés után is megegyezne. Ez a gyakorlatban azonban nem valósul meg, mert számos tényező van hatással a mérések eredményére. Ezen hatások reprezentálására szintetizáltam a 6. ábrán látható Ishikawa diagramot (Kegel T., 2001 alapján).



6. ábra: A mérés eredményét befolyásoló tényezők

A kapott eredményt nagymértékben befolyásolhatja a mérőműszer állapota, ugyanis ha a karbantartás nem megfelelő, az pontatlansághoz vezethet. Ezen kívül számolnunk kell az üzemeltetés során fellépő befolyásoló tényezőkkel, (mint például a helytelen használat vagy az alkalmazási módszer), a környezeti hatásokkal és az emberi tényezőkkel. (Kegel, 2001)

A véletlen hibák az általunk végzett mérések pillanatnyi eredményére vannak hatással, ezért a mérési eredmények közötti eltéréseket véletlenszerűen okozzák. Az eltérések statisztikai módszerekkel megadhatók, a csökkentésükhöz azonban jelentős erőforrások mozgósítása szükséges. (Koczor, Göndör, Gergász, 2005)

Méréseink során figyelembe kell venni az eredményeink megbízhatóságát is. Egy korábbi definíció szerint, „...a mérési bizonytalanság becslés, amely a mért mennyiség valódi értékét magában foglaló tartományt jellemzi...” (Gáti, 1997, pp. 21-33). A GUM (Guide to expression of uncertainty in measurement) definíciója alapján a mérési bizonytalanság a mérési

eredményekhez társított paraméter, amely a mérendő mennyiségnek ésszerűen tulajdonítható értékek szóródását jellemzi. (International Organisation for Standardisation, 1995, pp. 3-4)

3.1 A mérési bizonytalanság „A” és „B” típusú megközelítése

A mérési bizonytalanság alapvetően „A” illetve „B” típusú értékelési módszerrel határozható meg. „A” típusú meghatározáskor a mérési sorozat statisztikai elemzésével, „B” típusú meghatározásnál a bizonytalanságot más módon, nem a mérési sorozat statisztikai elemzésével adjuk meg.

A standard bizonytalanságot akkor lehet „A” típusú eljárással megadni, ha a bemenő mennyiség értékére több független, azonos mérési körülmények között meghatározott észlelés áll rendelkezésre. A mérési bizonytalanság megadására alkalmazott, széles körben elfogadott módszer a GUM által meghatározott eljárás. Ennek során első lépésként meg kell határozni a mérési bizonytalanságot kiváltó minden fontos komponenst, melyek mindegyikére megadjuk a standard bizonytalanságot. Ezek ismeretében eredő bizonytalanságot számítunk, majd az így kapott értékből a kiterjesztési tényező segítségével előállítjuk a kiterjesztett bizonytalanságot. A mérés eredménye az alábbi formában adható meg: $X = x \pm U$, ahol X a mérendő mennyiség, x a mérési eredmény, U pedig a mérési bizonytalanságot kifejező paraméter. (Howarth, Redgrave, 2008, pp. 21-22)

A standard bizonytalanság „B” típusú megközelítése az észlelési sorozat statisztikai értékelésétől eltérő módszerrel történik. Ilyen esetben a standard bizonytalanság a mérendő mennyiség lehetséges változataira vonatkozó összes rendelkezésre álló információon alapuló megítéléssel értékelhető. Ezek az információk lehetnek például:

- korábbi mérések adatai
- a gyártás során nyert tapasztalatok
- gyártói adatok (specifikáció)
- kalibrálási és egyéb bizonyítványban megadott adatok.

Vizsgáljuk meg, hogy az egyes esetekben hogyan adható meg „B” típusú megközelítésnél a standard bizonytalanság.

Tegyük fel, hogy a mérendő mennyiségekre csak egyetlen érték ismeretes (pl.: egy mérési eredmény, egy irodalomból származó referencia). Ekkor x_i -ként ezt az értéket kell használnunk, és az x_i -hez tartozó $u(x_i)$ standard bizonytalanságot kell elfogadnunk, ha azt megadták.

3. A mérési bizonytalanság

Előfordulhat, hogy a tapasztalatok alapján a mérendő mennyiség valószínűségi eloszlását tudjuk feltételezni. Ez esetben ennek az eloszlásnak a várható értékét tekintjük az x_i becslésének, a varianciája négyzetgyökét pedig az x_i -hez tartozó standard bizonytalanság becslésének.

Ha a mérendő mennyiségnek csak az alsó ($a_{\min}$) és felső ($a_{\max}$) határoló értékét tudjuk becsülni, akkor a határok között a mérendő mennyiség egyenletes eloszlását feltételezzük. A számítás ez esetben a következő:

x_i becslése az $x_i = \frac{1}{2}(a_{\max} + a_{\min})$ képlettel történik. A standard bizonytalanság négyzete pedig az $u^2(x_i) = \frac{1}{12}(a_{\max} - a_{\min})^2$ képlettel adható meg. Ebből a képlet a következő alakra hozható: $u^2(x_i) = \frac{1}{3}a^2$. (Nemzeti Akkreditálási Testület, 2003, pp. 8-10)

A következőkben pedig vizsgáljuk meg, hogy miért is fontos a mérési bizonytalanság figyelembevétele!

3.2 Miért fontos a mérési bizonytalanság figyelembevétele?

A mérési bizonytalanság fontos szerepet játszik a termékek ellenőrzésekor. Ha az általunk mért értékek szórása nagy, akkor a folyamatról rosszabb képet kapunk, mint amilyen az valójában. Egy termék vizsgálatakor a döntésünk helyességét (selejtnek minősül-e a termék vagy sem?) az határozza meg, hogy a tényleges és a mért megfelelés valójában megegyezik-e. A döntés klasszikus modelljét mutatja be a 4. táblázat. (Kovács, Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2010)

4. táblázat: A megfelelés értékelésének lehetséges esetei

		Tényleges	
		Megfelelő	Nem megfelelő
Mért	Megfelelő	Helyes elfogadás	Helytelen elfogadás
	Nem megfelelő	Helytelen visszautasítás	Helyes visszautasítás

A megfelelés értelmezésekor helyesen döntünk abban az esetben, ha a termék ténylegesen is megfelel és a mérés alapján is megfelelőnek minősítjük. Döntésünk ellenkező esetben is helyes, ha a tényleges nem megfelelés áll fenn és a mérések alapján sem nyilvánítjuk megfelelőnek a terméket. A fennmaradó másik két esetben első-, illetve másodfajú hibát követünk el. Elsőfajú hibát akkor, ha visszautasítjuk a megfelelő terméket, másodfajú pedig akkor, ha tovább engedjük azt, holott valójában nem megfelelő.

A Pannon Egyetem munkatársai, Dr.Kovács Zoltán, Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, Dr. Csizmadia Tibor és Hegedűs Csaba kísérletei alapján a döntésre hatással van:

- a mérési bizonytalanság megváltozása
- a folyamat szórásának módosulása
- az elfogadási határok módosítása
- a leolvasási pontosság határa
- a kerekítés mérési hibával, illetve mérési hiba nélkül.

A kísérletekből származó következtetések megállapítják, hogy a jelentős bizonytalanságot tartalmazó mérés meghamisíthatja a termék megfeleléséről hozott döntést. Első-, és másodfajú hiba egyaránt léphet fel az átadás-átvételi ellenőrzésnél, gyártásközi ellenőrzésnél, illetve statisztikai folyamatszabályozásnál, melyek természetesen költségekkel

járnak együtt. A mérési bizonytalanság figyelembe vételével az első-, és másodfajú hibák száma és ezzel a velük járó költségek is csökkenthetők. (Kovács, Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2010, pp. 87-93)

Láthattuk, hogy mérési bizonytalanság figyelembevétele miért lehet fontos tényező. A következő alfejezet a mérési bizonytalanság kezelésére mutat be egy lehetőséget.

3.3 A mérési bizonytalanság kezelése

Minél pontosabb méréseket tudunk elvégezni az általunk vizsgált folyamattal kapcsolatban, nyilvánvaló, hogy annál precízebb képet alkothatunk magáról a folyamatról. A mérések bizonytalansága azonban komoly problémákat okozhat. A folyamatszabályozás során végezhetünk mindendarabos, vagy mintavételes ellenőrzést is. A következő alpont a mérési bizonytalanság kezelését mutatja be mindendarabos ellenőrzés esetén.

3.3.1 A mérési bizonytalanság kezelése mindendarabos ellenőrzés esetén

Tegyük fel, hogy adott egy olyan mérőműszer, melynek jellemezni tudjuk a mérési bizonytalanságát. A Pannon Egyetem munkatársai a mérési eredményeket nem pontokra, hanem mérési intervallumokra vonatkoztatták. Így a következő szabályt állították fel:

Megfelelő a termék

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] > LSL \text{ és } [y(t) + k_{USL} \cdot u] < USL \quad k_{LSL}, k_{USL} \in \mathbb{R} \quad (7)$$

Nemmegfelelő termék

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] \leq LSL \text{ vagy } [y(t) + k_{USL} \cdot u] \geq USL \quad (8)$$

Ez esetben a kérdés pedig az, hogy mekkora legyen $k_{LSL}, k_{USL} \in \mathbb{R}$ értéke.

A k konstans tényezők meghatározására szimulációs módszerek alkalmasak. Ezek alkalmazhatóak különböző eloszlások és költségparaméterek esetén is. Kosztyán Zsolt Tibor, Csizmadia Tibor, Hegedűs Csaba a vizsgálatok alapján megállapították normális eloszlás feltételezése mellett, hogy a k értékek szimmetrikusan viselkednek abban az esetben, ha a folyamat és a mérési bizonytalanság eloszlása is szimmetrikus, valamint a folyamat várható értéke a tűrésmező közepén helyezkedik el. Továbbá arra a következtetésre jutottak, hogy a mérési bizonytalanság növekedéséhez képest megközelítőleg lineárisan csökken a profit. Fordított esetben pedig k értékének csökkentésével növelhető az összes haszon (ha az általunk

vizsgált termék olyan, hogy kis hiba esetén csökkentett áron értékesíthető vagy olcsón javítható a később detektált nem megfeleléség.

A folyamatszabályozás során nem megoldható minden esetben a minden darabos ellenőrzés (például roncsolásos vizsgálat esetén). A következő alpont a mintavételes esetben ismerteti a probléma kezelésének lehetőségét.

3.3.2 Mérési bizonytalanság kezelése mintavétel esetén

Sok esetben nem végezhető el a mindendarabos ellenőrzés, egyrészt mert az túlságosan költséges lenne, másrészt pedig olyan termékek esetén ahol az ellenőrzés csak a termék roncsolódásával mehetne végbe (pl.: szakítószilárdság vizsgálata). Egy mintavételes mérés költsége a következő képlettel számítható:

$$c_M = c_{fr} + c_m \cdot m \quad (9)$$

Ahol c_m egy mintadarab lemerésének költsége, c_{fr} az egy minta kiválasztásával és mérésre való előkészítésére vonatkozó költség, m pedig a minta elemszám. m_{fr} jelöli a mintavételezés gyakoriságát. Így Egy mintavételes mérés költsége minden m_{fr} -edik termék legyártása után jelentkezik. A következtetések alapján az összes mérési költség a minta elemszám szerint lineáris (vagyis minden újabb minta esetén egységnyivel nő), m_{fr} függvényében pedig hiperbolikus (tehát ha a gyakoriság értéke a felére csökken, akkor ugyanabból a sokaságból kétszer gyakrabban veszünk mintát). Ha a profitot a gyakoriság és a minta elemszám függvényében vizsgáljuk, mégpedig úgy, hogy a mérési bizonytalanságot is figyelembe vesszük, akkor megállapítható szimulációs módszerek segítségével, hogy pontosabb mérőeszköz használatakor nem tapasztalható nagy különbség. Ellenben nagyobb szórással mérő műszerek esetében a bizonytalanság figyelembevételével növelhető a profit. (Kosztján, Csizmadia, Hegedűs, 2008)

Az egyes mérési szabványok tartalmazznak előírásokat a k értékére vonatkozóan. A következő részben ennek ismertetésére fogok példákat bemutatni.

3.4 Ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan

Ahogy azt a korábbiakban láthattuk, a mérést érték és a mérési bizonytalanság között a következő összefüggés állítható fel:

$$X = x \pm U \quad (10)$$

Ahol X az észlelt érték, x a ténylegesen mért érték, U pedig a mérési bizonytalanság.

A korábbiakban arról már szó esett, hogy hogyan kapjuk meg az észlelt mérési eredményt, de arról nem, hogy a szabványok milyen ajánlásokat tesznek a mérési bizonytalanság kifejezésére.

A mérési bizonytalanság megállapítására alakított munkacsoport és a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Bizottság az $u_c(y)$ eredő bizonytalanság használatát javasolja. Ennek felhasználásával kifejezhető a kiterjesztett bizonytalanság, amely a következő képlettel adható meg:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (11)$$

Így az összefüggésben szereplő k paraméter a kiterjesztési tényező, melynek értékét az $x+U$, $x-U$ intervallumra vonatkozót megbízhatósági szint alapján választják meg, és értéke általában 2 és 3 közé esik. Ez a módszer azonban megkívánja az $u_c(y)$ eredő bizonytalanság eloszlásának pontos ismeretét.

A kiterjesztési tényező értékére számos szabvány (nem csak autóipari területről) a 2 értékre történő beállítást javasol (Eurachem, 2007; National Institute of Standards and Technology, 1994; EA, 2003; Eurolab, 2002; Eurolab, 2006; Ilac, 2009).

Az ajánlások oka az, hogy 95%-os megbízhatósági szinthez a $k=2$ es érték tartozik. Ez azonban csak abban az esetben igaz, ha az eredő bizonytalanság esetén a normalitás teljesül. A szakirodalomban találkozunk ellenpéldával is, ahol szimulációkkal kimutatták, hogy nem a $k=2$ beállítás használatával érhetjük el a legmagasabb fedezeti értéket a mérési bizonytalanság figyelembe vételekor (Kosztján Zs. T., Hegedüs Cs., 2011).

Az eddigiekben bemutattam a témával kapcsolatos szakirodalmi háttérrel. A következőkben empirikus kutatásom tervét, illetve a kutatás eredményeit ismertetem. Ehhez azonban először bemutatom a szakmai gyakorlatom helyéül szolgáló autóipari vállalatot.

4 A VÁLLALAT BEMUTATÁSA

A Le Bélier Magyarország Formaöntöde anyavállalatát 1961-ben alapították Vérac-ban, Franciaországban. Ekkor még a cég még elsősorban csak a vasútipar számára gyártott alumínium öntvényeket. Napjainkban a fő ágazat az autóipari öntvények előállítása a cég profilját tekintve. A gyártott öntvények közül kiemelkedő jelentőségűek a fékrendszer-alkatrészek, melyek a gyártott termékeknek mintegy 64 százalékát alkotják. A vállalat az autóipari alkatrészek előállítása során két különböző öntési technológiát, gravitációs, illetve magas nyomáson történő öntést alkalmaz.

Főbb termékek:

- A fék alkatrészei
- Alvázhoz kapcsolódó alkatrészek
- Kormánymű alkatrészei
- Kerékfelfüggesztés alkatrészei

A vállalatcsoport napjainkban három kontinensen is jelen van, Latin Amerikában Mexikóban, Európában Franciaországban, Magyarországon és Szerbiában, valamint Ázsiában Kínában.

A vállalat a nemzetközi piacokra 1994-ben lépett be, Ázsiában pedig 1998 óta tevékenykedik. Magyarországon két helyen rendelkezik telephellyel a cég, Ajkán, illetve Szolnokon. Az ajkai üzemben történik az alkatrészek öntése, Szolnokon pedig megmunkáló tevékenységet látnak el.

A vállalat fő vevői két részre bonthatók, autóipai alkatrész gyártók, mint például TRW, Continental Teves, Bosch, Benteler illetve az összeszerelő tevékenységet folytató vevők, mint a Volkswagen, Renault illetve BMW.

Szakmai gyakorlatom során a vállalatnál fellépő probléma kezelésére (másodfajú hibák gyakori előfordulása) építettem kutatásomat. A következő fejezetben a kutatási tervet mutatom be.

5 A KUTATÁSI TERV

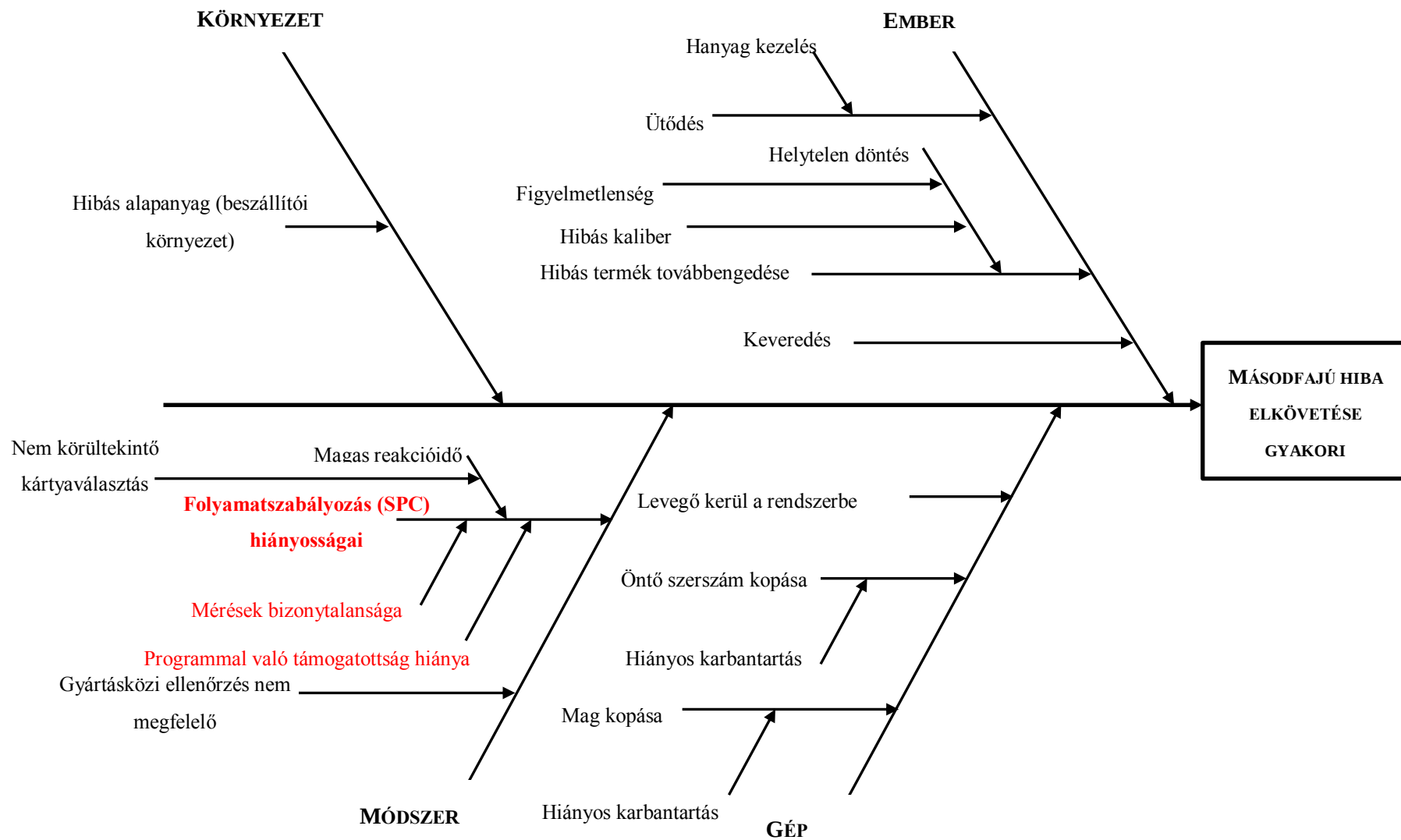
A kutatási terv keretében elsőként ismertetem a problémafelvetést, majd a problémára vonatkozóan javaslataimat ismertetem, továbbá a kutatási modelletem, majd annak kapcsán a célkitűrést, illetve a kutatás relevanciáját. Végül pedig ismertetem kutatási kérdéseimet és feltevéseimet. A következő alfejezet a problémafelvetés.

5.1 Problémafelvetés

Az autóiparban igen csak komoly előírások vonatkoznak az alkatrészek egyes paramétereire, hiszen a biztonság érdekében az egyes alkatrészek meghibásodásának valószínűségét minimálisra kell szorítani. A vállalat számára kulcsfontosságú a másodfajú hibák elkerülése, hiszen ezzel csökkentheti a kockázatát a presztizs-veszteségnek, ami akár egy vevő elpártolásával is járhat. A minőség e területen kiemelkedő fontossággal bír, így a minőségellenőrzésben célszerű a másodfajú hibák elkerülésére nagy hangsúlyt fektetni.

A Le Bélier Formaöntöde Zrt.-nél töltött szakmai gyakorlatom során megfigyeltem a másodfajú hibák viszonylag gyakori előfordulását. Ez több szempontból is problémát jelent a vállalat számára. Egyrészt a fent említett presztizs-veszteség miatt, másrészt pedig a közvetlenül felmerülő költségek szempontjából. Ha csak egyetlen egy darab alkatrész is kikerül a vevőhöz, amely nem felel meg a vevői specifikációnak, akkor az azzal a következménnyel jár, hogy át kell válogatni a teljes kiszállított mennyiséget újból. Ez azonban komoly költségeket okoz a cég számára.

A nem megfelelő termék kikerülése a vevőhöz több tényező együttes kölcsönhatásának eredménye. Éppen ezért a probléma több irányból is megközelíthető. Az alapvető kiváltó okokat a következő Ishikawa-diagramon foglaltam össze.



7. ábra: Ok-okozati elemzés

Ahogy azt az ábrán is láthatjuk, a fő problémához vezető okokat négy ok csoportba osztottam, melyek az ember, gép, módszer, illetve környezet ok csoportok. Ezek a következőkben kifejtésre kerülnek, melyek közül a „Módszer” ok-csoportot részletesen fogom érinteni, mivel diplomadolgozatomban e területre fogok koncentrálni. Elsőként vegyük szemügyre az ember ok csoportot!

„Ember” ok-csoport:

Komoly problémát okozhat, ha nem a megfelelő alkatrész kerül kiküldésre a vevőnek. Mivel a vállalatnál magas azon öntvények száma melyek egymáshoz nagyon hasonlóak, előfordulhat, hogy az ellenőrzés során, olyan öntvény keveredik a kiküldött sokaságba, amely paramétereiből kifolyólag nem felel meg a megmunkálás vagy a beszerelés során támasztott követelményeknek. Elkerülendő a hibás termék továbbengedése, amely helytelen döntés következtében történik. Ezt okozhatja az, hogy figyelmetlen az adott operátor, vagy pedig a kaliber kopott, ezért a méretet nem tudja megfelelően ellenőrizni. Egy másik kiváltó ok e területen az ütődés, amely aanyag kezelés következtében fordul elő.

„Gép” ok-csoport:

A következő nagy ok csoport a gép. Problémát okozhat, ha a gyártás során levegő kerül a rendszerbe, így pedig az öntvény felületén oxid képződik, ami az anyagi minőséget nagymértékben befolyásolja. A megfelelő és alapos karbantartás természetesen itt is nagyon lényeges, hiányában ugyanis az öntőszerszám, illetve a mag is kopott állapotba kerül, ami pedig további selejtes termékek megjelenéséhez vezet.

„Módszer” ok-csoport:

Módszer tekintetében két újabb okot azonosítottam, melyek a folyamatszabályozás hiányosságai és a nem megfelelő gyártásközi ellenőrzés. A vállalat statisztikai folyamatszabályozást alkalmaz az öntési folyamat közben tartására. Az eljárást nehezíti, hogy egy-egy öntvényen sokszor nagy a száma azon kritikus méreteknak, melyekre vonatkozóan a vevő elvárja, a statisztikai folyamatszabályozással való figyelemmel kísérést. Ez meglehetősen nehézkes lehet, ugyanis a vállalatnál átlag és terjedelem kártyapárokkal dolgoznak és minden egyes méretre külön kártyákat vezetnek. A programmal való támogatottság alacsony szintű, ehhez csak Microsoft Excel programot alkalmaznak. A reakcióidő is olykor magas lehet, ugyanis a kártyaválasztás nem körültekintő. Minden öntvény, illetve méret esetén ezek a

kártyatípusok kerülnek alkalmazásra, holott nem minden esetben célravezető alkalmazásuk. Ha például olyan a folyamat jellege, hogy célszerű volna a kis eltéréseket kimutatni, akkor érdemesebb lenne CUSUM, mozgóátlag (MA) vagy exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártyát (EWMA) alkalmazni. Ez pedig meghosszabbíthatja a reakcióidőt, mert a nem megfelelő kártyatípus használatával megnövekedhet a riasztásig eltelt idő is. Így ez az ok ismételten csak a másodfajú hiba elkövetéséhez vezethet, hiszen a kártya csak akkor jelezné az eltolódást, amikor már gyártottunk nem megfelelő terméket. A folyamatszabályozás hiányosságát okozza továbbá a mérések bizonytalansága. A vállalatnál az öntvények egyes méretre vonatkozó paramétereit optikai mérőműszerrel és lineáris magasságmérővel vizsgálják. A mért adatok pontosságát több tényező is befolyásolja, így a mérési bizonytalanság is hozzájárul a folyamatszabályozás hiányosságához, ami pedig a másodfajú hiba elkövetésének esélyét növeli.

Nem csak a folyamatszabályozás módszertana, de a gyártásközi ellenőrzés is hiányosságokat vet fel. A vizsgálat sok esetben lineáris magasságmérő géppel végzik el a gyártás közben. Itt azonban gyakran előfordul, hogy a beállítási munkadarabok is bekerülnek a megfelelő öntvények közé. Ennek oka, hogy nincs kialakítva megfelelő hely az öntvények referenciaszámonkénti szétválogatására, továbbá Poka Yoke módszer sem kerül arra vonatkozóan alkalmazásra, hogy megakadályozzuk a nem megfelelő öntvény bekerülését a specifikációnak megfelelők közé.

„Környezet” ok-csoport:

A környezet alatt ebben az esetben a beszállítói környezet által elkövetett hibákat értem. Az alapanyag minősége meghatározó jellegű. Ha a beérkezett alumínium-öntvözet tömbök anyagi minősége nem kielégítő az hibákat okozhat az öntés során, és ismételten megnövekedett selejtszámmal találhatjuk szemben magunkat, ami pedig növeli a másodfajú hiba elkövetésének valószínűségét is.

A probléma (másodfajú hiba elkövetésének gyakori előfordulása) kiváltó okainak elemzéséhez e négy ok-csoportot azonosítottam. Dolgozatomban a „Módszer” ok-csoportra koncentrálok, ezen belül is a folyamatszabályozás hiányosságainak kiküszöbölésére teszek jobbító javaslatot.

Az előző részben láthattuk, hogy mely okok válthatják ki a másodfajú hiba elkövetését. Dolgozatomban a Módszer ok-csoporton belül a folyamatszabályozás hiányosságainak kiküszöbölésére tesztek jobbító javaslatokat. E területen belül is a mérési bizonytalanság kezelésére, illetve az informatikai támogatottság hiányosságaira koncentrálok.

Így a vizsgált problémák a következők:

- **P1: A mérési bizonytalanságból fakadó másodfajú hibák száma magas**
- **P2: A folyamatszabályozás informatikai támogatottsága hiányosságokat vet fel**

A továbbiakban a problémák azonosítására a „P1” illetve „P2” jelölést fogom használni.

A korábbiakban már többször utaltam korábbi munkáimra, amely során kockázatalapú ellenőrző kártyát illesztettem a szabályozni kívánt folyamatra. A kutatásom során a kockázatalapú kártya tervezési módszerét terjeszttem ki többdimenziós esetre a vállalatnál. Így a többdimenziós szabályozókártya segítségével egyszerűsíthető a nagyszámú minőségjellemző egyidejű nyomon követése, továbbá a szimulációs módszerek segítségével optimalizálható a többdimenziós szabályozó kártya beavatkozási határa így csökkenthető a másodfajú hiba elkövetésének valószínűsége. A kockázatalapú szabályozó kártya beavatkozási határának számításakor a mérési bizonytalanságból eredő kockázatokot veszem figyelembe, így a mérési hibákból eredő helytelen döntések kockázata is csökkenthető. A módszer további előnye, hogy az informatikai támogatottság is magasabb szintűvé válik, hiszen a szimulációra alkalmas program segítségével olyan kezelőfelületet alakítható ki, amely megkönnyíti a kezelő számára az alkalmazást.

A javasolt módszer során először adatgyűjtést kell elvégezni (előzetes adatfelvétel) a vizsgált folyamatra vonatkozóan, mint például:

- Melyek a specifikációs határok?
- Milyen eloszlást követnek a vizsgált termékjellemzők értékei?

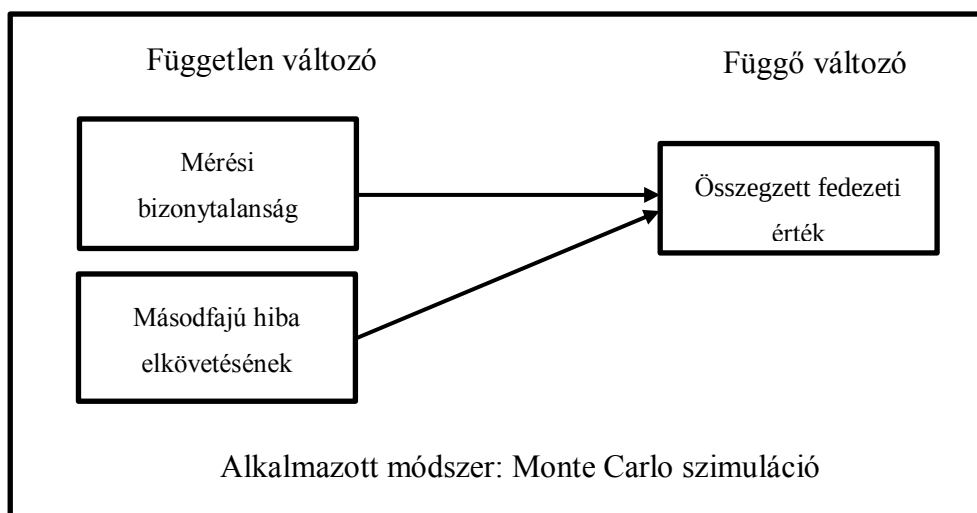
Az adatgyűjtés után a megbízhatóság alapú többdimenziós szabályozó kártya megtervezésére kerül sor, majd pedig az egyes döntésekhez társítható fedezeti értékek kalkulációjára van szükség. Végül e lépések során nyert információk felhasználásával, szimuláció segítségével módosítom a beavatkozási határokat a mérési bizonytalanság

figyelembevételével és így egy kockázatalapon működő többdimenziós szabályozókártyát illeszték a vizsgált öntödei folyamatra.

A módszer elméleti háttérét azonban a kutatási eredmények című fejezetben részletesen is ismertetem. A következőkben bemutatom kutatási modelletem, illetve kutatásom célkitűzését, relevanciáját.

5.2 A kutatási modell

A kutatás során a kockázatalapú kártyatervezés módszerét terjesztem ki többváltozós mérési szabályozókártyára vonatkozóan. Kutatásom modelljét a következő ábra szemlélteti:



8. ábra: A kutatási modell

Korábbi kutatásaimban már foglalkoztam kockázatalapú szabályozó kártyák tervezésével. Ezek azonban csak egyváltozós szabályozó kártyák voltak (MA, EWMA). Jelen kutatásban a kockázatalapú kártyatervezési módszert terjesztem ki többváltozós esetre (T^2) vonatkozóan. A kutatás során kulcsfontosságú kérdés, hogy a mérési bizonytalanság figyelembevételével ez esetben is érhető-e el fedezeti érték növekedés.

A másodfajú hiba elkövetése kapcsán felmerülő költségek komoly problémákat okozhatnak egy vállalat számára. Éppen ezért e tényező hatásait is célszerű a modellben vizsgálni.

A kutatási modell két független változóból, illetve egy függő változóból áll. Munkám során azt vizsgálom, hogy a mérési bizonytalanság figyelembevétele milyen hatást gyakorol a mintavétel során számított összegzett fedezeti értékre. Ezen kívül azt is elemzem, hogy a másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték között milyen kapcsolat áll fenn. A kutatás során Monte Carlo szimulációt alkalmazok, melyet Matlab program segítségével végzek el. Ahhoz, hogy a kutatási modellem egyértelmű legyen a változók konceptualizálása és operacionalizálása szükséges.

5.2.1 Konceptualizáció:

A mérési bizonytalanság figyelembe vétele: A mérési bizonytalanság figyelembe vétele alatt a szabályozó kártya beavatkozási határainak módosítása értendő. A kártyatervezési folyamat során elsőként adatgyűjtésre van szükség, mint például a mérések eloszlása, mérési hiba szórása, vagy a specifikációs határok. Ezen adatok felhasználásával megtervezhető a megbízhatóság alapú szabályozó kártya. A mérési hiba szórásának ismeretében pedig mérési hiba adható az egyes értékekhez szimuláció segítségével. A szimuláció során minden egyes esethez társítható egy döntés, arra vonatkozóan, hogy beavatkoznánk-e a folyamatba, vagy sem és azt helyesen tennénk-e (első, vagy másodfajú hibát követünk-e el, vagy pedig nem hibázunk). A beavatkozási határt úgy módosítjuk a mérések bizonytalanságának figyelembevételével, hogy a lehető legkevesebb másodfajú hibát kövessük el.

Összegzett fedezeti érték növekedés: Az összegzett fedezeti érték azon pénzben kifejezett mennyiségek összege, amelyek a megfelelőség értékelésekor realizálhatók a döntések kimenetelének függvényében. Az összegzett fedezeti érték növekedés pedig az a különbözet, amivel nagyobb összegzett fedezeti érték érhető el a javasolt módszer alkalmazása során, mint anélkül. Ha a növekedés értéke pozitív, tehát növelhető a döntésekhez társított összegzett fedezeti érték, akkor a beavatkozási hatok módosítása sikeres.

Másodfajú hiba elkövetésének költsége: Másodfajú hiba alatt az az eset értendő, mikor a mérési adatok alapján megfelelőnek ítélnék meg egy terméket annak egy vizsgált termékjellemzőjére vonatkozóan, holott az a valós érték alapján nem megfelelő. Így a másodfajú hiba költsége annak az esetnek a költségvonzata, mikor egy olyan termék kerül ki a vevőhöz, amely nem minősül megfelelőnek az előírt specifikációk alapján.

Nem csak azt fontos meghatározni, hogy mit értünk az egyes változók alatt, de lényeges, hogy milyen módon számítjuk, illetve mérjük őket. Így a következőkben az egyes változók operacionalizációját ismertetem.

5.2.2 Operacionalizáció:

Mérési bizonytalanság figyelembe vétele: A mérési bizonytalanság figyelembevétele alatt a beavatkozási határok módosítása értendő, ahogy azt a konceptualizálás során is láthattuk. A módosítás egy k paraméter optimalizálásával történik. Szimuláció segítségével a mért értékekből előállított vektor elemeihez mérési hibát adunk. A mérési hiba generálásához ismernünk kell a mérőműszer bizonytalanságát. Így a mérési hiba eloszlásának és szórásának ismeretében generálhatjuk a vizsgált minőségjellemző értékeihez a mérési hibát. A módosításhoz szükséges k paraméter értékét úgy választjuk meg, hogy az összegzett fedezeti érték maximális legyen.

Másodfajú hiba elkövetésének költsége: A másodfajú hiba elkövetésének költsége vállalati kalkulációk alapján számszerűsíthető. Számításakor figyelembe kell venni az előállítás költségeit, az elmaradt bevételt, amelyet akkor érthettünk volna el, ha értékesíteni tudjuk a terméket. Ezen kívül azt a költséget is figyelembe kell venni, ami a javítással vagy akár a leselejtezéssel jár, esetlegesen a kiküldött mennyiség újraválogatásával.

Összegzett fedezeti érték: Az összegzett fedezeti érték a szimulált mintavételek során kerül kiszámításra. Értéke egyenlő az egyes döntésekkor kalkulált fedezeti értékek összegével. Ennek menete a következő:

Az egyes döntéstípusokat a döntési mátrix szerkezete határozza meg. A fedezeti értékek kalkulációjához először is minden esetben kalkuláljuk az egyes esetekhez társítható költségértéket, majd bevételi értéket, és így e két érték különbségéből fedezetet számítunk. A szimuláció során ezen értékek et adjuk össze.

5.3 Célkitűzés és relevancia

A szabályozó kártyák széles körben alkalmazott eszközei a statisztikai folyamatszabályozásnak. Ahogy azonban azt a szakirodalmi áttekintésben is láthattuk, e terület még hiányosságokat vet fel, hiszen a napjainkban alkalmazott szabályozó kártyák szinte mind megbízhatóság alapon működnek és nem számolnak a mérési bizonytalanságból származó kockázatokkal. Igaz kockázatalapú szabályozókártyák terén már történtek kutatások, ezek azonban csak egyváltozós szabályozókártyákra vonatkoztak.

A kutatás célja:

E kutatás célja a mérési bizonytalanság figyelembevételének kiterjesztése többdimenziós esetre a kiterjesztési tényező optimális értékének meghatározásával.

A kutatás relevanciája:

Korábbi kutatásaim során már foglalkoztam kockázatalapú szabályozókártyák tervezésével és a vizsgált folyamatra illesztésével. Ezek egydimenziós szabályozó kártyák voltak, nevezetesen a következők:

- Átlag-kártya (X-bar Chart)
- Mozdóátlag-kártya (MA-Chart)
- Exponenciálisan súlyozott mozdóátlag-kártya (EWMA-Chart)

A módszer alkalmazásával a teljes vizsgált mintavételre vonatkozó összegzett fedezeti értéket átlagosan 2-5%-kal tudtam növelni e kártyák esetében a mérési bizonytalanság figyelembevételével. A módszer többdimenziós esetre történő kiterjesztése is releváns, hiszen alkalmazása lehetővé teszi a mérési bizonytalanság figyelembevételét a döntésekkor, olyan szabályozókártya esetén is, amely egyszerre több termékjellemző egyidejű nyomon követésére képes. A kutatás eredményei alapul szolgálnak a módszer többi többdimenziós szabályozókártyára való kiterjesztéséhez.

5.4 Kutatási kérdések és feltételezések

Ebben a részben ismertetem kutatási kérdéseimet és feltételezéseimet. A módszer alkalmazhatóságát korábbi kutatásaimban már kidolgoztam egyváltozós kockázatalapú szabályozókártyákat a mérési bizonytalanság figyelembevételével. Ezekben az esetekben a kockázatalapú szabályozó kártyák alkalmazásával ipari példákon keresztül tudtam igazolni a módszer alkalmazhatóságát és 2-5%-os fedezeti érték növekedést tudtam elérni az összes mintavételre számított összegzett fedezeti értéket illetően. E dolgozatban a módszert többdimenziós szabályozókártya esetén fogom alkalmazni, így többdimenziós kockázatalapú ellenőrző kártyát illesztve a szabályozni kívánt folyamatra. Felmerül a kérdés, hogy ez esetben is elérhető-e a fedezeti érték növekedés. Kutatási kérdéseim és feltételezéseim is ehhez a kérdéshez kapcsolódnak.

Kutatási kérdések:

4. Elérhető-e fedezeti érték növekedés többdimenziós szabályozó kártya esetén is?
5. Meghatározható-e a kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós kártya alkalmazásakor?
6. Milyen irányú kapcsolat állítható fel a másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között?

Feltételezések:

1. A módszer alkalmazásával a többváltozós szabályozó kártya esetén is érhető el fedezeti érték növekedés fedezeti érték növekedés.
2. A kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós esetben meghatározható.
3. A másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között pozitív irányú kapcsolat állítható fel.

Az eddigiekben ismertetem kutatási tervemet. A következő fejezetben a javasolt módszert mutatom be a probléma kezelésére.

6 KUTATÁSI EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben bemutatom a kutatásom keretein belül továbbfejlesztett kártyaillesztési módszert, amely újdonsága, hogy a szabályozni kívánt folyamatra kockázatalapon működő többváltozós szabályozó kártya tervezését teszi lehetővé. Elsőként a módszer elméleti háttérét ismertetem.

6.1 A kártyatervezési módszer bemutatása

A kockázatalapon működő T^2 kártya illesztését a következő lépések segítségével végeztem el.

1. Adatgyűjtés
2. Megbízhatóság alapú T^2 kártya tervezése
3. Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása
4. Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével (szimuláció segítségével)

A következőkben vegyük sorra az egyes lépéseket!

6.1.1 A módszer lépéseinek ismertetése

6.1.1.1 Adatgyűjtés

Ahhoz, hogy megtervezhessük először a megbízhatóság alapú T^2 kártyát, majd pedig a mérési bizonytalanság figyelembevételével kockázatalapú szabályozó kártyává alakítsuk, bizonyos adatokra van szükségünk. A kártya tervezéséhez szükségünk van előzetes adatfelvételre, amely után a mért értékek felhasználásával elegendő információ áll rendelkezésünkre a kártya tervezéséhez. A mérési adatokon kívül a mérőműszer mérési bizonytalanságát is szükséges megállapítanunk. Ha ezek az adatok rendelkezésre állnak, a következő lépésre haladhatunk.

6.1.1.2 Megbízhatóság alapú T^2 kártya tervezése

Ahogy a korábbiakban arról szó esett gyakori jelenség az iparban, mikor egy termék megfelelőségét egyidejűleg több minőségjellemző határozza meg. Ilyen esetben célszerű a többváltozós szabályozó kártya alkalmazása. Többek közt a Hotelling által meghatározott, ún. T^2 kártya is alkalmas a probléma kezelésére.

Tegyük fel, hogy a szabályozni kívánt folyamat során a vizsgált termék megfelelőségét két minőségjellemző határozza meg. Legyenek ezek X_1 és X_2 ! Ha a változóink mért értékeit egy kártyán szeretnénk ábrázolni, akkor célszerű standardizálnunk a mért értékeket, így összehasonlíthatóvá válnak a különböző mértékegységekkel rendelkező változók. Így a következő egyenlet írható fel:

$$\frac{(X_1 - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(X_2 - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} = SD^2 \quad (12)$$

Ahol X_1, X_2 az egyes és a kettes változónk mért értékei, μ_1, μ_2 az egyes változók várható értékei σ_1^2 és σ_2^2 az egyes változók varianciái. A fenti egyenlet egy olyan ellipszis egyenlete, amelyen belül az összes pont statisztikai távolsága (a (μ_1, μ_2) középponttól számítva) kisebb, mint SD értéke. Vektorokkal a következő formában adható meg az összefüggés:

$$(X - \mu)' \Sigma^{-1} (X - \mu) = SD^2 \quad (13)$$

A fenti összefüggést felhasználva a Hotelling-féle T^2 statisztika a következőképpen írható fel:

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu)' S^{-1} (\bar{X} - \mu) \quad (14)$$

Az egyenletben n jelöli a minta elemszámot, S^{-1} pedig a becsült kovarianciamátrix inverzét. A statisztika a T^2 eloszlást követi, ami kifejezhető az F -eloszlás transzformáltjaként:

$$T^2 \sim \frac{(n-1)p}{n-p} F(p, n-p) \quad (15)$$

Ahol p a változók számát jelöli, $F(p, n-p)$ pedig a p és $n-p$ szabadságfokú F -eloszlást. Az eloszlás ismeretében, az elsőfajú hiba (α) valószínűségének rögzítésével megadható a T^2 -re vonatkozó kritikus érték, így megadható az a határérték (UCL_{T^2}) ami felett már beavatkozunk a folyamatba.

Mért adatok birtokában először megtervezhetjük a megbízhatóság alapon működő T^2 kártyát. Ehhez először meg kell bizonyosodnunk arról, hogy a vizsgált változók p -dimenziós normális eloszlást követnek, hiszen ez a T^2 kártya alkalmazhatósági feltétele. A mért adatokból elsőként kiszámítjuk a T^2 értékeket a 2-es számú egyenlet alapján, majd emellett az alábbi képlettel megadjuk a beavatkozási határ értékét:

$$UCL_{T^2} = \frac{p(m-1)(n-1)}{m(n-1)-p+1} F(p, m(n-1) - p + 1) \quad (16)$$

Ahol p a változók száma, m a teljes minta sokasága, n a minta elemszám, $F(p, m(n-1)-p+1)$ pedig a p és $m(n-1)-p+1$ szabadságú F-eloszlást jelöli.

A T^2 kártya hiányosságai

E szabályozó kártya hatékonyan alkalmazható több változó egyidejűleg történő vizsgálatára, azonban a mérések bizonytalanságából eredő kockázatokkal nem számol. További hiányosság, hogy amint azt a fentiekben is láthattuk, a beavatkozási határok számításakor nem találkozunk olyan paraméterrel, amely a mért értékekre vonatkozna (sem szórás sem várható érték). Ebből adódóan a beavatkozási határ a kovarianciamátrix megváltozására sem reagál. Az alkalmazás feltétele, hogy a változók több dimenziós normál eloszlást kövessenek. Ez a feltétel a gyakorlat során sok esetben nem teljesül, így a kártya alkalmazhatósága korlátozódik. Így célszerű lehet a beavatkozási határ számításakor analitikus módszer helyett szimulációs módszerekre hagyatkozni. A kockázatalapú T^2 kártya beavatkozási határának meghatározását Monte Carlo szimuláció segítségével fogom elvégezni. Ha megszerkesztettük a megbízhatóság alapú szabályozókártyát, ki kell számítanunk az egyes döntési kimenetekhez társított fedezeti értékeket. Ezt részletesen a következő lépésben tárgyalom.

6.1.1.3 Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása

5. táblázat: A döntési mátrix szerkezete

Fedezeti értékek		Döntés			
		Specifikációs határ alapján megfelelő		Specifikációs határ alapján nem megfelelő	
		Beavatkozási határ alapján megfelelő	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	Beavatkozási határ alapján megfelelő	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő
Tényleges	Specifikációs határ alapján megfelelő	$\pi_{1111}=r_{1111}-C_{1111}$	$\pi_{1110}=r_{1110}-C_{1110}$	$\pi_{1101}=r_{1101}-C_{1101}$	$\pi_{1100}=r_{1100}-C_{1100}$
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő	$\pi_{1011}=r_{1011}-C_{1011}$	$\pi_{1010}=r_{1010}-C_{1010}$	$\pi_{1001}=r_{1001}-C_{1001}$	$\pi_{1000}=r_{1000}-C_{1000}$
	Specifikációs határ alapján megfelelő	$\pi_{0111}=r_{0111}-C_{0111}$	$\pi_{0110}=r_{0110}-C_{0110}$	$\pi_{0101}=r_{0101}-C_{0101}$	$\pi_{0100}=r_{0100}-C_{0100}$
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő	$\pi_{0011}=r_{0011}-C_{0011}$	$\pi_{0010}=r_{0010}-C_{0010}$	$\pi_{0001}=r_{0001}-C_{0001}$	$\pi_{0000}=r_{0000}-C_{0000}$

A táblázatban r_{ijkl} az egyes döntésekhez társítható bevételt c_{ijkl} a költséget π_{ijkl} pedig a fedezeti értéket jelöli.⁴

A döntési mátrix meghatározható a specifikációs, illetve a beavatkozási határok viszonylatában. Így pedig egy négydimenziós táblázatot kapunk.

Az első dimenzió az alapján osztja fel az eseteket, hogy megfelelő-e a termék a specifikációs határok szerint a valós értékek alapján, a második szintén a valós rétékekre vonatkozik, de már a beavatkozási határok szempontjából vizsgálva a döntést.

A harmadik illetve negyedik abban különbözik az első kettőtől, hogy nem a valós, hanem a mért adatokra vonatkozik. A döntéskor a következő esetek állhatnak fenn:

⁴ i= tényleges érték a specifikációs határ szempontjából megfelelő-e?

j= tényleges érték a beavatkozási határ szempontjából megfelelő-e?

k= mért érték a specifikációs határ szempontjából megfelelő-e?

l= mért érték a beavatkozási határ szempontjából megfelelő-e?

Egyrészt a tényleges és mért értékek, is lehet a specifikációs határon belül, másrészt ugyanígy mindkét érték elhelyezkedhet a határon kívül. Végül pedig előfordulhat, hogy a mért érték alapján azt észleljük, hogy a termékünk nem megfelelő, holott a tényleges érték alapján az lett volna, illetve ennek a hibának fordítottját is elkövethetjük. Így négy alapesetünk van, de ezeket tovább bonthatjuk a beavatkozási határokhoz viszonyított döntések alapján. Így jutunk végül az összesen 16 esetből álló mátrixhoz.

A mátrixot összeállítva, a döntésekhez társított fedezeti értékeket kiszámítva már elegendő információ áll rendelkezésünkre ahhoz, hogy a mérési bizonytalanság figyelembevételével kockázatalapú szabályozó kártyát tervezzünk. Ezt a következő lépésben ismertetem.

6.1.1.4 Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembevételével

A gyakorlatban nem mindig valósul meg az egyes mérések állandósága egy adott termékre vonatkoztatva, hiszen a mérésre számos tényező gyakorol hatást. Ezért azt mondhatjuk, hogy az általunk mért érték a ténylegesen mért értéknek és a mérési hibának az összege, mely képlettel az alábbi módon fejezhető ki:

$$y_i(t) = x_i(t) + m_i(t) \quad (17)$$

Ahol $x_i(t)$ a vizsgált jellemző t időpontban lemerített 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 (Kosztján, Csizmadia, Hegedűs, 2008).

Ha a mért értékeket 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 határokra vonatkozóan:

Megfelelő termék esetén:

$$[y(t) + k_{USL} \cdot u] < USL \text{ és } [y(t) - k_{LSL} \cdot u] > LSL, k_{USL}, k_{LSL} \in \mathbf{R} \quad (18)$$

Nem megfelelő termék esetén:

$$[y(t) + k_{USL} \cdot u] \geq USL \text{ vagy } [y(t) - k_{LSL} \cdot u] \leq LSL, k_{USL}, k_{LSL} \in \mathbf{R} \quad (19)$$

A beavatkozási határok módosítása szimulációs módszerekkel történik. A k paraméter segítségével tudjuk a beavatkozási határ értékét változtatni. A paraméter értékének azt az értéket választjuk, amely mellett az összegzett fedezeti érték maximális.

6.1.2 Miért a szimulációs módszer?

Felmerül a kérdés, hogy miért is jobb a szimulációs módszer alkalmazása a kártya tervezésekor, hiszen az analitikus módszerrel szemben időigényesebb és bonyolultabb is a folyamat. A többváltozós szabályozó kártyáknak több hiányossága is van. E dolgozatban ezek közül a Hotelling-féle T^2 kártyára koncentrálok, azonban az itt megemlített hiányosságok nagy része a többi többváltozós szabályozó kártyára is igaz.

A Hotelling-féle szabályozó kártya hatékonyan alkalmazható több változó egyidejűleg történő vizsgálatára, azonban a mérések bizonytalanságából eredő kockázatokkal nem számol. A kockázatalapú szabályozó kártyák tervezése analitikus módszerrel igencsak nehézkes lenne, hiszen ahogy azt a korábbiakban is láthattuk, léteznek ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan. Ezek az ajánlások azonban nem minden esetben állják meg a helyüket. Gondoljunk csak arra, hogy egyáltalán nem biztos, hogy a mérési hiba eloszlása normális eloszlást követ. A későbbiekben láthatjuk azt is, hogy a szimulációs módszer alkalmazásával akkor is növelhető-e a fedezeti érték, ha a mérési hiba eloszlása normálistól eltérő eloszlást követ.

További hiányosság, hogy amint azt a fentiekben is láthattuk, a beavatkozási határok számításakor nem találkozunk olyan paraméterrel, amely a mért értékekre vonatkozna (sem szórás sem várható érték). Ebből adódóan a beavatkozási határ a kovarianciamátrix megváltozására sem reagál. Az analitikus módszerek ez esetben csak akkor alkalmazhatók, ha mért értékek eloszlása p -dimenziós normális eloszlás. Ez a feltétel a gyakorlat során sok esetben nem teljesül, így a kártya alkalmazhatósága korlátozódik. Ha a mért értékek eloszlása a nem követ normáleoszlást, vagy az eloszlás típusa megváltozik a szabályozókártya alkalmazása során, akkor a belőlük számított T^2 statisztika már nem fejezhető ki az F-eloszlás transzformáltjaként, ezért, ha az

analitikus módszerrel meghatározott beavatkozási határt alkalmazzuk, akkor nagymértékben megnövekedhet a téves riasztások száma. A téves riasztások azonban költséggel járnak. Ha például feleslegesen avatkozunk be a szabályozni kívánt folyamatba, az felesleges leállással jár, ami komoly kimaradást okoz a termelésben indokolatlanul.

Így célszerű lehet a beavatkozási határ számításakor analitikus módszer helyett szimulációs módszerekre hagyatkozni. A kockázatalapú T^2 kártya beavatkozási határának meghatározását Monte Carlo szimuláció segítségével fogom elvégezni.

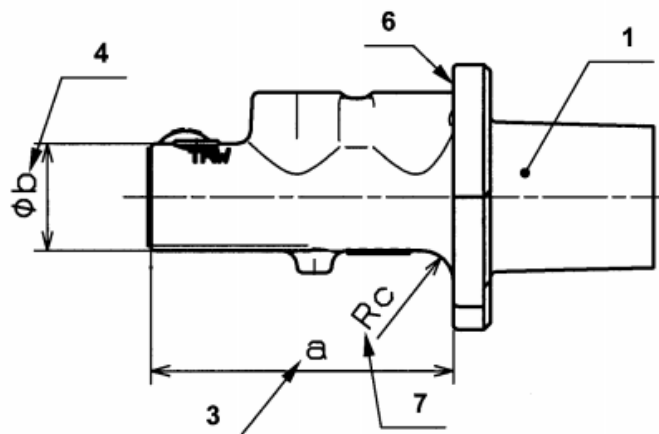
A következőkben ismertetem a fentiekben bemutatott módszer gyakorlati alkalmazhatóságát is, egy autóiipari példán keresztül.

6.2 A módszer alkalmazhatóságának bemutatása

A módszer gyakorlati alkalmazhatóságát egy autóiipari vállalat mérési eredményein teszteltem. A vállalat öntvények előállításával foglalkozik, és kiemelkedő fontosságú a folyamat során a másodfajú hiba előfordulásának minimalizálása. A gyakorlati alkalmazás során végig haladtam a módszer bemutatása során ismertetett négy lépésen, melyek közül első az adatgyűjtés a folyamatról, a mérésről, illetve magáról a termékről.

6.2.1 Adatgyűjtés

A vizsgált autóiipari termék egy főfékhenger. A termék megfelelőségét alapvetően két paraméter jellemzi, a fűrészelési hossz, illetve az átmérő (4-es, illetve 3-as méret). A 9. ábra ismerteti az alkatrész méreteit:



9. ábra: A vizsgált termék

A két minőségjellemző túrésére pedig a következő előírások állnak fenn:

- Fűrészelési hossz (3-as számú méret): $148,45 \pm 0,35$ [mm]
- Átmérő (4-es méret): $29,5 \pm 0,35$ [mm]

A megfelelőség vizsgálata optikai mérőgéppel történik, melynek mérési bizonytalansága 0,005 [mm].

Az adatgyűjtés során 50 mérési eredményt gyűjtöttem össze mindkét paraméterre vonatkozóan. Így ebből meghatározható a mért értékek eloszlása, a várható érték illetve szórás. Ezek a paraméterek a többdimenziós ellenőrző kártya tervezéséhez feltétlenül szükségesek.

6.2.2 A megbízhatóság alapú T^2 kártya tervezése

Az előzetes adatfelvétel során nyert mérési adatokból először megterveztem a megbízhatóság alapú T^2 kártyát. A két vizsgált minőségjellemző eloszlása normál eloszlást követ, melyet Kolmogorov-Smirnov próbával teszteltem. A jellemzők várható értéke, illetve szórása:

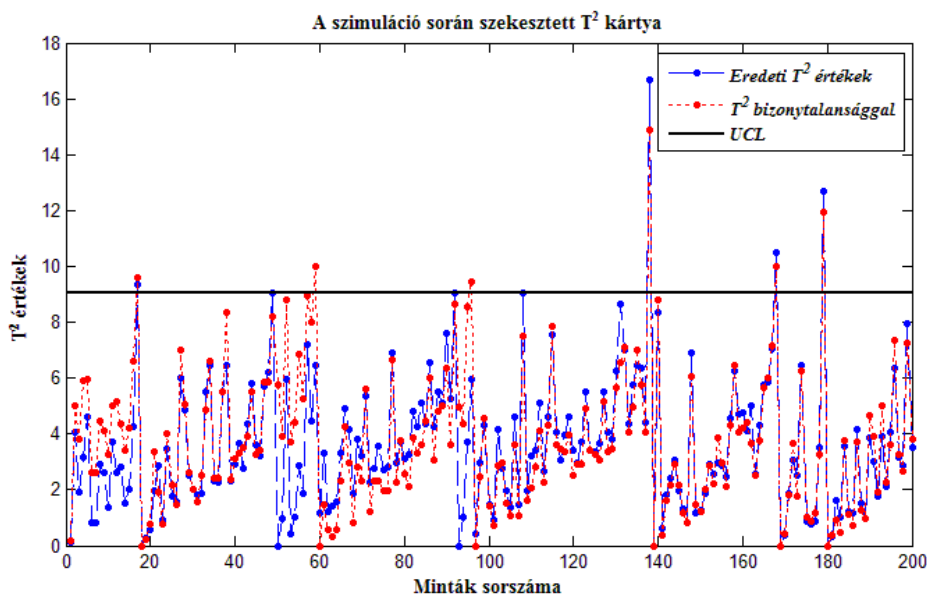
Átmérő:

- $\mu_{\text{átmérő}} = 148,77$ [mm]
- $\sigma_{\text{átmérő}} = 0,0499$ [mm]

Fűrészelési hossz:

- $\mu_{\text{fűrészelési hossz}} = 29,48$ [mm]
- $\sigma_{\text{fűrészelési hossz}} = 0,0539$ [mm]

A tervezés során a korábban megállapított információk alapján szimuláltam az értékek eltolódását, illetve UCL átlépése esetén a beavatkozást. A folyamatra tervezett T^2 kártya látható a 10. ábrán.

10. ábra: A szimuláció során tervezett T^2 kártya

Az ábrán két értéksorozatot láthatunk. A kék színű pontok jelölik a tényleges értékeket, a piros pontok pedig a mérési hibával együtt észlelt értékeket. A szimulációban figyelembe vettem az öntőszerszám kopásának folyamatát is. Így láthatjuk, hogy a tényleges és a mért értékek is eltolódnak az idő elteltével. Ekkor azonban beavatkozunk a folyamatba, ezért a karbantartás után újra visszaállítódik az eredeti állapot. A T^2 statisztika számításához mindkét esetben a 14. egyenletet alkalmaztam. A beavatkozási határt a következő képlettel számítottam (16 alapján) (Ittész,1999):

$$UCL_{T^2} = \frac{p(m-1)(n-1)}{m(n-1)-p+1} F(p, m(n-1)-p+1)$$

Esetünkben egyedi adatok alapján történik a szabályozás. Ebben az esetben a T^2 statisztika eloszlása a centrált béta eloszlással adható meg a következőképpen:

$$UCL_{T^2} = \frac{(k-1)^2}{k} \text{Béta}\left(\frac{p}{2}, \frac{k-p-1}{2}\right) \quad (20)$$

A kártyát az előzetes adatfelvétel alapján szerkesztettem meg ekkor 200 elemű a sokaság (k) és két termékparamétert kívánunk szabályozni így $p=2$. Behelyettesítve:

$$UCL_{T^2} = \frac{(200-1)^2}{2} \text{Béta}\left(\frac{2}{2}, \frac{200-2-1}{2}\right) = \frac{39601}{2} \text{Béta}(1; 98,5) = 9,1937$$

A következő lépésben pedig ismertetem a vállalati kalkulációk alapján az egyes döntésekhez tartozó fedezeti értékeket.

6.2.3 Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása

Mivel autóipari vállalatról beszélünk, meg kell jegyeznünk, hogy e területen a másodfajú hiba elkövetése igencsak súlyos következménnyel járhat. A gyakorlati példában, ha egyetlen nem megfelelő termék is kikerül a vevőhöz, az az egész küldemény újbóli átválogatását vonja maga után. A szimuláció során alkalmazott fedezeti értékeket tartalmazza a 6. táblázat az egyes esetekre vonatkozóan.

6. táblázat: Az egyes döntésekhez társított fedezeti értékek

Fedezeti értékek (€)		Döntés			
		Specifikációs határ alapján megfelelő		Specifikációs határ alapján nem megfelelő	
		Beavatkozási határ alapján megfelelő	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	Beavatkozási határ alapján megfelelő	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő
Tényleges	Specifikációs határ alapján megfelelő	Beavatkozási határ alapján megfelelő			
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő				
	Specifikációs határ alapján megfelelő				
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő				
	Beavatkozási határ alapján megfelelő	3	-40	-23	-23
	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	-60	-23	-23	-23
	Beavatkozási határ alapján megfelelő	-102	-102	-11	-11
	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	-102	-102	-11	-11

A táblázatban szereplő fedezeti értékek a vállalatnál készített kalkulációk alapján kerültek meghatározásra.

A következőkben részletesebben is ismertetem az egyes döntési helyzeteket.

A döntési mátrix alapján összesen 16 esetről beszélünk melyek esetén 16 reláció állítható fel. A bennük szereplő jelölések a következő jelentéssel bírnak:

- T^2_i = A tényleges értékekből számított T^2 érték az i-edik mérésre vonatkoztatva
- T^2_{UCi} = A mért értékekből számított T^2 érték az i-edik mérésre vonatkoztatva
- UCL = Az eredeti beavatkozási határ
- UCL_{UC} = A mérési hiba figyelembevétel után feltételezett beavatkozási határ
- LSL = Alsó specifikációs határ
- USL = Felső specifikációs határ
- x_i = A termék minőségjellemző tényleges értéke
- y_i = A vizsgált termékjellemző mért értéke

Specifikációs határok alapján megfelelő a termék és annak is ítéljük

$$T^2_i < UCL \text{ és } T^2_{UCi} < UCL_{UC}, \text{ továbbá } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (21)$$

A vizsgált paraméterek ekkor tűrésen belüliek és a beavatkozási határ alatt helyezkedik ez a valódi és az általunk márt értékekből számított T^2 érték. Így a folyamatba nem kell beavatkoznunk és döntésünk is helyes.

$$T^2_i \geq UCL \text{ és } T^2_{UCi} < UCL_{UC}, \text{ továbbá } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (22)$$

A vizsgált termékparaméterek tűrésen belül helyezkednek el. A beavatkozási határok tekintetében ez esetben döntésünk helytelen, mivel az általunk mért értékekből számított T^2 érték a beavatkozási határon belül van, ezzel szemben a valódi értékek alapján számított statisztika értéke szerint be kellene avatkoznunk a folyamatba. Ekkor elmulasztjuk a beavatkozást így megnövelve annak kockázatát, hogy selejtes terméket állítunk elő.

$$T^2_i < UCL \text{ és } T^2_{UCi} \geq UCL_{UC}, \text{ továbbá } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (23)$$

A specifikációs határok alapján ez esetben is tűrésen belüliek a mért értékek, de ekkor feleslegesen fogunk beavatkozni a folyamatba, hiszen a valódi értékek alapján a T^2 statisztika értéke kisebb, mint UCL , viszont a mért értékek alapján téves riasztást fogunk észlelni. Ekkor elmaradt bevétellel kell számolnunk, ami a gép felesleges megállításából és beállításából adódik.

$$T^2_i \geq UCL \text{ és } T^2_{UCi} \geq UCL_{UC}, \text{ továbbá } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (24)$$

Ebben az esetben, bár a specifikációs határokon belül helyezkednek el a valódi és mért értékek is, a folyamatba azonban be kell avatkoznunk és döntésünk ekkor helyes. Számolnunk kell a leállítás költségeivel, de ekkor ez szükségszerű, így a csökkenthetjük a kockázatát a selejtes termék előállításának.

Specifikációs határok alapján nem megfelelő a termék és annak is ítéljük

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL > x_i, \text{ vagy } x_i > USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (25)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL > x_i, \text{ vagy } x_i > USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (26)$$

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL > x_i, \text{ vagy } x_i > USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (27)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL > x_i, \text{ vagy } x_i > USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (28)$$

A fenti négy esetet egyben is értelmezhetjük, hiszen mindegyik esetben helyes döntést hozunk, mikor a terméket a specifikációs határok alapján nem megfelelőnek ítéljük. Ekkor a specifikációs határok átlépése miatt intézkedést kell tennünk attól függetlenül, hogy a beavatkozási határokon kívülre kerültünk-e vagy sem.

Specifikációs határok alapján nem megfelelő a termék, de megfelelőnek ítéljük (másodfajú hiba)

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL \geq x_i, \text{ vagy } x_i \geq USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (29)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL \geq x_i, \text{ vagy } x_i \geq USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (30)$$

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL \geq x_i, \text{ vagy } x_i \geq USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (31)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL \geq x_i, \text{ vagy } x_i \geq USL \text{ és } LSL < y_i < USL \quad (32)$$

E négy esetben másodfajú hibát követünk el, vagyis tovább engedünk olyan terméket, amely vizsgált paramétereinek értékét megfelelőnek ítéljük meg a mérések alapján, a tényleges, valós adat alapján pedig a termék nem megfelelő. Ennek az esetnek a legnagyobb a költségvonzata, mivel ekkor sok esetben a vállalatnak kell fizetni a javítás vagy akár újbóli átválogatás költségét is (Esetünkben, ha egyetlen olyan termék is kikerül a vevőhöz, amely nem minősül megfelelőnek, az a teljes kiküldött mennyiség újbóli átválogatásával jár, amit a vállalatnak magának kell finanszíroznia.). Számszerűsíteni meglehetősen nehéz, de számolnunk kell ez esetekben a presztizs-vesztéssel is. A vevők bizalma a vállalat felé kiemelkedő fontosságú. A másodfajú hibák gyakori elkövetése a vevő elpártolását is okozhatja, ez különösen jelentős probléma abban az esetben, ha egy fontos vevőről van szó. Azt azonban fontos

megjegyezni, hogy a négy eset közül az utolsó kettőben ugyan beavatkozunk a folyamatba a másodfajú hiba ellenére. Ennek oka, hogy előfordulhat olyan eset, hogy a specifikációs határok szerint elkövetjük a másodfajú hibát (tehát megfelelőnek ítélünk egy terméket, amely valójában nem megfelelő), a beavatkozási határok tekintetében azonban (akár helyes, akár helytelen döntést hozva) beavatkozunk a folyamatba. Jelen dolgozatban e két esetet nem kezeljük külön, mivel ez akkor állhat fenn, ha a szabályozó kártya tervezésekor hibát ejtünk és a beavatkozási határ nem megfelelően kerül meghatározásra.

Specifikációs határok alapján megfelelő a termék, de nem megfelelőnek ítéljük (elsőfajú hiba)

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (33)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 < UCL_{UC}, \text{ és } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (34)$$

$$T_i^2 < UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (35)$$

$$T_i^2 \geq UCL \text{ és } T_{UCi}^2 \geq UCL_{UC}, \text{ és } LSL < x_i < USL \text{ és } LSL \geq y_i, \text{ vagy } y_i \geq USL \quad (36)$$

A fenti négy esetben a specifikációs határok alapján elsőfajú hibát követünk el, hiszen visszautasítjuk a megfelelő terméket mindegyik esetben. Ekkor a beavatkozási határok szempontjából való elhelyezkedés nem mérvadó, hiszen a hibás termék megjelenésekor mind a négy esetben kalibráljuk a gyártó berendezést, illetve intézkedési tervet rögzítünk. Ebben az esetben számolnunk kell azzal a kimaradt bevétellel is, amelyet úgy érthetünk volna el, ha a terméket értékesíteni tudjuk, azonban meg kell jegyezni, hogy egyes gyártási folyamatoknál, a termék egy része újra felhasználható. Esetünkben is ilyen folyamatról beszélünk, ugyanis az öntészetben a fémötvözet egy kis veszteséghányaddal visszaolvasztható és újrafelhasználható.

Így már kellő információ áll rendelkezésre a kockázatalapú szabályozókártya megtervezéséhez. Ez a következő pontban kerül bemutatásra.

6.2.4 Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével (szimuláció segítségével)

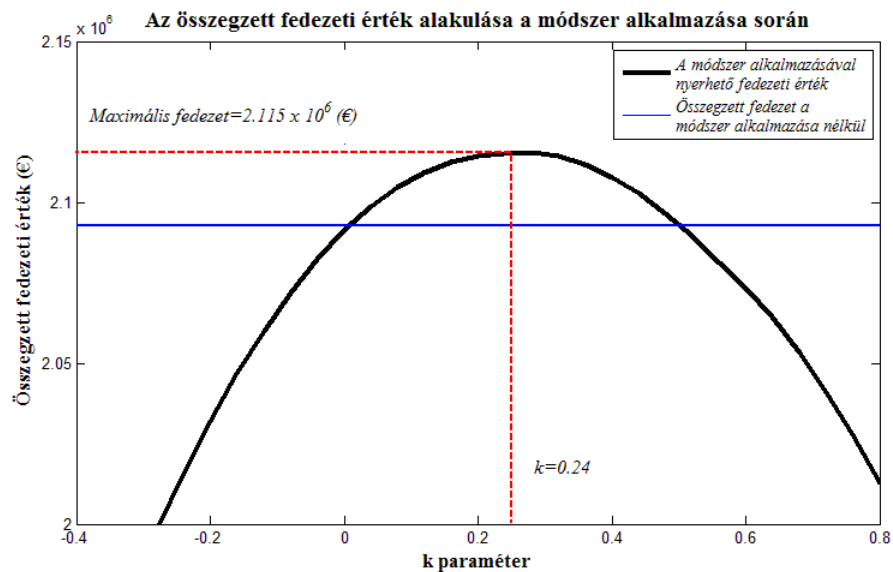
A beavatkozási határok módosítását MATLAB program segítségével végeztem el. Az új beavatkozási határnak azt az értéket választottam, amely mellett az összes mintavétel során számított összegzett fedezeti érték maximális.

A számítások során egymilliós sokaságot szimuláltam. A szimuláció elvégzésével a következő eredményekre jutottam:

7. táblázat: A kapott eredmények

Szempontok	T^2	RBT^2
k	0	0,24
UCL	9,19	8,95
Összegzett fedezeti érték (€)	2 092 000	2 115 000
Százalékos növekedés (%)	-	1,1

Ahogy az a táblázatból is látszik a módszer segítségével növelni tudtam a mintavétel során számított összegezett fedezeti értéket. A beavatkozási határ értékének változtatásával az összegzett fedezeti érték a módszer alkalmazásával ~1,1%-kal növekedett. Így a módszert a gyakorlati példa során sikeresen tudtam alkalmazni. A vizsgált gyártási folyamatra így többdimenziós kockázatalapú T^2 kártyát illesztettem. A beavatkozási határok módosítása során egymilliós zori mintavételt szimuláltam az adatgyűjtés során nyert adatok felhasználásával. A beavatkozási határ módosításával az összes mintavételre számított összegzett fedezeti érték 2 092 000 €-ról 2 115 000 €-ra növekedett, ami 1,099%-os fedezeti érték növekedést jelent. A 7. ábra szemlélteti az összegzett fedezeti érték alakulását a k paraméter függvényében.



11. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a módszer alkalmazása során

Láthatjuk az ábrán is, hogy a $k=0,24$ pontban érjük el az optimumot, ekkor maximális az összegzett fedezeti érték a beavatkozási határ értéke pedig 8,95. Így a javasolt módszer alkalmazásával immár kockázatalapon működő szabályozókártyát (RBT²) illesztettem a szabályozni kívánt folyamatra. E területen lényeges újdonságnak számít, hogy ezúttal többváltozós szabályozó kockázatalapú kártya került kidolgozásra.

6.2.5 Szimulációs eredmények

Kutatási modellem egyik független változója a másodfajú hiba elkövetésének költsége. Munkám során további két dolgot vizsgáltam meg: Egyrészt hogy a jelen dolgozatban bemutatott módszer akkor is alkalmazható-e, ha a mérési hiba eloszlása normálistól eltérő eloszlást követ? Ezt úgy teszem meg, hogy a szimuláció futtatása során a másodfajú hiba költségét is figyelembe veszem. Így eredményül megkapjuk, hogy mennyivel növelhető a szimuláció alapján az összegzett fedezeti érték abban az esetben, ha növekszik a másodfajú hiba elkövetésének költsége.

A szimuláció során a következő eloszlásokra vonatkoztatva vizsgáltam meg a módszer alkalmazhatóságát:

- Normális eloszlás
- Béta eloszlás
- Weibull eloszlás
- Lognormális eloszlás
- Egyenletes eloszlás

A szimuláció eredményét az alábbi táblázat tartalmazza, amely bemutatja, hogy hány százalékkal növekedett az összegzett fedezeti érték a javasolt módszer alkalmazásával. A szimuláció során a mintavételek száma mindegyik esetben 100000 volt. Az eredményeket a másodfajú hiba költségének függvényében mutatom be. Azt is megvizsgáltam, hogy a mérési bizonytalanság különböző típusú eloszlásai esetén is növelhető-e az összegzett fedezeti érték a módszer alkalmazásával.

8. táblázat: Az összegzett fedezeti érték alakulása a másodfajú hiba fedezeti értékének függvényében

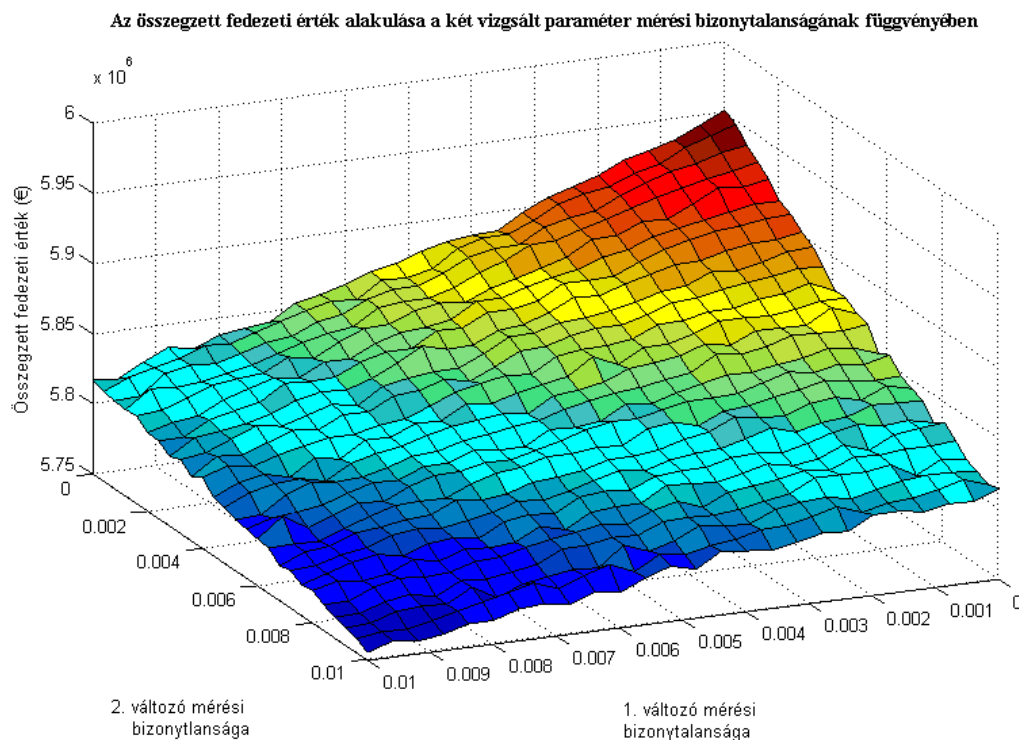
Másodfajú hiba (β) elkövetésének költsége (€)	Normális eloszlás ($\mu=0$, $\sigma=0,01$)	Béta eloszlás ($a=0.003$, $b=5$)	Weibull eloszlás ($0,003$, $b=2$)	Lognormális eloszlás ($\mu=0$, $\sigma=0,01$)	Egyenletes eloszlás ($a=-$ $0,01$, $b=-0,02$)
10	1,638	2,271	1,791	1,768	1,287
20	1,642	2,317	1,877	1,78	1,345
30	1,648	2,363	1,952	1,801	1,394
40	1,683	2,416	2,032	1,864	1,41
50	1,719	2,469	2,105	1,926	1,429
60	1,77	2,523	2,18	1,978	1,472
70	1,852	2,565	2,255	1,989	1,521
80	1,881	2,586	2,337	2,014	1,567
90	1,947	2,6	2,43	2,037	1,594
100	2,022	2,634	2,505	2,054	1,636
110	2,066	2,684	2,553	2,079	1,653
120	2,094	2,74	2,605	2,101	1,672
130	2,231	2,765	2,687	2,126	1,72

Amint a táblázatban látható, különböző eloszlástípusú mérési hiba generálása során is 1,2-2,5 %-os fedezeti érték növekedés volt elérhető. Ez azért nagyon fontos, mert ahogy az a táblázatból is látszik, a módszer akkor is alkalmazható, ha a mérési hiba eloszlása normális eloszlástól eltérő. Ahogy azt a korábbiakban már kifejtettem a gyakorlatban léteznek ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan, de ezek csak

akkor alkalmazhatók, ha a mérési hiba eloszlása normális eloszlást követ. Az általam javasolt módszer előnye, hogy ez esetben ez a feltétel nem áll fenn.

Láthatjuk, hogy a másodfajú hiba költségének növekedésével a fedezeti érték is növelhető. Ennek oka a következő: Ha a másodfajú hiba költsége magas, akkor a módszer alkalmazása során az elkövetés gyakoriságának csökkentésével egyre nagyobb megtakarítással élhetünk, így az összegzett fedezeti érték is nagyobb mértékben növelhető.

A másodfajú hiba elkövetésének költsége mellett érdemes megvizsgálni a mérési bizonytalanságnak az összegzett fedezeti értékre gyakorolt hatását is. Esetünkben két változót vizsgálunk, így az alábbi ábra ismerteti a fedezet alakulását a két változó mérési bizonytalanságának függvényében.



12. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a két minőségjellemzőre vonatkozó mérési bizonytalanság függvényében

Ahogy az ábrán is láthatjuk, a két változó mért értékeihez társítható mérési bizonytalanság nagymértékben csökkentheti az összegzett fedezeti értéket.

Ahogy növekszik a mérési bizonytalanság a két vizsgált változó esetében, úgy csökken az elért összegzett fedezeti érték ahhoz képest, mint amikor méréseink teljességgel pontosak lennének, és a méréseknek nem lenne bizonytalansága. A

szimuláció eredménye is alátámasztja a módszer alkalmazásának létjogosultságát, és felhívja a figyelmet a mérési bizonytalanság figyelembe vételének jelentőségére.

Az eddigiekben bemutatam a módszer alkalmazhatóságát valamint szimulációs eredményeimet egy konkrét példa esetén. A következő fejezetben ismertetem javaslataimat a megjelölt problémákra vonatkozóan.

7 JAVASLATTÉTEL

Dolgozatomban fő problémaként a másodfajú hibák előfordulásának gyakoriságát jelöltem meg. A korábbiakban bemutattam ennek fő kiváltó okait és az okok elemzése során meghatároztam azt a két kiváltó okot (P1 illetve P2) melyekre vonatkozóan a dolgozat keretein belül javaslatokat teszek. Javaslataimat a következőkben J1-es illetve J2-es problémaként jelölöm meg.

7.1 J1 javaslat: Kockázatalapú többváltozós szabályozó kártya alkalmazásának bevezetése

A P1-es problémára vonatkozóan (A mérési bizonytalanságból fakadó másodfajú hibák száma magas) javaslatom a következő:

A kutatási eredmények című fejezetben láthattuk a kockázatalapú szabályozókártya tervezési módszerének kiterjesztési lehetőségét többdimenziós esetre vonatkozóan. A módszer alkalmazhatóságát egy meghatározott öntvény esetében vizsgáltam meg, ahol két termékjellemző egyidejű szabályozása szükségeltetik. Kockázatalapú szabályozókártyával kezelhetővé válnak a mérési bizonytalanságból eredő kockázatok, láthattuk, hogy a konkrét vállalati példában is növelni tudtam az összes mintavétel során számított, összegzett fedezeti értéket. Így javaslatom a P1-es problémára vonatkozóan a kockázatalapú többdimenziós szabályozókártya alkalmazásának bevezetése a Le-Bélíer Formaöntöde Zrt.-nél. Az új eljárás nem csak a mérési bizonytalanság kezelésére lesz alkalmas, hanem több minőségjellemző együttes figyelemmel kísérésére is lehetőség nyílik általa. A módszer alkalmazását a kapott eredmények is alátámasztják.

A következőkben ismertetem javaslatomat a P2-es problémára vonatkozóan is.

7.2 J2-es javaslat: A kártyatervezés folyamatának támogatása SciLab program segítségével

P2-es problémaként a folyamatszabályozás informatikai támogatottságának hiányosságait jelöltem meg. A J1 javaslatban megfogalmazottak bevezetésével egyidejűleg P2 problémára is végezhető el javító intézkedés. Javaslatom a következő:

A kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya alkalmazásához szükséges a szimulációt elvégző program megírása. A szimuláció segítségével sokkal pontosabb számítások és becslések végezhetők el, mint az eddigi MS Office Excelben alkalmazott analitikus számítások. Javaslok, hogy a módszer bevezetése során a szimulációhoz egy olyan kezelőfelület társítását, amely segítségével a kiértékelést végző átláthatóbban és egyszerűbben tudja elvégezni a folyamat figyelemmel kíséretét, illetve a kártya tervezés folyamatát. Így a javaslat megvalósításával az informatikai támogatottság növelhető, hiszen az új program segítségével nem csak a számítások tehetők pontosabbá, de a kezelés is leegyszerűsödik és a folyamat kiértékelésének menete is gyorsabbá válik.

A fentiekben ismerttettem J1-es, illetve J2-es javaslataimat a meghatározott problémákra (P1, P2) vonatkozóan. A következőkben megvizsgálom az egyes javaslatok megvalósíthatóságának lehetőségét.

8 MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI TANULMÁNY

Ebben a fejezetben javaslataim megvalósíthatóságát elemzem. Elsőként a J1-es javaslatra vonatkozóan végzem megállapításaimat.

8.1 J1-es javaslat megvalósíthatóságának elemzése

Láthattuk, hogy a kockázatalapon működő T^2 kártya segítségével a vállalati példában növelhető volt az összes vett mintából számított fedezeti érték. Ez megtakarításként jelenik meg, hiszen így csökkenthetjük az elkövetett másodfajú hibák számát, ami komoly problémát okozhat a vállalat számára.

A módszer alkalmazásának feltételei a következők:

- A valós folyamat leképezésére alkalmas szimuláció
- Megfelelő szaktudás kiépítése az alkalmazáshoz
- Felelősségi körök definiálása
- Dokumentáció

Ahhoz, hogy a módszer alkalmazása bevezetésre kerüljön, először is szükséges egy szakember, aki megtervezi és összeállítja a szimulációt elvégző programot. A forráskódhoz célszerű ez GUI kezelőfelületet is létrehozni ahhoz, hogy a kiértékelést végzők munkáját kényelmesebbé tegyük. A szimulációs program összeállítását szakmai gyakorlatom során elvégeztem a vállalatnál. Dolgozatomban számításaimat Matlab programmal végeztem, melynek megvásárlása komoly költségként jelenne meg a módszer alkalmazási feltételeit előteremtő beruházásban. Ezért javaslom a módszer alkalmazása során a SciLab program használatát, amely a SciLab honlapjáról ingyenesen letölthető. További előny, hogy a szoftver programnyelve csak kis mértékben különbözik a Matlab által használttól. Így egyszerűbben megoldható a forráskód átfordítása. E tényezőket figyelembe véve ennél a pontnál költségként jelenik meg a forráskód Scilab-ba történő átfordítását végző szakember órábére. Jelenleg gyakornoki programban veszek részt a Le Bélier Formaöntöde Zrt.-nél, ezért a forráskód átfordítását magam is elvégezhetem. Az átfordítás megközelítőleg két munkanapot vesz igénybe nyolcórás műszakkal számolva túlóra nélkül, így gyakornoki órábérrel számítva ennek költsége a következő:

$$2 \text{ nap} \cdot 8 \text{ munkaóra} \cdot 2,1 \frac{\text{€}}{\text{munkaóra}} = 33,6 \text{ €} \quad (37)$$

Nem elég azonban a szoftver rendelkezésre állítása, a sikeres alkalmazáshoz a szakértelem is feltétlenül szükségeltetik. Ezért a módszer bevezetése előtt a statisztikai folyamatszabályozás mélyrehatóbb megismerésére is szükséges az érintettek számára. A változások által érintettek a kiértékelésben résztvevők, mint például a termékfelelősök, illetve a folyamatszabályozás területével szoros kapcsolatban álló mérnökök. Egy kétnapos oktatás ára megközelítőleg 1000 €, de ez nem tartalmazza az utazás, illetve szállás és étkezés költségét. Így 6 fővel számolva (három termékfelelős, egy gépészmérnök, egy minőségügyi mérnök és egy projektmenedzser asszisztens) további 200 € számolandó fel a közvetett költségekre. A statisztikai folyamatszabályozás mélyrehatóbb megismerése után az általam továbbfejlesztett módszer elméleti alapjait munkám keretén belül ismertetem az érintettekkel.

Az említetteken kívül a bevezetéshez definiálni kell a felelősségi köröket, melyek a következők:

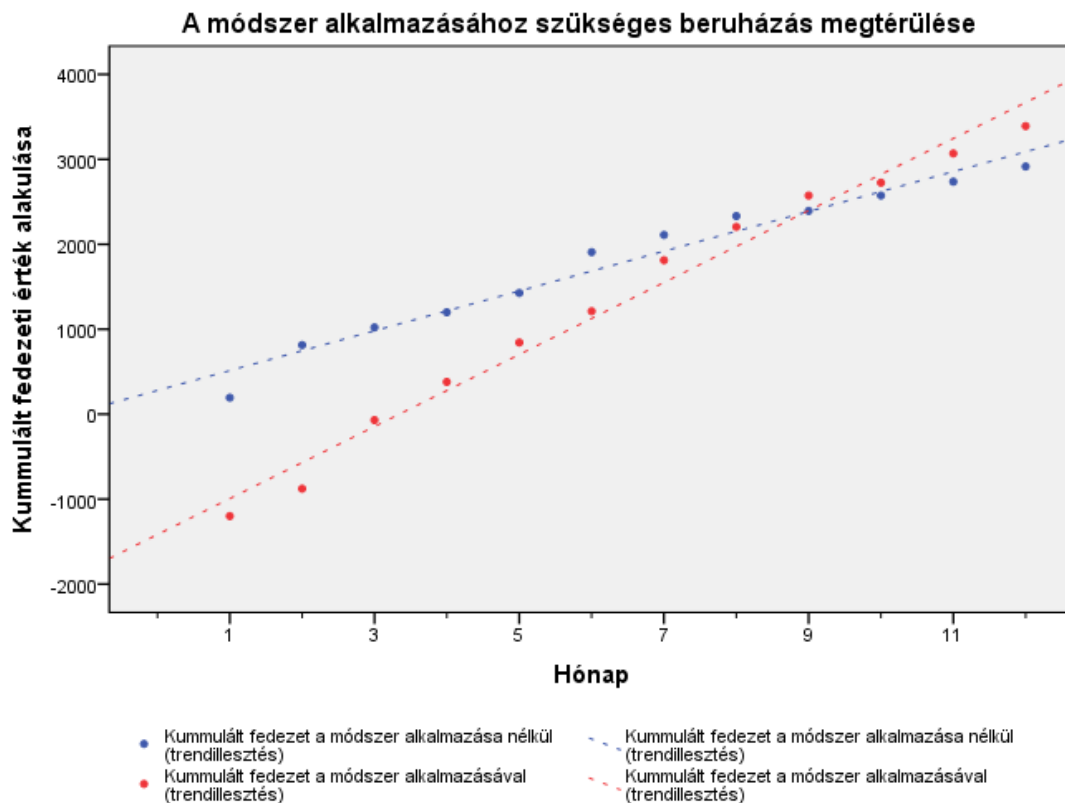
- A folyamat figyelemmel kíséréséért való felelősség
- A folyamatba történő beavatkozásról való döntés
- Döntés az öntvények selejtezéséről (visszaolvasztásáról)
- A beavatkozási határok újraszámolásáról való döntéshozatal
- A kiértékelések elvégzése
- Dokumentáció
- Vevők értesítése a folyamat képességéről, állapotáról

Végül pedig a változásokat, illetve a szükséges eljárások menetét munkautasításba kell foglalni. Egyrészt szükséges a mérést végző operátor számára a mérés menetének leírása továbbá a kiértékelést végző számára a folyamat menetének és értelmezésének rögzítése.

A fentiek figyelembevételével szimulációt végeztem a beruházás megtérülésének vizsgálatára.

Összegezve a forráskód átfordításának költségét, az oktatás árát, valamint az oktatáshoz járuló közvetett költségeket, a módszer bevezetéséhez szükséges beruházás megközelítőleg 1233,6 €-ba kerül a kalkulációk alapján.

A jelenlegi gyártásban műszakonként 10 mintavételre van lehetőség. Ez azonban módosulhat, hiszen figyelembe kell venni azt az esetet is, ha beavatkozunk, mert a gép állásától függően egy vagy akár két mintavétel is kimaradhat ekkor. A módszer alkalmazhatóságát bemutató fejezetben meghatározott fedezeti értékek felhasználásával kiszámítható, havi bontásban a mintavételekkor számított összegzett fedezeti érték. Így összehasonlíthatóvá válik a módszer alkalmazásával, illetve anélkül számítható fedezeti érték havi bontásban. A szimuláció eredményét mutatja be a következő ábra.



13. ábra: A módszer bevezetéséhez szükséges beruházás megtérülése

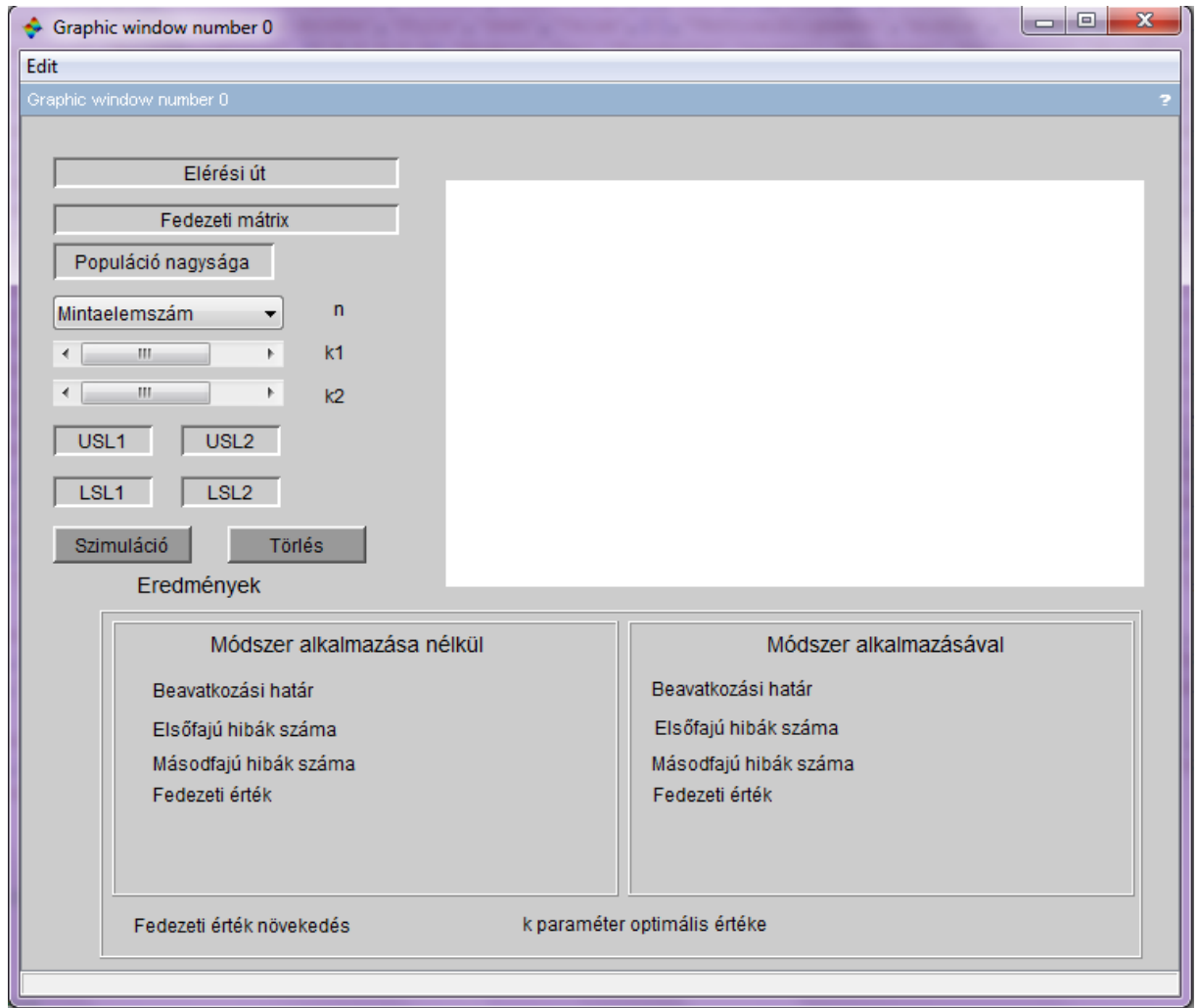
Az ábrán a kumulált fedezeti érték alakulása látható. A késsel jelölt pontok jelölik azt a fedezeti értéket, amelyet a módszer alkalmazása nélkül kapnánk, a piros pontok pedig azt a kumulált fedezetet mutatják, amely a kockázatalapú szabályozókártya használatával érhető el. A beruházás értékét figyelembe véve a kockázatalapú szabályozókártya alkalmazásával számított fedezeti érték így a negatív tartományból indul. Ahogy azt az ábra is szemlélteti a beruházás a 9. hónapban megtérülne a szimuláció alapján. Innentől kezdve pedig a kockázatalapú szabályozó kártya használata során mér magasabb fedezeti értéket érhetünk el, mint a megbízhatóság alapú kártyával.

Így a javaslat megvalósításához szükséges beruházás megtérül egy éven belül. Bár költséget tekintve igencsak nehéz számszerűsíteni a másodfajú hiba elkövetéséből származó presztizs-veszteséget, lényeges azonban, hogy ezt a tényezős is figyelembe vegyünk a kockázatalapú szabályozó kártya bevezetése által nyújtott előnyök számbavételekor. A módszer alkalmazásával így nem csak nagyobb fedezeti érték érhető el, de a vállalat pozitív megítélésében is nagy szerepet játszik a másodfajú hibák gyakoriságának csökkentése.

A következő részben a J2-es javaslat megvalósíthatóságával kapcsolatos megállapításaimat ismertetem.

8.2 J2-es javaslat megvalósíthatóságának elemzése

Az előző részben bemutattam megvalósíthatósági tanulmányomat a kockázatalapú szabályozó kártya bevezetésére vonatkozóan. A hatékony folyamatszabályozáshoz azonban hozzájárul a megfelelő informatikai háttér is. A vállalat a folyamatszabályozás során Microsoft Office Excel programot alkalmaz a kiértékelések elkészítése során. Ennél hatékonyabb és egyszerűbb kezelhetőséget biztosít a SciLab program által nyújtott GUI kezelőfelület. A kezelőfelület kialakítása alacsony költséggel megoldható, hiszen a dolgozatom során megírt Matlab-forráskód átfordítása során a GUI kezelőfelület kialakítása is megoldható. E dolgozat keretein belül megadok egy olyan felületet, amely megfelelő kiindulási alapot nyújt a használatához. A továbbiakban ez tetszőlegesen alakítható, illetve tovább fejleszthető. A felületet a következő ábra szemlélteti.



14. ábra: A módszer alkalmazását támogató program kezelőfelülete

Így könnyedén megadhatjuk egy Excel fájlban a mért értékeket, és a fájlra hivatkozva importálhatjuk a szükséges adatokat. Megadhatjuk a minta elemszámát, a specifikációs határokat, illetve megválaszthatjuk, hogy a szimulációt során mennyi mintavételt szeretnénk szimulálni. A szerkesztett többdimenziós kártyáról kép is készíthető, továbbá a kapott eredmények pedig megmutatják a módszer alkalmazásával elérhető fedezeti értéket, a k paraméter optimális értéke mellett.

Ahogy arra a fentiekben már utaltam a forráskód átfordítása két munkanap alatt megoldható, a kezelőfelület forráskódhoz illesztése pedig további egy munkanapot venne igénybe. Így a költséget a kialakításhoz szükséges munkabér teszi ki, ami esetünkben a következő:

$$3nap \cdot 8 \text{ munkaóra} \cdot 2,1 \text{ €} = 50,4 \text{ €} \quad (38)$$

Az alkalmazás költsége 50,4 €-ra tehető. A szoftver használatával azonban sokkal pontosabb számítások és becslések végezhetők el, mint a korábban alkalmazott módon. További előny, hogy a kiértékelést végző számára is egyszerűbbé válik a folyamat mente.

Ebben a fejezetben elemeztem javaslataim megvalósíthatóságának lehetőségeit. Első javaslatom (a kockázatalapú többdimenziós szabályozókártya alkalmazásának bevezetése) bevezetése egy éven belül (a szimuláció alapján a 9. hónapban) megtérülne. Második javaslatom, a folyamat kiértékelésének SciLab programmal történő támogatása pedig alacsony költséggel megoldhatónak bizonyult.

9 ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom első részében bemutattam a minőségbiztosítással, illetve folyamatszabályozással és a mérési bizonytalansággal kapcsolatos hazai és idegen nyelvű szakirodalmat. Munkám során irodalomkutatót is végeztem, amely keretein belül megvizsgáltam, hogy a szakirodalomban mely szabályozó kártyák tervezésével, fejlesztésével foglalkoztak eddig. Megállapítottam, hogy a kockázatalapon működő szabályozó kártyák területe hiányosságokat vet fel, így célszerű e területen újabb kutatásokat végezni.

A szakirodalmi háttér ismertetése után bemutattam a Le Bélier Formaöntőde Zrt. tevékenységét, főbb termékeit illetve vállalati profilját. A vállalatnál töltött szakmai gyakorlatom során fő problémaként azonosítottam a másodfajú hibák gyakori elkövetését. Munkám során a folyamatszabályozás hiányosságaival foglalkoztam, melyen belül P1-es, illetve P2-es problémaként jelöltem meg a mérési bizonytalanság kezelésének hiányát, illetve a folyamatszabályozás informatikai támogatottságának hiányosságát.

Kutatásomat e problémakör vizsgálatára építettem, kutatási kérdéseim a következők voltak:

1. Elérhető-e fedezeti érték növekedés többdimenziós szabályozó kártya esetén is?
2. Meghatározható-e a kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós kártya alkalmazásakor?
3. Milyen irányú kapcsolat állítható fel a másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között?

A kutatási kérdéseimre pedig a következő feltételezéseket tettem:

1. A módszer alkalmazásával a többváltozós szabályozó kártya esetén is érhető el fedezeti érték növekedés.
2. A kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós esetben meghatározható.
3. A másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között pozitív irányú kapcsolat állítható fel.

A kutató munka során olyan kártyatervezési módszert mutattam be, amely lehetővé teszi a kockázatalapú többváltozós szabályozó kártya tervezését a vizsgált folyamatra vonatkozóan. A módszer alkalmazhatóságát ez után egy meghatározott öntvény mérési adatain teszteltem, ahol a szimuláció alapján az összes mintavételre számított összegzett fedezeti értéket 1,1%-al

tudtam növelni úgy, hogy lecsökkentettem az elkövetett másodfajú hibák számát. A kapott eredmények alátámasztják a módszer alkalmazhatóságát, így javaslataimat ennek megfelelően határoztam meg.

A P1-es problémára vonatkozóan (a mérési bizonytalanság kezelésének hiánya) J1-es javaslatom a kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya alkalmazásának bevezetése volt. A javaslat megvalósíthatóságának elemzése során megállapítottam, hogy a bevezetéshez szükséges beruházáshoz megközelítőleg 1233,6 € szükséges. Szimuláció segítségével arra az eredményre jutottam, hogy a beruházás a 9. hónap után megtérül és innentől kezdve már nagyobb fedezeti érték érhető el, ha a kockázatalapú többváltozós szabályozó kártya segítségével tartjuk kézben a vizsgált folyamatot.

P2-es problémaként a folyamatszabályozás informatikai támogatottságának hiányosságait jelöltem meg. J2-es javaslatom a szimuláció SciLab programban való megírása volt, ezzel együtt pedig egy kezelőfelület kialakítása. A megvalósíthatósági tanulmányban bemutattam az általam megadott kezelőfelületet kiindulási alapnak, amely a jövőben kiegészíthető, illetve tovább fejleszthető.

Az elért eredmények alapján kutatási kérdéseimre a következő válaszokat adom:

1. **kérdés:** Elérhető-e fedezeti érték növekedés többdimenziós szabályozó kártya esetén is?
1. **válasz:** Igen, a többdimenziós szabályozókártya alkalmazása esetén is érhető el fedezeti érték növekedés a mérési bizonytalanság figyelembe vételével.
2. **kérdés:** Meghatározható-e a kiterjesztési tényező optimális értéke a többdimenziós kártya alkalmazásakor?
2. **válasz:** Igen, a kiterjesztési tényező optimális értéke a szimuláció segítségével meghatározható.
3. **kérdés:** Milyen irányú kapcsolat állítható fel a másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték növekedés között?
3. **válasz:** A másodfajú hiba elkövetésének költsége és az összegzett fedezeti érték között pozitív irányú kapcsolat állítható fel.

A kutatás eredményeképpen mindhárom feltételezésem beigazolódott.

Így kutatásom során olyan kockázatalapú szabályozókártya tervezési folyamatot mutattam be, amely újdonságnak számít az adott területen, mellyel növelni tudtam az

összegzett fedezeti értéket vállalati példára vonatkozóan. Ami további nagy előny, amit munkám során szimulációval is alátámasztottam, hogy a javasolt módszer alkalmazhatósága nem követeli meg, hogy a mérési hiba normális eloszlást kövesen.

A továbbiakban azonban célszerű lehet a módszert kibővíteni a változó paraméterek bevezetésével, mint például változó minta elemszám, mintavételi időköz, vagy a beavatkozási határok.

IRODALOMJEGYZÉK

Magyar nyelvű szakirodalom

1. Bálint J. (2008): Minőség-Tanuljunk, tanítsuk, valósítsuk meg és fejlesszük tovább. 3. bővített kiadás, Budapest, Terc Kiadó, pp: 259-261. ISBN: 9639535524
2. Balogh A. (2010): A folyamatteljesítmény és a folyamatképesség statisztikai mutatói (1. rész). Magyar minőség, 19(4). pp: 5-15, ISSN: 1789-5502
3. Balogh A., Dukáti F., Sallay L. (1980): Minőség-ellenőrzés és megbízhatóság, Budapest, Műszaki Könyvkiadó. ISBN: 963 10 2586 1
4. Czimer G., Csányi I. (2010): Új ISO felmérés az irányítási rendszerek szabványai szerinti tanúsítványok számáról. Magyar minőség, 19(3). pp. 32-37.
5. Csikós I., Juhász T. (1998): Minőségtervezés és –irányítás, statisztikai folyamatszabályozás (SPC). NOVORG Kiadó, Budapest, ISBN 9634853153
6. Dr. Gaál Z. (1998): Általános menedzsment, Veszprém, Veszprémi egyetemi kiadó. ISBN: 9637332782
7. Feigenbaum A. V. (1991): Teljes körű minőségsszabályozás. 3. kiadás, Budapest, ExQualitas Libri Kft., pp: 68-72, 118. ISBN: 963-02-6564-8
8. Gáti E., (1997): A mérési bizonytalanság kétféle felfogásáról, Minőség és megbízhatóság, 34(61). pp: 21-33.
9. Gyöngy I. – Papp Zs. Cs. (2001): A folyamatos fejlesztés, a mutatószámok és a minőségcélok összhangja. Minőség és Megbízhatóság. 35(6). pp: 324-327.
10. Hegedűs Cs., Dr. Kosztyán Zs., (2008): Mérési bizonytalanság kezelése a mintavételes minőségsszabályozásban. V. Jedlik Ányos Szakmai Napok, Veszprém, 2008. március 27-29.
11. Hegedűs, Cs., Kosztyán, Zs. T., Katona, A.: Risk-based enhancement of statistical control charts taking measurement uncertainty and shift of parameters into account, Procedia Technology (kiadás alatt)
12. International Organisation for Standardisation, (1995): Guide to Expression to the Uncertainty in Measurement, 1. kiadás, Budapest, INNOVA press- Bt. pp: 3-4.
13. Ittész András, (1999): Többváltozós statisztikai folyamatszabályozás, Minőség és megbízhatóság, 33(5). pp: 226-231.

14. Katona A. (2013): Ellenőrző kártya illesztési folyamat kidolgozása a mérési bizonytalanság figyelembevételével a statisztikai folyamatszabályozásban, Egy csepp tudomány, Pannon Egyetem, ISBN: 978-615-5044-73-1
15. Katona A., (2012): A statisztikai folyamatszabályozás bevezetése, Logisztikai Híradó, 23(1). pp.:34-37
16. Kemény S., Papp L., Deák A., (1998): Statisztikai minőség-(megfelelőség) szabályozás, Budapest, Műszaki könyvkiadó. pp.: 37-38, 81-82, 87-88, 212-224. ISBN: 963 16 3006 4
17. Koczor Z., Göndör V., Gergász T., (2005): A mérési tevékenység folyamatos fejlesztése, Magyar Minőség, 14(5). pp: 21-26.
18. Kosztyán Zs. T., Hegedűs Cs. (2011): A mérési bizonytalanság kockázat alapú kezelése megfelelőségi döntésekben ipari körülmények között, Szigma XLII. pp. 43-55
19. Kovács Z., Dr. Kosztyán Zs., T., Dr. Csizmadia T., Hegedűs Cs., (2010): Mérés bizonytalanság figyelembe vétele a megfelelőség értékelésekor. Minőség és Megbízhatóság, 43(8). pp: 87-93.
20. Nemzeti Akkreditáló Testület, EAL 2. bizottsága (2003): A mérési bizonytalanság meghatározása kalibrálásnál. 1. kiadás, pp.: 8-10.
21. Pálffy A. (2005): Felkészítői szemmel az ISO/TS 16949:2000 minőségirányítási rendszer kialakítása. Minőség és megbízhatóság, 39(6). pp. 324-326.
22. Parányi, Gy. (2001): Minőséget gazdaságosan, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, pp.: 49-50, 52-53, 67-68. ISBN 963 16 3033 1
23. Pónyai Gy. (2004): A hazai és az európai tanúsított szervezetek átállása az ISO 9001:2000-es szabványra. Minőség és megbízhatóság, 38(6). pp. 321-325.
24. Róth A. (1996): Autóipari beszállítók új követelményrendszere, a QS-9000. 1. rész. Minőség és megbízhatóság, 30(3). pp. 29-33.
25. Veress, G. (1999): A minőségügy alapjai, Budapest, Műszaki Könyvkiadó. pp.: 40-42, 259-261. ISBN: 963 16 3049 8

Idegen nyelvű szakirodalom

1. Albers, W. Albers K., Wilbert C.M., Nurdianti, S. (2006) Data driven choice of control charts. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 136 (3). pp. 909-941. ISSN 0378-3758
2. 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
3. BinShams, M. A., Budman, H., M., Duever, T., A., (2011): Fault detection, identification and diagnosis using CUSUM based PCA. *Chemical Engineering Science*, Issue: 66, pp. 4488–4498
4. Chen H., Cheng Y., (2007): Non-normality effects on the economic–statistical design of $\bar{X}$ charts with Weibull in-control time, *European Journal of Operational Research*, Vol. 176(17). pp. 986–998, DOI:10.1016/j.ejor.2005.08.022
5. 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*, 143(3). pp. 600–610, DOI:10.1016/S0377-2217(01)00341-1
6. Chen Y. S., Yang Y. M., (2002): Economic design of $\bar{x}$ -control charts with Weibull in-control times when there are multiple assignable causes, *International Journal of Production Economics*, 77(1). pp. 17–23, DOI:10.1016/S0925-5273(01)00196-7
7. Chen, Y. K. (2007): Adaptive sampling enhancement for Hotelling’s T^2 charts. *European Journal of Operational Research*, Issue: 178., pp. 841–857.
8. Chen, Y. K., Hsieh, K. L., (2006): Hotelling’s T^2 charts with variable sample size and control limit, *European Journal of Operational Research*, 182(3). pp. 1251-1262, DOI:10.1016/j.ejor.2006.09.046
9. Chou C.-Y., Chen C.-H., Chen C.-H., (2006): Economic design of variable sampling intervals T^2 control charts using genetic algorithms, *Expert Systems with Applications*, 30(2). pp. 233–242, DOI:10.1016/j.eswa.2005.07.010
10. Costa, F. B. A., Machado, M. A. G., (2013): A single chart with supplementary runs rules for monitoring the mean vector and the covariance matrix of multivariate processes. *Computers & Industrial Engineering*, Issue: 66., pp. 431–437
11. Crosier, R. B. (1988). Multivariate generalization of cumulative sum quality-control schemes. *Technometrics*, 30(3), 291–303.

12. Dadi He. (2010): Engineering Quality Systems: Cost of Quality. Modern Applied Science, 4(5). pp.102-104, ISSN: 1913-1852
13. 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, 49(1-4). pp. 281-292, DOI: 10.1007/s00170-009-2390-3
14. EURACHEM/CITAC Working Group, (2007): Use of uncertainty information in compliance assessment, First Edition, pp. 7-8.
15. European co-operation for Accreditation, (2003): EA guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing, pp. 15-16.
16. European Federation of National Associations of, Measurement, Testing and Analytical Laboratories, (2002): Measurement Uncertainty in testing, No. 1/2002, pp. 9-10.
17. European Federation of National Associations of, Measurement, Testing and Analytical Laboratories, (2006): Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty for Quantitative Test Results, No. 1/2006, pp. 15-16.
18. 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, 35(3-4). pp. 783-790, DOI:10.1016/S0360-8352(96)00242-2
19. He David, Grigoryan Arsen, (2005): Multivariate multiple sampling charts, IIE Transactions, pp. 509–521, DOI: 10.1080/07408170490507837
20. Howarth P., Redgrave F., (2008): Metrology in short, 3. edition, IMERA project, pp. 21-22.
21. ILAC, (2009): Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, pp. 5-6.
22. Kao S.-C., Chuanching H., (2007): Robustness of R-Chart to Non Normality, Communications in Statistics—Simulation and Computation, 36(5). ISSN: 0361-0918, pp. 1089–1098.
23. Katalinic B. (2010): Statistical Quality Control methods of products and services, Annals of DAAAM for 2010 & Proceedings of the 21st International DAAAM Symposium, 21(1). ISSN 1726-9679
24. Kegel T. (2001): Statistical control of the measurement process, Congreso Internacional de Ductos, Mérida, Yucatán, 14 – 16 Noviembre del 2001

25. Kethley, B. R. (2008): Using Taguchi Loss Functions to Develop a Single Objective Function in a Multi-Criteria Context: A Scheduling Example. *International Journal of Information and Management Sciences*, 19(4). pp. 589-600.
26. Kim, B. S., Jitpitaklert, W., Sun-Kyoung Park, S-K., Hwang, S-J. (2012): Data mining model-based control charts for multivariate and autocorrelated processes. *Expert Systems with Applications*, Issue 39., pp. 2073–2081.
27. Luo Z., Li Z., Wang Z., (2009): Adaptive CUSUM control chart with variable sampling intervals, *Computational Statistics and Data Analysis*, 53(7). pp. 2693-2701, DOI: 10.1016/j.csda.2009.01.006
28. 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*, 34(4). pp. 1069 – 1079, ISSN: 0361-0918, DOI: 10.1080/03610910500308719
29. Montgomery,D.C. (1991): *Introduction to statistical quality control* 2nd edition, J. Wiley and Sons
30. Nanda V. (2003): A process for the deployment of corporate quality objectives. *Total Quality Management & Business Excellence*. 14(9). pp.1015-1021, DOI: 10.1080/1478336032000090923
31. National Institute of Standards and Technology, (1994): *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, NIST Technical Note 1297, pp. 15-16.
32. Poovich Phaladiganona, P., Kimb, B. S., Chena, V. C. P., Jiangc, W. (2013): Principal component analysis-based control charts for multivariate nonnormal distributions, *Expert Systems with Applications*, Issue: 40., pp. 3044–3054.
33. Pöllänen, K., Häkkinen, A., Reinikainen, S-P., Rantanen, J., Minkkinen, P. (2006): Dynamic PCA-based MSPC charts for nucleation prediction in batch cooling crystallization processes. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Issue: 84, pp. 126–133
34. Prabhu, S.S., Montgomery, D.C., Runger, G.C., 1994. A combined adaptive sample size and sampling interval X control scheme. *Journal of Quality Technology*, Issue 26, pp. 164–176.
35. Reid, Dan R. (2005): TS 16949 - Where did it come from?. *Minőség és megbízhatóság*, 39(3). pp. 165-170.

36. Reynolds Jr., M.R., Amin, R.W., Nachlas, J.C., 1988. X charts with variable sampling intervals. *Technometrics* Issue 30, pp. 181–192.
37. Serel Dog˘an A., Moskowitz H., (2008): Joint economic design of EWMA control charts for mean and variance, *European Journal of Operational Research*, 184(1). pp. 157–168, DOI: 10.1016/j.ejor.2006.09.084
38. Stapenhurst, T. (2005): *Mastering Statistical Process Control*, Elsevier Butterworth-Heinemann, p. 460. ISBN: 978-0-7506-6529-2,
39. Tang X., Wang M., Wang S., (2007): A systematic methodology for quality control in the product development process. *International Journal of Production Research*, 45(7). pp. 1561 – 1576, DOI: 10.1080/00207540600942367
40. Tuerhong, G., Kim, S., B., (2014): Gower distance-based multivariate control charts for a mixture of continuous and categorical variables. *Expert Systems with Applications*, Issue: 41, pp. 1701–1707
41. Vargas, V. C. C., Lopes, L. F. D., Souza, A. M. (2004). Comparative study of the performance of the CuSum and EWMA control charts. *Computers and Industrial Engineering*, 46(4), 707–724.
42. Villalobos, J. R. Mun, L. Gutierrez, M. A. (2005): Using fixed and adaptive multivariate SPC charts for online SMD assembly monitoring, *International. Journal of Production Economics*, Issue 95, pp.: 109-121.
43. Vommi V. B., Seetala, M. S. N. (2007): A new approach to robust economic design of control charts. *Applied Soft Computing*, Issue 7., pp. 211–228.
44. Wang, H.,(2007): Comparison of p control charts for low defective rate, *Computational Statistics and Data Analysis*, 53(1). pp. 4210-4220, DOI: 10.1016/j.csda.2009.05.024
45. Yang, S. F., Ko, C. Y., Yew, J. T. (2010): Using VSI Loss Control Charts to Monitor a Process with Incorrect Adjustment, *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, Issue: 39, pp.: 736–749.
46. Yu F.-J., Wu H. H., (2004): An economic design for variable sampling interval MA control charts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24(1-2). pp. 41–47, DOI: 10.1007/s00170-003-1625-y
47. Zhang, J., Li, Z., Wang, Z., (2010): A multivariate control chart for simultaneously monitoring process mean and variability. *Computational Statistics and Data Analysis*, Issue: 54, pp. 2244-2252.

48. Zhou W., Lian Z., (2011): Optimum design of a new VSS-NP chart with adjusting sampling inspection, *International Journal of Production Economics*, 129(1). pp. 8–13.

Mellékletek

KONZULTÁCIÓS LAP

Hallgató neve: Katona Attila Imre

Egyetemi témavezető neve, beosztása: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens

Külső konzulens neve, beosztása: Simone Smolinska, minőségügyi vezető

Diplomadolgozat tervezett címe: Kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya tervezése a Le Bélier Formaöntöde Zrt. -nél

Vállalat/intézmény: Le Bélier Formaöntöde Zrt.

Sorszám	A konzultáció időpontja	A konzultáció helye	A konzultáció tartalma	A hallgató által megoldandó feladatok	A következő konzultáció tervezett időpontja	Témavezető / Konzulens aláírása	Hallgató aláírása
1	2013.10.15	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Irodalmi rész vázának átbeszélése	Tartalomjegyzék előzetes összeállítása	2014.10.28		
2	2013.10.28	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	A gyűjtött tudományos cikkek értékelése	Összegyűjtött szakirodalom részletes feldolgozása	2013.12.02		
3	2013.12.02	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Irodalomkutatás megtervezése	Kutatás eredményeinek összeállítása	2013.12.16		
4	2013.12.16	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Struktúra áttekintése	Esetleges hibák javítása			

KONZULTÁCIÓS LAP

Hallgató neve: Katona Attila Imre

Egyetemi témavezető neve, beosztása: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens

Külső konzulens neve, beosztása: Simone Smolinska, minőségügyi vezető

Diplomadolgozat tervezett címe: Kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya tervezése a Le Bélier Formaöntöde Zrt. -nél

Vállalat/intézmény: Le Bélier Formaöntöde Zrt.

Sorszám	A konzultáció időpontja	A konzultáció helye	A konzultáció tartalma	A hallgató által megoldandó feladatok	A következő konzultáció tervezett időpontja	Témavezető / Konzulens aláírása	Hallgató aláírása
1	2014.01.13	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	A vállalati problémák identifikálása	Problémák struktúrájának kialakítása	2014.01.28		
2	2014.01.28	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Kutatási terv egyeztetése	Kutatási terv átgondolása, összeállítása	2014.02.20		
3	2014.02.20	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Saját módszer elméleti kidolgozása	Módszertani lépések kifejtése	2014.04.07		
4	2014.04.07	8200, Veszprém, Egyetem utca 10	Megvalósíthatósági tanulmány elméleti átgondolása	Számítások, elemzése elvégzése			

KONZULTÁCIÓS LAP

Hallgató neve: Katona Attila Imre

Egyetemi témavezető neve, beosztása: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens

Külső konzulens neve, beosztása: Simone Smolinska, minőségügyi vezető

Diplomadolgozat tervezett címe: Kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya tervezése a Le Bélier Formaöntöde Zrt.-nél

Vállalat/intézmény: Le Bélier Formaöntöde Zrt.

Sorszám	A konzultáció időpontja	A konzultáció helye	A konzultáció tartalma	A hallgató által megoldandó feladatok	A következő konzultáció tervezett időpontja	Témavezető / Konzulens aláírása	Hallgató aláírása
1	2013.10.14	8400,Ajka, Gyártelep	Szakirodalmi rész struktúra átbeszélése	A struktúra vázának meghatározása	2013.10.25		
2	2013.10.25	8400,Ajka, Gyártelep	SPC témakör tartalmának definiálása	A fejezet megírása a vállalati alkalmazások figyelembe vételével	2013.11.11		
3	2013.11.11	8400,Ajka, Gyártelep	A szakirodalmi kutatás áttekintése	Irodalomkutatás frissítése	2013.11.29		
4	2013.11.29	8400,Ajka, Gyártelep	Irodalmi rész érintett témaköreinek áttekintése	Esetleges hibák javítása			

KONZULTÁCIÓS LAP

Hallgató neve: Katona Attila Imre

Egyetemi témavezető neve, beosztása: Dr. Kosztyán Zsolt Tibor, egyetemi docens

Külső konzulens neve, beosztása: Simone Smolinska, minőségügyi vezető

Diplomadolgozat tervezett címe: Kockázatalapú többdimenziós szabályozó kártya tervezése a Le Bélier Formaöntöde Zrt.-nél

Vállalat/intézmény: Le Bélier Formaöntöde Zrt.

Sorszám	A konzultáció időpontja	A konzultáció helye	A konzultáció tartalma	A hallgató által megoldandó feladatok	A következő konzultáció tervezett időpontja	Témavezető / Konzulens aláírása	Hallgató aláírása
1	2014.01.18	8400,Ajka, Gyártelep	A vállalati problémák identifikálása	Problémák struktúrájának kialakítása	2014.02.13		
2	2014.02.13	8400,Ajka, Gyártelep	Javaslat átbeszélése	A javasolt módszer elméleti kidolgozása	2014.03.11		
3	2014.03.11	8400,Ajka, Gyártelep	Döntések költségvonzatának kalkulálása	A szimuláció lefuttatása a megadott adatokkal	2014.04.07		
4	2014.04.07	8400,Ajka, Gyártelep	Kapott eredmények egyeztetése	Esetleges hibák javítása, következtetések			