

OTDK-DOLGOZAT

2015

**KOCKÁZATALAPÚ TÖBBVÁLTOZÓS SZABÁLYOZÓ KÁRTYA
KIDOLGOZÁSA A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG FIGYELEMBE
VÉTELÉVEL**

**DESIGN OF RISK-BASED MULTIVARIATE CONTROL CHART
TAKING MEASUREMENT UNCERTAINTY INTO ACCOUNT**

Kézirat lezárva: 2014. június 15.

Tartalom

1.	BEVEZETÉS	6
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
2.1.	A MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSRÓL	3
2.1.1.	A megfelelés vs. minőség	3
2.1.2.	A minőségcélok	4
2.1.3.	A minőségköltségek	6
2.2.	A STATISZTIKAI FOLYAMATSZABÁLYOZÁS	8
2.2.1.	Az ellenőrző kártyák	9
2.2.2.	Többváltozós ellenőrző kártyák	10
2.2.3.	Az alkalmazhatóságot befolyásoló tényezők	12
2.3.	A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG	14
2.3.1.	Miért fontos a mérési bizonytalanság figyelembevétele?	15
2.3.2.	A mérési bizonytalanság kezelése	16
2.3.3.	Ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan	18
3.	SAJÁT MÓDSZER BEMUTATÁSA	19
3.1.	A MÓDSZER LÉPÉSEINEK ISMERTETÉSE	19
3.1.1.	Adatgyűjtés	19
3.1.2.	Megbízhatóság alapú T^2 kártya tervezése	19
3.1.3.	Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása	21
3.1.4.	Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével	22
3.2.	MIÉRT A SZIMULÁCIÓS MÓDSZER?	23
3.3.	SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK	24
4.	A MÓDSZER ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK BEMUTATÁSA GYAKORLATI PÉLDÁN KERESZTÜL	26
4.1.	ADATGYŰJTÉS	26
4.2.	A MEGBÍZHATÓSÁG ALAPÚ T^2 KÁRTYA TERVEZÉSE	27
4.3.	AZ EGYES DÖNTÉSTÍPUSOKHOZ TÁRSÍTHATÓ FEDEZETI ÉRTÉKEK MEGHATÁROZÁSA	28
4.4.	BEAVATKOZÁSI HATÁROK MÓDOSÍTÁSA A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG FIGYELEMBE VÉTELÉVEL (SZIMULÁCIÓ SEGÍTSÉGÉVEL)	29
5.	ÖSSZEFOGLALÁS	31
6.	IRODALOMJEGYZÉK	33

TÁBLÁZAT-ÉS ÁBRAJEGYZÉK

1. táblázat: Az ellenőrző kártyák kutatási területei	13
2. táblázat: A megfelelőség értékelésének lehetséges esetei	15
3. táblázat: A döntési mátrix szerkezete	21
4. táblázat: Az összegzett fedezeti érték alakulása a másodfajú hiba fedezeti értékének függvényében.....	24
5. táblázat: Az egyes döntésekhez társított fedezeti értékek.....	29
6. táblázat: A kapott eredmények	30
1. ábra: A minőségköltségek alakulása.....	7
2. ábra: A statisztikai folyamatszabályozás során végzett tevékenységek	9
3. ábra: A mérés eredményét befolyásoló tényezők	14
4. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a két vizsgált paraméter mérési bizonytalanságának függvényében	25
5. ábra: A vizsgált termék	26
6. ábra: A szimuláció során tervezett T^2 kártya	27
7. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a módszer alkalmazása során	32

1. BEVEZETÉS

A minőség szabályozás egyik legelterjedtebb módszere a statisztikai folyamatszabályozás (SPC), melynek segítségével megtudhatjuk, hogy a mért értékek ingadozása szisztematikus hatás(ok) eredménye, vagy pedig a véletlennek tudható be. A statisztikai folyamatszabályozás eszközei a szabályozó kártyák. Az első szabályozó kártyák tervezése W. A. Shewart nevéhez fűződik, aki 1924-ben publikálta munkáját. Kezdetben egyváltozós ellenőrző kártyákat alkalmaztak a vizsgált folyamat szabályozására. Gyakorta előfordul az iparban, hogy egy termék megfelelőségét egyidejűleg több minőségjellemző határozza meg. Ez esetben felmerül a kérdés, hogy érdemes-e minden jellemzőt külön szabályozó kártya segítségével figyelemmel kísérni. Ha a változók nem függetlenek, akkor a külön szabályozó kártyán történő vezetésük jelentősen megnövelheti a téves riasztás valószínűségét.

Ez a probléma nagymértékben járul hozzá a többdimenziós szabályozókártyák alkalmazásának létjogosultságához. Így több változó együttesen kísérhető figyelemmel egy szabályozókártya alkalmazásával.

A több változó együttes kezelése azonban nem az egyetlen felmerülő probléma a szabályozó kártyák területén. Komoly problémákat okozhat a mérési bizonytalanság is a kártyák alkalmazása során hozott döntésekkor. Ha a mérési hiba szórása nagy, akkor a folyamatról pontatlanabb 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 megfelelőség valójában megegyezik-e.

E dolgozat célja olyan többdimenziós szabályozó kártya kidolgozása, amely a kockázatalapon működik, figyelembe véve a mérési eredmények bizonytalanságát.

Dolgozatom első részében ismertetem a témával kapcsolatos hazai és idegen nyelvű szakirodalmat, majd bemutatom a fentiekben említett többdimenziós szabályozó kártya tervezésének menetét. E dolgozatban a kockázatalapú T^2 szabályozókártya tervezését végzem el.

A tervezés menetének ismertetése után a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát mutatom be egy autóipari vállalat mérési eredményeinek felhasználásával. Ennek során pedig megvizsgálom az összes mintavétel során számított összegzett fedezeti értéket a módszer alkalmazása előtt, illetve után.

Mivel a kártyák tervezésekor a megfelelőséget vizsgáljuk, lényeges tisztázni mi is a különbség a minőség, illetve a megfelelőség között. Ezért a következő fejezet ezzel a témával foglalkozik.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. 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 e tényezők biztosításához kapcsolódó témaköröket. Ehhez azonban először célszerű tisztázni mit is értünk az igény kielégítési folyamat alatt.

Az igény kielégítési folyamat

Emberi természetünkől adódóan igényeink vannak. Ezek az igények az értékrendünkől 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?

2.1.1. 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 kielégít-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 szempontból 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 megfelelőség 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 megfelelőség objektív, könnyen értékelhető és naturális dimenziójú fogalom. Ahhoz, hogy egy vállalat a megfelelőség, illetve a minőség magas színvonalát érjen el, alapvető fontosságú tényező a minőségcélok definiálása. (Veress, 1999)

2.1.2. 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 szólnak (Gyöngy, Papp, 2001).

A minőségcélok definiálását és megvalósításuknak módját segíti az úgynevezett FAIR modell alkalmazása. A modell elnevezése lépéseinek kezdőbetűiből származik (Focus, Alignment, Integration, Responsiveness). 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 alkalmazunk, 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)

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 kritériumon és/vagy szabályok meghatározása, amelyek segítségével felmérhető a stratégia sikere. (Parányi, 1999)

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

2.1.3. 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)

2.1.3.1. 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

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 minőségszínvonalának 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 üzemen 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)

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

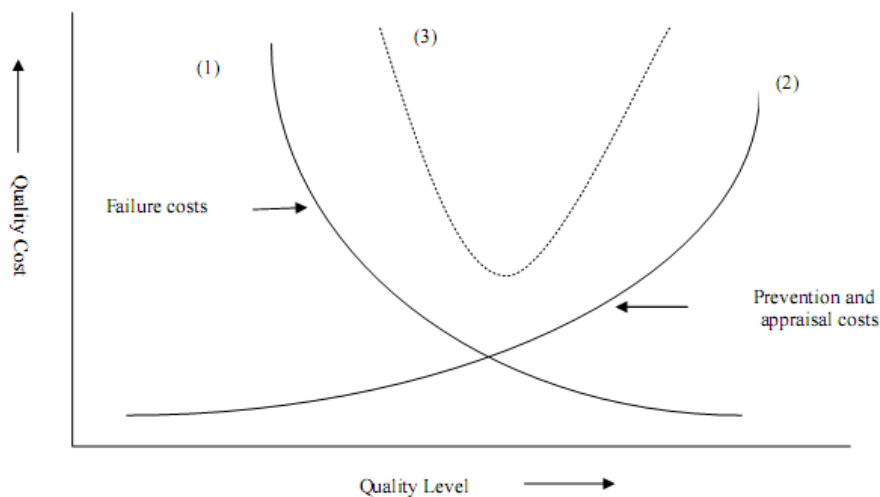
előírt minőségi követelményeknek. A nemmegfelelés költségei pedig azokkal a hibákkal járó költségek, amelyek miatt a gyártási folyamat nem tud az előírásoknak megfelelően működni. A teljes minőségköltséget e kettő komponens összege adja, vagyis:

$$\text{COQ}=\text{COC}+\text{CONC} \quad (1)$$

A gyakorlatban a vállalatok általában a hangsúlyt a nemmegfelelés költségeinek vizsgálatára helyezik.

2.1.3.2. 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

Forrás: Dadi, 2010

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)

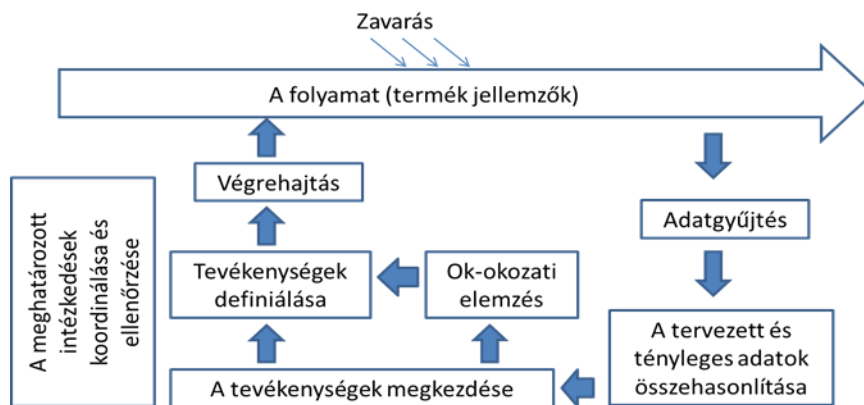
2.2. A STATISZTIKAI FOLYAMATSZABÁLYOZÁS

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, Koczor, 1999,)

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 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)

A mintavétel azonban a szükséges tevékenységeknek csak kis hányada. A módszernél alkalmazott körfolyamat ennél sokkal több lépésből áll. A statisztikai folyamatszabályozás alatt elvégezendő tevékenységek körfolyamatát mutatja be a 2. ábra. (Katalinic, 2010)



2. ábra: A statisztikai folyamatszabályozás során végzett tevékenységek

Forrás: Katalinic, 2010

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,)

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

2.2.1. 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 μ várható értéke és σ^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 kár-

tya 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).

2.2.1.1. 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.

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)

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)

2.2.2. 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)

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:

$$S_n = \max(0, S_{n-1} + (X_n - a) - k\sigma) \quad (2)$$

Az összefüggésben a a célérték, 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) kapott. A gyakorlatban ilyen módszerekkel nem csak az MCUSUM - kártya, hanem többváltozós exponenciálisan súlyozott mozgóátlag kártya (MEWMA) is alkalmazható.

Dimenzió redukciós módszer

Előfordulhat olyan eset is a gyakorlatban, hogy nagy számú 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:

$$T^2_{PCA} = \sum_{i=1}^k \frac{z_i^2}{l_i} \quad (3)$$

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!

2.2.3. Az alkalmazhatóságot befolyásoló tényezők

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

Az eddig ismertetett 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 2004-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 kiterjesztés) növekedését, illetve n (minta elemszám) és h (a mintavételek közt eltelt idő) csökkenését vonja maga után. α_4 értékváltozásának hatásait vizsgálva a következőket állapíthatjuk meg:

1. Alacsony α_3 esetén α és β értéke nő, ha α_4 értéke is növekszik.
2. Ha α_3 értéke alacsony, és $p_1=p_2=0,01$, (p_1 jelöli az α -ra vonatkozó, p_2 a β -ra vonatkozó felső korlát értékét) akkor α_4 értékének növekedésével együtt n' (minta elemszám optimális értéke) és k' (középvonaltól számított optimális kiterjesztési paraméter) értéke monoton nő. Ennek oka, hogy a gazdasági statisztikai 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)

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 következő alpont ismerteti.

2.2.3.2. Az ellenőrző kártyák használata az egyes alkalmazhatósági feltételek figyelembe vételével

Munkám során irodalomkutatót végeztem. ennek során azt vizsgáltam, hogy az eddigi hazai és idegen nyelvű szakirodalomban az ellenőrző kártyák mely területére vonatkozóan végeztek eddig kutatásokat. Ennek eredményét pedig az 1. táblázatban foglaltam össze.

1. 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_{α} , Z_{β}	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}	-	-

Forrás: 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), Katona A., (2013)

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 mintaelemszám, illetve a mintavételi időköz jellemzője (állandó, illetve változó). A napjainkban alkalmazott ellenőrző kártyák szinte mind megbízhatóság alapúak. A táblázat alapján is látható, hogy egyes területek még hiányosak. Célszerű lehet olyan kártya fejlesztése, amely képes kezelni a többváltozós eseteket, emellett alkalmazható normálistól eltérő eloszlás és változó mintaelemszám, illetve mintavételi időköz esetén. 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. Érdeemes megvizsgálni, hogy a többi méréses ellenőrző kártya kockázatalapú kidolgozásával szintén elérhető-e a minőségköltségek csökkentése.

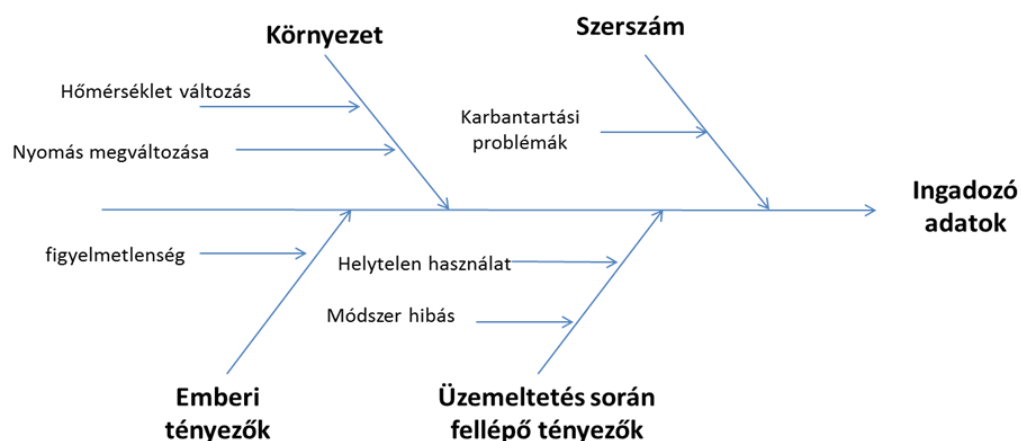
Többváltozós ellenőrző kártyák esetén főként a CUSUM, EWMA és T^2 kártyákkal foglalkoztak mélyrehatóan. Az alkalmazások olyan módszerével is találkozhatunk, ahol főkomponens elemzést alkalmaztak, a vizsgált változók számának csökkentésére.

E területére is igazak a korábbi megállapítások, mi szerint a kutatások eddig a megbízhatóság alapú szabályozó kártyák területével foglalkoztak.

A fentiekben már szó esett a statisztikai folyamatszabályozás elméleti háttéréről. Az SPC alkalmazásában a mérés központi szerepet játszik, éppen ezért nagyon fontos a mért értékek pontossága. A gyakorlatban sok tényező befolyásolhatja ezt. A következő alfejezet a mérési bizonytalanság, bemutatásával illetve annak kezelési módjával foglalkozik.

2.3. 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 3. ábrán látható Ishikawa diagramot (Kegel T., 2001 alapján).



3. ábra: A mérés eredményét befolyásoló tényezők

Forrás: Kegel, 2001

A kapott eredményt nagymértékben befolyásolhatja a mérőműszer állapota, ugyanis ha a karbantartás nem megfelelő, akkor 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). 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)

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

2.3.1. 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 megfeleléség valójában megegyezik-e. A döntés klasszikus modelljét mutatja be a 2. táblázat. (Kovács, Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2010)

2. táblázat: A megfeleléség értékelésének lehetséges esetei

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

Forrás: Kovács, Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2010

A megfeleléség 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 megfeleléség áll fenn és a mérések alap-

ján 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 megfelelőség értékelésekor döntésünk helyességére a következő tényezők lehetnek hatással:

- 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 megfelelőségéről hozott döntést. Első-, és másodfajú hiba egyaránt léphet fel az átadás-átvételi, gyártásközi, 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)

Láthattuk, hogy mérési bizonytalanság figyelembevétele miért lehet fontos tényező. A következő alfejezet a mérési bizonytalanság kezelését mutatja be.

2.3.2. A mérési bizonytalanság kezelése

Minél pontosabb méréseket tudunk elvégezni az általunk vizsgált folyamattal kapcsolatban, nyilvánvaló, hogy annál precízebb képet alkothatunk magáról a folyamatról.

A mérési bizonytalanság kezelése mindendarabos ellenőrzés esetén

Tegyük fel, hogy adott egy olyan mérőműszer, melynek jellemezni tudjuk a mérési bizonytalanságát. Ha a mérési pontokat mérési intervallumokkal helyettesítjük, akkor a következő szabályok állíthatók fel:

Megfelelő a termék

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] > LSL \quad \text{és} \quad [y(t) + k_{USL} \cdot u] < USL \quad k_{LSL}, k_{USL} \in \mathbb{R} \quad (4)$$

Nemmegfelelő termék

$$[y(t) - k_{LSL} \cdot u] \leq LSL \quad \text{vagy} \quad [y(t) + k_{USL} \cdot u] \geq USL \quad (5)$$

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. 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 nemmegfelelőség).

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:

$$c_M = c_{fr} + c_m \cdot m \quad (6)$$

ahol c_m egy mintadarab lemérésének 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 egységnivel nő), m_{fr} függvényében pedig hiperbolikus. 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. (Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2008)

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

2.3.3. Ajánlások a kiterjesztési tényezőre vonatkozóan

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

$$X = x \pm U \quad (7)$$

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:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (8)$$

Így az összefüggésben szereplő k paraméter a kiterjesztési tényező, melynek értékét az $x+U$, $x-U$ intervallumra vonatkozó 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 (Kosztyán Zs. T., Hegedűs Cs., 2011).

Az eddigiekben ismertettem a témával kapcsolatos szakirodalmi háttérrel. A következő nagy fejezetben bemutatom az általam továbbfejlesztett többdimenziós kockázatalapú szabályozókártya tervezési folyamat menetét.

3. SAJÁT MÓDSZER BEMUTATÁSA

A következőkben ismertetem a kártyatervezési folyamat lényeges pontjait. 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!

3.1. A MÓDSZER LÉPÉSEINEK ISMERTETÉSE

3.1.1. 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 során 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.

3.1.2. 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 H. 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:

$$\frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(x_2 - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} = SD^2 \quad (9)$$

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:

$$(X - \mu)' \Sigma^{-1} (X - \mu) = SD^2 \quad (10)$$

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

$$T^2 = n(\bar{X} - \mu)' S^{-1} (\bar{X} - \mu) \quad (11)$$

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

$$T^2 \sim \frac{(n-1)p}{n-p} F(p, n-p) \quad (12)$$

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 11-es számú egyenlet alapján, majd emellett az alábbi képlettel megadjuk a beavatkozási határ értékét:

$$UCL_{T^2} = \frac{p(m-1)(n-1)}{m(n-1)-p+1} F(p, m(n-1) - p + 1) \quad (13)$$

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. Ha megszerkesztettük a megbízhatóság alapú szabályozókártyát, ki kell számítanunk az egyes döntési kimenetekhez társított fedezeti értékeket. Ezt részletesen a következő lépésben tárgyaljuk.

3.1.3. Az egyes döntéstípusokhoz társítható fedezeti értékek meghatározása

Ahhoz, hogy a beavatkozási határokat módosíthassuk a mérési bizonytalanság figyelembevételével először is, költség, bevétel értékeket kell társítanunk az egyes döntésekhez, majd pedig e kettő érték különbségeként fedezeti értékeket számítunk. A 3. táblázat mutatja be a döntési mátrix szerkezetét:

3. 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 Specifikációs határ alapján Specifikációs határ alapján Specifikációs határ alapján	Beavatkozási határ alapján megfelelő	<i>Helyes elfogadás, beavatkozás helyes mellőzése</i> $\pi_{1111}=r_{1111}-c_{1111}$	<i>Helyes elfogadás, felesleges beavatkozás</i> $\pi_{1110}=r_{1110}-c_{1110}$	<i>Helytelen visszautasítás</i> $\pi_{1101}=r_{1101}-c_{1101}$	<i>Helytelen visszautasítás</i> $\pi_{1100}=r_{1100}-c_{1100}$
	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	<i>Helyes elfogadás, beavatkozás helytelen mellőzése</i> $\pi_{1011}=r_{1011}-c_{1011}$	<i>Helyes elfogadás, helyes beavatkozás</i> $\pi_{1010}=r_{1010}-c_{1010}$	<i>Helytelen visszautasítás</i> $\pi_{1001}=r_{1001}-c_{1001}$	<i>Helytelen visszautasítás</i> $\pi_{1000}=r_{1000}-c_{1000}$
	Beavatkozási határ alapján megfelelő	<i>Helytelen továbbbengedés</i> $\pi_{0111}=r_{0111}-c_{0111}$	<i>Helytelen továbbbengedés</i> $\pi_{0110}=r_{0110}-c_{0110}$	<i>Helyes visszautasítás</i> $\pi_{0101}=r_{0101}-c_{0101}$	<i>Helyes visszautasítás</i> $\pi_{0100}=r_{0100}-c_{0100}$
	Beavatkozási határ alapján nem megfelelő	<i>Helytelen továbbbengedés</i> $\pi_{0011}=r_{0011}-c_{0011}$	<i>Helytelen továbbbengedés</i> $\pi_{0010}=r_{0010}-c_{0010}$	<i>Helyes visszautasítás</i> $\pi_{0001}=r_{0001}-c_{0001}$	<i>Helyes visszautasítás</i> $\pi_{0000}=r_{0000}-c_{0000}$

Forrás: saját szerkesztés

A táblázatban r_{ijkl} az egyes döntésekhez társítható bevételt c_{ijkl} a költséget π_{ijkl} pedig a fedezeti értéket jelöli.¹

A döntési mátrix meghatározható a specifikációs, illetve a beavatkozási határok viszonylatában. Így pedig egy háromdimenziós táblázatot kapunk, ahol első dimenzió jelöli azt, hogy az adott érték a tényleges, vagy az általunk mért, a második a specifikációs határokhoz, a harmadik a beavatkozási határokhoz viszonyítva osztja fel a táblázatot. A döntéskor a következő esetek állhatnak fenn:

¹ 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.

3.1.4. Beavatkozási határok módosítása a mérési bizonytalanság figyelembe vételével

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:

$$y_i(t) = x_i(t) + m_i(t) \quad (14)$$

Ahol $x_i(t)$ a vizsgált jellemző t időpontban leérték 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 (Kosztyán, Csizmadia, Hegedűs, 2008).

Ha a mértértékeket mérési intervallumokkal helyettesítjük, akkor az adott intervallum hosszát úgy kapjuk meg, hogy a mérőműszer kalibrálásakor megállapított szórást szorozzuk egy k konstanssal. A k konstans értéke szimulációs módszerek segítségével meghatározható. Ha ismerjük a használt mérőműszer mérési bizonytalanságát, eloszlását, valamint a mérési hiba várható értékét, akkor, ha a mérési pontokat mérési intervallumokkal helyettesítjük, a következő relációt állíthatjuk fel a beavatkozási határookra vonatkozóan (4, illetve 5 alapján):

Megfelelő termék esetén:

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

Nem megfelelő termék esetén:

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

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.

3.2. 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 igen csak 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 feltevés a gyakorlat során sok esetben nem teljesül, így a kártya alkalmazhatósága korlátozódik. Ha a mért értékek eloszlása a nem követ normáeloszlást, 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 határ 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 a módszer alkalmazásával kapcsolatos szimulációs eredményeimet mutatom be.

3.3. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Munkám során szimuláció segítségével azt is megvizsgáltam, hogy az összegzett fedezeti érték mennyivel növelhető a javasolt módszer alkalmazása során. A szimulációk eredményét a 4. 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.

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

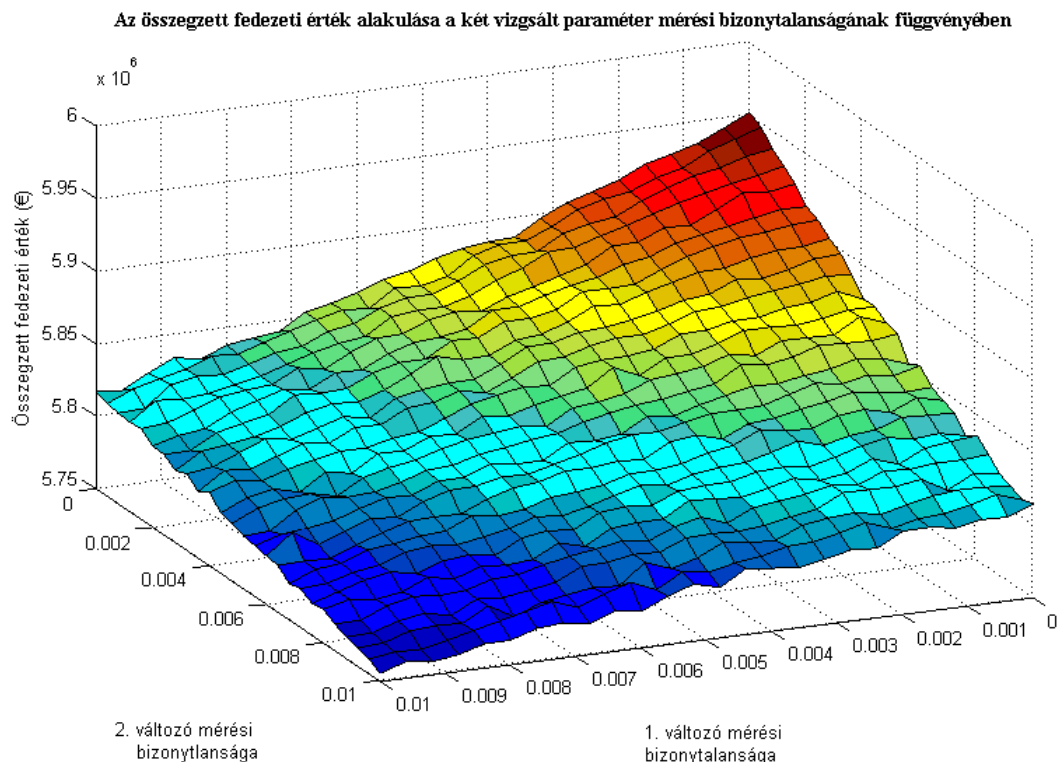
Másodfajú hiba (β) elkövetésének költsége (€)	Normális eloszlás ($\mu=0$, $\sigma=0,01$)	Béta eloszlás ($a=0.003$, $b=5$)	Weibull el- oszlás ($0,003$, $b=2$)	Lognormális eloszlás ($\mu=0$, $\sigma=0,01$)	Egyenletes eloszlás ($a=-$ $0,01$, $b=-$ $0,02$)
10	1,638	2,271	1,791	1,768	1,287
20	1,642	2,317	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

Forrás: saját szerkesztés

Amint a táblázatban látható, különböző eloszlástípusú mérési hiba generálása során is 1,2-2,5 %-os fedezeti érték növekedés volt elérhető. 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 a 4. ábra ismerteti a fedezet alakulását a két változó mérési bizonytalanságának függvényében.



4. ábra: Az összegzett fedezeti érték alakulása a két vizsgált paraméter mérési bizonytalanságának függvényében

Forrás: saját szerkesztés

Ahogy az ábrán is láthatjuk, a két változó mérési bizonytalansága nagymértékben csökkentheti az összegzett fedezeti értéket. Éppen ezért célszerű többdimenziós kártyák (esetünkben T^2 kártya) esetén is figyelembe venni e tényezőt a beavatkozási határok számításakor.

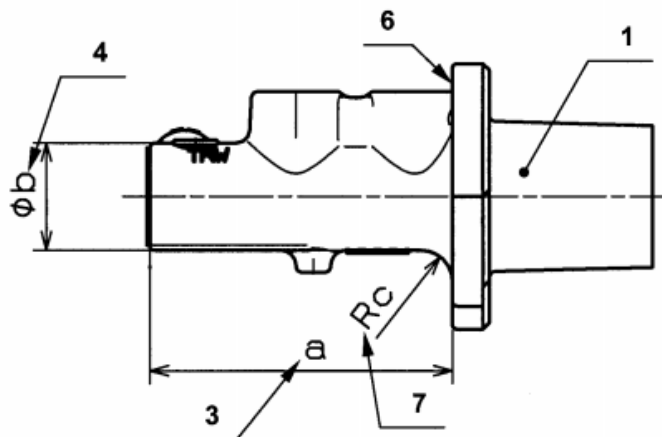
Az eddigiekben láthattuk a módszer alkalmazásának elméleti menetét, illetve szimulációs eredményeket ismertettem a folyamattal kapcsolatban. A következő fejezetben bemutatom a kártyatervezési módszer alkalmazhatóságát egy gyakorlati példán keresztül.

4. A MÓDSZER ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK BEMUTATÁSA GYAKORLATI PÉLDÁN KERESZTÜL

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.

4.1. 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). Az 5. ábra ismerteti az alkatrész méreteit:



5. ábra: A vizsgált termék

Forrás: vállalati műszaki rajz részlet

A két minőségjellemző tűrésére 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.

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.

4.2. 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:

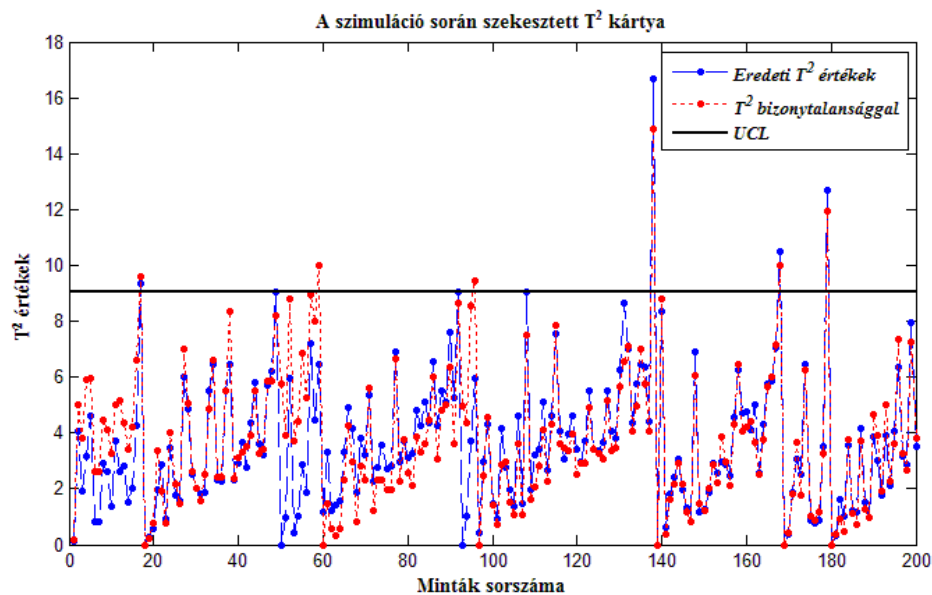
Átmérő:

- $\mu_{\text{átmérő}}=148,77$ [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 6. ábrán.



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

Forrás: saját szerkesztés

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 mért értékek a tényleges és a mért értékek is eltolódnak az idő elteltével. Ekkor azonban beavatkozunk a folyamatba, ezért a karbantartás után újra visszaállítódik az eredeti álla-

pot. A T^2 statisztika számításához mindkét esetben a 11. egyenletet alkalmaztam. A beavatkozási határt a következő képlettel számítottam (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:

$$UCL_{T^2} = \frac{(k-1)^2}{k} \text{Béta}\left(\frac{p}{2}, \frac{k-p-1}{2}\right) \quad (15)$$

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.

4.3. 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 az 5. táblázat az egyes esetekre vonatkozóan.

5. 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	3	-40	-23	-23
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő	-60	-23	-23	-23
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő	-102	-102	-11	-11
	Specifikációs határ alapján nem megfelelő	-102	-102	-11	-11

Forrás: saját szerkesztés

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

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

4.4. BEAVATKOZÁSI HATÁROK MÓDOSÍTÁSA A MÉRÉSI BIZONYTALANSÁG FIGYELMEBE 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 egymillió sokaságot szimuláltam. A szimuláció elvégzésével a következő eredményekre jutottam:

6. táblázat: A kapott eredmények		
Szempontok	T²	RBT²
<i>k</i>	0	0,24
UCL	9,1937	8,9537
Összegezett fedezeti érték (€)	2092000	2115000
Százalékos növekedés (%)	-	1,099

Forrás: saját szerkesztés

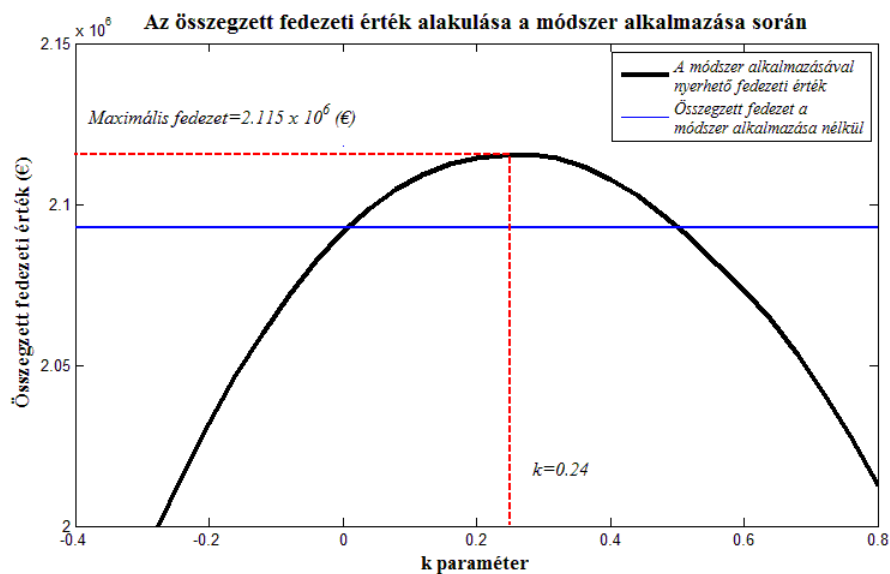
Ahogy az a táblázatból is látszik a módszer segítségével növelni tudtam a mintavétel során számított összegezett fedezeti értéket. A beavatkozási határ értékének változtatásával az összegezett fedezeti érték a módszer alkalmazásával ~1,1%-kal növekedett. Így a módszert a gyakorlati példa során sikeresen tudtam alkalmazni.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám során bemutattam a témával kapcsolatos hazai és idegen nyelvű szakirodalmi hátteret. A szakirodalmi feldolgozás során irodalomkutatást végeztem, amely során megállapítottam az alkalmazott szabályozókártyák azon szegmensét, ahol hiányosságok fedezhetők fel. Láthattuk, hogy a kockázatalapon működő szabályozókártyák alkalmazási területén már történtek kutatások az egydimenziós kockázatalapú kártyákra vonatkozóan, de a többdimenziós területen hiányosságokat fedezhettünk fel. Ezért dolgoztam második részében Olyan általam továbbfejlesztett kártyatervezési módszert mutattam be, amely újjásként egy többdimenziós kockázatalapon működő szabályozó kártyát (nevezetesen RBT²) illeszt a szabályozni kívánt folyamatra. A módszer bemutatása során rávilágítottam a megbízhatóság alapú T² kártya, illetve az analitikus tervezési módszerek hiányosságaira a szimulációval szemben. Az ismertetés után szimuláció segítségével azt is megvizsgáltam, hogy a mérési hiba normálistól különböző eloszlástípusai esetén is alkalmazható érhető-e el fedezeti érték növekedés. Az eredmények igazolták, hogy a mérési hiba normálistól különböző eloszlásai esetén is 1-2%-kal volt növelhető az összegzett fedezeti érték.

A többdimenziós kockázatalapú szabályozókártya tervezési módszerének bemutatása után teszteltem annak gyakorlati alkalmazhatóságát egy autóipari vállalat mérési eredményeinek felhasználásával, ahol a vizsgált termék egy főfőkhenger, melynek két meghatározó minőségjellemzőnek kell egyidejűleg megfelelnie (fűrészelési hossz, átmérő) a megfelelőség értékelésekor.

A vizsgált gyártási folyamatra így többdimenziós kockázatalapú T² kártyát illesztettem. A beavatkozási határok módosítása során egymilliószori mintavételt szimuláltam az adatgyűjtés során nyert adatok felhasználásával. A beavatkozási határ módosításával az összes mintavételre számított összegzett fedezeti érték 2092000 €-ról 2115000 €-ra növekedett, ami 1,099%-os fedezeti érték növekedést jelent. A 7. ábra szemlélteti az összegzett fedezeti érték alakulását a k paraméter függvényében.



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

Forrás: saját szerkesztés

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 8,9537. 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.

Az elért eredmények alátámasztják a módszer alkalmazhatóságát és eredményességét. További kutatási irányt jelenthet azonban a módszer kidolgozása változó paraméterű többdimenziós kártyákra vonatkozóan.

IRODALOMJEGYZÉK

Magyar nyelvű szakirodalom

1. Balogh A. (2010): A folyamatteljesítmény és a folyamatképesség statisztikai mutatói (1. rész). Magyar minőség, 19. évf., 4. szám, pp. 5-15.
2. Feigenbaum A. V. (1991): Teljes körű minősszabályozás. 3. kiadás, Budapest, ExQualitas Libri Kft., pp. 68-72, 118.
3. Gáti E., (1997): A mérési bizonytalanság kétféle felfogásáról, Minőség és megbízhatóság, 34. évf., 61. szám, pp. 21-33.
4. Gyöngy I. – Papp Zs. Cs. (2001): A folyamatos fejlesztés, a mutatószámok és a minőségcélok összhangja. Minőség és Megbízhatóság. 35. évf., 6. szám, pp. 324-327.
5. Hegedűs Cs., Dr. Kosztyán Zs., (2008): Mérési bizonytalanság kezelése a mintavételes minősszabályozásban. V. Jedlik Ányos Szakmai Napok, Veszprém, 2008. március 27-29
6. International Organisation for Standardisation, (1995): Guide to Expression to the Uncertainty in Measurement, 1. kiadás, Budapest, INNOVA press- Bt. pp. 3-4.
7. Ittész A., (1999): Többváltozós statisztikai folyamatszabályozás, Minőség és megbízhatóság, 33. évf., 5. szám, pp. 226-231.
8. Katona A. (2013): Ellenőrző kártya illesztési folyamat kidolgozása a mérési bizonytalanság figyelembevételével a statisztikai folyamatszabályozásban, Egy csepp tudomány, Pannon Egyetem
9. Kemény S., Papp L., Deák A., (1998): Statisztikai minőség-(megfelelőség) szabályozás, Budapest, Műszaki könyvkiadó. pp. 37-38, 81-82, 87-88, 212-224.
10. Koczor Z., Göndör V., Gergász T., (2005): A mérési tevékenység folyamatos fejlesztése, Magyar Minőség, 14. évf., 5. szám, pp. 21-26.
11. Kosztyán Zs. T., Hegedűs Cs. (2011): A mérési bizonytalanság kockázat alapú kezelése megfelelőségi döntésekben ipari körülmények között, Szigma XLII. pp. 43-55.
12. Kovács Z., Dr. Kosztyán Zs., T., Dr. Csizmadia T., Hegedűs Cs., (2010): Mérési bizonytalanság figyelembe vétele a megfelelőség értékelésekor. Minőség és Megbízhatóság, 43. évf., 8. szám, pp. 87-93.

13. Parányi, Gy. (2001): Minőséget gazdaságosan, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, pp. 49-50, 52-53, 67-68.
14. Veress, G. (1999): A minőségügy alapjai, Budapest, Műszaki Könyvkiadó. pp. 40-42, 259-261.

Idegen nyelvű szakirodalom

1. 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
2. Chen H., Cheng Y., (2007): Non-normality effects on the economic–statistical design of X charts with Weibull in-control time. European Journal of Operational Research, Vol. 176, Issue 17, pp. 986–998.
3. Chen Y. S., Yang Y. M., (2002): An extension of Banerjee and Rahim’s model for economic design of moving average control chart for a continuous flow process. European Journal of Operational Research, Vol. 143, Issue 3, pp. 600–610.
4. Chen Y. S., Yang Y. M., (2002): Economic design of x-control charts with Weibull in-control times when there are multiple assignable causes. International Journal of Production Economics, Vol. 77, Issue 1, pp. 17–23.
5. Chen, Y. K. (2007): Adaptive sampling enhancement for Hotelling’s T^2 charts. European Journal of Operational Research. Issue: 178., pp. 841–857.
6. Chen, Y. K., Hsieh, K. L., (2006): Hotelling’s T^2 charts with variable sample size and control limit. European Journal of Operational Research, Vol. 182, Issue 3, pp. 1251-1262.
7. 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, Vol. 30, Issue 2, pp. 233–242.
8. Dadi He. (2010): Engineering Quality Systems: Cost of Quality. Modern Applied Science, Vol. 4, Issue 5, pp.102-104.
9. 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, Vol. 49 Issue 1-4, pp. 281-292.
10. EURACHEM/CITAC Working Group, (2007): Use of uncertainty information in compliance assessment. First Edition, pp. 7-8
11. European co-operation for Accreditation, (2003): EA guidelines on the expression of uncertainty in quantitative testing. pp. 15-16.
12. 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

13. European Federation of National Associations of, Measurement, Testing and Analytical Laboratories, (2002): Measurement Uncertainty in testing, No. 1/2002, pp. 9-10
14. ILAC, (2009): Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, pp. 5-6
15. Kao S.-C., Chuanching H., (2007): Robustness of R-Chart to Non Normality, Communications in Statistics—Simulation and Computation, Vol. 36, Issue 5, pp. 1089–1098.
16. 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)
17. Kegel T. (2001): Statistical control of the measurement process, Congreso Internacional de Ductos, Mérida, Yucatán, 14 – 16 Noviembre del 2001
18. Luo Z., Li Z., Wang Z., (2009): Adaptive CUSUM control chart with variable sampling intervals. Computational Statistics and Data Analysis, Vol. 53, Issue 7, pp. 2693-2701.
19. Maravelakis P. E., Panaretos J., Psarakis S., (2005): An Examination of the Robustness to Non Normality of the EWMA Control Charts for the Dispersion. Communications in Statistics - Simulation and Computation, Vol. 34, Issue 4, pp. 1069 – 1079.
20. Nanda V. (2003): A process for the deployment of corporate quality objectives. Total Quality Management & Business Excellence. Vol. 14, Issue 9, pp.1015-1021.
21. 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.
22. 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.
23. Serel Dog˘an A., Moskowitz H., (2008): Joint economic design of EWMA control charts for mean and variance. European Journal of Operational Research, Issue. 184, pp. 157–168.

24. 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
25. Wang, H.,(2007): Comparison of p control charts for low defective rate, *Computational Statistics and Data Analysis*. Vol. 53. Issue 12, pp. 4210-4220
26. Yu F.-J., Wu H. H., (2004): An economic design for variable sampling interval MA control charts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 24, Issue 1-2, pp. 41–47.
27. 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.
28. Zhou W., Lian Z., (2011): Optimum design of a new VSS-NP chart with adjusting sampling inspection. *International Journal of Production Economics*, Issue: 129, pp. 8–13.