

# A MEGFELELŐSÉG ÉRTÉKELÉSÉNEK ÁTALAKÍTÁSA A BIZONYTALANSÁGOK ÉS KOCKÁZATOK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

## MODIFICATION OF CONFORMANCE ASSESSMENT TECHNIQUES CONSIDERING UNCERTAINTIES AND RISKS

**HEGEDŰS CSABA egyetemi tanársegéd**  
Pannon Egyetem Kvantitatív Módszerek Intézeti Tanszék

### **Abstract**

The fierce competition for customers gives a double pressure onto companies: to reduce costs, to keep or to improve quality. Right decisions on product conformity are vital for profitability. Widely used classical conformity assessment and process control techniques alone are not able to meet these requirements. One of their drawbacks is that they neglect the uncertainty of measurements. Variance of measure is added to the variance of the process resulting a greater fluctuation of data. In this case variance related calculations lead to poor acceptance decisions, especially close to the tolerance limits. In this paper a new risk-based approach is presented and particular techniques are proposed for taking measurement uncertainty and consequences of the decision into consideration hence critical values for acceptance decisions can be optimized. The proposed method gives the optimal results even if the normality criteria of the probability distribution is violated. Application of the technique is illustrated on a small practical problem.

### **1. Bevezetés**

A kockázatok feltárása, számítása, kezelése és azok lépéseinek átlátható adminisztrálása egyre több területen válik az üzleti működés szükségszerű feladatai közé. Egyre több iparágban épül be a meglévő szabványokba, vagy jön létre új szabványként a kockázatkezelési tevékenység vagy eljárás, például autóiparban, elektronikai iparban az FMEA, vegyiparban a HAZOP, élelmiszeriparban a HACCP, atomerőműveknél a PSA/PRA (Kovács & Pató Gáborné Szűcs, 2006). A kockázatok kezelése azonban nem vált a már meglévő minőség/megfelelőség-ellenőrzési eljárások részévé, azok megmaradnak a megbízhatóság központú megközelítés szintjén. Kizárólag a döntési hibák valószínűségén, a kimenetel megbízhatóságán alapuló döntések azonban eredményességben elmaradnak a lehetséges következményeket is figyelembe vevő és azokat célfüggvénybe építő döntésektől. A döntések meghozatalakor fellépő becslési és mérési bizonytalanság számszerűsítésével és a döntési kritériumok módosításával új megközelítésbe helyezhető a minőség szabályozás.

A megfelelőség ellenőrzése és a mérés hibájának, bizonytalanságának meghatározására szolgáló eljárások a gyakorlatban külön kezelt feladatok. A mérési bizonytalanság meghatározása gyakran csak a megfelelő mérőműszer és vizsgálati módszer kiválasztására szolgál egy adott megfelelőség-értékelési feladat esetében.

A megfelelőség értékelésében a mért értéket vetjük össze valamilyen elfogadási határokkal. Ha a mért érték a határokon belül, az elfogadási tartományban van, akkor megfelelőnek ítéljük és elfogadjuk, ha azon kívül esik, akkor nem-megfelelőnek ítéljük és vissza-

utasítjuk a terméket. Az elfogadási határ lehet valamilyen műszaki tűréshatár, vagy annál szigorúbb szabályozási határ is. A mérési bizonytalanságnak köszönhetően az  $y$  mérési eredmény és az  $x$  tényleges érték különbözik egymástól. A mérési eredmény alapján döntünk, de a valódi megfelelőséget a tényleges érték és az elfogadási határok viszonya szabja meg. Ez a kettősség négy döntési kimenetelt okozhat (1. táblázat): helyes elfogadást és helyes visszautasítást, illetve két döntési hibát. Az elsőfajú döntési hiba esetén a valójában jó termékről hisszük a mérési eredmények alapján, hogy az nem megfelelő, és feleslegesen selejtezzük le. Másodfajú döntési hibát követünk el akkor, ha a mérési bizonytalanság elfedi a nem-megfelelőséget és elmarad a hibás termék visszautasítása. Ezekhez az esetek  $r_{ij}$  bevételeket és  $c_{ij}$  költségeket társíthatunk, a kettő különbségeként pedig megkapjuk az egyes döntési kimenetek  $\pi_{ij}$  fajlagos fedezetét.

1. táblázat. A megfelelőségi döntés négy kimenetele és a hozzájuk kapcsolódó fedezetek

Table 1. Profits of the four possible decision outcomes

Fedezet		Döntés	
		Megfelelő (1)	Nem megfelelő (0)
Tény	Megfelelő (1)	$\pi_{11}=r_{11} - c_{11}$ Helyes elfogadás	$\pi_{10}=r_{10} - c_{10}$ Felesleges beavatkozás
	Nem megfelelő (0)	$\pi_{01}=r_{01} - c_{01}$ Helytelen elfogadás	$\pi_{00}=r_{00} - c_{00}$ Helyes beavatkozás

Forrás: Kovács, et al., 2010. alapján

Ha mintából becsüljük a sokaság megfelelőségét átvételi minőség-ellenőrzés vagy statisztikai folyamatszabályozás során, akkor a mérési bizonytalansághoz becslési bizonytalanság is társul.

A statisztikai folyamatszabályozásban (SPC) alkalmazott szabályozó kártyáknál már nem tűréshatárokhoz, hanem számított beavatkozási határokhoz viszonyítunk. A szabályozó határon kívül esés nem jelenti selejtek keletkezését, csak a folyamatszabályozás szükségességét. Az SPC-ben a folyamatot szabályozottnak mondjuk, ha a korábbi megfigyelésekre alapozva meghatározható annak a valószínűsége, hogy a következő értékek egy adott tartományba esnek (Shewhart, 1931) (Montgomery, 1996). A szabályozó kártyák vezetése és vizsgálata tulajdonképpen egy hipotézisvizsgálat (Neyman & Pearson, 1933): arra keressük a választ, hogy megegyezik-e a folyamatunk a korábbi – szabályozottnak tekintett – folyamattal.

A szabályozó kártyák határainak megállapításánál a megfigyelt jellemző általában normál eloszlásúnak feltételezünk, de ez a normalitás nem mindig áll fenn (Schippers, 1998). Habár a hagyományos (Shewhart-féle) szabályozó kártyák akkor is működnek, ha a normalitás feltétele sérül, az alacsony mintaelemszám jelentősen növelheti a döntési hibát (Schilling & Nelson, 1976). Hasonlóan helytelen a normalitás feltételezése azokban az esetekben, amikor a várható érték közel esik a nullához, de negatív értékek nem képezik az értelmezési tartomány részét (pl. tömeg mérésénél). Ez akkor jelent igazán gondot, ha az egyik döntési hiba a másikhoz képest jelentősen nagyobb hátrányt okoz a vevőnek vagy a termelőnek, de ez a különbség nem tükröződik a normalitást feltételező, megbízhatóság központú döntési szabályokban.

A döntési hibák száma és/vagy következményeik összesített nagysága csökkenthető, ha a döntési szabályok megalkotásánál figyelembe vesszük a tényleges mérési és becslési bizonytalanságokat, és a kockázatoknak megfelelően módosítjuk az elfogadási és szabályozási határokat.

## 2. Mérési bizonytalanság

A mérési bizonytalanság jellemzésére és értékelésére 20 éve létezik nemzetközi ajánlás (BIPM, et al., 1993), amely szerint a mérési bizonytalanság a „mérési eredményhez társított paraméter, amely a mérendő mennyiségnek megalapozottan tulajdonítható értékek szóródását jellemzi” (BIPM, et al., 1993, p. 3). A bizonytalanságot  $\sigma_m$  szórással (standard bizonytalanság) vagy  $k\sigma_m$  sugarú konfidencia-intervallummal (kiterjesztett bizonytalanság) jellemzik az ajánlás alapján. A gyakorlatban az intervallum nagyságát megadó kiterjesztett bizonytalanság alkalmazása terjedt el normális eloszlást feltételezve, általában a szórással kétszeresét ( $k = 2$ ) véve az intervallum sugarának. Az így megadott intervallum, normális eloszlás esetén, lefedi a megfigyelések több mint 95%-át, ettől eltérő esetben alá vagy fölé becsülhetjük a megbízhatósági szintet (Vilbaste, et al., 2010). Ezért szükséges a bizonytalanságot teljes valószínűségi eloszlásként kezelni a mérési eredményekre alapozott döntéseknél, nem csak a mérési eredmények szórását, illetve annak kiterjesztését tekinteni (Rossi & Crenna, 2006). Az ajánlások, iparági szabványok megbízhatóság alapon határozták meg a mérési eredmény megadásához figyelembe veendő kiterjesztési tényezőt, hisz a metrológusnak nem feladata a döntési hibák következményeinek számba vétele és értékelése, ő csak a mérés vagy mérőműszer jóságát adja meg. Ez viszont nem jelenti, hogy ott, ahol a mérési eredményre döntést is alapoznak, ne kellene a bizonytalansággal és a kockázatokkal számolni.

A mérési bizonytalanság okozta kockázat kétféleképpen csökkenthető, ha csökkenteni tudjuk a bizonytalanságot (Kosztyán, et al., 2010), vagy ha figyelembe vesszük azt, és ennek megfelelően módosítjuk döntésünket.

Laboratóriumi vizsgálatok esetén több javaslat is született a mérési bizonytalanság figyelembevételére. Pendrill (2006) a célnak való megfelelés alap gondolatát terjesztette ki a mérési bizonytalanság kezelésére, amely szerint meg kell találni az egyensúlyt a megkívánt pontosságtól függő mérési költségek és hibás döntések kockázata között. Pendrill a vizsgálatait a mérésügy, mérőműszerek és mérések értékelésének területére korlátozta, nem elsősorban azzal foglalkozott, hogy ismert bizonytalanságú mérés esetén milyen döntési szabályt alkossunk egy termék vagy folyamat megfeleléséről. (Forbes, 2006) a megfelelés értékét Bayes-döntésként kezelte, a cselekvéseket kiegészítette az újraméréssel és így határozta meg a mérési eredményhez kapcsolódó legkisebb költségű cselekvési változatot. Azonban a költségeknél nem számolt a helyes döntések költségével.

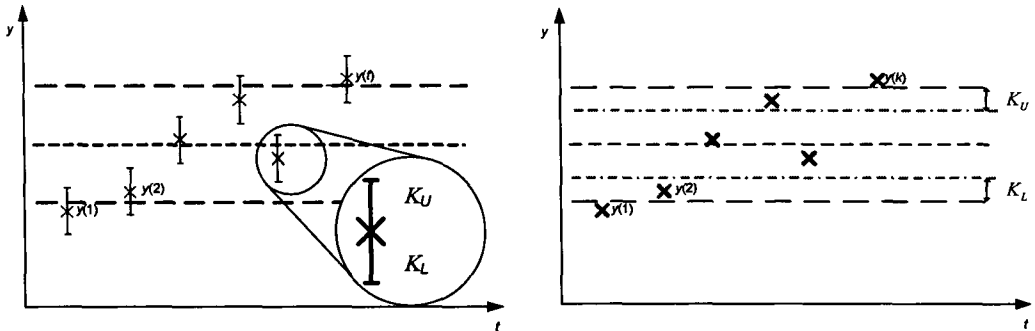
## 3. A megfelelés-értékelés átalakítása

Az 1. táblázatban bemutatott fajlagos fedezeteket súlyozva azok bekövetkezési valószínűségével megkapjuk a várható (fajlagos) fedezet nagyságát. Tehát az összes vagy az egy termékre vonatkoztatott fedezet mértéke a döntési kimenetek fajlagos fedezeteitől és az egyes kimenetek bekövetkezési valószínűségétől függ. Rövidtávon a bekövetkezési valószínűségek változtathatóak könnyebben a döntési szabály módosításával. A következő alfejezetekben bemutatom a várható fedezet maximálására kidolgozott módszerünket mindendarabos és mintavételes esetekre is.

### 3.1. Döntési kockázatok és mérési bizonytalanság kezelése mindendarabos vizsgálatban

A döntési szabályt úgy módosítjuk, hogy a kiterjesztett bizonytalansághoz hasonlóan az  $y$  mérési eredményhez csatolunk egy alsó ( $K_L$ ) és egy felső ( $K_U$ ) intervallumot és ezt vizsgáljuk a specifikációs határok között ( $y - K_L \geq LSL$  és  $y + K_U \leq USL$ ), vagy magukat a határokat módosítjuk ugyanekkora mértékben ( $LSL + K_L \leq y \leq USL - K_U$ ). A két megközelítést szemlélteti az 1. ábra. A kiterjesztett bizonytalanság  $k\sigma_m$  sugarú tartományától azonban jelentősen eltér ez a  $K_L$  és  $K_U$  korrekciós tag. Egyrészt  $K_L$  és  $K_U$  egymástól különböző értéket is felvehet a kiterjesztett bizonytalanságtól eltérően. Másrészt e korrekciós tagokat a kockázatok minimalizálására hoztuk létre, így azok nem csak a mérési bizonytalanságtól, hanem az összes, a modellbe beépíthető bizonytalanságtól és a döntésekhez köthető feltételes fedezetektől is függenek.

1. ábra. A mérési bizonytalanság kockázatalapú figyelembevétele  
Figure 1. Risk-based consideration of measurement uncertainty



Legyen  $\Pi(K_L, K_U) = p_{11}(K_L, K_U)\pi_{11} + p_{10}(K_L, K_U)\pi_{10} + p_{00}(K_L, K_U)\pi_{00} + p_{01}(K_L, K_U)\pi_{01}$  a  $K_L$  és  $K_U$  korrekciós tagoktól függő várható fedezet, ahol  $p_{ij}(K_L, K_U)$  az egyes kimenetek  $K_L$  és  $K_U$  tagoktól függő bekövetkezési valószínűsége. A  $K_L$  és  $K_U$  értéke analitikusan vagy szimulációk segítségével meghatározható (Kosztyán & Hegedűs, 2011).

### 3.2. Mintavételes ellenőrzés és statisztikai folyamatszabályozás átalakítása

A mintavételes esetekben új elemek jelennek meg a modellben a mérési bizonytalanság mellett a mintából való becslés bizonytalanságával is számolnunk kell. Új változó lesz az  $n$  mintaelemszám és  $N$  a sokaság mérete, amit két mintavétel között legyártott mennyiségként is értelmezhetünk, ha folyamatból veszünk mintát. Mind a mintavételhez, mind a mintában lévő elemek leméréséhez társítható költség, ezek legyenek rendre  $c_N$  és  $c_n$ . Így a mintavételes ellenőrzés költsége  $(M/N) \cdot (c_N + n \cdot c_n)$  értékkel csökkenti az összes fedezetet ( $M$  az összes termékegyed száma), valamint a mintából való becslés bizonytalansága is változik az  $N/n$  arány változásával.

Az optimális  $K_L$  és  $K_U$  értékek meghatározásához szimulációkat állítottam össze Matlabban. A  $\pi_{ij} = r_{ij} \cdot c_{ij}$  döntési kimenetekhez tartozó fedezetek, az LSL, USL specifikációs határok, a tényleges érték eloszlása (típusa és paraméterei), a mérési bizonytalanság eloszlása (típusa és paraméterei) bemenő paraméterként szerepel. Habár a gyakorlatban a vizsgált jellemző tényleges értékének eloszlása közvetlenül nem figyelhető meg, a mért

érték és a mérési bizonytalanság eloszlásából dekonvolúció segítségével meghatározható. További bemenő paraméter az  $n$  és  $N$ , valamint a hozzájuk kapcsolódó költségek. Emellett egy elfogadási szabály is definiálható, hogy a minta hányad részének kell megfelelő minősítést szerezni, hogy elfogadjuk a tételt.

A szimulációval létrehozzuk a tényleges  $x$  értékeket, majd ezekre  $m$  mérési bizonytalanságot illesztünk a bemeneti eloszlásoknak megfelelően. Mind a tényleges értéket mind a bizonytalansággal terhelt  $y$  mérési eredményt eltárolja a számítógép, így lehetőséget biztosítunk a megfelelőségről hozott döntések helyességének vizsgálatára és az egyes döntési hibák számának meghatározására.

A szimuláció során megadható, hogy mely  $K_L$  és  $K_U$  értékek adnak jobb megoldást annál, mintha nem vennénk tudomást a bizonytalanságról. Az is meghatározható, hogy az így kapott fedezetek a bizonytalanságmentes esetben ( $y = x$ ,  $m = 0$ ) elérhető fedezetértékhez képest milyen távol vannak. Kiválasztható a legmagasabb összes várható fedezetet adó  $K_L$  és  $K_U$  érték. Ezek lesznek ennél a rögzített mintavételi tervnél az optimális korrekciós tényezők.

A szimuláció következő lépésében az  $N$  és  $n$  párokat, valamint a hozzájuk tartozó optimális korrekciós tagokkal elérhető fedezeteket vethetjük össze. Ebben a lépésben megkapjuk a legjobb eredményt adó mintavételi tervet is.

A mintavételes vizsgálathoz elkészített szimuláció kezdeti lépései, a tényleges értékek és a mérési bizonytalanság generálása, a mért értékek előállítása ugyanúgy felhasználható a szabályozókártyák vizsgálatára. A tűréshatárok mellett azonban a beavatkozási határookra is szükségünk van. Ezeket a gyakorlatban szokásos határkialakítás szabályait figyelembe véve határoztam meg. Az így kapott határoktól való eltérést adja meg a  $K_L$  és  $K_U$  értéke. Ez azt jelenti, hogy korábban a tűréshatárokhoz (LSL és USL) rendeltem korrekciós tagokat, mivel a tűréshatárok egyben elfogadási határok is voltak. A szabályozó kártyáknál az elfogadási és a tűréshatárok szétválásával a korrekciós tag továbbra is csak az elfogadási határhoz illeszkedik, az elfogadási döntést módosítja. A tűréshatár sem most, sem a korábbi esetekben nem módosul, hiszen az termék vagy folyamat tervezésekor kerül kialakításra és az alapvető működést befolyásolja a teljesülésük vagy nem teljesülésük. Ennek megfelelően költségként nem a selejtezés, selejtté válás költsége, hanem a beavatkozás költsége jelenik meg. Ezzel az átalakítással a korábbi fedezetszámítási módszer továbbra is használható. A szimuláció során több különböző kártya szerinti szabályozást is tesztelhetünk, így kiválasztható lesz végül az adott folyamathoz leginkább alkalmazható.

#### **4. Gyakorlati példa a mérési bizonytalanság kockázatalapú kezelésére**

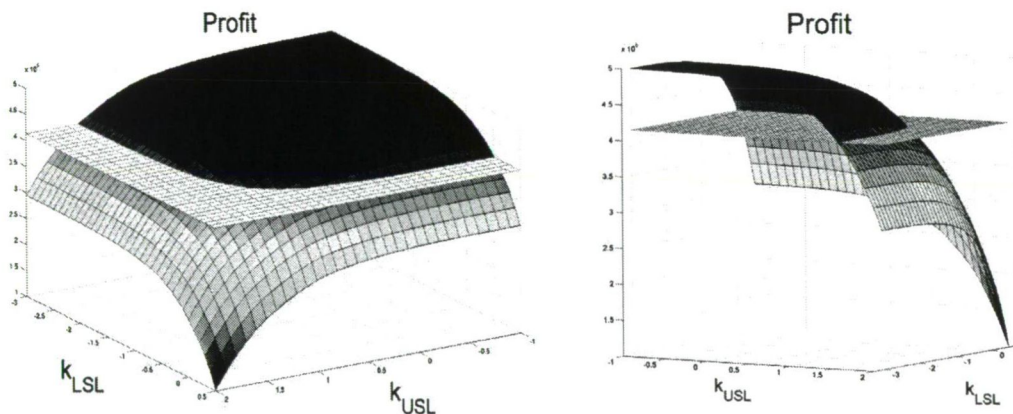
Gyakorlati példaként tekintsük egy menetstabilizáló berendezés nyomtatott áramkörre szerelt szenzorjainak, az úgynevezett szenzor-klaszternek, a minőségügyi vizsgálatát. E szenzorok érzékelik a kerék függőleges tengely körüli elfordulását és a kerékre ható hosszanti és keresztirányú erőket. Ezek az adatokon alapul a gépkocsi menetdinamikai szabályozása, amely kritikus esetekben is segíti a jármű úton maradását. Ezek a berendezések fontos szerepük miatt több szigorú teszten is átesnek, az egyik ilyen a hősokk teszt, amelynek célja, hogy a vizsgálat során kiszűrje az idő előtti meghibásodásra hajlamos termékeket. A teszt során meghibásodó termékek nem javíthatóak, selejtezésre kerülnek, az igazán nagy gondot azonban a másodfajú hiba, a tönkremenetelre hajlamos szenzorok beépítése jelentené. A utakra ugyan nem kerülne ki a hibás berendezés, mert a gyártás későbbi fázisaiban végzett tesztek kiszűrnék, de az addig elvégzett munka felesleges költ-

séget jelentene és a ráépülő alkatrészek egy részét sem lehetne visszabontással újból felhasználni. Ennek megfelelően a négy feltételes döntési kimenetel fedezetei a következő módon alakulnak: a helyes elfogadás fajlagos fedezetét vesszük egy egységnek  $\pi_{11} = 1$ ; ha selejtezésre kerül a klaszter, akkor a gyártási és selejtezési költséggel kell számolnunk  $\pi_{10} = \pi_{00} = -3,8$ ; a hibás termék elfogadásának veszteségét  $\pi_{01} = -39$ -re becsüljük.

A hőmérséklet hatására az érzékelt keresztirányú gyorsulás nem térhet el a gravitációs gyorsulás 0,095-szorosánál nagyobb értékkel ( $LSL = -0,095g$ ,  $USL = 0,095g$ ). A vizsgálatok alapján az  $y$  mérési eredmények és a mérési bizonytalanság is normális eloszlással volt közelíthető. Ebből pedig a tényleges értékre az alábbi normális eloszlás paramétereit határoztuk meg:  $\mu_x = 0,0120g$ ,  $\sigma_x = 0,0254g$ . A mérési bizonytalanság paraméterei pedig  $\mu_m = -0,0250g$ ,  $\sigma_m = 0,0181g$  a mesterdarabok vizsgálata alapján.

A korrekciós tagok optimális értékének meghatározásához egy 500 000 db mérést és 558 000 000 db értékelést – összevetést az elfogadási határral – tartalmazó szimulációt futtattunk (2. ábra).

2. ábra. A profit/fedezet alakulása a korrekciós tagok értékének függvényében  
Figure 2. Profit as a function of the correction components



Az egy termékre vonatkoztatott fedezet értéke az eredeti döntési szabályokkal 0,8257, azaz a jó termék elfogadása után elérhető fedezet 82,57%-a. A szimulációk eredményeként a mérési bizonytalanság és a döntési következmények figyelembevételével ez a fedezet 0,9966-ra emelkedik. Ez nagyjából 20%-os javulást jelent, ami azonban csak egy termékjellemző vizsgálatának átalakítása révén értünk el. A keresztirányú gyorsulás mellett további 14 jellemző vizsgálata történik meg, ami a fedezetjavulás mértékét lecsökkenti 1,5–3%-ra.

## 5. A módszerek alkalmazhatósága

A módszerek alkalmazásának feltétele, hogy mind a bizonytalanságot, mind a vizsgált minőségjellemzőt le tudjuk írni eloszlás- vagy sűrűségfüggvénnyel. Ha közelíteni tudjuk csak a tapasztalati eloszlást, akkor olyan elméleti eloszlásfüggvényt kell választanunk, amelynek a szélein (is) jó az illeszkedése, hiszen ezek a részek fognak túllőgni a tűrés- vagy elfogadási határon. Szükséges továbbá, hogy a döntési kimenetek száma véges legyen, és mindegyikhez véges mértékű pénzben kifejezett következményt tudjunk társítani.

## 6. Összefoglalás, további kutatási lehetőségek

Ebben a tanulmányban olyan módszert mutattam be, amely a mérési bizonytalanság figyelembe vételével csökkenti a döntési hibák kockázatát mindendarabos és mintavételes megfelelés-értékelési folyamatokban.

A mindendarabos méréses megfelelés-vizsgálatoknál az elfogadási határok módosítására korábban használt megbízhatóság központú, csak mérési bizonytalanságtól függő megközelítés tovább javítható, ha kockázatalapú megközelítésre térünk át. A megbízhatóság központú megközelítések normális eloszlású termék- vagy folyamatjellemzőket feltételeztek, így normálistól eltérő eloszlások esetén a döntési hibák száma eltért az előzetesen várttól. Az általunk kidolgozott modellek e döntési hibák egymáshoz képesti arányát vizsgálják, így a normalitási kritérium nem teljesülésekor is megadják, hogy kell-e módosítani az elfogadási határokat és milyen mértékben ahhoz, hogy a döntés kockázata minimális legyen.

A mintavételi és mérési költségek megadásával meghatározható egy optimális mintavételezési terv is. A statisztikai folyamatszabályozásban alkalmazott szabályozó kártyák átalakításával a kártyák egy új osztálya hozható létre, amely kockázat alapon adja meg az elfogadási határokat és figyelembe veszi a mérési bizonytalanságot. A módszer ezen felül megadja, hogy a vizsgáltak közül melyik kártya alkalmazásával lehet a legmagasabb fedezetet elérni.

A létrehozott módszerek és eszközök elsősorban a termelési és minőségügyi vezetők kezébe adnak egy olyan eszközt, amely a becslések bizonytalanságára vonatkozó adatok, valamint a döntési következmények gazdasági vonzatának beépítésével növeli a döntések során elérhető eredményt, csökkenti a döntések kockázatát.

Az itt bemutatott módszerek tovább bővíthetők, ha nem csak a termék előállítás folyamatának egy adott pontján vesszük figyelembe a bizonytalanságokat és a döntési kockázatokat, hanem a beépülési fá mentén kezeljük az egymásra ható termékjellemzők (például összeépülő alkatrész méretei) vizsgálatok fellépő bizonytalanságot. Így a bizonytalanság terjedése és a termék előállításának során növekvő hozzáadott érték is beépíthető a modellbe. Ennek alkalmazásához azonban a költségek és a folyamatok még pontosabb ismerte szükséges.

## 7. Köszönetnyilvánítás

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

## Felhasznált irodalom

- BIPM et al. (1993): Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva: International Organisation for Standardisation.
- Forbes, A. B. (2006): Measurement uncertainty and optimized conformance assessment. Measurement, Volume 39, pp. 808–814.
- Kosztján, Zs. T., Eppeldauer, G. P. & Schanda, J. D. (2010): Matrix-based color measurement corrections of tristimulus colorimeters. Applied Optics, 49(12), p. 2288–2301.



- Kosztyán, Zs. T. & Hegedűs, Cs. (2011): A mérési bizonytalanság kockázat alapú kezelése megfelelőségi döntésekben ipari körülmények között. *Sigma*, XLII(1–2), pp. 43–55.
- Kovács, Z., Kosztyán, Zs. T., Csizmadia, T. & Hegedűs, Cs. (2010): Mérési bizonytalanság figyelembevétele a megfelelőség értékelésekor. *Minőség és Megbízhatóság*, Issue 2, pp. 87–93.
- Kovács, Z. & Pató Gáborné Szűcs, B. (2006): Kockázatmenedzsment a karbantartásban. Veszprém, „Megbízhatóság és kultúra” XVIII. Nemzetközi Karbantartási Konferencia (2006. június 12–14.), pp. 1–6.
- Montgomery, D. C. (1996): *Introduction to Statistical Quality Control*. 3rd ed. s.l.: John Wiley & Sons.
- Neyman, J. & Pearson, E. S. (1933): On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses. *Philosophical Transaction of the Royal Society London A*, 231(694–706), pp. 289–337.
- Pendrill, L. R. (2006): Optimised measurement uncertainty and decision-making when sampling by variables or by attribute. *Measurement*, Volume 39, pp. 829–840.
- Rossi, G. B. & Crenna, F. (2006): A probabilistic approach to measurement-based decision. *Measurement*, Volume 39, pp. 101–119.
- Schilling, E. G. & Nelson, P. R. (1976): The Effect of Non-Normality on the Control Limits of X-charts. *Journal of Quality Technology*, 8(4), pp. 183–188.
- Schippers, W. A. (1998): Applicability of statistical process control techniques. *International Journal of Production Economics*, 20 September, Volume 56–57, pp. 525–535.
- Shewhart, W. A. (1931): *Economic control of quality of manufactured product*. New York: D Van Nostrand Company.
- Vilbaste, M. et al. (2010): Can coverage factor 2 be interpreted as an equivalent to 95% coverage level in uncertainty estimation? Two case studies. *Measurement*, Volume 43, pp. 392–399.