

A 6 szigma statisztikai eszközei

Kemény Sándor, Pusztai Éva,
Lakné Komka Kinga, Deák András,
Mihalovits Máté, Bodnár-Kemény Klára

A 6 szigma statisztikai eszközei

A könyv megjelenését a Magyar Tudományos Akadémia támogatta.



© Bodnár-Kemény Klára, Deák András, Kemény Sándor, Lakné Komka Kinga, Mihalovits Máté,
Pusztai Éva, Typotex, Budapest, 2021

A könyvben szereplő szabványokból átvett tartalmak szerzői jogával
a Magyar Szabványügyi Testület rendelkezik,
szerepeltetésük az MSZT engedélyével történt.

A szabványokból származó idézetek alkalmazása előtt győződjön meg arról, hogy a vonatkozó
szabványt módosították vagy helyesbítették-e, nincs-e visszavonva.
A szabványok megvásárolhatók vagy megrendelhetők az MSZT Szabványboltban (1082 Budapest,
Horváth Mihály tér 1., telefon: 456-6893, telefax: 456-6884, levélcím: 1450 Budapest 9., Pf.: 24.),
illetve elektronikus formában beszerezhetők
a <http://www.mszt.hu/web/guest/webaruhaz-start> címen.

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

ISBN 978 963 493 123 2

Kedves Olvasó!

Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!
Újabb kiadványainkról és akcióinkról a www.typotex.hu
és a [facebook.com/typotexkiado](https://www.facebook.com/typotexkiado) oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó

Alapította Votisky Zsuzsa, 1989

A kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.

Felelős kiadó: Németh Kinga

Főszerkesztő: Horváth Balázs

A kötetet gondozta: Bodnár-Kemény Klára és Gerner József

A borítót készítette: Szalay Éva

Tartalomjegyzék

Előszó	9
1. A folyamatok statisztikai elemzése	13
1.1. A 6 szigma módszer	14
1.2. Miért folyamat, miért statisztikai, miért elemzés?	14
1.3. Stabilitás és képesség	18
1.4. Az ábrázolás haszna	22
1.5. Mérőrendszer	24
1.6. Célunk a folyamatok javítása	24
2. Valószínűségelméleti és matematikai statisztikai alapok	27
2.1. Alapfogalmak	27
2.2. A legfontosabb diszkrét eloszlások	34
2.3. A legfontosabb folytonos eloszlás: normális eloszlás	38
2.4. Eloszlások közelítése	42
2.5. A statisztikai következtetés	48
2.6. A hibaterjedési törvény	86
3. Ellenőrző kártyák	89
3.1. Az ellenőrző kártyák alkalmazásának célja	89
3.2. Az ellenőrző kártyák statisztikai háttere	89
3.3. Az ellenőrző kártyák használata	97
3.4. A Shewhart-kártya érzékenyebbé tétele az időbeliség vizsgálatával	103
3.5. Az ellenőrző kártyák fajtái	106
3.6. Az ellenőrző kártyák alternatív elnevezése	107
3.7. Összefoglaló	107
4. A méréses ellenőrző kártyák szerkesztése	109
4.1. Az átlag-terjedelem kártya (a variancia becslése a terjedelemből)	110
4.2. Az átlag-szórás kártya	115
4.3. Az átlag-szórásnégyzet kártya	117
4.4. Megjegyzés a kártyák paramétereinek kiszámításakor alkalmazott közelítésekről	121
4.5. A mintaelemszám változása vagy változtatása	122
4.6. Útmutató az átlag-kártya használatához	125
4.7. Ellenőrzőkártya-pár egyedi értékekre (X-MR)	126
4.8. Megjegyzés	129
4.9. Következmények	131
4.10. Miért nem a tűréshatárokhoz szabályozunk?	135
4.11. Ellenőrző kártyák rövid gyártási sorozatokra	136

4.12. Összefoglaló	140
5. Minősítéses ellenőrző kártyák	141
5.1. Selejt-kártyák	141
5.2. Hiba-kártyák	158
5.3. A méréses és minősítéses ellenőrző kártyák összevetése	166
5.4. A minősítéses ellenőrző kártyák összefoglaló táblázata	167
5.5. Szűkített határu idomszeres ellenőrzés	168
5.6. Minősítéses ellenőrző kártyák rövid gyártási sorozatokra (<i>short run charts</i>)	171
5.7. Demerit-kártya	172
5.8. Összefoglaló	173
6. A folyamatképesség vizsgálata	175
6.1. Minőségképességi indexek	175
6.2. Folyamatképesség és folyamatteljesítmény	192
6.3. Szigma-képesség	197
6.4. First Pass Yield és Rolled Throughput Yield	208
6.5. Összefoglaló	211
7. A mérőrendszerek képességvizsgálata	213
7.1. A torzítatlanság vizsgálata	214
7.2. Felbontóképesség	215
7.3. A reprodukálhatóság és ismételhetőség vizsgálata	216
7.4. A mérőrendszer bizonytalanságának vizsgálata	246
7.5. Összefoglaló	247
8. Méréses ellenőrző kártyák	248
8.1. Mi a baj a Shewhart-kártyákkal?	248
8.2. A CUSUM-kártya	250
8.3. A CUSUM-kártya problémái és megoldásuk	254
8.4. Útmutató a CUSUM-kártya használatához	257
8.5. Mozgóátlag-kártya (MA chart)	258
8.6. EWMA-kártya	261
8.7. A run teszt, a CUSUM- és az EWMA-kártya összevetése	264
8.8. Összefoglaló	265
9. Bonyolultabb méréses ellenőrző kártyák	267
9.1. Folytonos, illetve szakaszos gyártások kezelése	267
9.2. Több áram kezelése: csoport-kártyák	269
9.3. Több változó együttes kezelése	271
9.4. Regressziós ellenőrző kártya	273
9.5. Több ingadozásforrás együttes kezelése	274
9.6. Módosított határu kártyák	288
9.7. Időfüggő folyamat modellezése	294
9.8. Előszabályozás (PRE-control)	295

9.9. A statisztikai és a mérnöki folyamatszabályozás	301
9.10. Összefoglaló	302
10. A Taguchi-féle minőségfogalom	304
10.1. A Taguchi-féle minőségfogalom és a négyzetes veszteségfüggvény	304
10.2. Időfüggő folyamat Taguchi-képessége és optimalizálása	317
10.3. Összefoglaló	320
11. A folyamatképesség alternatív kezelése	322
11.1. A P_P modellje és kritikája	324
11.2. Keverékeloszlás (<i>mixture distribution</i>)	325
11.3. Valószínűségi változók összegzése	334
11.4. Eloszlások kombinációja egységes modellben	340
11.5. Folyamatképességi és -teljesítmény-indexek	342
11.6. A folyamatképesség értékelése	348
11.7. A mérési hiba figyelembevétele	354
11.8. A módszerek illusztrációja további példákön	358
11.9. Összefoglaló	365
12. A mérés bizonytalanságának becslése	367
12.1. Az AIAG R&R módszer kiterjesztése több faktor vizsgálatára	367
12.2. Hierarchikus osztályozásra épülő tervek	368
12.3. A mérőrendszer képességvizsgálata roncsolásos vizsgálatnál	370
12.4. Minősítéses mérőrendszer vizsgálata (<i>attribute gage R&R</i>)	371
12.5. Összefoglaló	377
13. Az átvételi minőség-ellenőrzés alapelvei	378
13.1. Alapfogalmak	380
13.2. A mintavételi tervek rendszerezése	387
13.3. Összefoglaló	390
14. Mintavételi tervek minősítéses ellenőrzéshez	392
14.1. Egylépcsős ellenőrzés kétpontos eljárással	392
14.2. Egylépcsős ellenőrzés a szabvány táblázataival	393
14.3. Javító ellenőrzés, átlagos kimenő hibaszint	401
14.4. Kétlépcsős ellenőrzés	403
14.5. Összefoglaló	410
15. Mintavételi tervek méréses ellenőrzéshez	411
15.1. Mintavételi tervek az eloszlás paraméterére	412
15.2. Mintavételi tervek a selejtarány ellenőrzésére	418
15.3. Mintavételi tervek a szabvány táblázataiból	422
15.4. Összefoglaló	426

16. A kísérlettervezés alapjai	427
16.1. Többfaktoros kísérletek	428
16.2. Kétszintes kísérleti tervek	430
16.3. Másodfokú tervek	449
16.4. Quality by Design (QbD)	459
17. A kísérlettervezés alkalmazása a minőség javítására	462
17.1. Csempegyártás (<i>Ina Tile</i>) példája	463
17.2. A minőségre ható faktorok	472
17.3. Ortogonális kísérleti tervek a minőség javítására	474
17.4. Az eredmények értékelése, a jel/zaj viszony	477
17.5. A zaj az ismétlések szórásában tükröződik	477
17.6. A zajt terv szerint generáljuk	492
17.7. A Taguchi-módszer alkalmazásának lépései	516
17.8. Összefoglaló	517
18. Shainin-kísérlettervezés	519
18.1. Sokváltozós diagram (<i>Multi-vari charts</i>)	520
18.2. Alkatrészkeresés (<i>Component search</i>)	527
18.3. Páronkénti összehasonlítás (<i>Paired comparisons</i>)	530
18.4. Változók keresése (<i>Variables search</i>)	530
18.5. Teljes faktoros kísérleti tervek (<i>Full factorial</i>)	531
18.6. B/C elemzés (Better versus Current)	531
18.7. Kétváltozós diagram (<i>Scatterplot</i>)	532
18.8. Összefoglaló	533
19. Tűrésstervezés	535
19.1. A tűrésmező értelmezése	535
19.2. A szigma-képesség számítása	542
19.3. Összefoglaló	544
Függelék	546
Irodalom	562
Tárgymutató	568

Előszó

„A problémák igazából lehetőségek, még ha munkaruhába vannak is öltöztetve.”

Henry J. Kaiser, 1882-1967,

idézi S. H. Steiner, R. J. Mackay, Statistical Engineering,
ASQ, Quality Press, 2005

1998-ban jelent meg a témában előző könyvünk *Statisztikai minőség- (megfelelőség-) szabályozás* címmel a Műszaki Könyvkiadó és a Magyar Minőség Társaság kiadásában az Európai Unió* támogatta Minőségmenedzsment-sorozat keretében. Több utányomásban elfogyott, és azóta is keresik, tehát igény van rá. Azóta a szakma sokat változott, de az eredeti anyag sem avult el, ezért határoztuk el az utányomás helyett a könyv újraírását. Nem statisztika könyvet akartunk írni, a statisztika eszközeit akartuk a minőségügy kontextusába helyezni.

Ahogy a régebbi könyvet, ezt is egyetemi-főiskolai tankönyvnek és egyben szak-könyvnek is szánjuk. A 6 szigma-tréningeken általában PowerPoint-anyagokat kapnak a résztvevők, akik hiányolják a rendszeren megírt tankönyvet, ezt az igényt is szeretnénk kielégíteni.

Fehér Norbert: *A Lean Six Sigma folyamatfejlesztés kézikönyve* (a Magyar Minőség Szakirodalmi Díj 2019. nyertese) című nemrég megjelent könyvéhez képest jelen kötetünk kizárólag a 6 szigma statisztikai aspektusaival foglalkozik, de a tréningek szokásos anyagánál messzebbre jut el a statisztikai módszerekben. Ezt az indokolja – ahogy tapasztalatainkkal megegyezően Voelkel (2019, 35. old.) írja –, hogy az egyre igényesebb jövőbeli 6 szigma-projektekben (4.5 szigma fölött) bonyolultabb statisztikai módszerek alkalmazására lesz szükség. Természetesen egy ilyen terjedelmű könyvben nincs mód a statisztika teljes módszertanát ismertetni, még a saját tudásunk határáig sem, ezért támaszkodunk a 2017-ben a Typotex kiadónál megjelent *Kísérletek tervezése és értékelése* című könyvünkre is.

A 6 szigma módszertan leglényegesebb statisztikai kérdése az ingadozás csökkentése. Ehhez először azt számszerűsíteni kell – ez a varianciakomponens-analízis. Az ingadozás csökkentésének módszere elsősorban a kísérlettervezés. Sok kétségünk volt az iránt, hogy a *Kísérletek tervezése és értékelése* című könyv birtokában mennyire szükséges ebben a könyvben annak tartalmát ismételni, de úgy gondoltuk, hogy a legalapvetőbb statisztikai módszerek (2. fejezet) és a kísérlettervezés alapjai (16. fejezet) nélkül csonka lett volna a könyv. Más módszereknél, amelyek kifejtésére az új könyvben nem találtunk elég teret, pedig módszertanilag, elemzési eszközként nagyon fontosak a folyamatok fejlesztése tekintetében, viszont arra hagyatkoztunk, hogy a *Kísérletek tervezése és értékelése* című

* PHARE TDQM (Technology Development and Quality Management) program.

könyv birtokában hivatkozunk az ott ismertett tudnivalókra. Ennek jeles példája a varianciaanalízis.

A 6 szigma módszer alapvető hozadéka, hogy a folyamatokról kvantitatív információt gyűjtünk, ezek elemzéséhez viszont a grafikus módszerek mellett statisztikai eszközök szükségesek. A statisztika modellekkel operál, a modellek alkalmazásának feltételei vannak. Ilyen legtöbbször a normális eloszlás, aminek tipikusan ellentmond, ha több eloszlás együttesével van dolgunk. Ha a feltételek nem teljesülnek, a következtetések nem érvényesek, vagy legalábbis nem szigorúan. Ha szerencsénk van, az egyszerű eszközökkel ugyanarra a következtetésre jutunk, mint az adekvát, mindent figyelembe vevő eszközökkel, de ez nem mindig van így, és nem is könnyű megmondani, hogy adott esetben így van-e. Úgy is értelmezhetjük a helyzetet, hogy van egy szerszámosládánk, és az abból kiszemelt eszköz esetleg nem felel meg a célnak. Nyilvánvalóan ekkor nagyobb szerszámosládára lesz szükségünk, ez lehet a szokásosnál akár sokkal nagyobb is. Sokszor már az alkalmazás megkezdése előtt észrevesszük, hogy nem megy, például a mérőrendszer képességének vizsgálatához egy darabot több személynek többször kell megmérni. Ez a roncsolásos vizsgálatoknál lehetetlen, tehát más módszertanra van szükségünk. Az is lehet, hogy a műveltebb alkalmazó észrevesz valamit, amit a kevésbé felkészült nem, például erre adnak lehetőséget a többfejű gépek, ahol az egyes fejekről jövő termékek úgy is nézhetők, mint ha különböző gépekről jönnének. Ezért a minőségügyi és egyéb statisztikai könyvekben is alig fellelhető keverékeloszlás tárgyalásának viszonylag nagy teret szenteltünk a 11. fejezetben. Máskor csak az alkalmazási feltételek ellenőrzésekor derül ki, hogy nem teljesülnek. Ilyenkor az ember hirtelen fegyvertelennek érzi magát, pedig csak arról van szó, hogy a szokásos fegyverek (a 6 szigmában pl. a Green Belt szinten megtanított statisztikai eszközök) nem elegendők, de szélső esetben tudományos értelemben is előzmények nélküli módszereket kell előbányásznunk vagy kitalálnunk. Maga a tudomány is így fejlődött, ha valamire szükség volt, vagy megtalálták (ha valakit csak úgy érdekelt), vagy kifejlesztették.

Az SPC klasszikus eszközei is új megvilágításba kerülnek a 6 szigma kontextusában. Az ellenőrző kártya inkább vizuális detektív-eszköz, mint statisztikai, a folyamatképességi indexeket pedig az azokkal közeli rokonságban lévő szigma-képesség váltja föl. Sajnos az is kiderült, hogy az átütő szemléleti változást hozott képesség-indexek a bonyolultabb esetekben használhatatlanok, ezért a hangsúlyt az ingadozás szélességére, a selejt előfordulási valószínűségére helyeztük. A végén még ennél is messzebb kellett mennünk, mert a tűrésmező fogalma is ingatagnak bizonyult.

A statisztika a gyakorlatban nem művelhető számítógépes támogatás nélkül. A létező sok program közül a STATISTICA és a Minitab programmal végeztük a számításokat, állítottuk elő az ábrákat és táblázatokat. Egy példában a MODDE programot is használtuk.[†]

A fejezetek végén a lényeges mondanivalót kiemelő egyoldalas összefoglalást adunk, kivéve az 1., 2. és 16. fejezetet, mivel mindhárom maga is összefoglalás, illetve áttekintés. Az alapvető fogalmakat nagyon egyszerű modelleken kell bemutatni, hogy az olvasó megértse, de a tanulás csak spirális lehet, így mindenre több szinten térünk vissza. Minden témakör eleje a minőségügyi statisztika tárgy alapfokú részének tankönyve. Itt a viszonylagos teljesség mellett arra törekedtünk, hogy az alapvető módszerek gondolkodásmódját

[†] MODDE® version 13 design of experiments software, Sartorius AG.

bemutassuk. A könyv – jellegéből adódóan – számos példát tartalmaz. Ezeket apró betűs szedéssel különítettük el a főszövegtől.

Tisztában vagyunk vele, hogy a könyvünkben található anyag a kezdő olvasó számára első látásra ijesztő lehet. A fejezetekre osztás során először arra törekedtünk, hogy az ő igényeit kiszolgáljuk különösebb rémületkeltés nélkül, majd hogy a haladóknak további elmélyülésre adjunk lehetőséget. A kezdő olvasónak az alábbi fejezetek tanulmányozását ajánljuk (kb. egyetemi BSc szint, 6 szigma Green Belt training anyaga):

- Ellenőrző kártyák: 3., 4., 5. fejezet.
- Folyamatképesség vizsgálata: 6. fejezet.
- Mérőrendszer-képességvizsgálat: 7. fejezet.
- Átvételi minőség-ellenőrzés: 13., 14., 15. fejezet.
- Kísérlettervezési alapok: 16. fejezet.

A statisztikában kevésbé jártasoknak a 2. fejezetet is ajánljuk. A 7. fejezetet nem tudtuk szétbontani, itt a 7.3.5. alfejezet okozhat nehézséget a kezdőknek. Ha Olvasónk az alapokat már megemésztette, utána jöhetnek a haladó részek (MSc képzés, 6 szigma Black Belt és Master Black Belt training anyaga):

- Ellenőrző kártyák bonyolultabb esetekre: 8., 9. fejezet.
- Folyamatképesség számítása bonyolultabb esetekre: 11. fejezet.
- Mérőrendszer-képességvizsgálat bonyolultabb esetei: 12. fejezet.

Hitünk szerint a gyakorlatias ízű 10., 18. és 19. fejezetek megértése nem okoz nehézséget, de azt javasoljuk, hogy Olvasónk először kalandregényként olvassa őket, hogy befogadja a módszerek gyakorlati részét, és csak utána foglalkozzék a matematikájukkal. Ugyanezt tanácsoljuk a haladónak nevezett fejezeteknél is.

Nagyon lényeges szemléleti újításokat hozott Taguchi munkássága, amit a 10. fejezetben kezdünk ismertetni, szándékaink szerint áthatja a további fejezeteket is. Matematikailag nem nehéz a módszertan felfogása, emiatt a kezdőknek is emészthető részhez sorolnánk, de az új szemlélet befogadása tapasztalataink szerint (lelki) nehézséget okoz, emiatt a haladó részek között is említhetjük. Az egész módszertant bőségesen illusztráljuk a 17. fejezetben.

Néhány olyan példa is van a könyvben, amelyre több módszerrel, megközelítéssel is adunk megoldást. Minthogy a könyv szerkezete módszer-centrikus (nem probléma-centrikus), ezeket nem könnyű áttekinteni. Úgy próbáltuk Olvasónk dolgát megkönnyíteni, hogy minden ilyen példánál megjelöltük, hogy mely fejezetekben foglalkozunk még velük. Ez teljes összhangban áll Box azon felfogásával, hogy sok modell van, egyik sem tökéletes (a világ bonyolultsága és tudásunk korlátozottsága miatt), de nem egyformán jók, adott problémára vannak közöttük hasznosabbak és kevésbé hasznosak. Igyekezünk azt is megmutatni, hogy az egyes módszerek nem azonos kérdésekre keresnek választ. Például a 12. fejezetben az ellenőrző kártya más kérdésre ad választ ugyanazokból az adatokból, mint a varianciaanalízis: előbbi a folyamat stabilitását nézi, utóbbi az ingadozás-összetevőket.

Hálásan köszönjük minden partnerünk, hallgatóink, tréningjeink résztvevőinek együttműködését, szünni nem akaró érdeklődését, igényességét.

Sokat tanultunk Papp Lászlótól, aki az előző könyvben társszerzőnk volt, valamint Dönczö Zoltántól, akivel a szerzőtársak közül többünknek a 6 szigma tréningekben volt módja együttműködni. Hálásak vagyunk matematikus kollégáinknak, akiktől sokat kérdezhettünk és tanulhattunk.

Budapest, 2021. március

A szerzők