



# Katapult – egy egyszerű demonstrációs eszköz a statisztikai módszerek és a folyamatfejlesztés oktatásában

## Catapult – a Simple Tool in Teaching Statistics and Process Improvement

I. KOCSIS, D. SEBŐK-SIPOS

Debreceni Egyetem, kocsisi@eng.unideb.hu

*Abstract. The  $6\sigma$  process improvement methodology is successfully used in high-tech industry and in other fields of economy to reduce the variability of products' parameters and to eliminate the defects from processes ("zero defect" concept). The  $6\sigma$  methodology is based on data acquisition and analysis with proven statistical methods rather than qualitative considerations and subjective evaluation. Unlike a Lean improvement, where small, incremental changes are also encouraged in order to improve efficiency and quality, the  $6\sigma$  improvement processes are complex and require well-trained team of experts. This is why trainings have crucial role in  $6\sigma$  organizations. Catapult is a frequently used tool in  $6\sigma$  trainings to model process improvement techniques. It is also useful in teaching engineering statistics (data acquisition, sampling methods, descriptive statistics, statistical inference, hypothesis testing). It can be effectively used in short courses for high school students, as well, to introduce typical problem solving techniques, process improvement tools and creative thinking in the field of engineering.*

### Bevezetés

Piaci körülmények közt az üzleti versenyben való talpon maradás, a profit megfelelő szinten tartása a piaci szereplőktől a produktivitás, és általában az üzleti folyamatok folyamatos fejlesztését kívánja. A folyamatfejlesztés – ideális esetben – egységes, minden szereplő által ismert és elfogadott szemléletre, alapelvekre épül, és kiterjed a teljes szervezetre.

A folyamatfejlesztés egyszerűen annyit jelent, hogy csináljunk mindent jobban, mint eddig. Ez a törekvés fakadhat belső indíttatásból, igényességből, de lehet kényszer is. Egy elhivatott, a munkáját szerető, a szakmai kultúrát megismerő, abba belenevelődött szakembernek nem kell magyarázni, hogy gondosan, pontosan dolgozzon, vegye észre az ésszerűsítési lehetőségeket a mindennapi tevékenységében, és próbáljon hatékonyabban dolgozni. A tömegtermelést folytató, sok embert foglalkoztató vállalatoknál azonban a folyamatok összetettsége, a személyek



felkészültségének, motivációjának sokfélesége megköveteli a rendezőelvek (standardok) meghatározását és ezek betartását. Ezek nélkül elképzelhetetlen a szervezet hatékony működése és fejlődése. Jól működő szervezetben a folyamatos fejlesztés / fejlődés célként, a közös gondolkodás keretként is megfogalmazódhat.

A 20. század második felében az ipari termelésben, majd az üzleti szféra minden területén kialakult és folyamatosan éleződő versenyhelyzetben való hosszú távú helytálláshoz elengedhetetlen az állandó technológiai és szervezeti fejlesztés. Az 1960-as, 70-es években a hangsúly a technológiai fejlesztésen volt, az üzleti siker kulcsa olyan új termékek tervezése, előállítása volt, melyek elnyerték az emberek tetszését, és hajlandók voltak sokat áldozni az újszerű funkciókat, szolgáltatásokat nyújtó, új technológiai megoldásokkal készült termékekre. A termelő vállalatok számának növekedése, a technológiai eredmények közkinccsé válásának és elavulásának felgyorsulása előtérbe helyezte a szervezet alkalmazkodóképességét és fejlődőképességét, a vevői igényeknek való gyors és hatékony megfelelést, a műszaki fejlesztés önmagában már nem biztosította az életképességet.

A folyamatfejlesztés alapelvei, pl. a PDCA ciklus alkalmazása, a vezetők elkötelezettsége és támogató hozzáállása, az emberek bevonása, a tényeken alapuló döntéshozatal állandóak, de a gazdasági, társadalmi környezettől, az elérendő céltól függően számos rendszer, technika, szabvány, módszer alakult ki, pl. ISO, TQM, TPS-Lean,  $6\sigma$ . Ezek a megközelítési módok alapvetően abban különböznek, hogy a műszaki szempontokat, az előírásoknak való megfelelést hangsúlyozzák, vagy inkább a szervezeti és vezetési kultúrára helyezik a hangsúlyt, illetve abban, hogy az elemzésben elsősorban a megfigyelésre, konzultációra és kvalitatív jellemzőkre támaszkodnak, vagy számszerűsíthető adatokra, egzaktan mérhető mennyiségekre, és tudományos alapú adatelemzési, statisztikai módszerekre alapoznak.

Minden folyamatfejlesztési módszerről elmondható, hogy a sikeres alkalmazás feltétele a szervezeti szintű bevezetés (elfogadás) és alkalmazás. A sikertelen bevezetés magas aránya arra vezethető vissza, hogy sok esetben csak néhány kiragadott, látványos elemre koncentrálnak, ezeket többlet feladatként fogalmazzák meg ahelyett, hogy megértenék, hogy a szervezetnek hogyan kellene megváltozni a kiválasztott módszer eredményes alkalmazásához. A  $6\sigma$  fejlesztések például az elemek fegyelmezett és következetes végrehajtását követelik meg minden érintett szereplő részéről, különben a befektetett idő, pénz, munka nem hozza meg a várt eredményt, és a fejlesztési folyamat hamar kudarcba fulladhat. Egy rendszer bevezetése – és ez különösen igaz a  $6\sigma$ -ra – a szervezet érettségét kívánja meg.

A különféle megközelítésekkel kapcsolatban nem lehet rangsort állítani az alapján, hogy melyik jobb vagy rosszabb. Az alkalmazásról szóló döntéskor arra kell figyelni, hogy az egyes rendszereknek mi a célja, és mik a sikeres alkalmazás feltételei. Érdekes például a Lean és a  $6\sigma$  módszerek összehasonlítása, amiről rengeteget lehet olvasni. Egyes forrásokban egy rendszerként mutatják be a két megközelítést, mások pedig a két elv alapvető különbözőségét hangsúlyozzák.



A tervezés-megvalósítás-ellenőzés-beavatkozás (plan-do-check-act) ciklus lépéseinek végrehajtásához sok praktikus eljárást dolgoztak ki az évtizedek során (adatgyűjtő, ok-hatás diagram, hisztogram, Pareto diagram, szóródás diagram, szabályozó kártya affinitás diagram fadiagram, mátrix diagram, stb.), és a különböző megközelítésekben mást és mást helyeznek előtérbe. Pl. a Lean és a  $6\sigma$  rendszerek gyakorlati eszköztárában nagyon sok közös van, ami miatt a felületes szemlélő számára a két rendszer nagyon hasonlónak tűnik.

Most nem célunk az összehasonlítás, itt csak a  $6\sigma$  rendszerrel kapcsolatban fogalmazunk meg néhány gondolatot, majd ismertetjük egy népszerű  $6\sigma$  tréning eszköz alkalmazásának néhány lehetőségét.

## 1. A $6\sigma$ folyamatfejlesztésről

A minőségügyi rendszerek alkalmazása a vevőknek termékjellemzők változékonyságával szembeni toleranciájával áll szoros kapcsolatban.

Amíg a vevők – keresleti piac miatti kényszerből – elfogadták a termékek ingadozó minőségét és a jelentős meghibásodási gyakoriságot, addig a minőségügyi tevékenység szerepe nem volt jelentős (ez a második világháború után még két-három évtizedig volt jellemző). Az iparcikkek kínálati piacának kialakulása rákényszerítette a termelőket, hogy a vevők kedvében járjanak a termékeik jellemzőinek javításával, ami általánosan a változékonyság alacsony szinten tartásával (mindig ugyanazt kapja a vevő) és a megbízhatóság növelésével (a meghibásodás valószínűségének alacsony szinten tartásával) fejezhető ki.

Az 1970-es 80-as években, amikor a statisztikai folyamat szabályozás teret hódított a tömegtermelésben, a viszonyítási alap a – mai szóhasználattal élve –  $3\sigma$ -s folyamat volt, ami kb. 99,73%-os megfelelőséget jelent (27 nem megfelelőség 10.000-ból).

A  $6\sigma$  folyamatfejlesztési elv bevezetése a csúcstechnológiával készült, rendkívül szigorú igényeknek eleget tevő (ennek megfelelően igen drága) termékek előállítási folyamatának hatékony kezelése kapcsán vetődött fel. Az 1980-as években kezdték alkalmazni a Motorolánál, ahol a minőség ugrásszerű javulását és a hibaarány jelentős csökkenését érték el, ami jelentős versenyelőnyt és jelentős profitot eredményezett. A  $6\sigma$  módszertan kifejlesztésének kezdetén felismerték, hogy a módszer sikerességéhez elengedhetetlen a teljes szervezeti kultúra átalakítása. Később sok magas technológiai színvonalú terméket gyártó vállalatnál vezették be sikerrel a módszert, pl. az IBM-nél és a General Electric-nél. A General Electric minden folyamatát a  $6\sigma$  módszertan szerint fejleszti, így ma a General Electric tekinthető mintának a  $6\sigma$  alkalmazók számára.

A  $6\sigma$  alkalmazása felkészültséget, a szervezet teljes elkötelezettségét igényli, így a bevezetések sok esetben sikertelenek. A  $6\sigma$  fejlesztés elvi célja a nulla hiba elérése, tehát a nem megfelelő eredmény („végtermék”) teljes mértékű kizárása. A  $6\sigma$  elnevezés arra az elvárásra utal, hogy



1.000.000 hibalehetőségből legfeljebb 3,4 esetben következzen be fel nem ismert hiba (3,4 DPMO = defects per million opportunity). Ez – a vizsgált paraméter normális eloszlását feltételezve – azt jelenti, hogy a szórás 12-szerese nem haladja meg a mennyiségre vonatkozó tolerancia tartomány hosszát, és az átlag (várható érték) a tolerancia tartomány közepétől legfeljebb  $1,5\sigma$ -val tér el.

A precizitás (alacsony változékonyság) ilyen szintjének elérése és annak megtartása minden kapcsolódó folyamat összes lépésében megköveteli a „kimenetet” befolyásoló tényezők hatékony kontrollját, és azoknak az előírt tartományban való tartását.

A módszertan kerete az öt lépésből álló DMAIC modell:

- Define – Probléma meghatározás: a vizsgált folyamat megértése, a fejlesztési cél kitűzése;
- Measure – Mérés: a mérendő paraméterek meghatározása, megfelelő mérőrendszer kiépítése (mérőrendszer elemzés), kísérlettervezés, adatgyűjtés;
- Analyze – Elemzés: a nem megfelelés okainak feltárása (gyökérok-elemzés, hibamód- és hatáselemzés, FMEA)
- Improve – Javítás: folyamat átszervezés, 5S, Poka Yoke, TPM, SMED
- Control – Ellenőrzés

A Mérés és az Elemzés lépések során meghatározó szerepük van a statisztikai eszközöknek. A  $6\sigma$  fejlesztés szigorúan adatokra épül.

A kísérlettervezés (DOE, design of Experiment) során rögzítik a vizsgálandó input-output paramétereket, a mintavételezés módját.

Az alkalmazott mérőrendszer megfelelőségét mérőrendszer-elemzéssel vizsgálják (R&R, Repeatability and Reproducibility, ismételhetőség és reprodukálhatóság). Bármely méréskor a mért értékek varianciájának egy része a mért mennyiség varianciájából, másik része a mérőrendszer (mérőműszer, kezelő személy) által bevitt varianciából tevődik össze. Ha a vizsgált paraméter varianciája nagyon kicsi (márpedig egy  $6\sigma$ -s folyamatnál igen kicsinek kell lennie), akkor a mérőrendszer okozta variancia olyan mértékű lehet, hogy a mérési eredmény használhatatlanná válik. A mérőrendszer-elemzés egy kéttényezős varianciaanalízis (ANOVA), melyben azt használjuk ki, hogy a mérési eredmény varianciája felbontható, az azt okozó, függetlennek tekintett hatások varianciájára:

$$\sigma_{\text{teljes}}^2 = \sigma_{\text{termék}}^2 + \sigma_{\text{R\&R}}^2 = \sigma_{\text{termék}}^2 + \sigma_{\text{ismételhetőség}}^2 + \sigma_{\text{reprodukálhatóság}}^2$$

Minél nagyobb részarányt képvisel a termék tényleges varianciája a teljes varianciában, annál megfelelőbb a mérőrendszer. A mérőrendszer varianciája az ismételhetőséghez, illetve a reprodukálhatósághoz kapcsolódó tagokra bomlik. Az ismételhetőség azt jellemzi, hogy egy személy által egy adott terméken elvégzett több mérés eredménye mennyire tér el ( $\sigma_{\text{ismételhetőség}}^2$ ). A reprodukálhatóság pedig azzal függ össze, hogy különböző személyek által azonos körülmények közt elvégzett mérések eredménye mennyire tér el ( $\sigma_{\text{reprodukálhatóság}}^2$ ).



Az Elemzés lépésben a megállapítások statisztikai becslések, statisztikai próbák eredményeként állnak elő. Mivel a mérés során nyert adatok – az alkalmazás jellegéből adódóan – kevésbé szóródnak, így igen finom eltérések alapján kell véleményt alkotni, ami „érzésből” már nem lehetséges. Míg a folyamatfejlesztés más területein a probléma feltárásához és megoldásához elegendő lehet a megfigyelés (vizuális adatgyűjtés) és néhány egyszerű mérés, számolás (pl. ciklusidő megállapítása), majd ezek átgondolása, értelmezése, addig a  $6\sigma$  fejlesztések lényegét az adatok közti kapcsolatok korrekt statisztikai módszereken alapuló feltárása adja.

Az adatelemzés célja – általánosan fogalmazva – a vizsgált rendszer kimenetei és bemenetei közti összefüggések feltárása valós (mért) adatok alapján, megfelelő statisztikai módszerek alkalmazásával. Konkrétabban fogalmazva azt kell kideríteni, hogy a termékek jellemzőit (kimenetek) mely bemenetek (technológiai paraméterek, anyagjellemzők, környezeti jellemzők, zavaró hatások) befolyásolják lényegesen, a kimeneti jellemzőknek az előírt szűk tartományban való tartásához ugyanis ezekre kell összpontosítani. A vizsgálat eredményeként adódik, hogy a bemeneti paramétereket mely tartományban kell tartani a kívánt eredmény eléréséhez. A fejlesztés (javítás) során pedig meg kell nézni, hogy megvalósítható-e, vagy változtatni kell a folyamaton (új technológiát alkalmazni, új gépet beszerezni, alapanyagot, beszállítót váltani, stb.).

## 2. A katapult

A  $6\sigma$  folyamatfejlesztés jellegéből adódik, hogy magas szintű felkészültséget igényel, így a  $6\sigma$  szervezetekben különösen fontos a képzés. Míg a Lean rendszerekben az egészen apró, ötletes fejlesztési javaslatoknak is van szerepe (sőt nagyon is fontosak az elkötelezettség, a felelősségtudat és a motiváció kialakításában), addig egy  $6\sigma$ -s fejlesztést csak egy kiképzett csapat tud megvalósítani.

Az oktatásban hangsúlyosak a gyakorlatban alkalmazott statisztikai módszerek, a kísérlettervezéstől a statisztikai próbákig. A tréningeken számos modellező eszközt alkalmaznak, melyeken gyakorolhatók a folyamatfejlesztés lépései.

A katapult egy gyakran alkalmazott eszköz, mely egy gépet vagy folyamatot modellez. Sok beállítási lehetősége van (input paraméterek), melyek különféleképpen befolyásolják az output paraméter, a dobási távolság értékét.



1. ábra: Katapult.

A katapulton állítható a gumi két végének pozíciója (6×5 beállítási lehetőség), a lendítőkár kezdő és véghelyzete (kb. 15 beállítási lehetőség), továbbá bemeneti paraméter a gumi anyagminősége (5 választási lehetőség), a gumi hossza (3 választási lehetőség) és a gumik száma (1 vagy 2). A beállítási lehetőségek száma így eléri a 10.000-et is.

Ezen túl a katapult rögzítési módja is hatással van a kimeneti érték szóródására. A becsapódás pontos helyének megállapítása (a dobási távolság mérése) külön megoldandó feladat.

### 3. A katapult alkalmazási területei az oktatásban

A katapultra számos feladattípus megfogalmazható. Ilyenek lehetnek például:

#### *Elemzés*

- egy gép működésének statisztikai elemzése adott beállítás esetén;
- egy gép működésének statisztikai összehasonlítása különböző beállítások mellett;
- több gép működésének statisztikai összehasonlítása;

#### *Kitűzött cél elérése*

- rajzolt pontszerű cél „eltalálása” megadott legnagyobb szórással (átlag beállítás, szórás csökkentése);
- kihelyezett edénybe beletalálás megadott minimális valószínűséggel (átlag beállítás, szórás csökkentése);

#### *Verseny csapatok között*

- A kitűzött cél elérése nagyobb „pontossággal”;
- A kitűzött cél elérése rövidebb idő alatt.

Egy vállalati folyamatfejlesztés tréning esetén egy kitűzött cél elérése (meghatározott távolság, meghatározott legnagyobb szórással) a természetes feladatmegfogalmazás. Ebben az esetben a cél eléréséhez vezető folyamat megtervezése és kivitelezése a cél, melynek során megvalósíthatók a DMIAC kör elemei. A gumik típusának és számának meghatározásán, valamint a dobási ív megválasztásán túl fejlesztési lehetőség például a nyom megjelölése a pontosabb



méréshez, a rögzítési mód, a lendítőkar súrlódásának, lötyögésének beállítása a katapult két oldallapját összetartó csavar beállításával.

A katapult jól használható a statisztika oktatásában is. Bemutatható és vizsgálható a mérés, adatgyűjtés (kísérlettervezés), a leíró statisztika (átlag, szóródás, sűrűség-hisztogram) és az intervallumbecslés témaköre, elvégezhető statisztikai próbák a valószínűsége (találat valószínűsége), a várható értékre (célérték és a tényleges érték összehasonlítása, gépek összehasonlítása) vonatkozóan, vizsgálható a normalitás, elvégezhető a mérőrendszer elemzés (R&R, ANOVA).

Az eszköz alkalmazható a középiskolások körében tartott foglalkozásokon is [4]. Mivel általában csak 1-2 óra áll rendelkezésre, a kitűzött cél elérése (legegyszerűbb és leglátványosabb a kihelyezett edénybe való beletalálás) és a csapatok közti verseny lehet motiváló. A csapatok kialakítása után a feladat kitűzése szólhat például a következőképpen: *A gyárba új gép érkezett, melynek feladata a termékek továbbítása megadott távolságra a gyártósor egy pontján. A rendelkezésre álló eszközökkel el kell érni, hogy a termékek (golyók) az előre elhelyezett dobozba essenek.* A feladat megoldására lehet rögzített időtartamot biztosítani. Ebben az esetben az értékelés alapja a találati arány (a dobozba találat relatív gyakorisága) lehet. Úgy is ki lehet tűzni a feladatot, hogy a kritériumot rögzítjük, pl. 10 dobásból legalább 8 találat (0.8 relatív gyakoriság), itt az értékelés alapja az ennek eléréséhez szükséges időtartam.

A katapultot szétszedett állapotban célszerű átadni, és az alkatrészeket (gumik, kampók), a rögzítő eszközöket (pillanatszorító, szövet alátét), a becsapódás helyének meghatározását segítő eszközöket (alufólia, szövet alátét, filctoll, papír, gombostű), és a mérőszalagot külön tárolókban kitenni. Így először a konstrukciót kell megértenie a résztvevőknek. Utána minden bizonnyal a próbálgatás következik, majd a tervezés, egyeztetés a megoldás módjáról.

A megoldás a csapatban való munkát, valamint a folyamatfejlesztés eszközeinek ösztönös alkalmazását igényli: ok-elemzés, összefüggések feltárása, eltérések magyarázata, kísérlettervezés, adatok, tapasztalatok rögzítése, elemzése.

A katapulttal való munka rávilágít arra a gondolkodásmódra, ami a műszaki problémák megoldásához elengedhetetlen, és sajnálatosan alig van jelen a közoktatásban zajló tanulási folyamatban:

- meg kell érteni egy ismeretlen rendszer működését, a bementi és kimeneti változókat, azok kapcsolatát;
- értelmezni kell az alkatrészek, segédeszközök szerepét, funkcióját;
- nyitottnak kell lenni az újszerű megoldásokra,
- „merni kell” kreatívnak lenni (nem egy mások által már kitalált megoldást kell megtanulni és visszaadni);
- ki kell használni a csapat erőforrásait, meg kell osztani a feladatokat;
- gazdálkodni kell az idővel,



- folyamatosan kommunikálni kell, meg kell tudni győzni másokat az ötletünk helyességéről, kivitelezhetőségéről, vagy el kell fogadni az ellenérveket.

## Hivatkozások

- [1] Pyzdek, T.: The Six Sigma Handbook. McGraw-Hill, 2003.
- [2] Lunau, S. (Ed.), John, A., Meran, R., Roenpage, O., Staudter, C., Six Sigma(+Lean) Toolset, Springer 2013.
- [3] Arcidiacono, G., Calabrese, C., Yang, K., Leading processes to lead companies: Lean Six Sigma, Kaizen Leader & Green Belt Handbook, Springer, 2012.
- [4] [www.eng.unideb.hu/mat](http://www.eng.unideb.hu/mat)
- [5] Engineering Statistics Handbook, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>