

„KARCSÚ” KÁBELEK – AVAGY LEAN SZEMLÉLET A KÁBELIPARBAN

Dózsa Evelin – Gémes Zsolt – Nagy Valéria

Absztrakt: A gyártási rendszerek korszerűsítése, illetőleg a műszaki fejlesztések által nem csupán a termelés tehető hatékonyrá, hanem a fenntarthatósági szempontok is fokozottan teret nyernek. E többes célt tűzte ki a Prysmian MKM Kisteleki Kábelgyára is, amikor az innováció szellemében sikeresen megvalósított egy Lean Six Sigma (LSS) anyagfelhasználás optimalizálást célzó projektet. E projekt célkitűzése tulajdonképpen a kábelgyártás során használt mesterkeverék felhasználásának optimalizálása volt. A közlemény címe is sejteti, hogy a Lean szemlélettel azonosulva az anyaghatékonyság javítása került a fókuszba. A projekt megvalósítását a DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) módszertan ötlépcsős folyamata segítette, amely strukturált keretet biztosított az anyagfelhasználás pontos mérésére, elemzésére és ellenőrzésére. A Lean Six Sigma (LSS) módszertan bevezetése és alkalmazása pedig lehetőséget nyújtott a gyártási folyamatok mélyreható vizsgálatára statisztikai módszerekkel. A gyártási rendszer módosításával a ~7,66%-os normaeltérést 0,58%-ra sikerült csökkenteni.

Abstract: Modernizing production systems and technical developments not only make production more efficient, but also focus on sustainability aspects. This multiple objective was also set by Prysmian MKM Kisteleki Cable Factory and, in the spirit of innovation, it successfully implemented a Lean Six Sigma (LSS) material use optimization project. The objective of this project was actually to optimize use of the masterbatch used during cable production. The title of the paper also suggests that the focus is on improving material efficiency, identified with the Lean approach. The implementation of the project was assisted by the five-step process of the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) methodology, which provided a structured framework for the accurate measurement, analysis and control of material use. Introduction and application of the LSS methodology provided the opportunity for an in-depth examination of the production processes using statistical methods. By modifying the production system, the standard deviation of ~7.66% was reduced to 0.58%.

Kulcsszavak: kábel, anyaghatékonyság, költség, Lean Six Sigma

Keywords: cable, masterbatch, cost, Lean Six Sigma

1. Bevezetés

A kábelipar a villamos hírközléssel és energiaátvitellel párhuzamosan fejlődött. Az önálló kábelipar létrejött az 1840–1860 közötti időszakra tehető. A történetéhez azonban hozzátartozik, hogy a divatipar rakta le az alapjait, ugyanis a XVI. és XVII. században milánói és lyoni mesterek vékonyra húzott rezet és szigetelőanyagként használt lencéernát vagy pamutot fontak össze, ami végeredményben kiváló alapul szolgált a későbbiekben feltalált távíró-összeköttetés műszaki feltételeinek biztosításához is (Hoffmann et al., 1970; Dési–Dombi, 2006). Következésképpen a kábelgyártás kulcsfontosságú szerepet játszik a modern gazdaságok energia- és adatátvitel infrastruktúrájának kialakításában, része a technológiai fejlődésnek. Az innovatív kábelgyártás ugyanis egyszerre tekinthető versenyképes technikának és stabil infrastruktúra fejlesztésnek (a megvalósult megbízható energia- és adatátvitel okán), valamint anyagfelhasználási optimalizálásnak és környezetvédelmi fókuszú folyamatfejlesztésnek. Magyarországon a kábelipar meghatározó szereplője a

milánói székhelyű Prysmian MKM Kisteleki Kábelgyára, ahol alapvetően villamos energia és információ továbbításához szükséges kábelek és vezetékek gyártása zajlik (URL1, URL2).

A közlemény címe is sejteti, hogy az előbbieken vázolt lehetőségek közül – a Lean szemlélettel azonosulva – az anyaghatékonyság javítása került a fókuszba a Prysmian MKM Kisteleki Kábelgyárában: tulajdonképpen az úgynevezett mesterkeverék felhasználásának optimalizálása fogalmazódott meg célkitűzésként. Itt megjegyzendő, hogy a mesterkeveréket szigetelt kábelek gyártásánál alkalmazzák – mint speciális, nagy hőállóságú festékanyagot – az alapanyagoknak a színezésére.

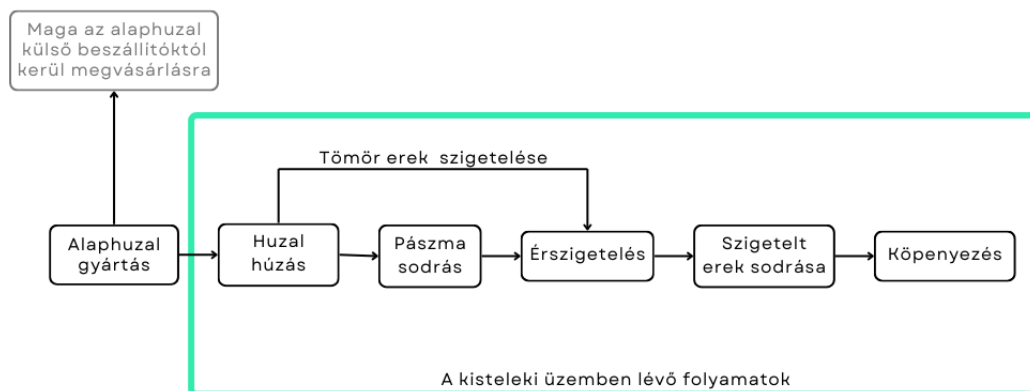
2. Kábelekről és kábelgyártásról általánosságban

A két gyakran használt fogalom a vezeték és a kábel. A vezeték (általában) egyszerűbb, kevesebb szigeteléssel és mechanikai védelemmel rendelkezik, a kábel pedig összetettebb, több vezető szálból és külső burkolatból áll, amely jobb védelmet biztosít és rugalmasabb használatot tesz lehetővé. A vezetékek többnyire statikus alkalmazásokra készülnek, míg a kábelek a dinamikus igénybevételeket is tolerálják (mozgást és külső hatásokat is elviselő feladatokra is alkalmazhatók) (Hoffmann, 1983; Kuti, 2010).

A kábelgyártásban felhasznált anyagok tehát alapvetően vezető szálak, illetve szigetelőanyagok, ez utóbbiakhoz adagolnak mesterkeverékeket annak érdekében, hogy elérjék a termék kívánt színét. A mesterkeverék a színezőanyagot gyakran 60–80%-ban tartalmazza és 1–3%-ban keverhető a színezni kívánt polimerhez (Hoffmann et al., 1970; Schaaf–Hahnemann, 1974; Legény, 1976; Ganguli–Kohli, 2016).

A kábelgyártás az 1. ábrán látható 6 folyamatlépcsőből tevődik össze.

1. ábra: A kábelgyártás folyamatábrája

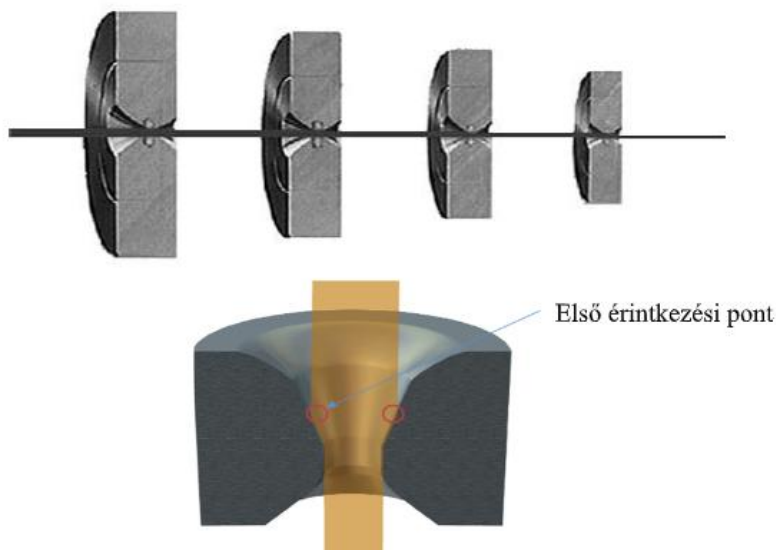


Forrás: a szerzők saját szerkesztése.

A kiindulási alapot a 8 mm²-es keresztmetszetű alaphuzal adja. Ezt követi a huzalhúzás, mely során az alaphuzalt (befutót) gondosan kialakított, előre meghatározott méretű, fokozatosan csökkenő nyílású húzószerszám sorozaton vezetik át (2. ábra). Technológiai sajátosság, hogy több szál egyidejű húzása is

lehetséges. Huzalhúzásnál – mint a kábelgyártás egyik alaplépésénél – az évezredek óta ismeretes technika modern változatát használják (Hoffmann et al., 1970; Black, 1983; Dési–Dombi, 2006). A kábelgyárban használt gépek maximum 32 szálát képesek egyszerre húzni (Hoffmann et al., 1970; Fábrián, 2009).

2. ábra: Csökkenő nyílású húzószerszám sorozat és az érintkezési pontok



Forrás: Prysmian (2016)

Alapvető követelmény, hogy a huzal megfelelő mechanikai tulajdonságokkal és jó villamos vezetőképességgel rendelkezzen, továbbá biztosítani kell a megfelelő felületi minőséget is. E célok eléréséhez viszont általában nem alkalmaznak semmilyen speciális felületkezelést. Kivételt képeznek ez alól azok a termékek, melyekben ózozott rézhuzal kerül felhasználásra, mint például a szolár kábelek esetében. Ebben az esetben a technológiai folyamat része egy ózozó kályha is. A sodrási folyamat során az erek kialakítását (tömör erek és sodrott kivitel) a gyártástechnológiai adottságok és a felhasználói igények együttesen határozzák meg. A gyártási folyamatot az érszigetelés és köpenyezés zárja. Itt megjegyzendő, hogy a leggyakrabban használt anyagok a PVC (polivinil-klorid), a PE (polietilén) és a gumi. A színezéshez pedig magas színezőanyag tartalmú alapkeveréket, a már említett úgynevezett mesterkeveréket (masterbatch) használnak, amellyel szemben támasztott fontosabb követelmények a következők:

- egyenletesen elkeverhető legyen és jól oldódjon,
- megfelelő színezőképessége legyen, vagyis 1–3% hozzáadásával elérhető legyen a kívánt szín,
- színe ne változzon a feldolgozás alatt,
- legyen fényálló és vegyileg ellenálló, vagyis a színezendő anyaggal ne lépjen kémiai reakcióba,
- ne befolyásolja a színezendő anyagnak a kémiai vagy fizikai tulajdonságait,

- a lágyító tartalmú műanyagokhoz keverve ne jelentkezzen pigmentvándorlás, azaz a pigmentek ne jelenjenek meg a műanyag felületén (Hoffmann et al., 1970; Schaaf–Hahnemann, 1974).

3. Lean Six Sigma szemlélet, mint módszertani megközelítés

Minden profitorientált piaci szereplő elsődleges célja a termelékenység fokozása, illetve az ügyfélkör bővítése minél kevesebb erőforrás felhasználásával. Azonban a vásárlói magatartás is folyamatosan változik, példának okáért a vásárlók egyre olcsóbban szeretnének hozzájutni minőségi termékekhez és mindezt egyre gyorsabban szeretnék. Lean filozófiával éppen ezek mögött a célok mögött rejlő esetleges veszteségek megszüntetésére fektethető a hangsúly. Ezzel kapcsolatosan Womack–Jones (2003) 5 követendő alapelvet fogalmazott meg:

- **Érték:** Optimális sorrendbe állíthatók az értékteremtő műveletek, mivel minden, ami nem értékteremtés egy folyamatban, az veszteség.
- **Értékfolyamat:** Az értékfolyamat magában foglalja mindazon műveleteket, amelyek szükségesek egy bizonyos termék létrehozásához.
- **Áramlás:** Az értékteremtő lépések mentén való haladás.
- **Húzóelv:** Csak azt és annyit kell termelni, amit és amennyit a vevő megrendel.
- **Tökéletesítés:** Figyelmet kell fordítani a folyamatos fejlesztésre, fejlődésre.

A minőségjavítás és költséghatékonyság növelés egyik modern eszköze pedig a Six Sigma (6σ) módszertan, melynek célja, hogy minimalizálja a hibákat és a felesleges kiadásokat (Pyzdek–Keller, 2009). A 6σ azt jelenti, hogy a középérték és a kritikus értékek közötti távolság 6σ (Anwar et al., 2007).

A Six Sigma fő feladata tehát a folyamatokban rejlő változékonyság meghatározása, mivel az alapgondolat az, hogy a folyamatok változékonysága hibalehetőségekre ad okot, a hibalehetőségek pedig a termékhibák kockázatát eredményezik. Végso soron a termékhibák az ügyfelek elégedetlenségéhez vezethetnek, ezért a Six Sigma módszer főként arra hivatott, hogy az ügyfelek elégedettségét növelve csökkentse a folyamatok költségeit. Következésképpen e módszerrel feltárhatók egy adott folyamat gyenge pontjai és szükség szerint javíthatók.

A közlemény célkitűzéseként megjelölt anyagfelhasználás hatékonyabbá tételének folyamatában a Lean Six Sigma (LSS) alkalmazási lehetőségeinek feltárása a nulladik lépés. Bemenetként a felhasznált anyagmennyiségek pontos nyomon követése szükséges. A mért adatok alapján végzett anyagfelhasználási elemzésekkel azonosíthatók továbbá a többletfelhasználás okai is (Dózsa, 2024). A projektötletet tulajdonképpen az adta, hogy a tervezettnél szignifikánsan nagyobb mennyiségű volt a mesterkeverék felhasználása.

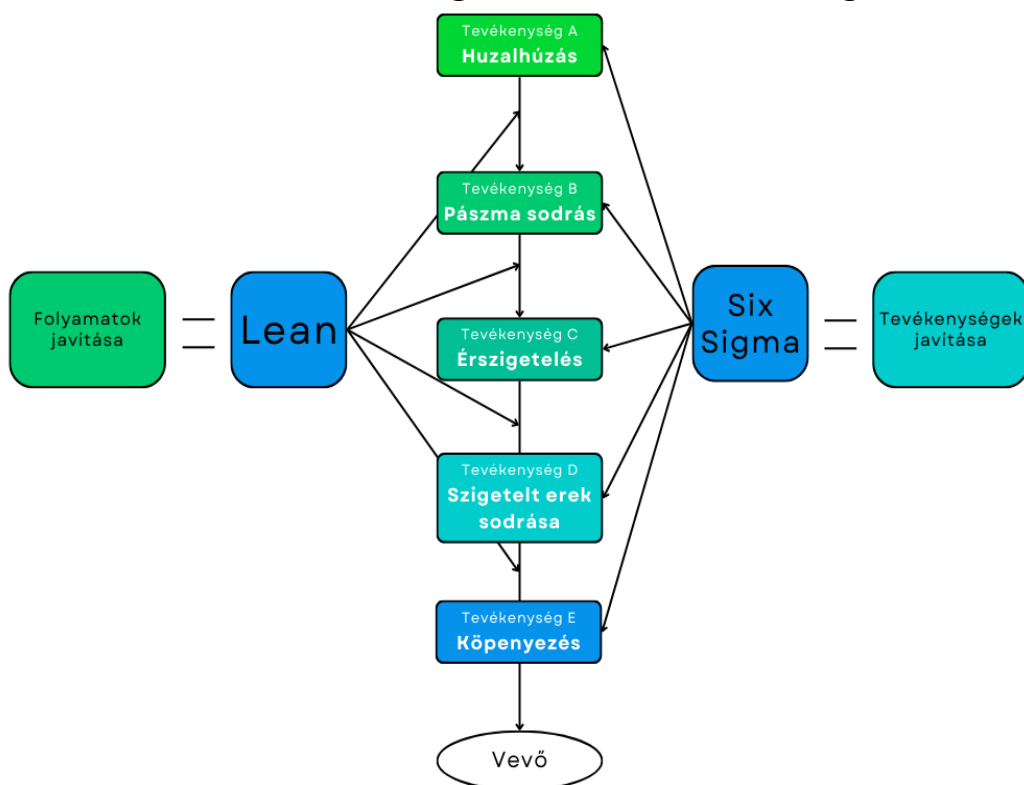
A projekt célkitűzésének megvalósítása a Six Sigma 5 lépése (DMAIC) köré szerveződött (Pyzdek–Keller, 2009):

- **Define (D) – Definiálás:** A probléma pontos meghatározása, szakértői csapat létrehozása, célkitűzés megfogalmazása.

- Measure (M) – Mérés: Adatgyűjtés, mérések a megoldandó probléma behatárolása érdekében.
- Analyze (A) – Elemzés: Az adatok elemzése a probléma gyökereinek meghatározása érdekében.
- Improve (I) – Fejlesztés: Az elemzés alapján megfogalmazott megoldások bevezetése a teljesítmény javítása érdekében.
- Control (C) – Ellenőrzés: A megvalósított fejlesztések folyamatos nyomon követése (az elvárásoknak megfelelően működnek-e).

Lényeges különbség a két módszertan között, hogy a Lean-t leginkább az értékáram biztosítására használják, míg a Six Sigma-t elsősorban tevékenységek fejlesztésére (3. ábra). A Six Sigma és Lean együttes használata azonban jobb eredményt hozhat, mint külön-külön alkalmazva (Sörqvist, 2011).

3. ábra: Lean és Six Sigma módszertanok különbségei



Forrás: Sörqvist (2011) nyomán a szerzők saját szerkesztése.

Az eredményt előre vetítve, a mesterkeverék felhasználására irányuló hatékonyságjavítás céljából elindított és megvalósított Lean Six Sigma projekt igazolja, hogy mérésekkel, elemzésekkel, majd ezt követő konkrét intézkedésekkel optimalizálni lehet a kábelgyártási folyamatokban alkalmazott mesterkeverék felhasználását.

4. Inspiráció – feladat vs. probléma meghatározása (Define)

Inspirációként a mesterkeverék többletfelhasználása szolgált, ami természetesen költségnövekedéssel járt és ezt a többletköltséget azonban nem célszerű az árba integrálni, tehát indokoltta vált a mesterkeverék felhasználásához kapcsolódó gyártási folyamatok felülvizsgálata. Az említett többletfelhasználás okainak feltárására és megszüntetésére tehát két Lean Six Sigma (LSS) projekt indult. Elsődleges cél volt, hogy csökkenjen az anyagfelhasználásban jelentkező pazarlás, végső cél az optimalizálás. Jelen közleményben a PVC mesterkeverékre irányuló projekt kerül részletesen ismertetésre (Dózsa, 2024). Tekintettel arra, hogy a PVC mesterkeveréket a PVC érszigetelő és PVC köpenyező gépsorokon alkalmazzák, így először ezek a területek kerültek fókuszba. A felhasznált mesterkeverék színek szerinti vizsgálatával vizuálisan áttekinthetőbbé vált az, hogy elegendő csak az érszigetelő gépsorokat vizsgálni, mivel azok a színek (1. táblázat), amelyekből a normától eltérő volt a fogyasztás, azokat ebben a gyártási folyamatban alkalmazzák.

1. táblázat: PVC mesterkeverék többletfelhasználás színenként

Sorcímkek	Többletfelhasználás [t]
0011J	0,9
PVC mesterkeverék (kék) 	
0012J	4,5
PVC mesterkeverék (fekete) 	
0013J	1,1
PVC mesterkeverék (fehér) 	
0015J	5,2
PVC mesterkeverék (sárga) 	
0018J	2,5
PVC mesterkeverék (szürke) 	
0026J	0,8
PVC mesterkeverék (vörös) 	
Összesen	15

Forrás: a szerzők saját szerkesztése.

5. Anyagfelhasználás meghatározása, mérések (Measure)

A feldolgozási folyamatok egyik legnagyobb kihívása a tervezett alapanyagfelhasználás megvalósítása. A többletfelhasználás költségghatásokkal járó problémájának definiálását követően elengedhetlenné vált a pontos mérések bevezetése. Az érszigetelő gépsorok 6 gépe közül 2 gépnél nem állt fent a hibalehetőség, mivel azok INOEX gravimetrikus adagolóval ellátottak. A többi 4 gépen volumetrikus adagolók működnek, melyekkel nem sikerült az INOEX adagolók hatékonyságát elérni, ezért ezekhez a gépekhez mérések bevezetésére volt szükség. Itt megjegyzendő, hogy a projekt e szakaszában az adatok pontosságát a rendszeres és folyamatos ellenőrzés mellett egy belső audit is biztosította. A mérési rendszer megbízhatóságának detektálását, illetve a mérési hiba elfogadhatóságának meghatározását Gage R&R elemzés is támogatta. A mérőrendszer újra-

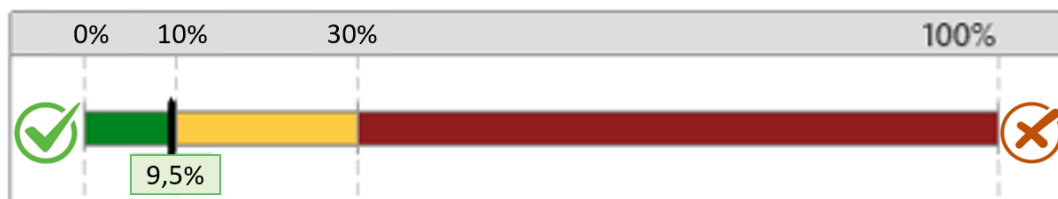
ismételhetősége (reproducibility) és megismételhetősége (repeatability) a mérési rendszer megbízhatóságának és pontosságának mutatói.

Az újraisemtelhetőség a különböző operátorok által végzett mérések közti változékonyságot méri, vagyis azt, hogy az operátorok közti különbségek mekkora eltérést eredményeznek azonos típusú méréseknél.

A megismételhetőség ezzel szemben a mérőeszköz által okozott változékonyságot kvantifikálja, vagyis azt, hogy az adott mérőeszköz mennyire képes konzisztensen ugyanazt az eredményt adni ismételt mérések során, azonos feltételek mellett (Quality-One, 2023).

A különböző gépkezelők általi mérések közötti változékonyság, azaz az újraisemtelhetőség (reproducibility) és a mérőeszköz által okozott változékonyság, vagyis a megismételhetőség (repeatability) értékek csakis együtt értékelhetők. Ezek együttes hatását vizsgálva a Minitab® szoftver segítségével megállapítást nyert, hogy a mérőrendszer varianciája 9,5%. Ez az érték beleesik az elfogadható tartományba, mely 0–10%-ig terjedő intervallum lehet (4. ábra). Ez azt jelenti, hogy a mérőrendszer megbízhatósága megfelelő, és a mérési bizonytalanság nem befolyásolja jelentős mértékben a folyamat kimenetét. Ezek alapján kijelenthető, hogy a bevezetett mérőrendszer alkalmas az adott folyamatban való alkalmazásra, és a mérési adatok pontosan tükrözik a folyamat tényleges állapotát.

4. ábra: Gage R&R megfelelőségi skála



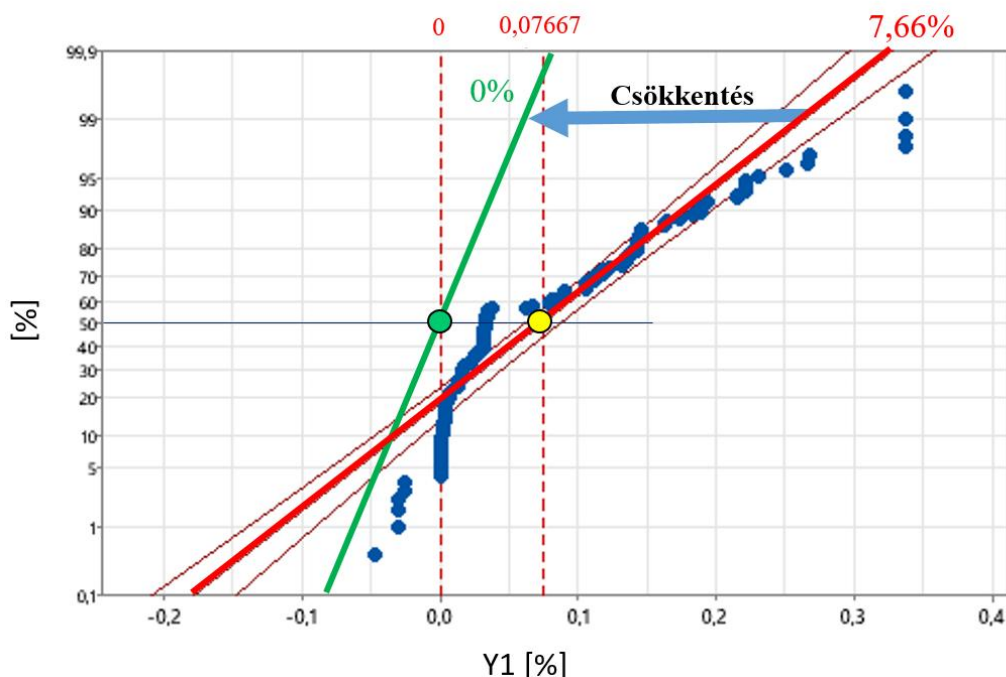
Forrás: Minitab® szoftver által készített tartalom a szerzők által betáplált adatok alapján.

6. Anyagfelhasználási szempontú elemzés (Analyse)

Feladat, hogy az $Y=f(x)$ függvény Y értéke (a betöltött mesterkeverék mennyiségének felhasználása kg-ban) számszerűsíthető legyen az x – mint a folyamatot befolyásoló tényező(k) – azonosítása mellett.

A vizsgálatok elvégzésekor a mért adatokon statisztikai elemzések elvégzésére volt szükség annak meghatározására, hogy a tényleges felhasználás milyen mértékben tért el százalékosan az előírt standard és a jelenlegi fogyasztástól. Ezt az eltérést $Y1$ számszerűsíti. Ehhez a Minitab® szoftver használható, ami a medián és az adatok eloszlási mintájának ábrázolásával biztosít visszajelzést, vizuális megjelenítést. Az adathalmaz mediánja 0,07667-re adódott, vagyis ~7,66%-os eltérés mutatkozott a normához képest. Ez az érték egyértelműen mutatja, hogy a kiinduló rendszer ~7,66%-os hibával működött, tehát ennyivel lépte túl a felhasznált mesterkeverék mennyisége az optimális értéket. A cél az volt, hogy ez az érték 0%-ra csökkenjen le, vagyis teljesen szűnjön meg a fennálló többletfelhasználás. Ezt a célt szemlélteti az 5. ábra, jelölve a ~7,66%-os többletfelhasználást és a 0%-os célt is.

5. ábra: A 7,66%-os hiba 0%-ra csökkentésének grafikus megjelenítése



Forrás: Minitab® szoftver által készített tartalom a szerzők által betáplált adatok alapján.

Azonosításra kerültek azon kritikus változók, amelyek potenciális magyarázatot adhatnak a jelenlegi eltérésre. Ezek a következők:

- érkeresztmetszet
- gép
- operátor
- szín

A szignifikáns különbségek feltárásához a Mood's Median teszt alkalmazható, amely a medián értékek összehasonlításán alapul. Két hipotézis állítható fel: H_0 (nullhipotézis), hogy a populáció mediánjai egyenlők, H_1 (alternatív hipotézis), hogy a populáció mediánjai nem egyenlők. Az elemzés során adódó P szignifikancia érték határozza meg, hogy elfogadjuk vagy elutasítjuk a H_0 nullhipotézist. Ha a szignifikancia érték kevesebb, mint a szignifikancia szint (alapértelmezés szerint 0,05), akkor a teszt statisztikailag szignifikánsnak minősített (URL3).

Az érkeresztmetszetek szerinti esetben a P-érték 0,115. Ez az érték nagyobb, mint a szignifikancia szintként meghatározott 0,05. Következésképpen elutasítandó az H_1 hipotézis és elfogadandó a H_0 hipotézis. Ez statisztikai értelemben azt jelenti, hogy nincs szignifikáns különbség a különböző érkeresztmetszetű csoportok mediánjai között, azaz az érkeresztmetszet nem tekinthető jelentős befolyásoló tényezőnek a folyamat eredményessége szempontjából. Ennek következtében a figyelem a többi befolyásoló tényezőre helyeződött.

A különböző gépekre elvégzett statisztikai elemzés eredményeként a P-érték 0,007. Ez kisebb, mint a meghatározott 0,05-ös szignifikanciaszint, ezért a H_0

hipotézis elutasításra került és a H_1 hipotézis pedig elfogadásra. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a különböző gépek közötti anyagfelhasználási különbségek szignifikánsan hozzájárulnak a folyamat hibás működéséhez.

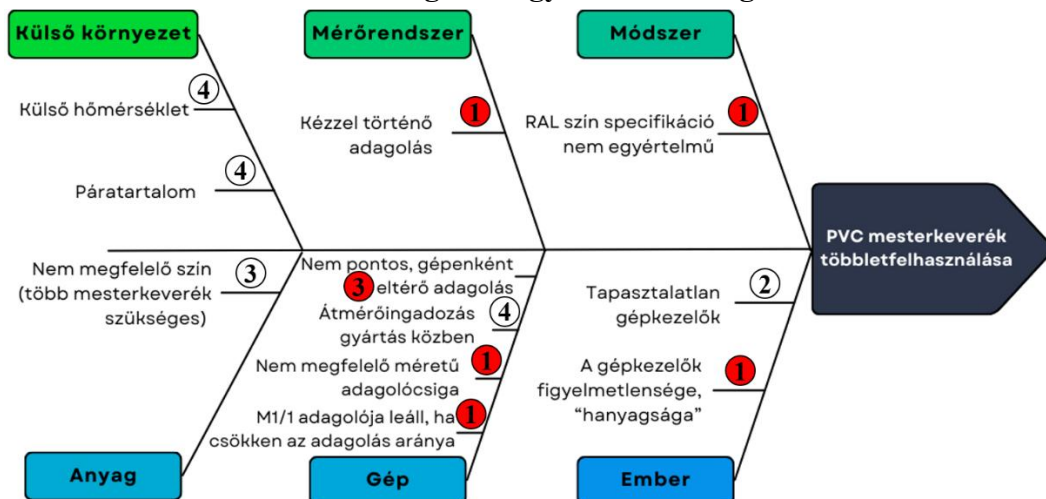
A különböző operátorokra elvégzett elemzések során a P-érték 0,01. Ez kisebb, mint a meghatározott 0,05-ös szignifikancia szint, ezért a H_0 hipotézis elutasításra került, a H_1 hipotézis pedig elfogadásra, ami azt jelenti, hogy a különböző operátorok közti anyagfelhasználási különbségek is jelentősen hozzájárulnak a folyamat hibás működéséhez. Továbbá arra enged következtetni, hogy az operátorok által alkalmazott különböző munkamódszerek, technikák, illetve figyelmi szintjük közvetlenül befolyásolják a folyamat teljesítményét és megbízhatóságát.

A különböző színekre elvégzett statisztikai elemzések eredményeként a P-érték 0,001. Ez kisebb, mint a meghatározott 0,05-ös szignifikancia szint, ezért a H_0 hipotézis elutasításra került, a H_1 alternatív hipotézis pedig elfogadásra. Megállapítható tehát, hogy a különböző színek közötti anyagfelhasználási eltérések szintén szignifikáns mértékben hozzájárulnak a folyamat hibás működéséhez. Az eredmények arra utalnak, hogy a mesterkeverék eltérő színeinek kezelése különböző módon befolyásolja a folyamatot, valószínűleg a színek kompozíció vagy a festékanyag tulajdonságainak eltérései miatt. Ez további vizsgálatokat kíván.

7. Anyagfelhasználást befolyásoló fejlesztési lehetőségek (Improve)

Gyökérokok feltárásával folytatódott a projekt. A cél a folyamatot zavaró tényezők megszüntetése. A gyökérokok meghatározására kiválóan alkalmazható a halszálka diagram (6. ábra).

6. ábra: Halszálka diagram a gyökérokok meghatározására

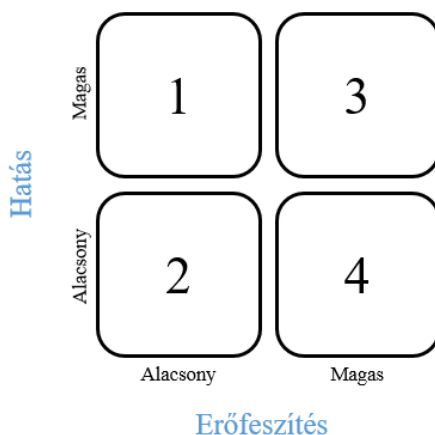


Forrás: a szerzők saját szerkesztése.

A vizuálisan jól szemléltethető potenciális rendellenességek és a kategorizálható problémák által könnyebb megérteni, hogyan befolyásolják az adott tényezők a folyamat végeredményét.

Ezek a gyökérokok pedig egy erőfeszítés-hatásmátrixban (7. ábra) kategorizálhatók, így a figyelem azokra a tényezőkre összpontosítható, amelyek esetén alacsony erőfeszítéssel jelentős hatásokat lehet elérni (a 6. ábrán az 1-es számmal jelölt okok).

7. ábra: Erőfeszítés-hatásmátrix



Forrás: a szerzők saját szerkesztése.

A halszálla diagramban feltüntetett és az erőfeszítés-hatásmátrix alapján kategorizált okokra (1, 2, 3, 4) egy vállalati szakértői csapat megoldásokat dolgozott ki, amelyek sikeresen implementálásra kerültek (ilyenek voltak pl. színskála beszerzése, adagoló csiga újraméretezése, illetve új adagolási arány kidolgozása).

A gravimetrikus adagolók képesek biztosítani a legnagyobb pontosságú anyagadagolást, ahogyan korábban történt is rá utalás: ezekkel lehetne elérni a 0%-os hibahatárt, vagyis ideális megoldásként szolgálnának, ha minden gépsoron felszerelésre kerülne egy-egy ilyen berendezés. Mivel a gravimetrikus adagolók jelentős beruházási költséggel járnak, ezért a vállalat menedzsmentje a fokozatos, több ütemben történő bevezetés mellett döntött. A teljes megvalósítás tehát egy ütemezett beruházási terv szerint történik, a projekt során elért költségmegtakarításokat pedig célzottan az adagolórendszerek fokozatos beszerzésére fordítják. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a vállalat fenntartható módon, a rendelkezésre álló erőforrások optimalizálásával valósítsa meg az anyagfelhasználás optimalizálását, ezáltal folyamatosan javítva a gyártási folyamatok pontosságát és hatékonyságát.

Folyamatfejlesztési vonatkozásban az adagolók nem megfelelő beállítása és/vagy a gépkezelők rutinszerű munkavégzése egyértelműen rámutatott arra, hogy a gyártás során elengedhetetlen a folyamatos monitorozás az érszigetelő gépsorok területén. A kívánt termékminőség elérése és fenntartása érdekében szükség van a

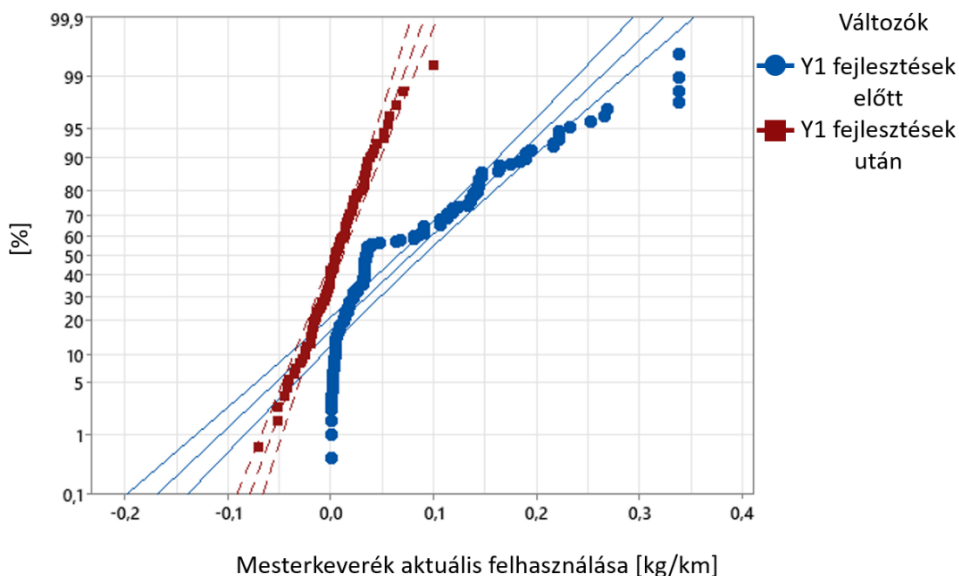
rendszeres felügyeletre és szoros együttműködésre a gépkezelőkkel, valamint arra, hogy az utasítások következetesen kerüljenek alkalmazásra.

8. Gyártósori anyagfelhasználás monitorozása (Control)

A verifikáció során ugyanolyan intervallumú (14 nap) mérésorozat és adatgyűjtési módszer került alkalmazásra, mint az eredeti állapotfelmérésnél. Ez lehetővé tette az előző mérési eredmények közvetlen összehasonlíthatóságát. A korábban alkalmazott szoftver segítségével vizualizálva lettek a fejlesztés előtti (Y1 Before) és utáni (Y1 After) teljesítménybeli különbségek (8. ábra). A statisztikai eredmények azt mutatták, hogy a fejlesztések előtti ~7,66%-os hibaszázalékot 0,58%-ra sikerült csökkenteni, ami jelentős javulást képvisel a kezdeti állapothoz képest. Ez az eredmény azt jelzi, hogy a folyamatfejlesztési célok hatékonyan teljesültek.

8. ábra: A mesterkeverék optimalizálás előtti és utáni állapot

Valószínűségi eloszlás diagram Y1 fejlesztések előtt [%]; Y1 fejlesztések után [%]
Normál – 95 %-os konfidencia intervallum mellett



Forrás: Minitab® szoftver által készített tartalom a szerzők által betáplált adatok alapján.

A többletfelhasználás csökkentésére irányuló projekt hozzájárult a vállalat környezetre gyakorolt hatásának csökkentéséhez is, ugyanis a mesterkeverékekben található festékek nehézfémeket vagy nem lebomló vegyületeket tartalmazhatnak. Továbbá a mesterkeverék felhasználásának csökkentése elősegíti a gyártási folyamat energiaigényének mérséklését is, mivel az anyagkezelés, extrudálás és feldolgozás során kevesebb anyag mozgatása szükséges. Az előbbiekből okán biztosítható a folyamatos megfelelés a fenntartható ipari termelés irányelveinek és a körforgásos gazdaság célkitűzéseinek. Továbbá, az anyagfelhasználás hatékonyságának javítása csökkenti a gyártási hulladékok mennyiségét, ami kisebb nyomást gyakorol a

hulladékkezelési rendszerekre. A projekt megvalósítása kielégíti az MSZ EN ISO 14001:2015 szabvány ajánlásait, amelyről a vállalat tanúsítvánnyal is rendelkezik.

9. Összegzés

Összességében megállapítható, hogy a közlemény célja – a Prysmian MKM Kisteleki Kábelgyár kábelgyártási folyamatában alkalmazott mesterkeverék felhasználásának csökkentése – a Lean Six Sigma (LSS) módszertan alkalmazásával sikeresen megvalósult. Az LSS módszertan ötlépcsős (DMAIC) folyamata strukturált keretet biztosított a mesterkeverék felhasználás mélyreható elemzéséhez. Lehetőséget teremtett a gyökérokok azonosítására és célzott fejlesztési intézkedések meghatározására.

A projekt egyik kulcsfontosságú eleme a mérési pontosság biztosítása volt, amelyhez a Gage R&R elemzés segítségével validált mérőrendszert lehetett kialakítani. A folyamatváltozók hatásai számszerűsíthetők statisztikai analízisek, többek között Mood's Median tesztek elvégzésével, valamint halszálla diagram és erőfeszítés–hatás mátrix készítésével prioritizálhatóvá váltak a releváns beavatkozási területek. Az azonosított kritikus tényezők figyelembevételével körvonalazott fejlesztések implementálását követően a mesterkeverék-felhasználás jelentős csökkenését sikerült elérni.

Az eredmények validálása során az azonos módszertannal és mérési időintervallummal végzett kontrollvizsgálatok igazolták a fejlesztések hatékonyságát. Bár az elért eredmény a 0%-ot „csak” megközelítette, a lehetőségekhez mérten az eredmény elfogadásra került.

Végeredményben kijelenthető, hogy a bemutatott projekt kapcsán a Lean Six Sigma módszertan alkalmazása sikeresen támogatta az anyagfelhasználás csökkentését, lehetővé teszi az optimalizálást. Az eredmények alátámasztják a módszertan alkalmazhatóságát az ipari anyagfelhasználás optimalizálásában, és rámutatnak arra, hogy további folyamatfejlesztéssel, például a rendszeres belső auditok bevezetésével, a kezelőszemélyzet célzott oktatásával, motiválásával betarthatók/betartathatók a technológiai előírások és utasítások, ezek pedig tovább növelhetik a termelési folyamatok hosszú távú stabilitását és a fenntarthatóságot. Nem utolsó sorban kiküszöbölhetők vagy időlegesen megelőzhetők a technológia szempontjából nem feltétlenül szükséges eszközbeszerzések is, elkerülve ezzel a gyártási többletköltséget és az esetleges többletkockázatokat.

Köszönetnyilvánítás

Hála és köszönet illeti a Prysmian MKM Kisteleki Kábelgyára minden résztvevő dolgozóját, akik elkötelezettségükkel és kitartó munkájukkal segítettek leküzdeni a kihívásokat és hozzájárultak a projekt sikeréhez. Támogatásuk, szakértelmük és együttműködésük nélkül ez az eredmény nem valósulhatott volna meg.

Irodalomjegyzék

- Anwar M., Barta T., Tóth T. (2007): *Minőségmenedzsment II.* Szókratész Külgazdasági Akadémia, Budapest.
- Black, R. M. (1983): *The History of Electric Wires and Cables.* BICC Research and Engineering Limited, London.
- Dési A., Dombi S. (2006): *Kábelek alkalmazásának kézikönyve.* Terc, Budapest.
- Dózsa E. (2024): *Anyaghatékonyság javítása kábelgyártó gépsoron.* (TDK dolgozat) SZTE Mérnöki Kar, Szeged.
- Fábián J. (2009): *Kábelgyártás.* (1. rész), e-book <<https://www.partnercable.hu/hu/szolgalattasok/>> (2024.09.02.)
- Ganguli, S. K., Kohli, V. (2016): *Power Cable Technology.* CRC Press, New York.
- Hoffmann P. (1983): *Kábelipari kézikönyv - Kábelipari alapismeretek (I/I. kötet).* PRODINFORM Műszaki Tanácsadó Vállalat, Budapest.
- Hoffmann P., Kuzmich I., Varga L. (1970): *Kábel - Zsebkönyv I. kötet.* Magyar Kábel Művek, Budapest-Szeged.
- Kuti J. (2010): *Kisfeszültségű hálózatok.* Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest.
- Legény B. (1976): *Műanyagfeldolgozó technológia I. (4. kiad.).* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Prysmian Group (2016): Wire drawing. Prysmian Group Manufacturing Academy. Professional School (online lecture), January 27, 2016.
- Pyzdek, T., Keller, P. A. (2009): *The Six Sigma Handbook - A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels.* McGraw-Hill Professional, New York.
- Quality-One (2023): Gage Repeatability & Reproducibility (Gage R&R). Quality-One International Discover the Value. <<https://quality-one.com/grr/>> (2024.09.02.)
- Schaaf W., Hahnemann A. (1974): *Műanyagok feldolgozása.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Sörqvist, L. (2011): Integrating Six Sigma and Lean for better results. Sandholm Associates (online lecture), Stockholm.
- Womack, J., Jones, D. (2003): *Lean Thinking.* Free Press, New York.
- MSZ EN ISO 14001:2015 Környezetközpontú irányítási rendszerek. Követelmények alkalmazási útmutatóval.
- URL1: <<https://hu.prysmian.com/en/company/prysmian-history>> (2024.09.02.)
- URL2: <<https://www.prysmian.com/en/company#>> (2024.09.16.)
- URL3: <<https://www.ibm.com/docs/hu/cognos-analytics/11.1.0?topic=terms-significance-value>> (2024.09.19.)