



ÓBUDAI EGYETEM

**Keleti Károly Gazdasági Kar
Közgazdaságtudományi és Pénzügyi Intézet**

SZAKDOLGOZAT

**ÓE-KGK
2023**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Slezák Szabolcs
T006322/FI12904/G**



ÓBUDAI EGYETEM

Keleti Károly Gazdasági Kar



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Keleti Károly Gazdasági Kar
Közgazdaságtudományi és Pénzügyi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Slezák Szabolcs

Szakdolgozat száma: SZD2307051016549225

Törzskönyvi száma: T006322/FI12904/G

Neptun kódja:

Szak: Műszaki menedzser (BSc)

Specializáció: Irányítási rendszerek specializáció

Projektmenedzser specializáció

A dolgozat címe: Mérőrendszer elemzés GR&R vizsgálattal

A dolgozat címe angolul: Measurement System Analysis with GR&R inspection

A feladat részletezése:

1. Értelmezze a mérési rendszert és mutassa be a mérési rendszerekkel szemben támasztott követelményeket!
2. Ismertesse a mérési rendszer elemzésére alkalmazható R&R vizsgálatot!
3. Gyakorlati példán mutassa be az R&R vizsgálatok megvalósítását!
4. Vonjon le következtetéseket a bemutatott elemzés alapján és tegyen javaslatot a mérési rendszer elemzés rendszerére!

Intézményi konzulens neve: Dr. Mizser Csilla Ilona

Külső konzulens neve: Göndör Vera

Munkahelye: RKK Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 12. 15.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 10. 24.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találok:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Keleti Károly Gazdasági Kar



ÓBUDAI EGYETEM

Keleti Károly Gazdasági Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Slezák Szabolcs (Neptunkód: [REDACTED]) hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023.12.01

hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	1
2.	A MÉRŐRENDSZEREKRŐL ÁLTALÁNOSÁGBAN.....	3
2.1.	Mérési rendszer értelmezése	4
2.2.	Mérőerszközök rendszerezése.....	8
2.3.	Mérések alapelvei és típusai.....	10
2.4.	Mérési bizonytalanság.....	17
2.5.	Pontosság, pontossági osztályok és hibák	19
2.5.1.	Pontosság és precizitás.....	21
2.6.	R&R elemzések jelentősége.....	24
2.6.1.	R&R elemzések (ismételhetőség és reprodukálhatóság)	24
2.6.2.	Mérési hibák és azok hatásai a termelésre	25
2.7.	R&R elemzések módszertana	27
2.7.1.	Az R&R elemzés lépései	27
2.7.2.	Mérési adatok gyűjtése és feldolgozása.....	28
2.7.3.	Elemzési eszközök és szoftverek.....	30
2.8.	Mérőrendszerek elemzési problémái.....	32
3.	GYAKORLATI PÉLDA	34
3.1.	Vállalat bemutatás	34
3.2.	R&R mérések a gyakorlatban	35

3.2.1.	Ismételhetőség és reprodukálhatóság értékelése.....	35
3.2.2.	Mérési hibák forrásainak azonosítása	42
3.2.3.	Javasolt javító intézkedések.....	45
4.	ÖSSZEFOGLALÁS	50
	IRODALOMJEGYZÉK	51
	TARTALMI KIVONAT.....	I
	SUMMARY	I

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Mérőrendszer alapjai.....	3
2. ábra : Hitelesítést igazoló matrica.....	5
3. ábra A mérőrendszer elemek, „zajok” forrásai	7
4. ábra Bias, azaz a statisztikai torzítás	11
5. ábra Pontosság	12
6. ábra Megismételhetőség a statisztikában	13
7. ábra Linearitás a statisztikában	14
8. ábra Stabilitás a statisztikában	14
9. ábra Mérési bizonytalanság	18
10. ábra Pontosság	21
11. ábra Precizitás	22
12. ábra Pontosság és precizitás.....	23
13. ábra Az R&R elemzés lépései	28
14. ábra Elfogadási határok az R&R-ban	38
15. ábra Mérési eredmény 1.1.....	40
16. ábra Mérési eredmény 1.2.....	41
17. ábra Második mérési eredmény 2.1	48
18. ábr Második mérési eredmény 2.2	49

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat Mérési adatok	39
2. táblázat Fejlesztés után mért adatok	47

1. BEVEZETÉS

A mérőrendszerek megbízhatóságának elemzése különösen fontos szerepet tölt be azokban az iparágakban, ahol a versenyképesség megőrzése érdekében fontos a termelés minőségének és hatékonyságának biztosítása. Az iparban használt különféle mérőműszerek és rendszerek pontos működése, szorosan összefügg a termékminőséggel és a folyamathatékonysággal. A pontatlan mérések, és megbízhatatlan mérőrendszerek komoly problémákat okozhatnak, mint például a hibás termékek számának növekedése, a rossz minőségű termékek rossz piaci elfogadottsága, hosszú gyártási idő, magas költségek és nem utolsósorban hibás termék kijutása a vevőhöz. A minőség, az idő- és költséghatékonyság a versenyképesség sarokkövei. Ezért elengedhetetlen, hogy az alkalmazott mérőrendszer megbízható legyen, a mérései torzításmentesek legyenek és precízek, azaz megismételhetők és reprodukálhatók. Ehhez használt mérőrendszerek kiválasztása és validálása is nagy körültekintést igényel.

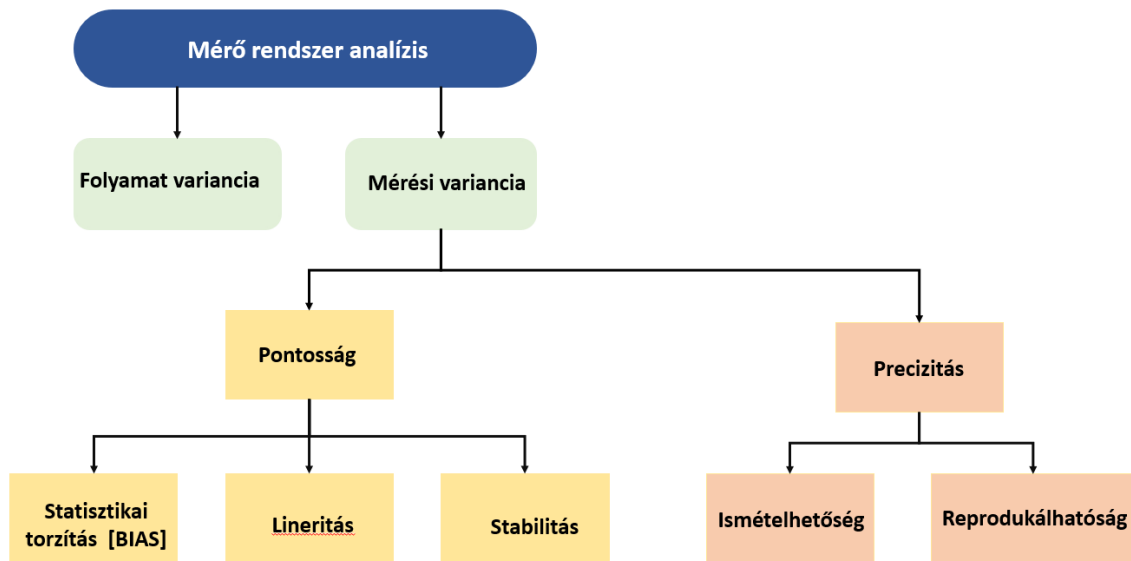
A szervezetnél alkalmazott mérőrendszereknek meg kell felelniük a jogszabályi követelményeknek szigorú minőségügyi előírásoknak, szabványoknak és a mérési eredményeknek pontosan tükrözniük kell a termék vagy folyamat tényleges jellemzőit. A hibás mérési eredmények alapvetően torzíthatják a vezetői döntéseket, és rossz termelésirányításhoz vezethetnek, a vevők elégedetlenségét okozhatják. Fontos hogy az adott cég pontosan felmérje a mérési rendszerelemzési problémákat és megfelelő intézkedéseket tegyen azok megoldására.

A dolgozat kiterjed a saját gyakorlatomban megismert mérőeszközökre, valamint azt általunk használt mérési eljárásokra és protokollokra. Az R&R elemzés hatékony eszköz a mérőrendszerek ellenőrzésére. Ez az elemzés lehetővé teszi ezen rendszer hibáinak azonosítását és a mérési eredmények megbízhatóságának mérését. A szükséges mérési adatok összegyűjtésével és egy elemzés elvégzésével megismerhetjük mérőrendszerünk teljesítményét és azonosíthatjuk a potenciális hibaforrásokat. Korábbi munkatapasztalataimból adódóan, dolgoztam már egy autó ipari beszállító cégnél, ahol többek között, én feleltem a mérőrendszer analízisért, azaz az MSA-ért is. Tapasztalatom nagyját itt szereztem meg, hiszen minden új gyártósor beindításakor MSA-t kellett végrehajtanunk a soron. A dolgozatban bemutatom a gyártó szervezetek esetében

használt mérőeszközökre, valamint a mérési eljárások elterjedt értékelési protokolljaira. Ismertetem, hogyan alkalmazható hatékonyan az R&R elemzés a mérőrendszerek ellenőrzésére, fejlesztésére. Ez az elemzés lehetővé teszi ezen rendszer hibáinak azonosítását és a mérési eredmények megbízhatóságának mérését. A szükséges mérési adatok összegyűjtésével és egy elemzés elvégzésével megismerhetjük mérőrendszerünk teljesítményét és azonosíthatjuk a potenciális hibaforrásokat.

2. A MÉRŐRENDSZEREKRŐL ÁLTALÁNOSSÁGBAN

Ebben a fejezetben fogom bemutatni a mérést és a mérő rendszereket. Röviden definiálom a mérési rendszert és értelmezem annak elemeit a mérési feladatokra. A hazai és nemzetközi gyakorlat ismertetésével meghatározom milyen számításokat kell végezzünk annak érdekében, hogy tudjuk értékelni a kapott eredményt, illetve kiértékelés után hogyan tudjuk, megállapítani, hogy az adott mérőrendszer jól működik-e vagy sem, illetve milyen hibákkal találkozhatunk a mérések során.[\[9\]](#)



1. ábra

Mérőrendszer elemzésének alapjai

Forrás: Saját szerkesztés a sixsigmastudyguide.com alapján

2.1. Mérési rendszer értelmezése

A mérési rendszer egy olyan komplex struktúra vagy folyamat, amelyet azért fejlesztenek és alkalmaznak, hogy képes legyen a fizikai mennyiségek meghatározására. Ez a rendszer magában foglalja a mérőeszközöket, az ezekkel összekapcsolt elektronikai eszközöket, valamint a szükséges kalibrációs és hitelesítési folyamatokat.

Tehát egy mérési rendszer alapvető elemei:

1. **Mérőeszközök:** Ezek azok az eszközök, amelyek segítenek mérni. A kívánt fizikai mennyiséget érzékelik és átalakítják mérhető jelekké. Például hőmérők, nyomásmérők, időmérők mérlegek.
2. **Elektronika:** Az analóg vagy digitális elektronikai komponensek, amelyek tovább feldolgozzák a mérőeszközöktől érkező jeleket. Az elektronika lehetővé teszi a jelek erősítését, digitalizálását, tárolását és kijelzését, illetve lehetővé teszi a mérési adatok pontosabb feldolgozását, könnyebb kezelhetőségét.

A mérési rendszer célja, hogy objektív és megbízható információt szolgáltatson a különböző fizikai jelenségekről vagy mennyiségekről.

A mérőeszközök kalibrálása és hitelesítése gyakran összekeveredik, de ezek különálló és specifikus tevékenységek. Mindkét eljárás célja annak biztosítása, hogy a mérőeszköz megfelelően és megbízhatóan működjön, de eltérő követelmények szerint végzik őket. (poligont.hu)[11]

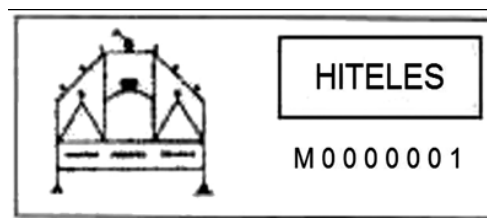
A kalibrálás egy összehasonlítási folyamat, amelyben egy mérőeszköz vagy mérőrendszer kimenetét összehasonlítjuk egy ismert referenciaértékkel. A kalibrálás célja annak megállapítása, hogy az eszköz mennyire tér el a valós értéktől, és ha szükséges, az eszköz korrekciója vagy beállítása, akkor elvégezni azt. A kalibrálást rendszeres időközönként, specifikus számú mérés vagy egy adott esemény (például eszköz leejtése, nagyobb karbantartás) után végezzük el. A kalibrálást gyakran belső vagy külső laboratóriumok végzik, és a végén kalibrálási tanúsítványt, jegyzőkönyvet állítanak ki, amely tartalmazza a mérési eredményeket és az esetleges eltéréseket, mérési hibákat.

A hitelesítés egy hivatalos eljárás, amelyet a mérésügyi hatóság végez. A hitelesítés során azt ellenőrzik, hogy a mérőeszköz megfelel-e a vonatkozó mérésügyi követelményeknek. A hitelesítés jogszabályokon vagy szabványokon alapul, és bizonyos mérőeszközöknél kötelező lehet. (Például: bolti mérleg).” *Joghatással jár a mérés, ha annak eredménye az állampolgárok és/vagy jogi személyek jogát vagy jogi érdekeit érinti, különösen, ha a mérési eredményt mennyiség és/vagy minőség tanúsítására - a szolgáltatás és ellenszolgáltatás mértékének megállapítására - vagy hatósági ellenőrzésre és bizonyításra használják fel; továbbá az élet- és egészségvédelem, a környezetvédelem és a vagyonvédelem területén*” (<https://mkeh.gov.hu/meresugy/hitelesites> - Joghatásos mérés fogalma) . A hitelesítés időtartama és gyakorisága szintén törvényi előírásokon alapul. Amikor a hitelesítési időszak lejár, az eszközt újra kell hitelesíteni. [21]

Összefoglalva:

3. Kalibrálást végezhet bármely szakképzett személy vagy laboratórium, és célja annak biztosítása, hogy az eszköz pontosan mérjen.
4. Hitelesítést állami vagy felhatalmazott szervezet végez, és célja annak ellenőrzése, hogy a mérőeszköz megfelel-e a hivatalos szabványoknak és előírásoknak. [

Az, hogy mikor és milyen gyakorisággal kell kalibrálni vagy hitelesíteni egy mérőeszközt, az gyakran az adott eszköz típusától, az alkalmazásától és a jogszabályoktól függ. A hitelesítés után a mérőeszközön gyakran egy hitelesítési matricát vagy jelölést helyeznek el, ami a hitelesítés érvényességének időtartamát is megadja. [14]



2. ábra

: Hitelesítést igazoló matrica

Forrás: (66/2017. (III. 22.) Korm. rendelet

A következő bekezdésben egy példán keresztül mutatok be egy teljes mérőrendszert, a mintavételezéstől egészen a mérési eredményig, beleértve a mérési környezetet is. A példában egy műanyag alkatrész gyártásáról lesz szó, ahol fontos ellenőrizni az alkatrész méreteit.

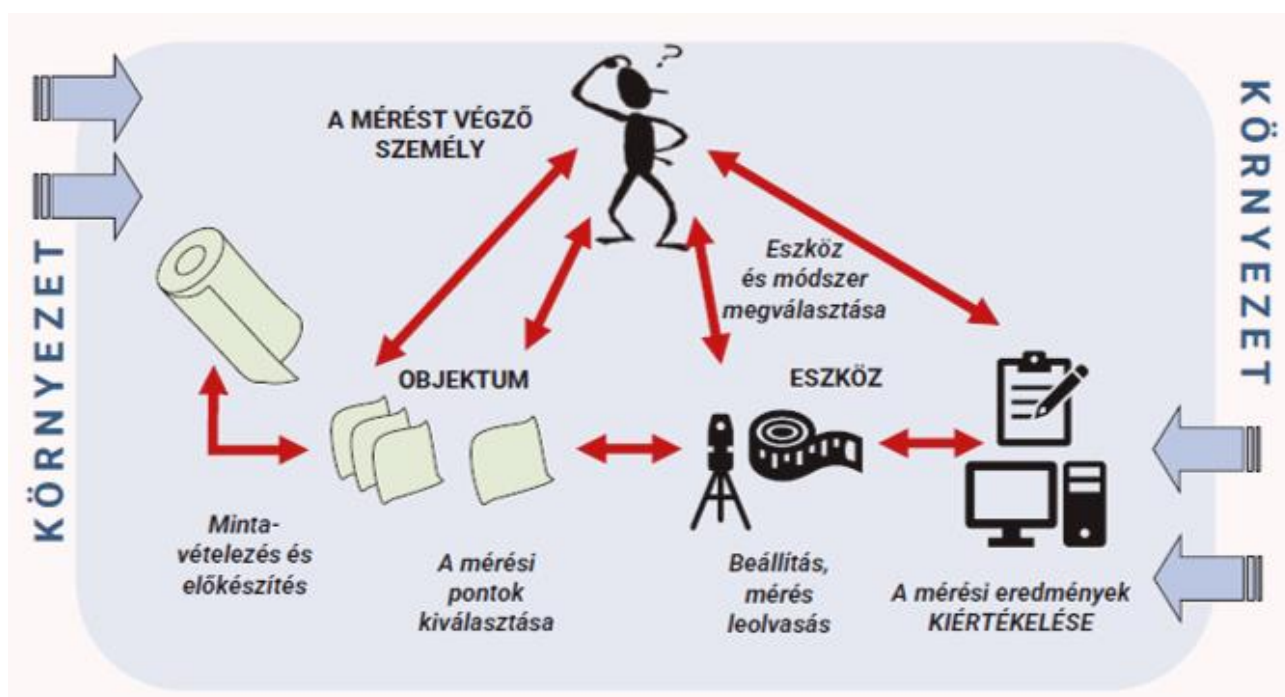
- I. Mintavételezés
 - Mintavevő eszköz: Optikai koordináta-mérő gép
 - Gyakoriság: Mintavételezés a gyártási folyamat különböző szakaszaiban
 - Mintavételi időpontok: Az alkatrész gyártásának különböző szakaszaiban
- II. Jelátalakítás
 - Az optikai koordináta-mérő gép digitális képet készít az alkatrészből, majd a kép alapján méri meg az alkatrész méreteit.
 - A képi információkat digitális formában tárolja és elemzi a szoftver.
- III. Adattárolás
 - Az adatokat a mérési rendszer adatbázisában tároljuk.
 - Formátum: Az adatbázis bejegyzéseknek, tartalmaznia kell az alkatrész azonosítóját és a mért dimenziókat.
- IV. Feldolgozás és elemzés (MSA része)
 - Algoritmusok: Gage R&R (Repeatability & Reproducibility) elemzés az ismételhetőség és reprodukálhatóság értékelésére.
 - Variabilitási források értékelése: Operátorok közötti különbségek meghatározása, - ebben az esetben maguk a gépek lesznek az operátorok a mérésben. A mérési eszközök ismételhetősége, alkatrészből alkatrészeire változó variabilitás vizsgálata.
 - Megjegyzések és eredmények: A mérési rendszer hibáinak azonosítása és javaslatok a mérési folyamat javítására.

V. Megjelenítés

- Felhasználói interfész: Gyártási minőségellenőrzési részlegen elhelyezett monitor, ahol a minőségellenőrzési szakemberek láthatják az MSA eredményeket és a hozzájuk kapcsolódó megjegyzéseket.

VI. Mérési környezet

- Helyszín: Műanyag alkatrészgyártó üzem
- Környezeti tényezők: Hőmérséklet, páratartalom (ezek befolyásolhatják a műanyag viselkedését és a mérés pontosságát), valamint a gyártási berendezések állapota és a gyártási folyamat sebessége.



3. ábra

A mérőrendszer elemek, „zajok” forrásai

Forrás: Göndör Vera: Mérőeszközök metrológiai jellemzői, Korszerű döntéselőkészítő eszközök I., előadás prezentáció, 2022. [\[8\]](#)

2.2. Mérőeszközök rendszerezése

A mérőeszközök rendszerezése segít a különböző eszközök és mérési technikák jobb megértésében és kezelésében. E rendszerezés alapján választhatjuk ki a legalkalmasabb mérőeszközöket az adott feladatokra. A következőkben bemutatom a rendszerezéseknek néhány fajtáját és példákkal, valamint az alkalmazási területekkel egybekötve részletezem azokat.[\[5\]](#)

1. táblázat: Mérőeszközök rendszerezése példákkal

<i>Működési elv szerint</i>	
Mechanikai mérőeszközök	Működésük rugalmasságon, nyomáson, súrlódáson, gravitáción alapul. Példák: tolómérő, óras mérőóra, súlymérlegek. Alkalmazás: Alapvető hosszúsági méretek mérésére, tömegmérésre.
Elektromos és elektronikus mérőeszközök	Elektromos jellemzők, mint feszültség, áram, ellenállás mérésére használják. Példák: multiméter, oszcilloszkóp, frekvenciamérő. Alkalmazás: Elektronikai iparban, laboratóriumokban.
Optikai mérőeszközök	Fény tulajdonságainak mérésére használják. Példák: mikroszkóp, spektrométer, interferométer. Alkalmazás: Orvostudomány, anyagtudomány, kémia.
<i>Mért nagyság szerint:</i>	
Hosszmérő eszközök:	Lineáris dimenziók mérésére. Példák: szalagmérő, tolómérő, lézertávolságmérő
Tömegmérő eszközök:	Objektumok tömegének meghatározására. Példák: mérleg, súlyok, tömegáramlásmérők.

<i>Pontosság vagy felbontás alapján</i>	
Nagy pontosságú Mérőeszközök:	Laboratóriumi és kutatási alkalmazásokban. Példák: oszcilloszkóp, analitikai mérleg, spektrométer.
Alacsony pontosságú mérőeszközök	Mindennapi vagy ipari felhasználásra. Példák: otthoni hőmérők, kézi multiméterek.
<i>Kialakítás szerint</i>	
Kézi mérőeszközök	Hordozható és könnyen használható. Példák: kézi multiméter.
Beépített mérőeszközök	Állandóan telepítve vannak egy adott helyen vagy rendszerben. Példák: ipari szenzorok, épületautomatizálási rendszerek mérőeszközei
<i>Felhasználási terület szerint</i>	
Ipari Mérőeszközök	Robusztus kialakítás, egyszerű használat. Példák: gyártósori minőségellenőrző eszközök, ipari hőmérők.
Laboratóriumi Mérőeszközök	Nagy pontosság és megbízhatóság. Példák: SEM, precíziós mérlegek.

Ezek a kategóriák lehetővé teszik a mérőeszközök áttekintését és szelektálását a felhasználás, pontosság, és a működési elv alapján. Az eszközök választása az adott méréstechnikai feladattól, a műszertől elvárt pontosságtól, névleges tartománytól, mérési tartománytól, érzékenységtől, felbontóképességtől és a rendelkezésre álló költségkerettől függ. [\[10\]](#)

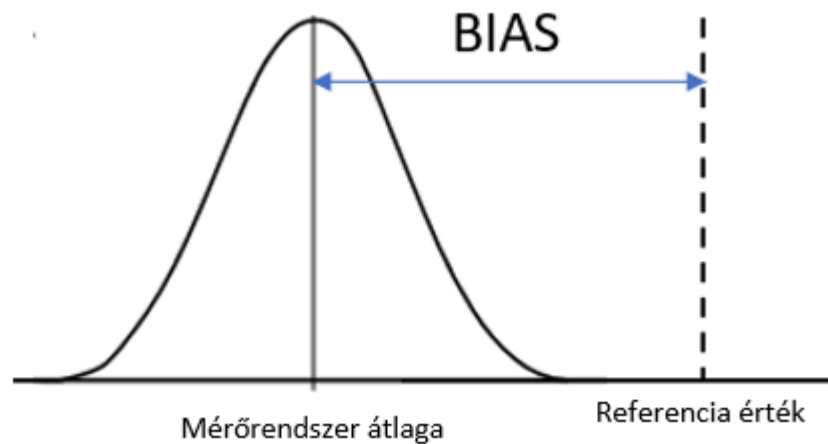
2.3. Mérések alapelvei és típusai

A mérési adatokat egyre szélesebb körben és gyakrabban használják fel, mint eddig valaha. Például a gyártási folyamatok javítására vonatkozó döntések ma már szinte mindig, mérési adatokon alapul. Az adatokat, vagy az ezekből számolt statisztikát összevetik a folyamat statisztikai kontroll határaival, és ha az eredmény azt mutatja, hogy a folyamat statisztikailag nem szabályozható, akkor valamilyen korrekcióra kerül sor. Ellenkező esetben, azaz ha nem tapasztalunk eltérést, akkor a folyamat bármiféle beavatkozás nélkül futhat tovább. Az ISO 9001 egyik alapelve is kitér erre, a „bizonyítékon alapuló döntéshozatal”, ahol kimondja, hogy ha adatelemzésen és információ kiértékelésen alapul a döntéshozatal, nagyobb eséllyel kapjuk meg a várt eredményt. [\[22\]](#)

A mért adatok másik felhasználási módja az összehasonlítás. Annak meghatározása, hogy van-e szignifikáns kapcsolat kettő vagy több változó között. Az ilyen adat alapú eljárások használatának előnyeit, nagy mértékben befolyásolja a felhasznált mérési adatoknak a minősége. Ha az adatminőség alacsony, feltételezhető, hogy az eredmény nem lesz megbízható.

Ellenben, ha az adatok minősége magas, a megbízhatóságuk is magas lesz, így az eredmény is. Ezen mért adatok minőségét úgy határozzuk, hogy vesszük a statisztikai tulajdonságait a méréseknek, amit egy mérőrendszeren végeztük, ami stabil körülmények között működik. Ilyen leggyakrabban használt statisztikai tulajdonság például a bias és a variancia.

- Bias: Statisztikai torzítás.
- Variancia: (Megismételhetőségi vizsgálat) Szórásnégyzet



4. ábra

Bias, azaz a statisztikai torzítás

Forrás: Saját szerkesztés AIAG alapján

A leggyakoribb oka az adatok alacsony minőségének, a túl sok változó. Ezért nagy figyelmet kell fordítani a mérőrendszer monitorozására, hogy kontrollálni tudjuk a változókat. [\[1\]](#)

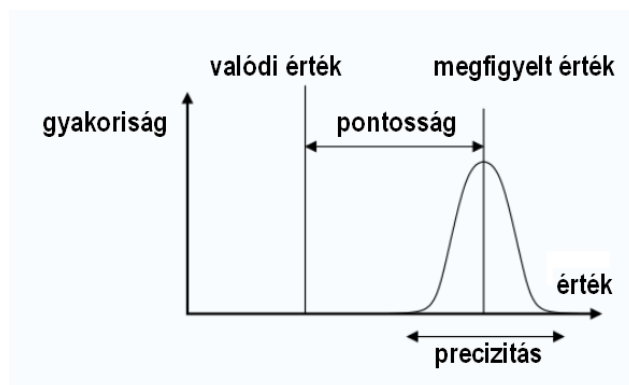
A mérés az egyik legfontosabb módszer az információk gyűjtésére, elemzésére és értelmezésére számos tudományos, technikai és üzleti területen. Az MSA (Measurement System Analysis) az egyik legfontosabb módszer a mérési folyamatok hatékonyságának, megbízhatóságának és minőségének kiértékelésére. Az MSA alapelvei olyan iránymutatások, amelyek segítenek megbizonyosodni arról, hogy a mérési eredmények megbízhatóak, pontosak és összehasonlíthatóak.

Ezek az elvek biztosítják a mérések eredményeként kapott adatokon alapuló döntések pontosságát. Kritikus szerepet játszanak gyártó környezetben a minőségellenőrzésben, a folyamatok javításában és a hibák csökkentésében, így közvetett hatással van a termelékenységre is. Így tehát alaposan kidolgozott és rendszeresen alkalmazott MSA módszerek hozzájárulnak a termelési hatékonyság és a minőség javításához, a termelési költségek csökkentéséhez és a vevői elégedettség növeléséhez. A legmeghatározóbb

szakirodalom, ami összefoglalja a mérő rendszer analízist, az nem más, mint az Amerikai „Automotive Industry Action Group”, azaz az AIAG.

Az alábbiakban összefoglalom az MSA mérések alapelveit:

1. **Megbízhatóság:** Az egyik legfontosabb alapelv az MSA-ban a megbízhatóság. Ez azt jelenti, hogy a mérő rendszernek és az alkalmazott mérési módszereknek stabilnak és kiszámíthatónak kell lenniük. Egy megbízható mérő rendszer képes reprodukálni a méréseket különböző időpontokban és körülmények között, közel azonos eredményeket produkálva.
2. **Pontosság:** A mérőrendszernek közel kell lennie a valósághoz, azaz a mért értékeknek majdhogynem meg kell egyeznie a valós adattal. A pontatlan méréseknek számos hátulütője van mind a termelésben, mind a minősbiztosításban. Ilyenek például a minőség és a termelékenység romlása.[\[13\]](#)

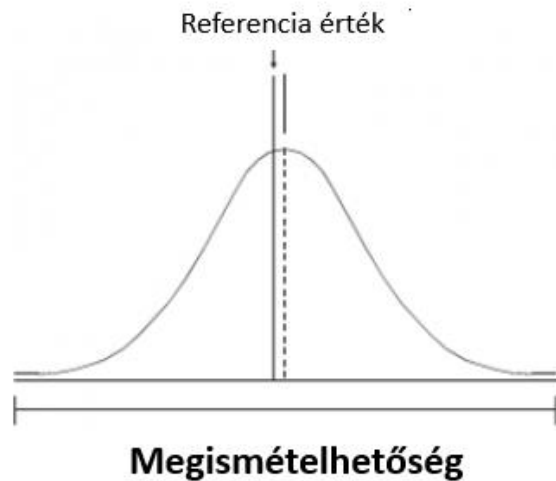


5. ábra

Pontosság

Forrás: https://hu.wikipedia.org/wiki/Pontosság_és_precizitás

3. **Megismételhetőség:** A mérési folyamatnak reprodukálhatónak kell lennie, azaz másoknak vagy ugyanazon folyamat más időpontjában végrehajtott méréseknek hasonló eredményeket kell eredményezniük. Így lehetővé téve a folyamat stabilitásának és megbízhatóságának az ellenőrzését, illetve a mérési hibák azonosítását is elősegíti.



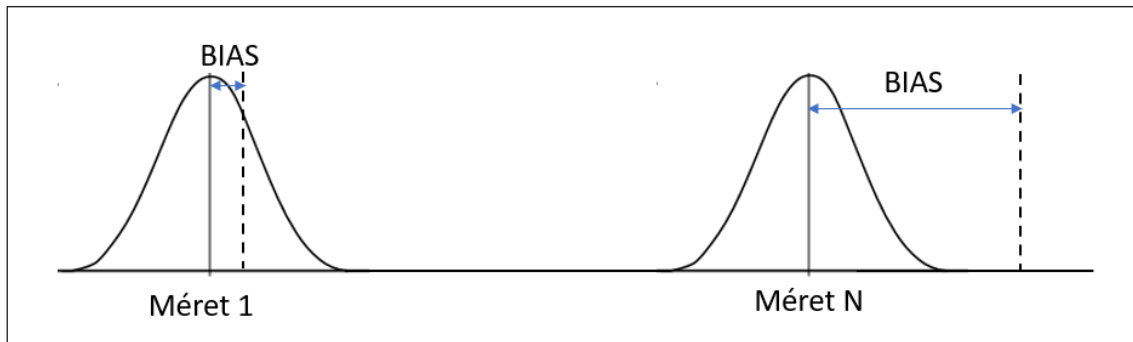
6. ábra

Megismételhetőség a statisztikában

Forrás: Saját szerkesztés

4. **Szenzitivitás:** A mérőrendszernek képesnek kell lennie a változások kimutatására (a rendszer specifikációin belül) és megfelelően reagálni ezekre. Tehát, egy $\pm 1\text{kg}$ mérési pontosságú mérlegen nem fogunk grammban eltérést tapasztalni.

5. Linearitás: A mérési eszközöknek olyan tartományban kell működniük, amelyben a mérési jellemzők lineárisan viselkednek. Ez biztosítja a mérések megbízhatóságát és könnyű értelmezhetőségét

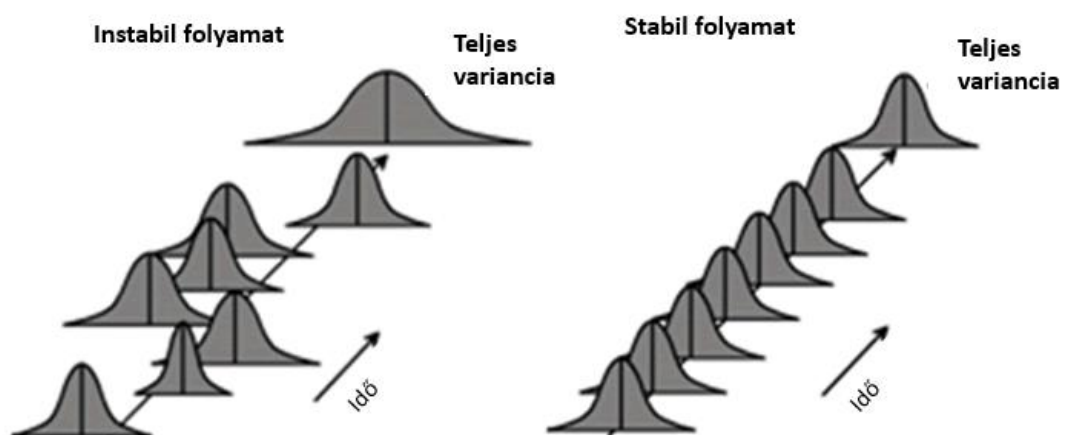


7. ábra

Linearitás a statisztikában

Forrás: Saját szerkesztés

6. Reprezentativitás: A mérésnek, vagyis a mérendő daraboknak reprezentálnia kell az adott populációt amire vonatkozik.
7. Állandóság, stabilitás: A mérőrendszernek stabilnak kell lennie hosszú távon és nem szabad jelentős változásoknak alávetni a környezeti, vagy karbantartási intézkedések miatt. Az állandóság biztosítja a megbízható és összehasonlítható méréseket.[\[12\]](#)



8. ábra

Stabilitás a statisztikában

Forrás: Saját szerkesztés a <https://www.nikunjboraniya.com/> alapján

A Mérőrendszer Analízis (MSA) három alaptípusa:

- 1) Type 1 (Egyszerű),
- 2) Type 2 (Általános)
- 3) Type 3 (Regressziós)

MSA, különböző szintű és összetettségű elemzéseket végez a mérőrendszerek megbízhatóságának és teljesítményének értékelésére. Az alábbiakban részletezem ezeket a típusokat:

2.3.1. *Type 1 (Egyszerű) MSA*

Alapvető cél: Az elsődleges célja az, hogy meghatározza, mennyire megbízható és pontos egy mérőrendszer. Gyakran használják az alapvető Gage R&R (Repeatability and Reproducibility) elemzés végzésére.

Elemzési lépések: A Type 1 MSA során általában az ismételhetőség (repeatability) és a reprodukálhatóság (reproducibility) értékelése történik. Az ismételhetőség azt mutatja, hogy ugyanazon mérőszemély ugyanazt a mérést többször mennyire pontosan végezheti el, míg a reprodukálhatóság azt vizsgálja, hogy különböző mérőszemélyek ugyanazon mérést mennyire közel azonos eredménnyel hajthatják végre.

Alapvető statisztikák: Általában alapvető statisztikai mutatókat használnak, mint például a variancia, az ismételhetőségi és reprodukálhatósági hibák százalékos aránya, valamint az átlagok és a szórások.

Alkalmazások: A Type 1 MSA a legalkalmasabb egyszerű mérések és alapvető minőségellenőrzési feladatok értékelésére. Első lépésként alkalmazzák, hogy kiderítsék, hogy szükség van-e további MSA típusokra.

2.3.2. *Type 2 (Általános) MSA*

Alapvető cél: A Type 2 MSA komplexebb és általánosabb értékeléseket végez a mérőrendszerekre, és többféle mérési karakterisztikát és alkalmazást támogat.

Elemzési lépések: A Type 2 MSA lehetővé teszi a mérőrendszer lineáris és nem lineáris jellegének vizsgálatát, több dimenziós méréseket, attribútumokat és sok más aspektust. Gyakran alkalmaz statisztikai elemzéseket és speciális eljárásokat, például az összetett varianciaelemzést (ANOVA) és az interakciók vizsgálatát.

Alapvető statisztikák: A Type 2 MSA sokféle statisztikai eszközt és mutatót használ, attól függően, hogy milyen jellegű méréseket és elemzéseket végeznek.

Alkalmazások: A Type 2 MSA nagyobb mértékű összetettséget és specifikációt igénylő mérésekhez alkalmazták, ahol több dimenziós adatokat kell értékelni vagy a mérőrendszer viselkedése kifinomultabb elemzést igényel.

2.3.3. *Type 3 (Regressziós) MSA*

Alapvető cél: A legkomplexebb MSA típus, amely regressziós elemzéseket és modellezéseket alkalmaz a mérőrendszerek teljesítményének vizsgálatára.

Elemzési lépések: A Type 3 MSA a regressziós elemzéseket használja annak megállapítására, hogy a mérőrendszer hogyan illeszkedik egy meghatározott modellhez vagy összefüggéshez. Ez lehetővé teszi a további összefüggések és trendek felderítését a mérések és a valós értékek között.

Alapvető statisztikák: A regressziós elemzéseken kívül a Type 3 MSA az alapvető statisztikai eszközöket is használhatja, attól függően, hogy a konkrét alkalmazás és az elemzési igények hogyan határozzák meg.

Alkalmazások: A Type 3 MSA-t olyan speciális alkalmazásokhoz használják, ahol a mérőrendszer teljesítményét egy meghatározott modellhez vagy összefüggéshez kell illeszteni. Ez a típus például a regressziós modellek fejlesztésére és elemzésére használható.

Mindegyik MSA típusnak megvan a helye és a szerepe az MSA folyamatban, és a választás attól függ, hogy milyen típusú mérésekről van szó, milyen alkalmazásról van szó, és milyen jellegű elemzéseket igényelnek. Az MSA célja a mérőrendszerek

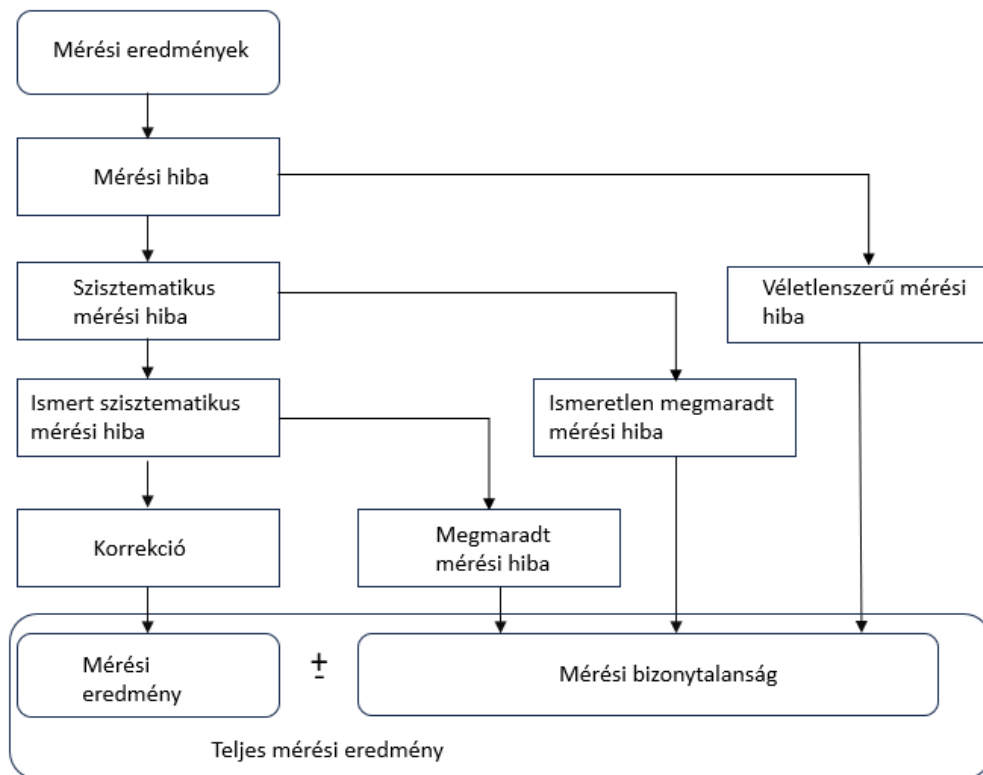
megbízhatóságának értékelése és javítása, és a megfelelő típus kiválasztása a feladat és az igények szerint történik.

2.4. Mérési bizonytalanság

A mérési bizonytalanság a mérő rendszer analízis egyik alapvető fogalma, és az adott mérési folyamatokkal kapcsolatos hibákat és bizonytalanságokat jelöli. Ez a fogalom azt mutatja, hogy az adott mérési eredményeknek mekkora mértékű bizonytalanságuk van, azaz mennyire közelítik meg az igazi értéket, ez általában 95%.[\[3\]](#)

Gyakran összetéveztik a mérési bizonytalanságot a mérési hibával, de a mérési hiba kizárólag egyetlen mért értékre vonatkozik. A mérési bizonytalanságot számos tényező befolyásolhatja, ilyenek például:

- **Mérőeszközök pontossága:** Minden mérőeszköznek vannak bizonyos mérési hiábja és pontossága, amely hatással lehet a mért értékre, illetve eredményre, ha nem a megfelelő mérőeszközt választották a feladatra.
- **Mérési módszer:** Az alkalmazott mérési módszer is hatással lehet a mérési bizonytalanságra. A helyes mérési eljárások alkalmazása segíthet minimalizálni a bizonytalanságot.
- **Környezeti tényezők:** A környezeti hatások, például a páratartalom és a hőmérséklet szintén befolyásolhatják a kapott mért eredményt.
- **Emberi tényezők:** Az emberi hibák szintén nagy hatással vannak a bizonytalanságra. Ilyen hibák lehetnek a mérési folyamat nem helyes végrehajtása és a nem a megfelelő eszköz használata, illetve kezelése.



9. ábra

Mérési bizonytalanság

Forrás: Saját szerkesztés a Bosch booklet alapján

Az MSA fontos szerepet játszik a mérési bizonytalanság ellenőrzésében és csökkentésében, főleg gyártó környezetben. A megfelelő mérési bizonytalanság kezelésével a vállalatok hatékonyan tudják értékelni a termelési folyamatok teljesítményét és a termékek minőségét, és megalapozott döntéseket hozhatnak a minőségellenőrzés és a folyamatoptimalizálás terén.

A mérési bizonytalanság csökkentése érdekében, az MSA megköveteli a mérési folyamatok alapos ellenőrzését, a mérési eszközök rendszeres kalibrálását és a mérési módszerek optimalizálását. Mindemellett az operátoroknak, szakembereknek, akik ezeket a méréseket végzik, megfelelő képzést kell kapniuk a helyes mérési eljárásokról, mérő műszer kezeléssel, hogy a méréseket jól végre tudják hatni.

Tehát a cél az, hogy minimalizáljuk a mérési bizonytalanságot és ellenőrizzük, hogy a mérési folyamatok megbízható eredményt hozzanak. [3]

2.5. Pontosság, pontossági osztályok és hibák

A mérőrendszer analízis (Measurement System Analysis, MSA) egy fontos eszköz a statisztikai folyamatirányítás és a minőségbiztosítás területén. A célja annak megállapítása, hogy a mérőrendszer (az ember, az eszköz, a módszer és a körülmények kombinációja) képes-e pontos és megbízható adatokat szolgáltatni. Az MSA elemei közé tartozik a pontosság, a pontossági osztályok és a hibák vizsgálata.

A pontossági osztályokat általában a gyártók állapítják meg, és ezek az értékek tükrözik a mérőeszköz pontosságának minősítését egy adott skálán. Az osztályok számos iparágban előírtak és standardizáltak. Ezek a kategóriák arra szolgálnak, hogy a felhasználók könnyen azonosíthassák, melyik eszköz felel meg a szükségleteiknek. Általában a magasabb pontossági osztályba tartozó eszközök drágábbak, de az alacsonyabb toleranciájú iparágakban elengedhetetlen.

A pontosság az adatok igazságtartalmát jelzi. Egy pontatlan mérés sok esetben haszontalan vagy félrevezető lehet. A pontosság mérésére többféle módszer is létezik, de általában egy referenciaértékhez való viszonyítással történik, amit "igaz értéknek" vagy "standardnak" nevezünk. A mérési hibák az MSA alapvető elemei. A hibákat általában két fő kategóriába soroljuk: rendszerszerű és véletlenszerű hibák. Az MSA célja a hibák azonosítása, mértéke és a lehetséges korrekciós lépések meghatározása.

- Rendszerszerű hiba: Ezt a típusú hibát általában kalibrálással lehet korrigálni. Például, ha egy mérleg mindig 0,5 kg-tal többet mutat, akkor ez egy rendszerszerű hiba, amit könnyen korrigálni lehet.
- Véletlenszerű hiba: Ez a típusú hiba minden egyes mérésnél más és más lehet, és általában nem korrigálható. A véletlenszerű hiba a mérési folyamat természetes változékonyságából adódik.

Első lépésként fel kell ismerni a lehetséges hibákat. Ez gyakran együtt jár az adatok vizualizációjával, például hisztogramok, szórásdiagramok vagy vezérlődiagramok segítségével. Az adatokat statisztikai módszerekkel elemezve próbáljuk meg kideríteni, milyen típusú hibák vannak jelen.

Itt használjuk például az ANOVA analízist, a kovariancia analízist vagy a korrelációs analízist. A hibák felismerése után azokat korrigálni kell, amennyire csak lehetséges. Ez általában kalibrálást vagy a mérési folyamat finomítását jelenti. Összességében az MSA egy olyan eszköz, amely segít megérteni és optimalizálni a mérési folyamatokat.

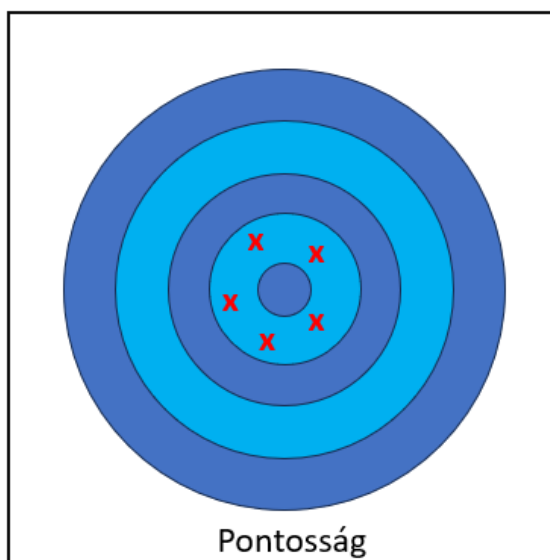
A pontosság, pontossági osztályok és hibák vizsgálatával nem csak a mérési folyamat minősége javítható, de az ebből származó döntések megbízhatósága is növelhető.

2.5.1. Pontosság és precizitás

A pontosság és precizitás az MSA-ban két alapvető fogalom, amelyek kulcsfontosságúak a mérő rendszerek megbízhatóságának és teljesítményének értékeléséhez. Ezek a fogalmak mélyrehatóan befolyásolják a minőségellenőrzést, a folyamatszabályozást és a döntéshozatalt az ipari és tudományos területeken. Fontos megérteni a definíciójukat és a közöttük lévő különbségeket.

1) Pontosság

A pontosság azt mutatja meg, mennyire közel vannak egy mérési rendszer eredményei a valóságos értékhez, vagy a minta valósághű leírásához. Más szóval, a pontosság az, hogy egy mérő rendszer mért értéke átlagosan mennyire közelít a valós értékekhez. A pontosságot a mérő rendszer hibáinak és a mérő rendszer eltéréseinek mértéke határozza meg. Ha egy mérő rendszer pontatlan, akkor a mérései általában túlcúsznak vagy alábecsülik a valós értékeket.



10. ábra

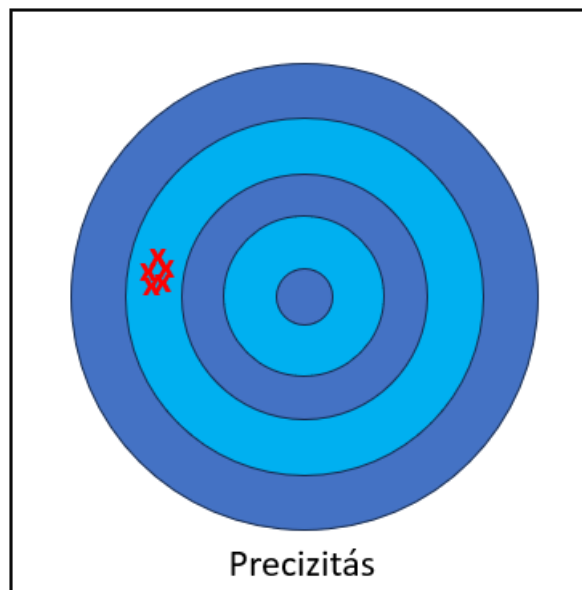
Pontosság

Forrás: Saját szerkesztés

2) Precizitás

A precizitás azt mutatja meg, hogy mennyire közel vannak egymáshoz ugyanazon mérő rendszer ismételt mérései, amikor ugyanazon feltételek között, ugyanazt a mérési feladatot hajtják végre. Más szóval, a precizitás azt mutatja, hogy mennyire ismételhetőek és konzisztensek a mérési eredmények. A precizitás a mérési rendszer szórását és a mérési eredmények közötti változatosságot fejezi ki.

Ha egy mérő rendszer nem precíz, akkor a mérései nagyfokú szórás és variabilitás jellemzi.



11. ábra

Precizitás

Forrás: Saját szerkesztés

A két fogalom szóban nagyon hasonló, defincióban mégis messze eltérnek egymástól. A két fogalom közötti különbség tehát az, hogy a pontosság az eredmények középpontjába összpontosít, mérve, hogy mennyire közel vannak a mérések a valósághoz, míg a precizitás az eredmények közötti konzisztenciát méri, vagyis mennyire közel vannak egymáshoz az ismételt mérések. Mind a két fogalom kritikus aspektusa az MSA-nak illetve a mérőrendszernek, amennyiben stabil és pontos rendszert és eredményeket várunk. Ha egy mérőrendszer pontatlan, akkor az összes mérése hibás lehet, akár túl magas, akár túl alacsony.

Ha egy mérőrendszer nem precíz, akkor a mérései változatosak és szétszórtaak lehetnek, de átlagosan közelíteni fogják a valós értékeket. Mindezek tudatában, a pontatlanság olyan hibákat okozhat a mérőrendszerben, amelyek a minőségellenőrzést és a folyamatszabályozást súlyosan befolyásolják. A precizitás hiánya pedig azt jelzi, hogy a mérőrendszer nem képes megbízhatóan ismételni a méréseket, ami kiszámíthatatlan eredményekhez vezethet. Tehát az MSA a pontosság és a precizitás egyidejű elemzését foglalja magában, a két fogalom kéz a kézben jár egymással, a mérőrendszer teljesítményének objektív értékelése érdekében. Ezenkívül az MSA segít azonosítani a mérőrendszer hibáinak forrásait és lehetőséget nyújt a mérőrendszer javítására, vagy cseréjére, feltéve ha ez szükséges. A megfelelően működő mérőrendszer elengedhetetlen egy jól és stabilan működő folyamat fenntartásához és többek között pont ebben segít nekünk a mérőrendszer analízis. Segít biztosítani, hogy a mérések megbízhatóak legyenek és pontosan tükrözzék a valóságot.



12. ábra

Pontosság és precizitás

Forrás: Saját szerkesztés

3. R&R ELEMZÉSEK JELENTŐSÉGE

A mérőrendszer analízis (Measurement System Analysis, MSA) egy integrált része a modern minőségellenőrzési és minőségmenedzsment rendszereknek. Az MSA több összetevőt is magában foglal, de talán egyik legismertebb és leggyakrabban alkalmazott módszere az úgynevezett R&R elemzés (Repeatability & Reproducibility). Az R&R elemzés célja annak felmérése, hogy a mérőrendszer — mely az emberi tényezőt, az eszközöket és a mérési módszert is magába foglalja — mennyire következetes (repeatability) és reprodukálható (reproducibility).

Az R&R elemzésnek kritikus jelentősége van a minőségellenőrzési folyamatokban. Az eredményekből származó információk nem csak a mérőrendszer megbízhatóságát, de egyben a gyártási folyamatok és a végtermék minőségét is befolyásolják. Ha egy mérőrendszer nem következetes vagy nem reprodukálható, az komolyan befolyásolhatja a termékek minőségét, és az üzleti eredményeket is negatívan érintheti, például visszahívások, reklamációk vagy elégedetlen ügyfelek formájában. Ezen túlmenően, az R&R elemzés kulcsfontosságú az olyan szabályozási környezetekben, mint az autóipar, az orvostechológia vagy a gyógyszeripar, ahol a termékek minőségének megfelelését szigorúan ellenőrzik, és ahol a nem megfelelő minőségű termékek jelentős jogi következményekkel járhatnak. [\[7\]](#)

3.1. R&R elemzések (ismételhetőség és reprodukálhatóság)

Az ismételhetőség azt a képességet jellemzi, hogy egy mérőrendszer ugyanazt az eredményt adja-e, ha ugyanazt az elemet ugyanazzal az eszközzel, ugyanolyan körülmények között, többször megmérjük. Ez az aspektus a mérési rendszer belső konszisztenciáját vizsgálja. Az ismételhetőség teszteléséhez egy mérési protokollt állítunk össze, ami tipikusan egy sor ismételt mérésből áll, azonos körülmények között. A kapott adatok elemzésével kiszámítjuk az úgynevezett "repeatability variáciát" vagy szórást, amely megmutatja, hogy a mérési rendszer milyen mértékben tesz hozzá véletlen hibákat az eredményekhez. A reprodukálhatóság azt vizsgálja, hogy különböző emberek, eszközök vagy körülmények között is hasonló mérési eredményeket kapunk-e. Más szavakkal, az eredményeknek nem csak egy adott személy vagy eszköz által kellene következetesnek lennie, hanem különböző emberek és eszközök között is. A

reprodukálhatóság teszteléséhez általában több személyt és eszközt is bevonunk a vizsgálatba. Az így kapott adatsort elemezzük, és kiszámítjuk a "reproducibility variáciát", ami megmutatja, mennyire következtesek a mérési eredmények különböző emberek és eszközök között.[\[2\]](#), [\[7\]](#)

3.2. Mérési hibák és azok hatásai a termelésre

A mérési hibák termelési folyamatokban való jelenléte gyakran jelentős hatással van a termék minőségére, a költségekre és az üzleti hatékonyságra. A mérési hibák különféle formákat ölthetnek, kezdve az emberi hibáktól, az eszköz kalibrációjának hiányosságain át, a környezeti tényezőkig. Az ilyen hibák nem csak a termelési minőséget befolyásolják, de gyakran komoly gazdasági és jogi következményekkel is járhatnak. A mérési hibák típusairól korábban már volt szó (véletlenszerű és rendszeres hiba), de idetartozik még az emberi hiba, illetve tényező is. Az emberi tényezők, mint például a fáradtság, figyelmetlenség vagy a nem megfelelő képzés, mind-mind hozzájárulhatnak a mérési hibákhoz.

- **Minőség romlása:** A mérési hibák negatívan befolyásolják a termék minőségét. Ez komoly következményekkel járhat, beleértve a termék visszahívását vagy a felhasználói elégedetlenséget.
- **Növekvő költségek:** A hibás mérések növelik a selejt és az újrafeldolgozás költségeit, amelyek közvetetten az egész termelési folyamatot drágítják.
- **Ellátási lánc megszakítása:** A mérési hibák komplikációkat okozhatnak az ellátási láncban, ami késéseket és költségek növekedését okozhat.
- **Jogi következmények:** Ha a termelési folyamat során használt mérőeszközök hibásak, és ez alacsony minőségű termékekhez vezet, az vállalatot jogi következményekkel és pénzbírságokkal is sújthatja.
- **Reputáció károsodása:** A minőségi problémák nem csak azonnali pénzügyi veszteségeket okozhatnak, hanem hosszú távon a vállalat hírnevét és piaci pozícióját is alááshatják.

Tehát ezeket a negatív hatásokat, amik befolyással lehetnek a vállalatra kezelni kell, illetve megelőzni, melyek a következő lehetőségekkel történhetnek.

- Mérőeszköz, mérési rendszer megfelelőség értékelés: A mérőeszközök rendszeres bemérése (például kalibrálással) és karbantartása létfontosságú a hibák csökkentésében.
- Minőségellenőrzés: A gyártási folyamat minden szakaszában végzett minőségellenőrzés segít azonosítani a mérési hibákat, mielőtt azok nagyobb problémákat okoznának.
- Képzés és tudatosság: A dolgozók megfelelő képzése és tudatosítása a mérési hibák potenciális hatásairól szintén kulcsfontosságú.
- Folyamatok folyamatos javítása: A termelési folyamatok elemzése és optimalizálása lehetővé teszi a mérési hibák csökkentését.
- Technológiai fejlesztések: Az új és fejlettebb mérőeszközök alkalmazása csökkentheti a mérési hibákat és növelheti a gyártási folyamat hatékonyságát.

3.3. R&R elemzések módszertana

Az R&R mérések módszertana magában foglalja az adatgyűjtést, statisztikai elemzést és az eredmények értékelését, és gyakran elengedhetetlen része a minőségbiztosítási protokolloknak.[\[6\]](#), [\[4\]](#)

3.3.1. *Az R&R elemzés lépései*

Első lépés a célok meghatározása. Ebben a lépésben tisztázni kell, hogy milyen célokra kívánjuk az R&R elemzést használni. Az lehet például új mérőeszköz értékelése, már meglévő rendszerek optimalizálása vagy a minőségellenőrzési folyamatok javítása. Második lépés az eszközök és az operátorok kiválasztása. Az elemzés során használt mérőeszközök és operátorok kiválasztása kritikus fontosságú. Az eszközöknek megfelelően kalibrálnak és az operátoroknak megfelelően képzettnek kell lenniük. Ezek után fontos, hogy megtervezzük, milyen mintákat fogunk vizsgálni, és milyen gyakorisággal.

A mintavételi tervben figyelembe kell venni az iparági szabványokat és a statisztikai szempontokat. Az előkészületek után megkezdődhetnek a mérések. Itt az ismételhetőség vizsgálata során több mérés is végrehajtásra kerül egy adott eszközzel és operátorral, míg a reprodukálhatóság esetében több különböző operátor és eszköz is bevonásra kerül. Az adatok rögzítése során rendkívül fontos a pontosság és az átláthatóság, hiszen az elemzés ezen adatok alapján történik. Gyakran használt módszer az adatok táblázatos formában történő rögzítése. A begyűjtött adatok alapján statisztikai elemzések folynak, hogy kiszűrjük az esetleges hibákat és megértsük a mérési rendszer viselkedését.

Az elemzés során gyakran használjuk az ANOVA (varianciaanalízis), korrelációs analízist, és más statisztikai teszteket. Az elemzés során meghatározzuk a rendszer által okozott hibát is. Ezzel értékelhetővé válik, hogy a mérési rendszer mennyire pontos és megbízható. Majd az adatelemzés eredményeit áttekintve meg kell határozni, hogy azok megfelelnek-e a kezdetben kitűzött céloknak és elvárásoknak. Végül, ha a rendszer nem felel meg a követelményeknek, javító intézkedések bevezetése válik szükségessé. Ez magában foglalhatja a mérőeszközök kalibrálását, leváltását, operátori képzést, vagy a mérési protokoll módosítását. [\[4\]](#)



13. ábra
Az R&R elemzés lépései

Forrás: Saját szerkesztés

3.3.2. Mérési adatok gyűjtése és feldolgozása

A mérési adatok gyűjtése és feldolgozása alapvető fontosságú bármely mérési, kutatási vagy termelési tevékenységben. Egy jól megtervezett és végrehajtott adatgyűjtési és feldolgozási folyamat megbízható információkat szolgáltat, amelyek alapján pontos döntéseket lehet hozni.

A következő lépések és módszertanok állnak rendelkezésre a mérési adatok hatékony gyűjtéséhez és elemzéséhez. Az első és legfontosabb lépés egy átfogó terv elkészítése, amely részletezi, hogy milyen adatokra van szükség, hogyan gyűjtjük össze azokat, és milyen forrásokból származnak. A tervnek tartalmaznia kell az alábbi elemeket melyek:

- Mérési célok és objektívumok: Miért gyűjtünk adatot és milyen információkat kívánunk megszerezni?
- Adatforrások: Honnan származnak az adatok? Például: mérőműszerek, emberek, dokumentumok stb.
- Mintavételi stratégia: Milyen módon és milyen gyakorisággal gyűjtünk adatokat?

A következő lépésben meg kell határozni, hogy milyen eszközökkel és technológiákkal gyűjtjük az adatokat. Az eszközöknek megfelelően kalibráltaknak és megbízhatóknak kell lenniük. A technológia választása során figyelembe kell venni az adatgyűjtés sebességét, a pontosság igényét, és a költségkeretet.

Az adatgyűjtés során használt protokollt részletesen le kell írni, és minden érintettnek tisztában kell lennie a folyamattal. Ezen felül a mérési adatok gyűjtésében részt vevő személyeknek megfelelő képzésben kell részesülniük, hogy az adatgyűjtés során ne keletkezzenek hibák. Az előkészítő munka után kezdődik meg maga az adatgyűjtés. Az adatgyűjtés során rendkívüli pontosság és konzisztencia szükséges, és folyamatosan ellenőrizni kell az adatok minőségét. Az összegyűjtött adatokat elő kell készíteni az analízisre.

Ez magában foglalhatja az adatok szűrését, tisztítását és transzformációját. Az adatok tárolása során fontos, hogy biztonságos és könnyen hozzáférhető módon történjen, az adatvesztés elkerülése érdekében. Az összegyűjtött és feldolgozott adatokat statisztikai vagy más elemző módszerek segítségével értelmezzük. Az elemzés során adatainkat különböző vizuális és numerikus módszerekkel értékeljük, mint például ábrák, grafikonok és mutatószámok.

Az elemzés eredményeit egy átfogó jelentés formájában összegezzük, amely tartalmazza az eredményeket, következtetéseket és ajánlásokat. Ezen információk alapján hozhatók meg a jövőbeni tevékenységeket befolyásoló döntések. Összességében az adatgyűjtés és

feldolgozás komplex és sokszor időigényes folyamat, de rendkívül fontos a megalapozott döntéshozatal szempontjából. A jól végrehajtott mérési adatgyűjtés és -feldolgozás nem csak a minőség és a hatékonyság növelésében van segítségünkre, de a vállalat versenyképességét és piaci pozícióját is javítja. Az adatok minősége közvetlenül befolyásolja a termelési folyamatokat, a minőségellenőrzést és a teljes vállalati teljesítményt, ezért esszenciális, hogy a mérési adatok gyűjtését és feldolgozását komolyan vegyük és a legjobb gyakorlatokat alkalmazzuk.

3.3.3. *Elemzési eszközök és szoftverek*

A mérő rendszer elemzése fontos lépés az R&R vizsgálatok során és számos elemzési eszközt és szoftvert használnak a folyamatok hatékonyságának és pontosságának értékelésére. Az alkalmazott szoftverek választása a mérési rendszer jellegétől, a rendelkezésre álló erőforrásoktól és a projekt igényeitől függ.

Néhány gyakran használt szoftver a következő:

- 1) **Excel:** Az Excel használható az alapvető adatok táblázatos formára alakítására és az egyszerű statisztikai számítások elvégzésére. Sokan használják az MSA kezdeti szakaszában, de bonyolultabb elemzésekhez más szoftverekkel kombinálják. Általában az adatokat a kezdeti formában Excel-ben gyűjtjük és rendszerezjük. Az adatok formázása után, viszont más szoftvert kell használnunk a kiértékelésre.
- 2) **Minitab:** A Minitab egy széles körben használt statisztikai szoftver a minőségellenőrzés és statisztikai elemzések terén. Tartalmaz eszközöket a Gage R&R (Repeatability and Reproducibility) elemzéshez és egyéb MSA feladatokhoz. Ez a szoftver lehetővé teszi az úgynevezett Nested és Crossed R&R vizsgálat értékelését is. Könnyen használható és rendelkezik grafikus felhasználói felülettel. [\[15\]](#)
- 3) **LabVIEW:** A LabVIEW egy grafikus programozási környezet és fejlesztői platform, amelyet a mérési, automatizálási és ellenőrzési alkalmazásokhoz terveztek. Széles körben használják mérőrendszerek fejlesztéséhez és adatgyűjtéshez. [\[17\]](#)

- 4) Origin: Az Origin egy adatelemző és grafikai szoftver, amely a kísérleti adatok feldolgozására és vizualizációjára specializálódott. Sokféle méréstípushoz alkalmazható. [\[16\]](#)
- 5) MATLAB: A MATLAB egy magas szintű programozási nyelv és szoftverkörnyezet, amely matematikai számításokhoz és mérési adatok feldolgozásához használható. Nagyon rugalmas és alkalmas összetett mérési feladatokhoz. [\[18\]](#)
- 6) SPSS: Az SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) egy statisztikai szoftver, amelyet gyakran a társadalomtudományi kutatásokban és üzleti elemzésekben használnak. Alkalmas adatfeldolgozásra és statisztikai elemzésekre. [\[19\]](#)
- 7) Gyártóspecifikus szoftverek: Néhány gyártó saját szoftvereket kínál a saját mérőeszközökkel való kommunikációhoz és adatok feldolgozásához. Ezek a szoftverek általában speciálisan kialakítottak a gyártó termékeinek támogatására.
- 8) Q-DAS: Egy olyan szoftvercsalád, amelyet elsősorban az MSA (Mérőrendszer Analízis) és a minőségellenőrzési folyamatok támogatására fejlesztettek ki. A Q-DAS szoftverek segítenek az ipari vállalatoknak az adatok gyűjtésében, elemzésében és értékelésében, különösen a mérőrendszerek megbízhatóságának és teljesítményének értékelésekor. Rendkívül sokoldalú szoftver, amely lehetővé teszi Gage R&R elemzés kiértékelését, trendelemzést, jelentéskészítést illetve számos statisztikai elemzés készítését. [\[20\]](#)

A fentiek csak néhány példa a mérési adatok kiértékelésére használt szoftverek közül. A választott program attól is függ, hogy milyen méréseket végzünk, milyen szintű adatfeldolgozásra van szükségünk és milyen specifikus igényekkel rendelkezünk. Fontos a megfelelő szoftver kiválasztása, és figyelembe kell venni a mérések céljait és a mérési eredmények kezelésének az igényeit.

3.4. Mérőrendszerek elemzési problémái

Az MSA (mérőrendszer analízis) keretében elvégzett adatelemzések során többféle probléma is felmerülhet, amelyek a következők lehetnek. Elsődleges probléma lehet az alacsony mintaszám. Az alacsony mintaszám komoly problémát jelenthet az MSA-ban. Az alacsony mintaszám alábecsülheti a mérési hibákat és változékonyságot, ezzel torzítva az elemzés eredményeit. Különösen problémás, ha az adatok szegényesek és nem tükrözik a gyártási folyamatok teljes spektrumát. Azaz nem a megfelelő tartományból lettek készítve a minták. Ebben az esetben az elemzés nem ad pontos képet, nem a valós mérési eredményeket fogjuk látni, így a döntéshozatal is hibás lehet.

Következő probléma az outlier-ek vagy szélsőértékek, azaz a normálistól erősen eltérő mérési eredmények, melyek torzíthatják az adatelemzést. Az ilyen értékek kiszűrése és kezelése elengedhetetlen, különösen, ha a mérési hiba vagy az alkalmazott mérési módszer következménye és nem a folyamat valódi jellemzője. Tehát csak akkor szűrjük ezeket, ha az valamilyen hibából adódik és nem a folyamat tényleges jellemzője. Ilyen esetben hibás lenne a folyamatunk és fejlesztés bevezetésére lenne szükség.

Az MSA gyakran klasszikus statisztikai modelleken alapul, amelyek normális eloszlást feltételeznek. Ha a gyűjtött adatok eloszlása nem normális, az a klasszikus modellekkel végzett analízis eredményeinek torzulásához vezethet. Ebben az esetben nem-parametrikus tesztek vagy transzformációk lehetnek szükségesek. Számos ilyen teszt és transzformáció áll a rendelkezésünkre. Az, hogy melyiket használjuk az nagyban függ az adatok természetétől. Mérőrendszer analízis során gyakran vizsgáljuk a különböző változók közötti korrelációt. Azonban fontos megjegyezni, hogy korreláció nem egyenlő okozattal. Téves döntéseket lehet hozni, ha a korrelációt tévesen az oksági kapcsolat bizonyítékaként interpretáljuk. Ezek a korrelációs tévhitek.[\[1\]](#)

Az elemzés során használt adatok gyűjtésekor a hibás vagy pontatlan eszközök, mérési technikák és emberi tényezők is hibákhoz vezethetnek. Az ilyen hibák gyakran nem azonnal észrevehetőek, és csak később, amikor az adatokat elemezzük, válnak nyilvánvalóvá. Ezért kell nagy figyelmet fordítani az adatgyűjtésre. Az időbeli vagy térbeli változások is befolyásolhatják a mérési eredményeket. Ha a mérési körülmények, mint például a hőmérséklet vagy páratartalom, változnak, azok is torzíthatják az adatokat.

Ezeket a változókat is be kell építeni az MSA modelljébe, hogy a döntéshozatal valóságghű legyen. A mérési skála nem megfelelő választása torzítani tudja az MSA eredményeit. Ha a skála túl széles vagy túl szűk, az információvesztéshez vagy pontatlansághoz vezethet. Az emberi tényező, beleértve a szubjektív értékeléseket és előítéleteket, is nagyban befolyásolhatja az adatelemzést.

Az MSA során ezeket a tényezőket is figyelembe kell venni, és lehetőség szerint ki kell szűrni az analízisből. Kiértékeléskor használt szoftverek és hardverek is hozzáadhatnak saját hibákat és korlátokat az elemzéshez. A rosszul programozott vagy elavult szoftverek, valamint a hardver korlátjai mind hozzájárulhatnak az elemzési hibákhoz.[\[4\]](#)

4. GYAKORLATI PÉLDA R&R VIZSGÁLAT LEFOLYTATÁSÁRA

A következő fejezetben gyakorlati példán keresztül mutatom be, hogyan is zajlik egy R&R vizsgálatának a folyamata gyártó környezetben. Kitérek a vállalat rövid bemutatására, a mérések lebonyolítására,

4.1. Vállalat bemutatás

Az autóipar egyik legmeghatározóbb ágazata a beszállítók sektora, amely nem csak a járműgyártók számára kritikus, hanem a gazdasági növekedés és technológiai innováció motorjai is. A cég komoly hangsúlyt fektet a kutatásra és fejlesztésre. Az üzleti modell részeként az innovációs tevékenység nem csak a termékfejlesztésre koncentrál, hanem a gyártási folyamatok, logisztika és a fenntarthatóság területeire is. Az autóipari beszállító vállalatok nem csak egyszerű alkatrészek szállítói, hanem a folyamatos innováció és a termékfejlesztés kulcsszereplői.

Egy ilyen beszállító cégnél dolgozom én is mint Minőségügyi folyamatmérnök. Folyammérnökként az autóiparban rengeteg felelősséggel rendelkezem. Ilyen felelősségek, mint például a gyártásközi minőségbeli problémák felfedezése és megoldása, selejtarány csökkentése, nem megfelelısségek kezelése, illetve újonnan érkező gyártó sorok beüzemelése. Az ilyen újonnan érkező gyártó sorok beüzemelésakor rengeteg autóipari szabványnak kell megfelelni, mint például az IATF16949, vagy ha esetleg németországi régióba szállít a cég akkor ilyen szabvány lehet még a VDA6.3.

Sor telepítéskor elengedhetetlen a mérőrendszerek felügyelete, kalibrálása, illetve sorozatgyártás előtt az MSA elvégzése is. Ezen sorok elindításakor szereztem gyakorlati tapasztalatot a mérőrendszer analízisben. Véleményem szerint a gyakorlati tapasztalat elengedhetetlen, hogy átlássunk komplex mérési folyamatokat és ezáltal fel tudjuk tárni az esetleges hibákat a rendszerben, illetve javítani azokat.

4.2. R&R mérések a gyakorlatban

Ahogy már korábban említettem, az R&R mérések a minőségellenőrzés és folyamatszabályozás fontos eszközei. Megkülönböztetünk repeatabilityt (ismételhetőség) és reproductibilityt (reprodukálhatóság). Ebben a fejezetben megvizsgáljuk az MSA mérések gyakorlati alkalmazását, azok lépéseit, valamint a mérő rendszer teljesítményének értékelésének módszereit. A következő példában egy vastagság mérést fogok vizsgálni R&R vizsgálat alapján. [. \[4\]](#) [\[1\]](#)

4.2.1. *Ismételhetőség és reprodukálhatóság értékelése*

A megismételhetőség (repeatability) a mérési folyamat egyik fontos jellemzője, és azt mutatja, hogy ugyanazt a mérőrendszert ugyanazon mérőszemély vagy körülmények között végezve mennyire megbízhatóan lehet ugyanazt a mérési eredményt elérni. Más szóval, a megismételhetőség azt méri, hogy mennyire kiszámíthatóak és stabilok az ugyanazon feltételek között végzett mérések eredményei.

A megismételhetőség a következőképpen határozható meg:

- 1) Ugyanazon mérőszemély esetén: Ha ugyanaz a mérőszemély ugyanazt a mérést többször végezve ugyanazon tárgyon vagy jelenségen, akkor a megismételhetőség azt méri, hogy az eredmények mennyire közel vannak egymáshoz. Minél kisebb a különbség az egyes mérések között, annál magasabb a megismételhetőség.
- 2) Ugyanazon mérőeszköz és körülmények esetén: Ha ugyanazt a mérőeszközt és ugyanazokat a mérési körülményeket alkalmazva többször mérnek egy adott jelenséget vagy tárgyat, a megismételhetőség azt mutatja, hogy a mérési eredmények mennyire közel vannak egymáshoz. Magas megismételhetőség esetén a mérőrendszer stabil és kiszámítható.

A megismételhetőség értéke lehet a mérési eredmények közötti különbségek mértéke, azaz a szórás vagy szórásnégyzet. Magas megismételhetőség esetén a szórás kicsi, ami jó, mivel azt jelenti, hogy a mérések konzisztensek és stabilok. Alacsony

megismételhetőség esetén a mérések közötti széles különbségek vagy változatosság jelenthet problémát, és zavarhatja a mérési folyamat megbízhatóságát.

A reprodukálhatóság a mérési folyamat fontos aspektusa, és azt jelenti, hogy egy adott mérés ismételhetően és megbízhatóan reprodukálható más körülmények között vagy más mérőszemélyek által. A reprodukálhatóság biztosítja, hogy ugyanazt a mérési eredményt vagy eredményeket más helyeken, időpontokban vagy különböző mérőszemélyek által elvégezve hasonló eredményeket lehessen elérni. A reprodukálhatóság kiemelten fontos a minőségellenőrzésben, az MSA-ban (Mérőrendszer Analízis) és a mérőrendszerek megbízhatóságának értékelésében.

Az alábbiakban néhány fontos szempont, amelyek kapcsolódnak a reprodukálhatósághoz a mérésben:

- 1) Mérési körülmények: A reprodukálhatóság szempontjából fontos az, hogy a mérési körülményeket és környezeti tényezőket pontosan dokumentálják, hogy mások ugyanazokat a körülményeket reprodukálni tudják.
- 2) Mérőszemélyek: Azok a személyek, akik a mérést végzik, közötti különbségek minimalizálása fontos a reprodukálhatóság szempontjából. Az oktatás, az instrukciók és a mérések standardizálása segíthet ebben.
- 3) Mérőeszközök: A mérőeszközöknek megbízhatónak és stabilnak kell lenniük a reprodukálhatóság érdekében. A mérőeszközök rendszeres karbantartása és kalibrálása szükséges.
- 4) Mérési eljárások: Az eljárások és protokollok dokumentálása és standardizálása szükséges a reprodukálhatóság biztosításához. Mindenki számára elérhető és érthető leírások segíthetnek a mérési hibák minimalizálásában.
- 5) Statisztikai elemzés: Az eredmények statisztikai elemzése és az eredmények pontosan definiált mérési metrikák alkalmazása segíthet az eredmények reprodukálhatóságának ellenőrzésében.

4.2.2. *R&R vizsgálatok % értéke*

Mikor elfogadható a mérésünk, azaz az R&R % értéke?

Ugyebár a Gage R&R teszt értéke a mérőrendszer megbízhatóságát és pontosságát méri. Az elfogadható Gage R&R érték meghatározása konkrét alkalmazástól, minőségi követelményektől és iparágtól függ, de általános iránymutatások is léteznek. Általánosságban elmondható, hogy minél alacsonyabb a Gage R&R értéke, annál jobb a mérőrendszer minősége. Az elfogadható érték meghatározásakor figyelembe kell venni a következő szempontokat:

- Az alkalmazás jellege: Az alkalmazástól függően a mérőrendszer minőségi követelményei eltérhetnek. Például, a repülőgépgyártás vagy az orvosi berendezések gyártása során sokkal szigorúbb mérési követelmények lehetnek, mint egy egyszerűbb fogyasztási cikk gyártásánál.
- Minőségi előírások: Az adott iparágban vagy alkalmazásban meghatározott minőségi előírások határozzák meg az elfogadható Gage R&R értéket. Ezek a szabványok és előírások meghatározhatják a maximálisan elfogadható értékeket.
- Gyártási folyamat jellege: Az adott gyártási folyamat sajátosságai és változékonysága befolyásolhatja az elfogadható Gage R&R értéket. Például, ha a gyártási folyamat magas színvonalú és kevés változékonyságot mutat, akkor az elfogadható Gage R&R érték lehet alacsonyabb.
- Mérések rendeltetése: Az alkalmazásban használt mérések célja is befolyásolhatja az elfogadható Gage R&R értéket. Például, ha a mérések minőségellenőrzéshez használnak, a minőségi előírások szigorúbbak lehetnek, mint ha a méréseket csak tájékoztató célokra alkalmazzák.

A legáltalánosabb eljárás, amit az értékelésre általában a legtöbb ipar használ a következő:

- 10% vagy alacsonyabb Gage R&R: Jó minőségű mérőrendszer, amely megbízható és pontos méréseket tesz lehetővé.
- 10-30% közötti Gage R&R: Elfogadható minőségű mérőrendszer, de lehetnek javításra szoruló területek.

- 30% feletti Gage R&R: Gyenge minőségű mérőrendszer, amely javításra szorul. Ezt a mérőrendszert elutasítjuk és nem használható.

Ezért fontos megérteni az adott alkalmazás specifikációit és a minőségi követelményeket, valamint figyelembe venni az iparágra vonatkozó szabványokat és irányelveket a Gage R&R érték elfogadhatóságának megítéléséhez. Emellett fontos a mérőrendszer javítása vagy cseréje, ha az értékek nem felelnek meg az elfogadható kritériumoknak, mert a pontatlan mérési eszközök hibás döntéseket és termelési problémákat okozhatnak.

Minősítés	Kiváló	Jó	Elfogadható	Nem elfogadható
% Gage R&R	0–9%	10–20%	21–30%	>30%

14. ábra

Elfogadási határok az R&R-ban

Forrás: <https://www.poligont.hu/files/MSA-elemzes-poligont.pdf?type=INFOM>

4.2.3. *R&R vizsgálat elvégzése vastagságmérésre*

A következő példában 10 reprezentatív mintát fogunk megmérni 3 operátorral, úgy, hogy minden mintát háromszor fogunk mérteni. Ebben az esetben az operátorok nem személyek, hanem autóiipari alkatrészt gyártó gépek lesznek, a vastagságmérést szenzor végzi. Mérési utasítás nem készült a kísérlethez, a mintákat egytől-tízíg sorrendben rakjuk be a gépbe, ezután ismétljük a mérést.

A specifikációnk a méréshez: 20 ± 1 mm.

A méréshez ebből a tartományból készítettünk 10 mintát. A minta kiválasztásának szempontja, hogy fedje le a gyártási folyamat ingadozását. Tehát ezeket a darabokat nem véletlenszerűen választjuk ki, hanem tudatosan méréssel keressük.

A mért adatok a következők:

Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]	Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]	Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]
1	1	19,98	1	2	19,88	1	2	20,26
1	1	20,06	1	2	19,98	1	2	20,26
1	1	20,08	1	2	20,06	1	2	20,44
2	1	19,64	2	2	19,54	2	2	19,46
2	1	19,58	2	2	19,48	2	2	19,52
2	1	19,61	2	2	19,51	2	2	19,59
3	1	19,12	3	2	19,00	3	2	19,30
3	1	19,23	3	2	19,02	3	2	19,44
3	1	19,25	3	2	19,15	3	2	19,53
4	1	20,39	4	2	20,29	4	2	20,57
4	1	20,55	4	2	20,52	4	2	20,80
4	1	20,62	4	2	20,60	4	2	20,80
5	1	20,18	5	2	20,08	5	2	20,36
5	1	20,56	5	2	20,46	5	2	20,74
5	1	20,79	5	2	20,69	5	2	20,97
6	1	19,96	6	2	19,86	6	2	20,14
6	1	19,97	6	2	19,87	6	2	20,15
6	1	20,19	6	2	20,09	6	2	20,37
7	1	19,00	7	2	18,95	7	2	19,18
7	1	19,05	7	2	19,18	7	2	19,23
7	1	19,28	7	2	19,29	7	2	19,46
8	1	19,22	8	2	19,12	8	2	19,40
8	1	19,45	8	2	19,35	8	2	19,13
8	1	19,52	8	2	19,42	8	2	19,17
9	1	19,01	9	2	19,21	9	2	19,02
9	1	19,20	9	2	19,32	9	2	19,19
9	1	19,33	9	2	19,44	9	2	19,32
10	1	19,62	10	2	19,52	10	2	19,80
10	1	19,85	10	2	19,75	10	2	20,03
10	1	20,37	10	2	20,27	10	2	20,55

2. táblázat

Mérési adatok

Forrás: Saját szerkesztés

Ebben a táblázatban láthatjuk az MSA mérés eredményét. Ahogy korábban már említettem, 10 minta darabot mért három operator, háromszor megismételve.

5. A MÉRŐRENDSZER ÉRTÉKELÉSE

Vizsgálat elvégzése után, a mérőrendszerünket értékelnünk kell.

Az eredményként kapott adatainkat MINITAB segítségével értékeljük.

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,205018	1,23011	35,40
Repeatability	0,187547	1,12528	32,38
Reproducibility	0,082815	0,49689	14,30
Operátor_1	0,082815	0,49689	14,30
Part-To-Part	0,541642	3,24985	93,52
Total Variation	0,579145	3,47487	100,00

Number of Distinct Categories = 3

15. ábra
Mérési eredmény 1.1

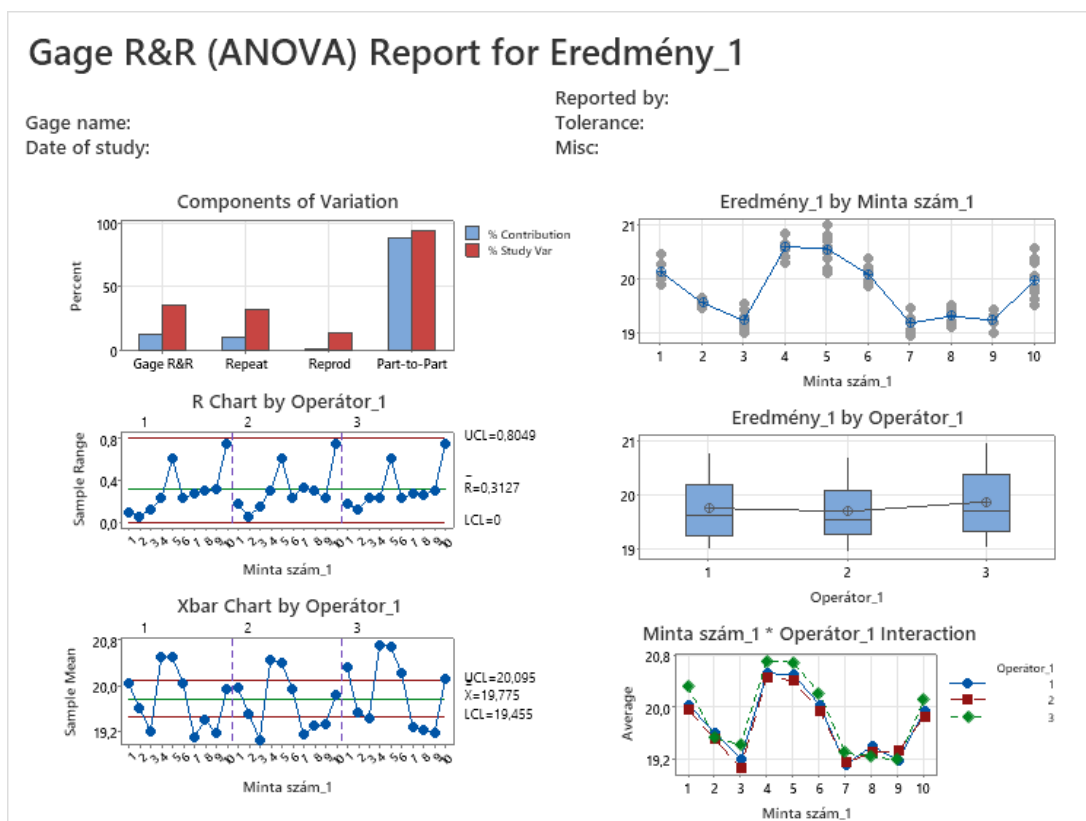
Forrás: Saját szerkesztés: MINITAB

A Total Gage R&R-unk értéke 35,40%, amely nem elfogadható, mivel a mérőrendszerünk ingadozása túl magas.

Mivel az R&R az ismételhetőséget és a reprodukálhatóságot foglalja magában, a táblázat alapján jól látszik, hogy a Repeatability-vel, azaz az ismételhetőséggel vannak nagyobb bajok, amely 32,28%-ot foglal magában a teljes varianciából, míg a reprodukálhatóság csak 14,3%-ot.

Illetve az nDc → Number of Distinct Categories is kevés, mivel az elvárt értékünk a minimum 5, vagy magasabb eredmény lett volna az elfogadható. Az, hogy ez a szám 3, azt mutatja hogy a mérőrendszerünk 3 csoportot tud eredményesen

megkülönböztetni a minták között, ami éppenhogy csak jobb mint az OK és NOK kategória. Tehát ez az eredményünk sem elfogadható.



16. ábra
Mérési eredmény 1.2

Forrás: Saját szerkesztés: MINITAB

Az “R Chart by Operátor_1” kártyán láthatjuk az operátoraink és a mintáink méréseinek a terjedelmét. A felső és alsó kontroll limit vonalak az átlagos terjedelem alapján lettek meghatározva, automatikusan a minitab készíti ezeket. A terjedelm kártya akkor elfogadható, ha sem a felső és sem az alsó kontroll határokon kívülre nem esik érték. Esetünkben nincsen ilyen, tehát ez a kártya elfogadható.

Az “Xbar Chart by Operátor_1” kártya, azaz az átlag kártya, operátoronként és mintánként mutatja a három mérésünknek az átlag értékét. Akkor fogadjuk el az eredményt, ha legalább 50%-a a méréseinknek a kontroll limiteken kívül esik. Ez a kritérium itt szintén megvalósul, tehát ezt is elfogadjuk.

Mivel viszont a σ a Gage R&R-unk 30% felett és az nDc is 5 alatt van, hiába fogadjuk el az utolsó 2 kártyát, ennek ellenére kijelenthetjük, hogy a mérőrendszer nem elfogadható.

5.1.1. Mérési hibák forrásainak azonosítása

A mérési hibák forrásainak azonosítása kulcsfontosságú a megbízható mérési eredmények eléréséhez. Általánosan a mérési hibák a következő forrásokból származhatnak:

Mérőeszközök kalibrálása: Mérőeszközök rendszeres kalibrálása elengedhetetlen a pontosság fenntartása érdekében. Ha a mérőeszközök nincsenek megfelelően kalibrálva, az hibás méréseket eredményezhet.

Mérőeszközök kopása és elhasználódása: A mérőeszközök idővel elveszíthetik a pontosságukat vagy meghibásodhatnak. Ezt rendszeres karbantartással és ellenőrzéssel elkerülhetjük.

Az operátor képzése: Az operátoroknak megfelelő képzést kell kapniuk a mérések végzéséhez és a mérőeszközök használatához. Rosszul képzett operátorok hibás méréseket végezhetnek.

Inkonzisztens módszerek: Különböző operátorok eltérő méréseket hajthatnak végre ugyanazon mérőeszközzel, ha nincs megfelelően dokumentált és standardizált mérési módszer.

Anyag mintavételének hibái: Ha a mintavétel nem reprezentatív vagy nem megfelelő módon történik, az hibás méréseket eredményezhet.

Mintavétel tárolása és kezelése: A mintákat megfelelően kell tárolni és kezelni, hogy megőrizzék az integritásukat és a mérési pontosságukat.

Hőmérséklet és páratartalom: A környezeti tényezők, mint például a hőmérséklet és a páratartalom, befolyásolhatják a méréseket. Fontos figyelembe venni ezeket a tényezőket és szükség esetén korrigálni a méréseket.

Vibráció és rezonancia: Ha a mérőeszközök vagy a mérési környezet rezonanciahatásoknak vagy vibrációnak vannak kitéve, az hibás méréseket eredményezhet.

Mérési módszer validálása: A mérési módszernek validált és ellenőrzöttnek kell lennie a megfelelő pontosság és megbízhatóság biztosítása érdekében.

Mérési procedúrák dokumentációja: A mérési procedúrákat pontosan dokumentálni kell, hogy visszakövethetők legyenek és az operátorok pontosan követhessék azokat.

Az egyes mérési hibák forrásainak azonosítása és kezelése fontos a megbízható mérési eredmények eléréséhez. A mérési hibák minimalizálása és azok forrásainak kiküszöbölése hozzájárul a jobb minőségű termékek előállításához és a megbízható minőségellenőrzéshez.

5.1.2. *Megkülönböztető képesség, azaz nDc*

Az NDC, vagyis a megkülönböztető kategóriák száma jelentős szerepet játszik a mérési rendszerelemzésben, amely a minőségirányítás kritikus eleme a különböző iparágakban. Az MSA a mérési rendszerek értékelésére és megbízhatóságának biztosítására összpontosít, és az NDC egy kulcsfontosságú mérőszám, amely rávilágít e rendszerek hatékonyságára a különböző tényezők adott kontextusban történő kategorizálásában.

Az MSA területén az NDC egy mérési halmazon belül megfigyelt értékek sokféleségének vagy szórásának mérőszáma. Lényegében azt számszerűsíti, hogy egy mérési rendszer mennyire képes megkülönböztetni a különböző kategóriákat vagy szinteket. Esetünkben a vastagságot az adott alkatrésznek. Minél magasabb az NDC, annál nagyobb a rendszer képessége a mért adatok különböző változatainak megragadására és megkülönböztetésére.

Az NDC fontossága különösen akkor válik nyilvánvalóvá, amikor egy olyan mérőrendszer lehetséges következményeit vizsgáljuk, amely korlátozottan képes különbséget tenni a kategóriák között. Ilyen esetekben a rendszer nem képes megragadni a fontos eltéréseket, ami pontatlan vagy elégtelen adatokhoz vezethet. Ez a korlátozás jelentős következményekkel járhat olyan iparágakban, ahol a pontosság és a megbízhatóság kiemelkedően fontos, mint például a gyártás, az egészségügy vagy a kutatás.

Az NDC kiszámításához jellemzően azt az értéktartományt értékeljük, amelyet a mérőrendszer hatékonyan képes megkülönböztetni. Ennek során figyelembe kell venni a mérőműszerek felbontását, az adatok szórását és a rendszer általános érzékenységét a különbségek észlelésére.

A mérőrendszer NDC-jének növelése érdekében a szervezetek beruházhatnak fejlett műszerekbe, kalibrációs eljárásokba és a mérésekben részt vevő személyzet képzésébe. A rendszeres értékelések és a folyamatos fejlesztési erőfeszítések létfontosságúak a mérőrendszerek teljesítményének fenntartásához és idővel történő optimalizálásához.

Összefoglalva, a megkülönböztetett kategóriák száma a mérőrendszer-elemzés egyik kulcsfontosságú mérőszáma, amely tükrözi a mérőrendszer azon képességét, hogy hatékonyan kategorizáljon és megkülönböztessen különböző értékeket. A magas NDC érték robusztus és megbízható mérőrendszert jelez, ami létfontosságú az olyan iparágakban és alkalmazásokban, ahol a pontosság és a precizitás kiemelkedő fontosságú. Azok a szervezetek, amelyek prioritásként kezelik az NDC javítását, hozzájárulnak folyamataik, termékeik és szolgáltatásaik általános minőségéhez és megbízhatóságához.

5.1.3. *Javasolt javító intézkedések*

Az alábbiakban néhány kulcsfontosságú szempontot mutatok be, amelyek magyarázzák, miért fontosak a javító intézkedések az MSA-ban:

- 1) Minőségbiztosítás: Az MSA célja a mérések minőségének javítása és a mérési folyamatok megbízhatóságának növelése. A javító intézkedésekkel a mérési hibák csökkenthetők, ezáltal javul a termék vagy szolgáltatás minősége.
- 2) Költségcsökkentés: Az érzékeny és pontos mérések segíthetnek elkerülni a felesleges költségeket, például selejtezés, újramunka vagy visszahívás miatt keletkező költségeket. Javító intézkedésekkel optimalizálhatók a mérőrendszerrel kapcsolatos folyamatok.
- 3) Döntéshozatali pontosság: Az üzleti döntéseket gyakran a rendelkezésre álló adatok alapján hozzák meg. Ha a mérési rendszer pontatlan vagy ingadozó, az befolyásolhatja a döntéshozatali folyamatokat. Javító intézkedések segíthetnek biztosítani a megbízható adatokat és a helyes döntéseket.
- 4) Folyamatstabilitás és teljesítményjavítás: Az MSA nemcsak a mérőeszközök, hanem az egész mérési folyamat értékelését is magában foglalja. Javító intézkedések segíthetnek stabilizálni a mérési folyamatokat és javítani a teljesítményüket.
- 5) Vevői elégedettség: Ha a mérések megbízhatóak és az elvárt pontosságúak, az növeli a vevői elégedettséget. A termékek vagy szolgáltatások minőségéhez kapcsolódó elégedettség kulcsfontosságú az ügyfélhűség és az üzleti hosszú távú siker szempontjából.
- 6) Jogi és szabályozási megfelelés: Bizonyos iparágakban és szektorokban a pontos mérések és a mérőrendszerek megbízhatósága szabályozási követelményekhez kapcsolódhat. Javító intézkedéseket alkalmazva biztosítható a megfelelés az előírásokkal.
- 7) Hibaelhárítás és proaktív javítások: Az MSA során tapasztalt problémák elemzése segíthet a rendszeres hibaelhárításban és a proaktív javításokban. Ezáltal csökkenthetők a jövőbeni hibák és javítható a rendszer teljesítménye.

A következőkben pedig néhány javító intézkedést mutatok be, amely megoldást jelenthet a mérőrendszer analízis során fellépő problémákra:

- 1) Mérőeszközök kalibrálása: Rendszeresen ellenőrizni kell a mérőeszközöket az előírt időközönként.
- 2) Operátorok képzése: Meg kell győződni arról, hogy az operátorok, akik a méréseket végzik megfelelően képzettek, naprakész tudással rendelkeznek és értik a mérési folyamatot. Az egyenletes és pontos mérések kulcsfontosságúak.
- 3) Vizsgálati eljárások standardizálása: A mérési folyamatokat standardizálni, azaz egységesíteni kell. Minden szükséges lépést dokumentálni kell, ezzel is könnyítve a mérést végző személyek dolgát. Ez segíthet csökkenteni a humán hibák és a rendszert érintő tényezők hatását.
- 4) Mérési hibák elemzése: Ha rendszeresen előfordulnak hibás mérések vagy eltérések, részletes gyökérokelemzést kell végezni, a hibák feltárása érdekében. Ez segíthet abban, hogy beazonosítsuk a hibák forrását, hogy aztán egy, vagy több javító intézkedés bevezetésével megszüntessük azt.
- 5) Mérési rendszer változásainak nyomon követése: Minden módosítás után ellenőrizni kell a mérési rendszert, hogy lássuk milyen hatása van az adott módosításnak. Lehet, hogy egy új mérőeszköz bevezetése vagy a folyamat módosítása befolyásolja a mérési eredményeket.

A mérőrendszerünket folyamatosan ellenőrizni és ha szükséges, akkor javítani kell. Az MSA nem egyszeri tevékenység, hanem folyamatos folyamat, amelynek célja a minőség fenntartása.

Esetünkben látható, hogy a nem elfogadható eredmény legfőbb oka, az ismételhetőség, illetve a megkülönböztető képesség, azaz az nDc miatt van. Gyökérok elemzést követően megállapítható, hogy a mérőműszer nem képes az adott specifikáción belül pontosan és eredményesen megkülönböztetni és megismételni a mintákat, illetve a minták méréseit.

Javító intézkedésnek bevezettünk, egy pontosabb mérőműszert, amely érzékenyebb, ezáltal pontosabban tudja mérni a kis mértékben eltérő mintákat is. Ezzel az új eszközzel megismételtük a mérést és újra kiértékeljük. A mérési tartománya az előző műszerünknek

25-35mm között volt, ezáltal nem tudta pontosan meghatározni a mért értékeket, mivel a specifikációnk 20 ± 1 mm. Az új szenzornak a mérési tartománya 10 és 25mm között van, ezáltal pontosan meg tudja határozni a mért értékeket.

Íme a megismételt mérésünk eredményei:

Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]	Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]	Minta szám	Operátor	Eredmény [mm]
1	1	19,91	1	2	19,84	1	2	19,95
1	1	19,99	1	2	19,92	1	2	20,03
1	1	19,94	1	2	19,87	1	2	19,98
2	1	19,11	2	2	19,04	2	2	19,15
2	1	19,02	2	2	18,95	2	2	19,06
2	1	19,00	2	2	18,93	2	2	19,04
3	1	20,69	3	2	20,62	3	2	20,73
3	1	20,66	3	2	20,59	3	2	20,70
3	1	20,62	3	2	20,55	3	2	20,66
4	1	19,59	4	2	19,52	4	2	19,63
4	1	19,51	4	2	19,44	4	2	19,55
4	1	19,57	4	2	19,50	4	2	19,61
5	1	20,10	5	2	20,03	5	2	20,14
5	1	20,14	5	2	20,07	5	2	20,18
5	1	20,12	5	2	20,05	5	2	20,16
6	1	20,35	6	2	20,28	6	2	20,39
6	1	20,31	6	2	20,24	6	2	20,35
6	1	20,34	6	2	20,27	6	2	20,38
7	1	19,28	7	2	19,21	7	2	19,32
7	1	19,21	7	2	19,14	7	2	19,25
7	1	19,24	7	2	19,17	7	2	19,28
8	1	20,44	8	2	20,37	8	2	20,48
8	1	20,49	8	2	20,42	8	2	20,53
8	1	20,48	8	2	20,41	8	2	20,52
9	1	20,21	9	2	20,14	9	2	20,25
9	1	20,26	9	2	20,19	9	2	20,30
9	1	20,23	9	2	20,16	9	2	20,27
10	1	19,79	10	2	19,72	10	2	19,83
10	1	19,71	10	2	19,64	10	2	19,75
10	1	19,78	10	2	19,71	10	2	19,82

3. táblázat

Fejlesztés után mért adatok

Forrás: Saját szerkesztés

I. Új mérőrendszer eredménye:

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,063964	0,38379	11,97
Repeatability	0,032026	0,19215	5,99
Reproducibility	0,055370	0,33222	10,36
Operátor_1	0,055370	0,33222	10,36
Part-To-Part	0,530749	3,18449	99,28
Total Variation	0,534590	3,20754	100,00

Number of Distinct Categories = 11

17. ábra

Második mérési eredmény 2.1

Forrás: Saját szerkesztés: MINITAB

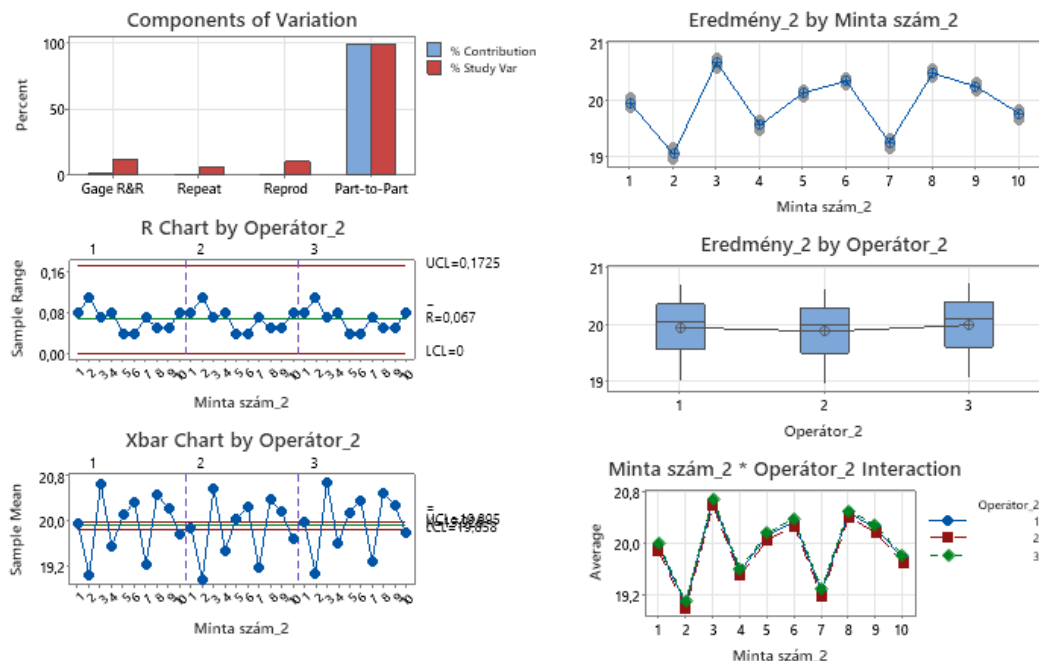
A Total Gage R&R-unk értéke immáron 11,97%, amely már Jó eredmény mivel a mérőrendszerünk az új eszközzel stabilnak tekinthető. Az ismételhetőség jelentős javulást mutat az új eszközzel, a korábbi nem elfogadható értékből a Kiváló kategóriában végzett. A kicsit magasabb variancia oka már a reprodukálhatóság, de 10,36%-al az sem mondható magasnak, a Jó kategóriába esik.

Az $nDc \rightarrow$ Numbef of Distinct Categories is a korábbi 3 ról 11-re javult, ami azt jelenti, hogy a mérőrendszerünknek a megkülönböztető képessége is jelentősen javult. így tehát ez az eredmény is elfogadható.

Gage R&R (ANOVA) Report for Eredmény_2

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



18. ábr

Második mérési eredmény 2.2

Forrás: Saját szerkesztés: MINITAB

A terjedelem és az átlag kártyáink továbbra is elfogadhatóak maradtak. A jobb alsó sarokban látható még vizuálisan a javulás, az előző méréshez képest. A gépeink mostmár közel azonos mérési értéket mutatnak a különböző mintákra.

Mindezeket figyelembe véve, kijelenthetjük, hogy a mérő rendszerünk átment az MSA vizsgálaton, és immáron elfogadható, azaz Jó eredményt produkált.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az MSA elsődleges célja a mérőrendszerek és mérőeszközök értékelése, annak érdekében, hogy megbizonyosodjunk róla: a mérések pontosak, ismételhetők és reprodukálhatók. A mérőeszközök rendszeres kalibrációja elengedhetetlen a referenciaértékek stabilitásának biztosításához, míg az ismételhetőség és reprodukálhatóság vizsgálata lehetővé teszi a folyamatok konzisztenciájának értékelését.

Az operátorok szerepének kritikus szerepe van az MSA-ban. A megfelelő képzés és a standardizált eljárások bevezetése biztosítja, hogy az emberek, akik a méréseket végzik, megfelelően értik és követik a folyamatokat. Ezáltal a mérések nem csupán pontosak, hanem következetesek is lesznek.

Az MSA tehát nem egy egyszeri tevékenység, hanem egy folyamatos, proaktív megközelítés a minőség és pontosság biztosítására. A helyes mérési folyamatokon és a mérőrendszereken keresztül az MSA hozzájárul a termékek és szolgáltatások magas minőségéhez, csökkentve a selejtet, optimalizálva a költségeket, és növelve a vevői elégedettséget.

A mérőrendszer analízis tehát nem csupán egy szigorú minőségellenőrzési folyamat, hanem egy stratégiai eszköz a vállalati teljesítmény növelésére és a versenyképesség javítására a piacon. A vállalatok, amelyek felismerik az MSA értékét, nem csupán azonnali előnyökhöz jutnak, hanem hosszú távon is fenntartható minőséget és ügyfél-elégedettséget érnek el. Az MSA így válik a minőségellenőrzés és a vállalati siker szinonimájává.

Dolgozatomban kitértem az MSA főbb részeire és felhasználására. A bemutatott példán keresztül pedig a gyakorlati alkalmazást is átvettem. Az MSA szerves része a gyártásnak, így a legtöbb gyártásközi folyamatmérnök gyakran fogja alkalmazni az elhangzottakat.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Automotive Industry Action Group (AIAG); 4th edition (Január 1, 2010)
2. Capability of measurement and test processes Bosch Booklet 10 (November 2019)
3. Measurement uncertainty Bosch Booklet 8 (Június 2015)
4. VDA5 – Measurement and Inspection processes. Capability, Planning and Management
5. Műszer és mérés technika (mérés technológia és mérés automatizálás gépgyártásban 2007/2008) Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gyártástudomány és -technológia tanszék. – Dr Alpek Ferenc.
6. Mérőrendszer elemzés (MSA) optikai mérőeszkővel Szűcs Soma XXXI. Nemzetközi Gépészeti találkozó (OGÉT 2023)
7. Mérés R&R vizsgálatok – Folyamatok szabályozásának eszközei – Göndör Vera –(OE RKK MKI)
8. Göndör Vera: Mérőeszközök metrológiai jellemzői, Korszerű döntéshozókészítő eszközök I., előadás prezentáció, 2022.

Elektronikus hivatkozások

9. Gage repeatability and Reproducibility (R&R) 2014 06.29
<https://sixsigmastudyguide.com/repeatability-and-reproducibility-rr/> (Utolsó letöltés: (2023.08.30))
10. <https://sixsigmastudyguide.com/repeatability-and-reproducibility-rr/> (Utolsó letöltés: 2023.08.30)
11. Mérés technika 3. előadás(2012) – Galla Jánosné Munkavédelmi mérnökasszisztens
ÓE-BGK (Utolsó letöltés: 2023.11.30)
12. MSA- mérőrendszer elemzés. <https://www.poligont.hu/files/MSA-elemzes-poligont.pdf?type=INFOM> (Utolsó letöltés: 2017.09.11)
13. Bias | Linearity | Stability Study in MSA & Calibration
<https://www.nikunjboraniya.com/2018/12/bias-linearity-stability.html> (Utolsó letöltés 2018.12)

14. Pontosság és precizitás

https://hu.wikipedia.org/wiki/Pontosság_és_precizitás

(Utolsó letöltés: 2009.08)

15. Magyar közlöny – kormányrendelet :

<http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/MK17042.pdf> (Utolsó letöltés

2017. március 22)

16. Minitab - <https://www.minitab.com/en-us/> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

17. Origin - <https://www.originlab.com/> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

18. LabVIEW - <https://www.ni.com/en/shop/labview.html> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

19. MATLAB - <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

20. SPSS - <https://www.ibm.com/products/spss-statistics> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

21. Q-DAS <https://www.q-das.com/en/> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

22. Joghatásos mérések - <https://mkeh.gov.hu/meresugy/hitelesites> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

23. Minőségirányítási rendszer (MIR) ISO9001:2015

<https://www.poligont.hu/rendszerek/iso-9001-2015/> (Utolsó letöltés: 2023.11.30)

TARTALMI KIVONAT

A jelenkor gyártóinak és a piaci résztvevői nagyon szoros versenyben állnak egymással, a céljuk még is ugyan az, ami nem más mint a vevők legminőségibb kiszolgálása, a profitmaximalizálás mellett. A profit maximalizálás pedig nem valósulhat meg, ha silány minőségű terméket árusítanak. Ebben segít nekünk az MSA. A vevői elégedettséget fent kell tartani, különben könnyen elveszíthetjük a jelenleg meglévő vevőinket és a reputációnk romlása pedig ronthatja a potenciális új vevők megszerzését. Erre tért ki a dolgozat írója, hogy a minőség a legfontosabb kritérium egy gyártó vállalatnak és a minőség megszerzésében és fenntartásában, az egyik legjobb eszköz az MSA.

SUMMARY

Today's manufacturers and market players are in very close competition with each other, yet their goal is the same, which is to serve their customers with the highest quality while maximising profits. Profit maximisation cannot be achieved by selling a low quality product. This is where MSA helps us. Customer satisfaction must be maintained, otherwise we can easily lose existing customers and a deterioration in our reputation can be detrimental to attracting potential new customers. This is the point that the writer have made in his thesis, that quality is the most important criterion for a manufacturing company and one of the best tools for obtaining and maintaining this quality is MSA.