

R&R VIZSGÁLATOK FEJLESZTÉSE TRENDÉS JELLEMZŐ MÉRÉSI RENDSZERÉRE  
DEVELOPMENT OF R&R STUDIES ON THE MEASURING SYSTEM OF TREND CHARACTERISTIC

GREGÁSZ TIBOR – PATAKI MÁRTA

**Kulcsszavak:** R&R, megismételhetőség, reprodukálhatóság, mérőrendszer elemzés, nyomaték-hiszterézis, kuplung vizsgálat

## 1. A probléma ismertetése

A megismételhetőségi és reprodukálhatósági – azaz R&R – vizsgálatok csak részben a mérőeszközre, ezen kívül a módszer, operátor, környezet és az objektum alkotta mérési rendszerre, valamint azok kölcsönhatásaira ad becslést egyetlen szám-szerű bizonytalansági értékkel. Emellett tájékozathat a bizonytalanságot okozó megismételhetőségi és reprodukálhatósági tényezők arányairól is.

A cikkben értékelt probléma a súrlódó tengelykapcsolók egy speciális funkcionális vizsgálatának a súrlódási nyomaték hiszterézisének a mérőrendszerére jelenik meg. Az R&R módszertan eredeti formájában, általánosságban csak olyan jellemzők mérésére alkalmazható, ahol ugyanazon, vagy legalább is azonos tulajdonságúnak tekinthető objektumok ismételt eredményei közötti eltérések véletlenszerűen alakulnak, amikor több személy többször is vizsgálatot végez. A kuplungszerkezetek súrlódó betéteit és felületeit célzó vizsgálatnál viszont az „összekopás” jelenségből adódóan tendenciózus módon csökkenő értékeket mérhetnek. Ez az ismételt mérések középértékeinek változásában jelenik meg, ami az R&R értékek jelentős torzulását, indokolatlan növekedését okozza.

A munkánk során célul tűztük ki egy olyan módszer tervét és próbáját, amely lehetőséget teremt az üzemi gyakorlatban megengedhetetlenül magas R&R értékek tudományos alapú csökkentésére, mivel a mérések bizonytalanságai a tapasztalatok alapján elfogadhatóak lennének. Valójában az eredeti, stacioner jellemzőre kidolgozott módszertan korrekciójával alkalmassá tesszük azt trendesen változó jellemzők befogadására és kiértékelésére.

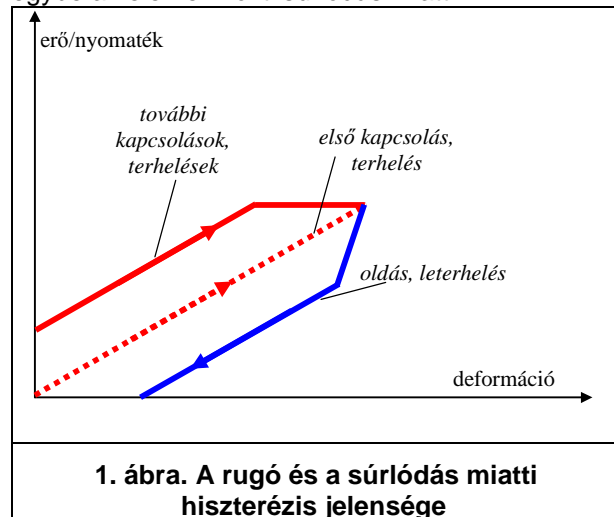
## 2. Hiszterézis jelensége és vizsgálata súrlódó tengelykapcsolókon

Az alább ismertetésre kerülő vizsgálatot a gépkocsikon általánosan alkalmazott száraz súrlódó tengelykapcsolókon (kuplung) végeztük. Mivel a

kutatás célja a vizsgálórendszer ismételhetőségi és reprodukálhatósági elemzése volt, ezért a cikk terjedelméből adódóan nem térünk ki sem a tengelykapcsoló, sem a vizsgálóberendezés ismertetésére, mivel elegendőnek véljük a szerkezet működési elvének hozzávetőleges ismeretét és a mérési összeállításnak általában „műszaki képzeletőron” alapuló elképzelését.

### 2.1. A hiszterézis jelenség ismertetése és szerepe

Esetünkben a hiszterézis, az a jelenség, amikor a tengelykapcsoló súrlódó betéteinek felületein megjelenő normálerő növelése és csökkentése közben a kapcsolás (a működési állapot, azaz a statikus súrlódás állapota) nem ugyanazon az erőértéken következik be. A kuplungtárcsa esetében mechanikai vagy rugalmas hiszterézist említhetünk, amely a szilárd testek közti elmozdulás (deformáció) késedelmét jelenti a megjelenő nyomatékhoz képest. Ebből következően az egyébként lineáris rugókarakterisztikában a felterhelési és tehermentesítési vonalak nem esnek egybe az elemek közti súrlódás miatt.



A hiszterézisnek fontos szerepe van a gépjármű sebességváltásakor, hogy csillapítsa motor és a meghajtott kereken keresztül az autó tehetetlen tömegéből adódó lökészerű kölcsönhatásait. Ha túl kicsi a hiszterézis, akkor a kuplungpedál felengedése után a kapcsolódás nem lesz sima, a jármű rángatva indul. Ha a hiszterézis túl nagy, akkor a kuplung „csúszik”, elégtelen a nyomaték-

Dr. Gregász Tibor – Óbudai Egyetem RKK MTS  
Pataki Márta, Óbudai Egyetem RKK MTS  
A 4. Agy-on elhangzott előadás írott változata

átvitel, a súrlódó alkatrészek hamar elkopnak, csökken az élettartamuk. Jelentősége van még az alapjáratkor tapasztalható zaj csökkentésében is.

Ezt a kétoldali tűréshatárral adott hiszterézis értéket vizsgálják az összeállított tengelykapcsoló szerkezetén, a *nyomaték hiszterézis* mérésén keresztül az ún. torziós karakterisztika mérővel.

## 2.2. A vizsgálat leírása

A tengelykapcsolót egy bordásagyon keresztül, egy speciális karakterisztika mérő fékpad bordástengelyére helyezik. A gép az agyat elkezd forgatni, vagyis a bordástengely elfordul, ezáltal a szerkezetre forgatónyomaték hat. Ennek következtében a szerkezet összenyomja az elmozdulni nem képes tangenciális rugókat. Ennek hatására, a rugók a bennük elraktározott energiával, eredeti alapállapotára törekszenek, tehát a rugóerő az összenyomó erő irányával ellentétes lesz. Ekkor a rugó által kifejtett nyomatékok, és a súrlódási nyomaték egy irányba hatnak, vagyis a rugók hatásvonalába eső osztó kör sugárára vonatkoztatva az erők összeadódnak. A műszer a vizsgálat közben rajzolja a tengelykapcsoló ( $M-\varphi_s$ ) karakterisztika görbéjét az osztó körön megjelenő nyomatékból:

$$F_1 = F_{\text{torziósrugó}} + F_{\text{súrlódási}}$$

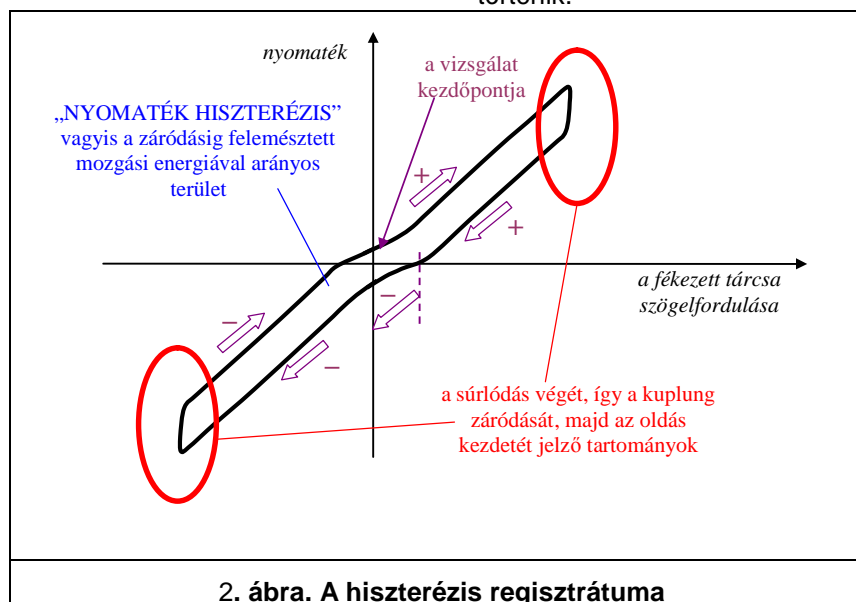
A súrlódó erő mértéke reális esetben függ a felületek anyagától, az érdességétől, a normálerő nagyságától, míg iránya az elmozdulás irányával ellentétes.

$$F_s = \mu \cdot F_n$$

Az agyra addig növeljük a normálerőt, amíg a „diagram meg nem szalad”. A diagram megnyúlik, megugrik, amikor a tárcsát már nem lehet egymáson tovább forgatni. Ez akkor következik be, amikor a szögelfordulás értéke maximális lesz, a fékezőnyomaték megnő, és a diagram megugrik. Ezt követően megváltoztatjuk az agy forgási irányát, ebben az esetben, a rugóerő az elmozdulással megegyező irányba hat, a súrlódó erő pedig ellentétes irányú vele, ezért az erők kivonódnak.

$$F_2 = F_{\text{rugó}} - F_{\text{súrlódási}}$$

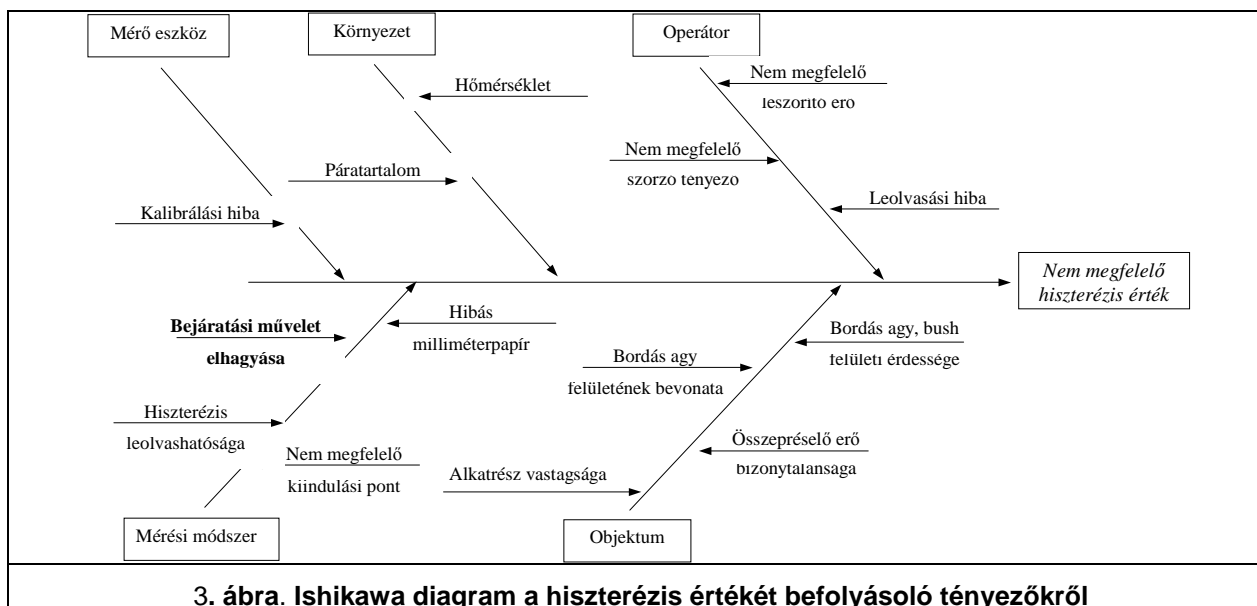
A diagram újbóli kifutásáig tartjuk ezt a forgási irányt, majd ismét megváltoztatjuk és visszaengedjük addig, míg a rugó újból terheletlen állapotába kerül. Ezt a fel- és leterhelési műveletet háromszor egymás után elvégezzük, hogy a felületek kellőképpen összekopjanak, vagyis hozzávetőlegesen előidézünk a kuplungtárcsa használata során jellemző folyamatot. A többszöri bejáratást „összekoptatást” követően rajzolja a gép a karakterisztika görbéjét. Ezt követően a hiszterézis értékének meghatározása a diagramokból számítás útján történik.



2. ábra. A hiszterézis regisztrátuma

## 3. Az ingadozást okozó tényezők felmérése

A bizonytalansági tényezők felmérését elvégeztük és a 3. ábrán foglaljuk össze. Az egyes bizonytalanságot okozó tényezőket részletesen, számszerű becsléseket adva is vizsgáltuk, viszont a jelentőségét tekintve most csak a trendes jelleg okait fejtenénk ki.



Az azonos tárcsa-összeállításon végzett ismételt mérések tendenciózus változását a legnagyobb felületi egyenetlenségek lenyíródása, és a felület „simulása”, morfológiájának üzemi állapotra alakulása okozza. A valóságban a  $10^4 - 10^5$  kapcsolásszámok is jellemzők, viszont a vizsgálatnál csupán az első három kapcsolat szolgálja a mintadarabok „kondicionálását”, ami után következik néhány nyomaték-hiszterézis mérés. Vizsgálatunk során nyolcas ismétlésszámot tartottunk egy-egy tárcsagarnitúrára.

A művelet kihagyásakor magasabb hiszterézis értéket mérhetünk a valóságnál, ami a bekopott állapotban, a használat közben jellemzi a tárcsát. Ha az alkatrészek nincsenek összejárva, a súrlódási tényezőjük magasabb, nagyobb nyomaték szükséges az elforgatásukhoz.

A nyomaték-hiszterézis vizsgálatát befolyásoló tényezők meghatározása és részletes vizsgálata után megállapítottuk, hogy a bejárás elhanyagolásán kívül nincs olyan tényező, amely olyan mértékben befolyásolná a mérési eredményünket, hogy azt ne lehessen megbízható információszerzésnek tekinteni, vagy amely kialakulását a vizsgálat körülmények elvégzésével ne lehetne megakadályozni.

#### 4. Az R&R módszertan fejlesztése trendes változókra

A karakterisztika mérőn történő vizsgálatnál, a tárcsa összeengedésekor a felületek között nem használható kenőanyag, ezért használat közben összekopnak. A használat gyakoriságával kisebb lesz a súrlódási tényező, vagyis csökken a hiszterézis értéke is. Nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy a megismételt vizsgálatok hatására a

mérés eredményei csökkenő tendenciát mutatnak, vagyis az ismételt mérések adataira feltételezett normális eloszlás tényét el kell vetnünk. Emiatt nem lesz megfelelő a megismételhetősége és a rutinszerű R&R vizsgálat ennek következtében nem ad reális eredményt a mérési folyamat bizonytalanságairól.

A fejlesztésünk egy olyan korrekciós R&R módszer megalkotására irányul, melyben kivédhetjük azt a jelenséget, hogy a kapott eredmények a trendszerű összezsugorodási/kopási folyamat miatt nem megismételhetőek, véletlenszerűségük kétséges. A táblázat lényege, hogy a mérésből kapott adatokat egy tényezővel korrigáljuk, amely lehetővé teszi, hogy a termékről mért értékeket úgy tudjuk kezelni, mintha a hiszterézis értéke független véletlenszerű változó lenne, és nem tartalmazna trendszerű elváltozást.

A táblázat megalkotásához, szükségünk van a tengelykapcsolón végzett trendvizsgálatra, amely az összekopásból eredő változás jellegét – karakterisztikáját – határozza meg.

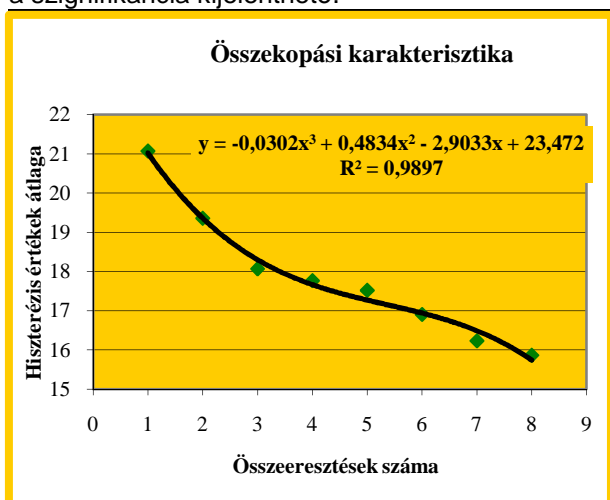
#### 4.1. Hiszterézis értékére vonatkozó vizsgálat

Elsőként vizsgálatot végzünk annak érdekében, hogy meghatározzuk, hogyan változnak a mérési eredményeink az azonos objektumon végzett egymást követő ismételt mérések során.

A kísérlet alapjául véletlenszerű kiválasztással került 10 db minta a vizsgálatba, amely során minden egyes darabon nyolcszor ismételtünk úgy, hogy a mérések között rövid idő telt el, így a környezet, az és az objektumok, valamint az operátor személye sem változott.

### 4.1.1. Korrelációs és regressziós vizsgálat

A korrelációs számítás egyik feltétele, hogy ha X értékei rögzítettek, akkor az Y eloszlása X minden rögzített értéke esetén normális eloszlást kövessen, ennek eldöntésére alkalmas a normalitás vizsgálata. Ebben az esetben elhagyhatónak véltük a normalitás vizsgálat elvégzését, mivel a kuplungtárcsa gyártása során a hiszterézis értékét azonos kopottsági szinten (pl.: az első, a második, ... összeeresztéseknél mért értékeknél) számos tényező befolyásolja. Így a centrális határeloszlás tétele alapján feltételeztük, hogy az egyes összeeresztés számoknál mért hiszterézis értékek véletlenszerűen szórnak, így normális eloszlásúak. A korrelációs és regressziós vizsgálatunk eredményei és megállapításai az alábbi diagramban követhető nyomon. Számításaink során bizonyosodott, hogy az összeeresztések száma és a kapott hiszterézis értékeink között szoros összefüggés van. A meghatározottsági együttható értékéből a kapcsolat nagyfokú szorossága mellett a szignifikancia kijelenthető.



4. ábra. Összekopási karakterisztika

A regresszió elemzés során a pontsorra, harmadfokú regressziós parabolát illesztettük, mert semmi okunk sincs feltételezni, hogy lineárisan változik és szemmel láthatólag is durva közelítés lett volna. A függvény meredekségének változása jellege alapján a függvénykapcsolatként kapott egyenletünk alapján számolt korrekciós tényezőkkel módosítanánk az R&R elemzésre kerülő értékeket.

### 4.1.2. Korrekciós táblázat létrehozása

A korrekciós tényező létrehozásakor az utolsó, nyolcadik mérést vettük alapul, mert a helyi tapasztalatok szerint a nyolcadik mérésnél már megközelítőleg összecsiszolódott az alkatrészek annyira, hogy ezt tekinthessük irányadónak. Ehhez transzformáltuk az ezt megelőző mérések adatait.

A regresszió elemzés során kapott harmadfokú egyenlet segítségével meghatároztuk, hogy az egyes méréseknél milyen hiszterézis érték becsülhető ( $\hat{y}_1; \hat{y}_2 \dots \hat{y}_8$ ). Az így kapott eredményekből vontuk ki a nyolcadik mérésnél várható – vélhetően már stabil – hiszterézis értékét ( $\hat{y}_8$ ), amellyel megkaptuk a korrekciós tényezőket ( $D_1; D_2 \dots D_8$ ):

$$D_1 = \hat{y}_1 - \hat{y}_8$$

$$D_2 = \hat{y}_2 - \hat{y}_8 \dots \text{stb.}$$

Korrekciós tényezők az összeeresztések számának függvényében							
D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>
5,30	3,63	2,57	1,94	1,54	1,21	0,75	0

1. táblázat. Korrekciós tényezők

A korrekciós tényezők alkalmazásával a hiszterézis értékek tendenciózus jellegét próbáltuk kiszűrni. A fejlesztés eredményességét az bizonyítani, ha a korigált hiszterézis értékek statisztikai eloszlásra hasonlítanak. A sok paraméter általi befolyásoltságot is figyelembe véve, ismét feltételezhetjük és egy Gauss-hálón végrehajtott normalitás vizsgálat elvégzésével jó közelítéssel igazolható a normális eloszlás.

### 4.1.3. Normalitás vizsgálat a korigált értékekre

A korrekciót követően tehát a transzformált értékekre normalitás vizsgálat szükséges, annak megállapítására, hogy az adathalmazunk normális eloszlást követ-e vagy sem, azaz a hiszterézis értéke mutat-e tendenciából eredő torzulást vagy sem.

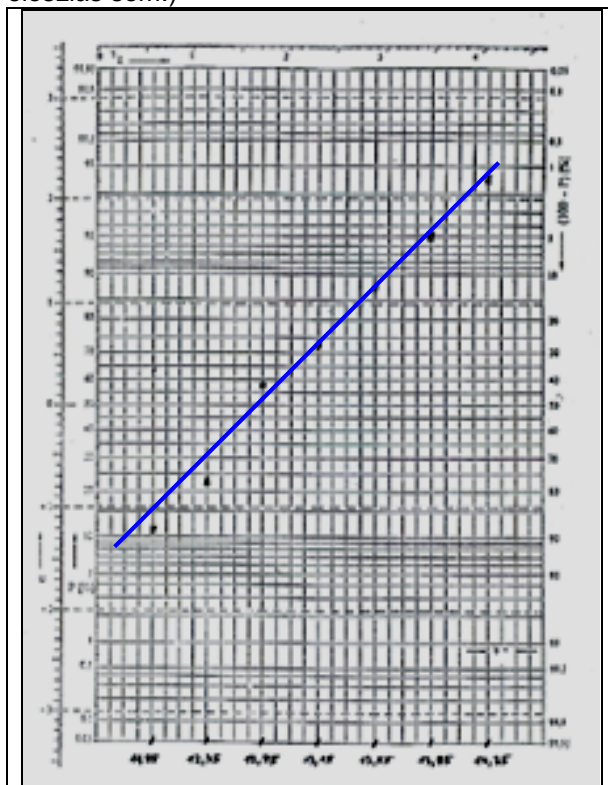
A mérési vizsgálat során kapott 8x10 db adatot a korrekciós tényezőkkel való transzformálás után osztályközbe soroltuk és ennek alapján ábrázoltuk. A pontok egy egyenessel közelíthetők, az eloszlás normális jellegét ez alapján javasolt elfogadni.

### 4.1. R&R vizsgálat

A vizsgálat célja annak a megállapítása, hogy a használt eszköz és a mérőrendszer elég kis hibával használható-e ahhoz, hogy vele a folyamatról megbízható információt szerezzünk.

Az R&R vizsgálatnál azt elemezzük, hogy a mérőeszközzel való mérés ismételtetősége, a különböző személyek általi reprodukálhatósága hogyan viszonyul egymáshoz és a mérendő objektumok közötti különbséghez, és egyúttal becslést is adunk az eltérés-összetevők variációjára. (Bár a jelentős darabeltéréseket a hagyományos

(MSA<sup>1</sup>-ban ismertetett) módszertan képes kezelni, esetünkben azonban nem a szerkezetek közt van a jelentős eltérés és nem igaz a véletlenszerű eloszlás sem.)



5. ábra. A korrigált értékeken végzett normalitás vizsgálat

A mérésnek tulajdonítható ingadozás is két részből áll:

$$\sigma_{\text{mérés}}^2 = \sigma_{\text{reprod}}^2 + \sigma_{\text{ism}}^2$$

Tovább bontva a reprodukálhatóság variáciáját:

$$\sigma_{\text{reprod}}^2 = \sigma_{\text{kezelő}}^2 + \sigma_{\text{alkatrész*kezelő}}^2$$

A variációkat egy egyszerű módszer szerint terjedelemből célszerű becsülnünk. Először az ismétlések variációjának becsülését végezzük el:

$$\sigma_{\text{ism}} = \frac{\overline{R}_{\text{ism}}}{d_2}$$

ahol  $\overline{R}_{\text{ism}}$  az ismétlések átlagos terjedelmének átlaga, vagyis vesszük az egyes operátoroknál az

<sup>1</sup> Measurement System Analyses – a mérőrendszerek elemzésére vonatkozó referencia kézikönyv az autóiparban

ismétlések terjedelmének átlagát és osztjuk egy táblázatból veendő<sup>2</sup>, ismétlésszámtól függő statisztikai értékkel ( $d_2$ ).

A mérési eredmények a következő okokból különböznek:

- Az alkatrészek különbözőek, remélhetően ez adja az eltérések döntő részét;
- A mérés ismétlésekor a mérőeszköz jellegetől függően minden kezelő általában véletlen mérési hibákat követhetnek el (pl. parallaxis-hibát, a vastagságmérőt jobban vagy kevésbé szorítja rá az alkatrésze, a nyomaték-hiszterézis mérőt eltérő sebességgel használják, ...), ez határozza meg a mérés ismételhetségét.
- A kezelő ügyessége, figyelmessége, munkájuk megbízhatósága is különböző lehet, ez határozza meg a mérés reprodukálhatóságát.
- Lehetséges, hogy egyes kezelők a különböző alkatrészeket különböző hibával képesek mérni, vagyis kölcsönhatás lehet a kezelő és az alkatrészek között.
- A kopás különleges fizikai folyamata, amely jelentős eltéréseket is okozhat.

Ennek megfelelően a különböző alkatrészekre kapott mérési eredmények eltérését (ingadozását) jellemző variancia a következőképpen bontható fel.

$$\sigma_{\text{teljes}}^2 = \sigma_{\text{alkatrész}}^2 + \sigma_{\text{mérés}}^2$$

Ha képet akarunk kapni, hogy a teljes ingadozás mekkora, nemcsak az alkatrészek mérhető ingadozását, hanem a mérés bizonytalanságát is ismernünk kell.

Az egyik R&R vizsgálat az alkatrészek jellemzőjének ingadozásával együtt méri a mérés bizonytalanságát. Ez azonban csak véletlenszerű változásokat produkáló eredmények elemzésére alkalmas.

## 4.2. A korrekciós R&R táblázat alkalmazása

Az R&R vizsgálat során a korrekciós tényezőket ki kell vonni az operátorok által mért adatokból. Az első mérés eredményénél  $D_1$ -es, a második mérésből  $D_2$ -es korrekciós tényezőt alkalmazva és így tovább. Ez lényegében egy transzformáció, ami a trendszerű értékeket az összeesztések számának függvényében transzformálja az R&R táblázatba írható értéké. [10]

A kuplungtárcsákon mért hiszterézis értékek trendszerű csökkenésének kiszűrésére így korrek-

<sup>2</sup> Az MSA kézikönyvben és SPC-t ismertető szakkönyvekben használt táblázatok

ciós tényezőket hoztunk létre a kopási folyamat megismerésével. A korrekciós tényezők használatához átalakítottuk a rutinszerűen alkalmazott R&R jegyzőkönyvet és számolótáblát, amelynek eredményeképp az új számolótábla megfelelő rovataiba felvitt értékekből automatikusan kivonja a megfelelő korrekciós tényezőket. A korrigált értékekkel automatikusan számolja az R&R értékeket és készíti jegyzőkönyvet.

Tapasztalatunk szerint a más geometriájú, de különösen az eltérő sűrűdésű anyagpárokat tartalmazó szériáknál egy rövid kísérletsorozattal a korrekciós értékeket újból aktualizálni kell. Kijelenthető ugyanis, hogy a trendre rajzolt regressziós görbe alakja és paraméterei lényegében egy anyagpár és a szerkezeti jellemző – mint például egy rugó karakterisztikája – függvényében válik egyedivé.

### 5. A módszer gyakorlati alkalmazása

Ahhoz, hogy meggyőződjünk arról, hogy az új korrigált R&R táblázat eredményes és használható, egy valós R&R vizsgálatnál kell alkalmazni az új módszert. Az R&R vizsgálatot az eddigi kísérlet alapján szolgáló tengelykapcsoló típusal végeztük el.

A kiválasztott kuplungtárcsából 10 darabot a vizsgálati utasításban rögzítettek szerint végeztük el az R&R vizsgálatot. A mért értékeket felvezettük a módosított R&R jegyzőkönyvbe, amely a beírt értékből automatikusan kivonja a megfelelő korrekciós tényezőket. A hiszterézis mérés %-os R&R értéke a korrigálást követően a korábbi 60%-ára csökkent. Bár így az eredmény kielégítő, amit a vevői reklamációk is alátámasztanak, a többi bizonytalansági tényező elemzésével és rendszeres gondozásával tovább csökkenthető.

A kutatás alapját és gyakorlati részét a Budapesti Műszaki Főiskola (ma Óbudai Egyetem) Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar Minőségirányítási és Technológiai Szakcsoportján készült záródolgozat mérései képezik. A kidolgozott módszertanból előadás is született az *Anyagvizsgálat a Gyakorlatban* című szakmai szimpóziumon.

### 6. Irodalomjegyzék

- [1] Gregász Tibor - Fekete Beatrix: R&R vizsgálatok fejlesztése trendes jellemző mérési rendszerére (*Anyagvizsgálat a Gyakorlatban (4. AGY) Szakmai Szeminárium 2008. Kecskemét*),
- [2] Fekete Beatrix: R&R módszertan fejlesztése a tengelykapcsoló gyártásban, BMF záródolgozat (konzulens: Gregász Tibor adjunktus)
- [3] Koczor Z., Göndör V., Gregász T.: A mérési tevékenység folyamatos fejlesztése (Magyar Minőség – 2005/5)
- [4] Mérési Rendszerek Elemzése (AIAG MSA-4:2008) (referencia kézikönyv 2008)
- [5] Kemény, Papp, Deák: Statisztikai Minőség - (Megfelelőség) Szabályozás, Műszaki Könyvkiadó - Magyar Minőség Társaság, 2001
- [6] Bánkuti László: A mérési bizonytalanságról, Műszerügyi és méréstechnikai közlemények 63.szám. 1999
- [7] Keller Ervin - Nagy Károly: Gépjárműszerkezetek karbantartása és javítása, Műszaki Könyvkiadó, 1984
- [8] Dr.Paloss Gyula: A szabályozás fogalmai
- [9] Koczor Z., – Takács Á.: Engineering evaluation about the role of innovation in a globalized economy, Acta Polytechnica Hungarica No.3, 2008, p. 65- 73.
- [10] Göndör V., Nemethné E.K., Koczor Z., Kertész Z.: User-oriented management of the results of composite experiments, International Textile Conference, 2008.