



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

BIZONYTALANSÁGOK A HOSSZMÉRÉSTECHNIKÁBAN

Szerzők: **Fülöp Daniella**
Gépészmérnök V. félév

Nagy Júlia
Gépészmérnök V. félév

Konzulens: **Dr. Drégelyi-Kiss Ágota**
adjunktus



Tartalom

Bevezetés.....	3
1. Általános áttekintés	4
1.1.Mikrométerről röviden	4
1.2. Kalibrálás általános ismertetője.....	4
2. A mikrométer vizsgálati módszerei.....	6
2.1. Kalibrálási eljárás	6
2.2. Kalibrálási eljárás az QS9000 MSA szerint [2].....	7
2.3. Kalibrálási eljárás a VDA 5 szerint	10
2.4. C _g vizsgálat.....	15
3. A mérési eredmények grafikus és analitikus kiértékelése.....	16
3.1.A vizsgálat során mért eredmények.....	16
3.1.Kalibrálás akkreditált laboratóriumban.....	18
3.2. QS 9000 MSA	19
3.3.VDA5 szerinti kalibrálás	24
3.3.1. Mérési rendszer elemzése	24
3.3.2. Mérési folyamat elemzés	26
3.4.Képességvizsgálat (C _g).....	28
3.5. A különböző mérőeszköz és mérési rendszer vizsgálatok összevetése.....	29
5. Összegzés.....	32
6. Summary.....	33
7. Irodalomjegyzék:	34



Bevezetés

A XXI. századi gyártástechnikában a megfelelően végrehajtott és kiértékelt mérési procedúrák ugyanolyan fontossággal bírnak, mint a gyártási folyamat bármely része, hiszen pontatlanul beállított eszközökkel, rosszul legyártott alkatrészekkel nem lehet mit kezdeni. A mai méréstudomány világában a nemzetek mérési kultúrájában számos eltérés van. Ezek az eltérések a különböző értelmezéseken alapulnak. Dolgozatunk témája ezen eltérések összehasonlítása, és egyfajta egységes nézet kialakítása.

Dolgozatunkban 3 féle mérési értékelő rendszert vettünk alapul. A kalibrálandó eszköznek egy digitális kengyeles mikrométert választottunk, és ennek pontosságát egy akkreditált mérő laboratóriumban elvégeztettük, aminek eredményeit egy általunk végzett képesség vizsgálattal megerősítettük, valamint az iskolai mérőlaborban az amerikai QS9000 MSA többlet-követelmény szerint, ill. a VDA5 német autóiipari többlet követelmény szerint végeztük.



1. Általános áttekintés

1.1. Mikrométerről röviden

A mikrométer, más néven paránymérő, az egyik olyan precíziós hosszmerő műszer, amely leginkább a gépiparban használatos, leolvasási pontossága nagyobb, mint a tolómérőé, általában 0,001 mm, a nevével ellentétben nem mikrométeres pontosságú. A mikrométer használata már nagyon régi múltra tekint vissza. Elsőként az angol William Gascoigne alkalmazta csillagászati teleszkópon már a XVII. században. Hosszmérésre először 1848-ban Párizsban alkalmazta Jean Laurent Palmer és ezek után az angolszász országokban megindult a tömegtermelés. A mikrométereket csoportosíthatjuk több szempont szerint, például kialakítás, méréstartomány, skálaosztás. Az általunk választott mikrométer 0-25 milliméter méréstartományú, digitális, 0,001 milliméter felbontású kijelzős külső kengyeles mikrométer volt (1. ábra).



1. ábra: A vizsgálat alá vont mikrométer

1.2. Kalibrálás általános ismertetője

A kalibrálást akkreditált laboratóriumok végezhetik, vagy olyan laboratóriumok, amelyek rendelkeznek kalibrálási eljárással az adott eszközre és a nemzetközi alapegységre visszavezetett etalonnal. A Nemzeti Akkreditáló Testület (NAT) tüzetesen ellenőrzi a laboratóriumokat, mielőtt oda ítéli az akkreditált státuszt, utána pedig évenként ellenőrzi a feltételek folyamatos meglétét. Az említett feltételek az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány [1] követelményei. Az akkreditálás 4 évig érvényes, utána újabb mindent áttekintő vizsgálat következik, az akkreditálás megújításához. Az akkreditált laboratóriumok működése



Óbudai Egyetem Báncsi Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki kar
Bizonytalanságok a hosszmeréstechnikában
Készítette: Fülöp Daniella és Nagy Júlia

ellenőrzött és megfelel a vonatkozó szabványok követelményeinek. A kalibrálás célja, az adott mérőeszköz méréssel igazolható jellemzőinek meghatározása, vagyis, méréssel igazoljuk vagy cáfoljuk, hogy az adott mérőeszköz pontossága megfelel az elvárt követelményeknek.



2. A mikrométer vizsgálati módszerei

2.1. Kalibrálási eljárás

A kalibrálás mikrométereknél úgy működik, hogy a mikrométerrel megmérjük a nagy pontosságú mérőhasábok hosszát és összehasonlítjuk a mért értéket a mérőhasábokkal reprodukált helyes értékével. A kalibrálással meghatározható az értékmutatási hiba, síklapúság, párhuzamosság és a kiterjesztett mérési bizonytalanság. A kalibrálási eljárás közben fontos az állandó hőmérséklet tartása ($20 \pm 1,5^\circ\text{C}$) illetve, hogy a kalibrálandó mérőeszközt és mérőhasábokat megfelelő ideig (általában a mérés megkezdése előtt 2 óráig) hagyni kell a hőmérséklet kiegyenlítődésre. A mérés előtt szemrevételezzük az adott mikrométert, ellenőrizni kell az orsó mozgását, a skálaosztást, a nyomatékhatároló megfelelő működését, a rögzítőt, digitális mikrométer esetén a kijelző szegmenseit illetve a mérőfelületek épségét. A mérés a mérőfelületek síklapúságának vizsgálatával kezdődik. Ebben az esetben mind az álló és mind a mozgó pofa síklapúságát külön-külön kell megvizsgálni sík-párhuzamos üveg segítségével és megnézzük az interferencia vonalak számát. Ezek után megvizsgáljuk a párhuzamosságot is. A mikrométer méréstartományának megfelelő 4 darabos üvegkorong készlet minden darabját a mérőcsapok közé fogjuk mintha megmérnénk a vastagságát a nyomatékhatároló működtetésével és megszámloljuk az interferencia vonalak számát. Ezek után következik az értékmutatás vizsgálata. A befogóban rögzített mikrométerrel megmérjük a mérőhasábokat, minden mérést legalább háromszor megismételünk és az eredményeket a mérési jegyzőkönyvben rögzítjük.



2.2. Kalibrálási eljárás az QS9000 MSA szerint [2]

➤ Linearitás vizsgálat

A linearitás a kalibrált mérőeszköz hibájának, vagy eltérésének – a mért és a helyes érték különbségének – függése a mért értéktől. A vizsgálat során a mérőeszköz mérési tartományában legalább 5 helyen végzünk pontossági vizsgálatokat, többszöri ismételt mérésekkel.

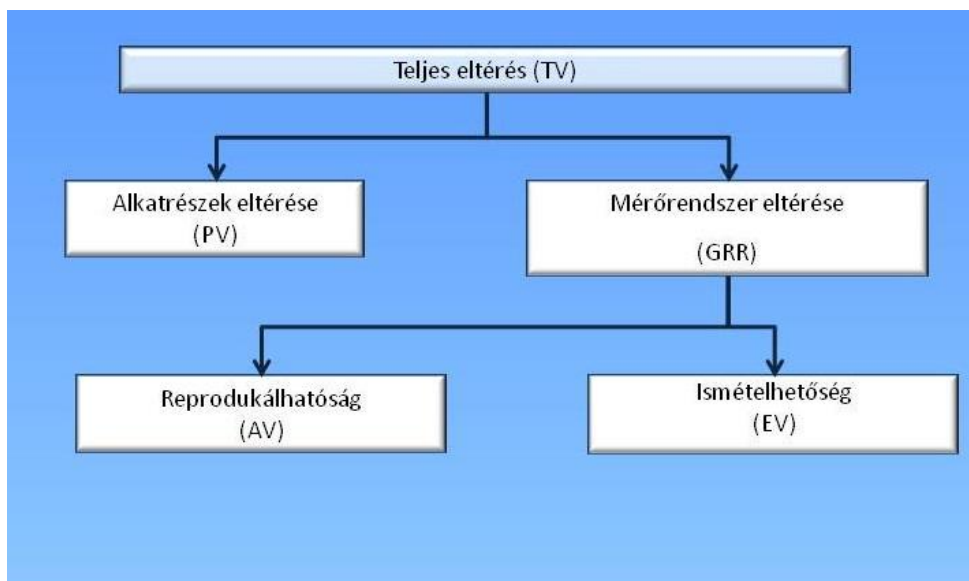
A mérőeszköz mérési eltéréseit a mérési tartományon regressziós függvénnyel elemezzük. Amennyiben az eltérések 0 körül, véletlenszerűen ingadoznak, a mérőeszköz linearitása megfelelő.

➤ R&R vizsgálat

A mérési mérőeszköz vizsgálatot többféle módon végezhetjük el. Az MSA rendszerben a három legfontosabb ilyen mód a terjedelem módszer, átlag és terjedelem módszer és az ANOVA módszer. A teljes mérési rendszer magában foglalja nem csak a mérőeszközt magát és a rá vonatkozó pontosságot, ismételhetőséget stb., hanem tartalmazza a különböző személyek által végzett mérések eltéréseit is.

A terjedelem módszernél jellemzően 2 mérőszemély végzi a mérést 5 munkadarabon, úgyhogy mind a két személy megméri az 5 darabot egyszer. A terjedelem minden darabra a két mérőszemély által kapott mérések közötti abszolút különbség. A terjedelem módszer a mérési eltérés gyors megközelítését fogja adni. Ez csupán csak egy általános képet ad és nem választja szét az eltérést ismételhetőségre (a kapott mérési eredmények eltérése, amikor egy mérést végző személy ugyanazt a jellemzőt többször méri, azaz a mérőeszköz eltérés) és reprodukálhatóságra (a mérési eredmények átlagainak a különbsége, ha több személy ugyanazzal a mérőeszközzel ugyanazt a jellemzőt ugyanazon a darabon méri, azaz a mérőszemély eltérés).

Az átlag-terjedelem és ANOVA módszer használatával szétbonthatóvá válnak az ismételhetőség és a reprodukálhatósági szórás, ingadozás értékei. Mindkét módszer esetén 10 alkatrészt, 2 vagy 3 személy, 2 vagy 3 ismételt mérést végzünk. A módszerek eltérései a kiértékelés módjában vannak. A kapott mérési eredmények ingadozását (TV, teljes eltérés) felbontjuk különböző részekre az egyes határoknak megfelelően, vagyis szóráselemzést végzünk (2. ábra). Az egyes eltérések szórás jellegű mennyiségek, így a mértékegységeik megfelel az eredeti mérési adat mértékegységének.



2. ábra: Az eltérések forrásainak felosztása R&R vizsgálat esetén

Matematikailag az egyes ingadozások a következőképpen adódnak:

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

$$GRR = \sqrt{AV^2 + EV^2}$$

A különféle ingadozások kimutatása után többféleképpen történhet a mérőrendszer vizsgálatának értékelése.

A minősítési kritériumok a GRR%-os értékének meghatározásainak és a megkülönböztetett elemek részének leírásával kapcsolatos:

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100\%$$

$$ndc = \frac{PV}{TV} \cdot 100\% \quad (\text{lefelé egészre kerekítve})$$

A számított eredményeknél az alábbi előírásoknak kell teljesülnie: $\%GRR < 10\%$ és $ndc \geq 5$. Amennyiben a $\%GRR$ értéke 10% és 30% közötti értéket vesz fel, megfontolással elfogadhatónak minősíthetjük a mérési rendszert.



Az MSA lehetőséget ad arra, hogy az alkatrészek eltéréseit a tűrésmezőből számítsuk ki:

$$TV = \frac{FTH - ATH}{6}$$

$$PV = \sqrt{TV^2 - GRR^2}$$

Ebben az esetben ezen értékekkel történik a %-os értékek megadása. Mivel a későbbiekben ismertetésre kerülő VDA5 többletkövetelmény is a tűrésmező bizonyítást alkalmazva, ezért ezt a módszert választottuk a többletkövetelmények összehasonlíthatósága miatt.

Az első módnál a teljes eltérés meghatározása a vizsgálatból az ismételhetőség és reprodukálhatóság eltérés és a darabok közötti eltérés négyzetösszegéből vont négyzetgyökökkel történik.

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

A második módszernél, azonban ha a folyamat eltérés ismert és az értéke 6σ -n alapul, akkor használható a mérőeszköz vizsgálat adataiból számolt teljes vizsgálati eltérés (TV) helyettesítésére. Ezt a következő számítások elvégzésével tehetjük meg:

$$TV = \frac{FTH - ATH}{6}$$

illetve

$$PV = \sqrt{(TV^2) - (GRR^2)}$$

Az általunk készített elemzésben a második módszert alkalmazzuk, mivel ennek az értékeit tudjuk összevetni a VDA5 alapján készült kiértékeléssel.

R&R érték:

R&R érték százalékos alakban:

$$GRR = \sqrt{TV^2 - PV^2}$$

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100$$

Minősítési kritériumok:

$$\%GRR \leq 10 \%$$

Megfelelő

$$10\% < \%GRR \leq 30 \%$$

Megfontolással elfogadható

$$30\% < \%GRR$$

Nem megfelelő

A számításos módszernél meg kell határozni az ismételhetőség, a reprodukálhatóság értékét, a GRR-t, a darab illetve a teljes eltérést. A számításos elemzés utolsó lépése, hogy meghatározzuk a megkülönböztethető kategóriák számát.

$$ndc = 1,41 \cdot \frac{PV}{GRR}$$



De ezt a számolást csak abban az esetben tudjuk alkalmazni, ha a grafikus elemzés nem mutatott ki semmilyen veszélyes hiba eltérést.

Továbbá, az ndc egész értékét kell venni, és $ndc \geq 5$ kell lenni.

➤ Stabilitás vizsgálat

A mérési rendszer stabilitásvizsgálata során azt vizsgáljuk, hogy egy adott, kiválasztott alkatrész a mérőeszköz az idő múlásával ugyanolyan módon méri-e. E vizsgálat során bizonyos időközönként a kiválasztott alkatrészt kétszeres ismételt méréssel megméri, majd a kapott eredményeket átlag-terjedelem szabályozó kártyán vizsgálva nyomon követik. Ezzel igazoljuk, hogy a mérési rendszer az időben szabályozott, stabil.

2.3. Kalibrálási eljárás a VDA 5 szerint

A német autóipari többletkövetelmény [3] szerint kalibrálási folyamatok során van egy nagyon fontos befolyásoló tényező, ez a tényező a mérés bizonytalansága. Gyakorlatilag ez az összetevő melynek a legnagyobb befolyása van a végeredményre.

A mérési folyamatok matematikai modelljéből kiindulva a standard bizonytalanságok minden releváns befolyásoló mennyiséghez meghatározhatók. A standard bizonytalanságok számszerűsítik az egyes bizonytalanságrészeket. A mérési bizonytalanságok terjedésének szabályai szerint az érzékenységi együtthatók a modellegyenlet egyedi befolyásoló mennyiségek szerinti parciális levezetésével meghatározhatóak.

Az $u(x_i)$ standard mérési bizonytalanság meghatározása lehetséges :

- mérési sorozat statisztikai kiértékelésével "A" módszer szerint
- előzetes információk felhasználásával "B" módszer szerint

„A” módszer:

A legegyszerűbb esetben a mérési sorozatból vett n egyedi mért értékkel, melyek definiált

$$s_g = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Az s_g standardeltérés megállapításához $n=25$ ismételt mérés szükséges. A kísérlet a mérési bizonytalanság vizsgálat keretében a szabály szerint csak egyszer hajtható végre.



Ha a mérési eredményt csak egyszeri méréssel határozták meg, a gyakorlatban ez az eset a gyakori, akkor a standard eltérés, mint u_{xi} standardmérési bizonytalanság kerül be a mérési jegyzőkönyvbe.

$$u_{xi} = S_{gi}$$

Az egy befolyásoló mennyiség pontosan egy u_{xi} bizonytalansági összetevőjének meghatározása mellett több befolyásoló mennyiség hatását egyidejűleg meghatározzuk. Ez az eljárás évek óta gyakorlat az MSA R&R vizsgálatokban.

„B” módszer

Ha standard bizonytalanság meghatározása az „A” meghatározási módszer szerint nem, illetve nem gazdaságosan határozható meg, akkor a megfelelő standard bizonytalanság korábbi információkból becsülhető.

Korábbi (élő) információk lehetnek:

- információk korábbi vagy régebbi mérésekből
- tapasztalatok vagy általános ismeretek a releváns anyagok és mérőkészülékek tulajdonságainak viselkedéséről (azonos, ill. hasonló felépítésű készülékek)
- a gyártó adatai
- adatok a kalibrálási bizonyítványból és jegyzőkönyvből
- bizonytalanságok, referencia adatok a kézikönyvekből
- a mért értékek kevesebb, mint $n=10$ mérés alapján

A kombinált standard bizonytalanság $u(y)$ a matematikai modellnek megfelelően az összes A és B modellből meghatározott standard bizonytalanság összetevőből számíthatók. Az U_{MP} kiterjesztett mérési bizonytalanság egy mérték/ méret a bizonytalansághoz, mellyel a valódi érték a mért értéktől eltér. Kombinált mérési bizonytalanságból számítható a kiterjesztési tényezővel történő szorzással:

$$U = k * u$$

A VDA5 külön értékeli a folyamat illetve a rendszer alkalmasságát, míg az amerikai MSA többletkövetelmény csak a folyamat bizonytalanságával kalkulál.



➤ A mérési rendszer alkalmasság igazolása (3. ábra)

A mérési rendszernél a felbontó képesség %RE értéke kisebb kell, hogy legyen, mint a jellemző tűrés 5%-a. Ha a követelmény nem teljesül, más mérési rendszert kell alkalmazni. Amennyiben teljesül, meg kell határozni a lineáris mérési bizonytalanságot (u_{LIN}), ez hasonló a kalibráló laboratóriumban történő kalibrálás menetével. A standard bizonytalanság a vonatkozási etalon kalibrálási bizonytalansága alapján a kalibrálási bizonyítvány adataiból megállapítható.

A linearitási eltérésből számítható a mérési rendszer standard bizonytalansága u_{MS} . Ezután meg kell határozni a mérési rendszer kiterjesztett mérési bizonytalanságát U_{MS} -t, majd a minősítésre alkalmas Q_{MS} értéket.

$$Q_{MS} = \frac{2 * U_{MS}}{FTH - ATH} * 100\%$$

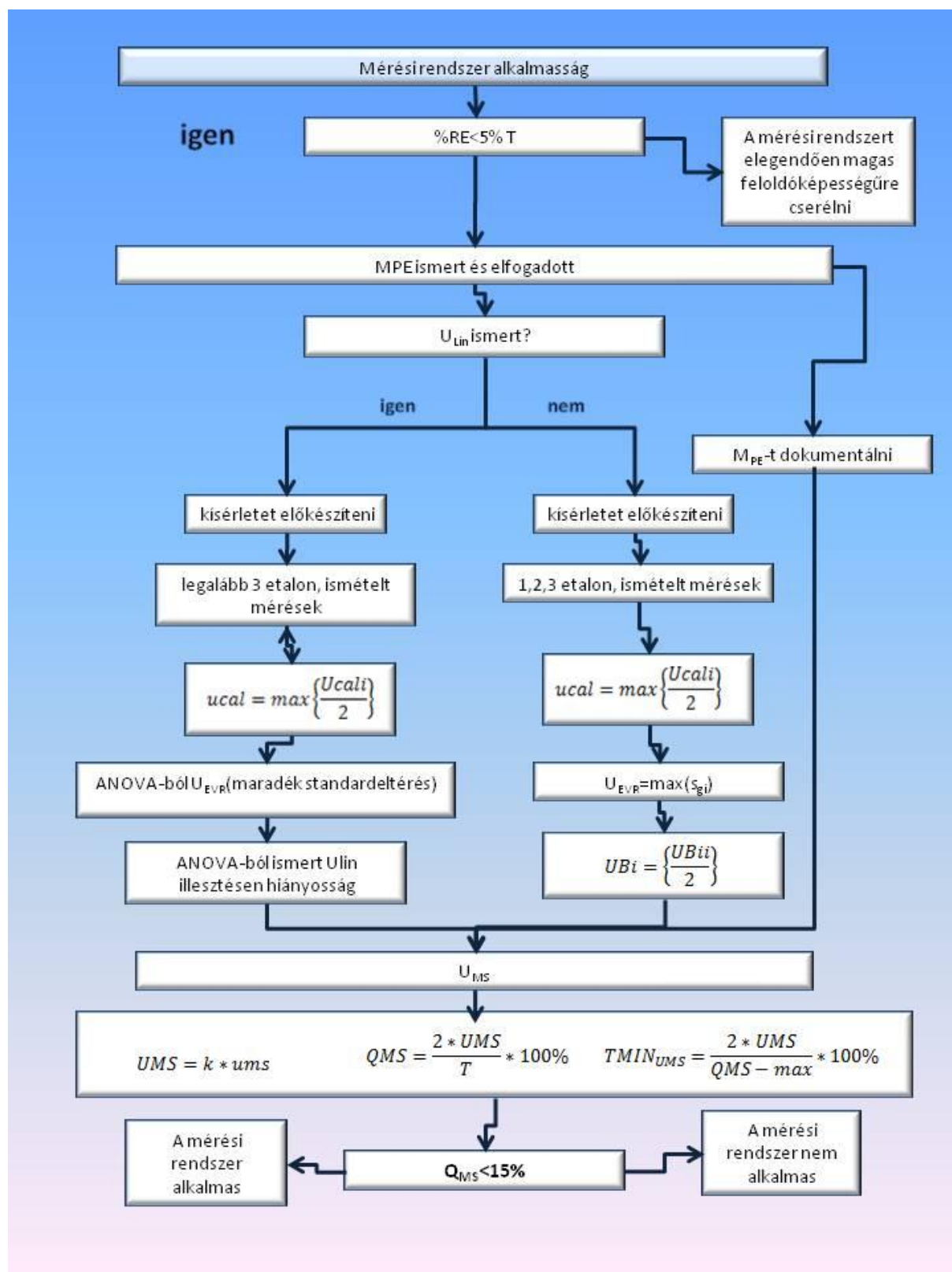
Amennyiben a kapott Q_{MS} érték $<15\%$, akkor a mérési rendszert alkalmasnak ítélik.

➤ Az alkalmasság- érték számítása (4. ábra)

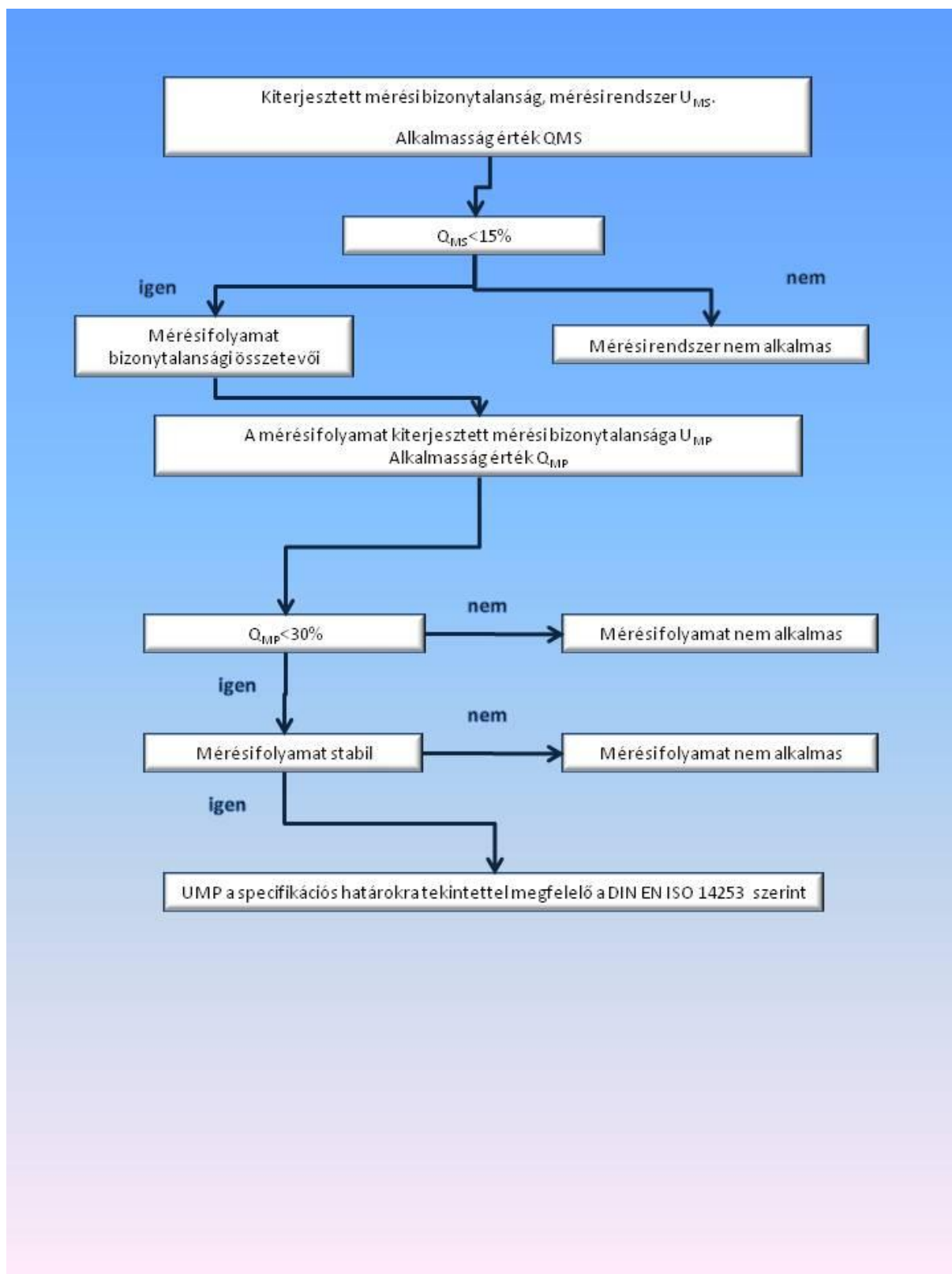
Amennyiben az előzőekben leírt Q_{MS} érték megfelelőnek bizonyult, vizsgálhatjuk a mérési folyamat alkalmasságát. Meg kell határozni a mérési bizonytalanság összetevőit, amelyeket részletesen a számításoknál határozzunk meg. Ezen standard bizonytalanságok négyzetösszegéből kerül meghatározásra a mérési folyamat standard bizonytalansága (u_{MP}), majd a kiterjesztett mérési bizonytalanság (U_{MP}). A minősítés a következő képpen történik:

$$Q_{MP} = \frac{2 * U_{MP}}{FTH - ATH} * 100\%$$

Amennyiben $Q_{MP} < 30\%$ a mérési folyamat alkalmas, megfelelő. További lépésként a mérési folyamat időbeli állandóságát, stabilitását kell még megvizsgálni, amely megfelelése alapján a mérési rendszer és folyamat az adott alkatrész méretének mérésére megfelelő.



3. ábra: VDA5 mérési rendszer alkalmasság



4. ábra: VDA5 mérési folyamat alkalmasság



2.4. C_g vizsgálat

A C_g vizsgálat során a mérőeszköz ismétlőképességét határozzuk meg. Az autóipari gyakorlatban ezen eljárást 1-es eljárásként is meghatározzák. E vizsgálat során egy etalont 20-50-szer megmérjük, és a kapott eredmények ingadozásából következtetünk a mérőeszköz megfelelőségére adott tűrésre vonatkoztatva:

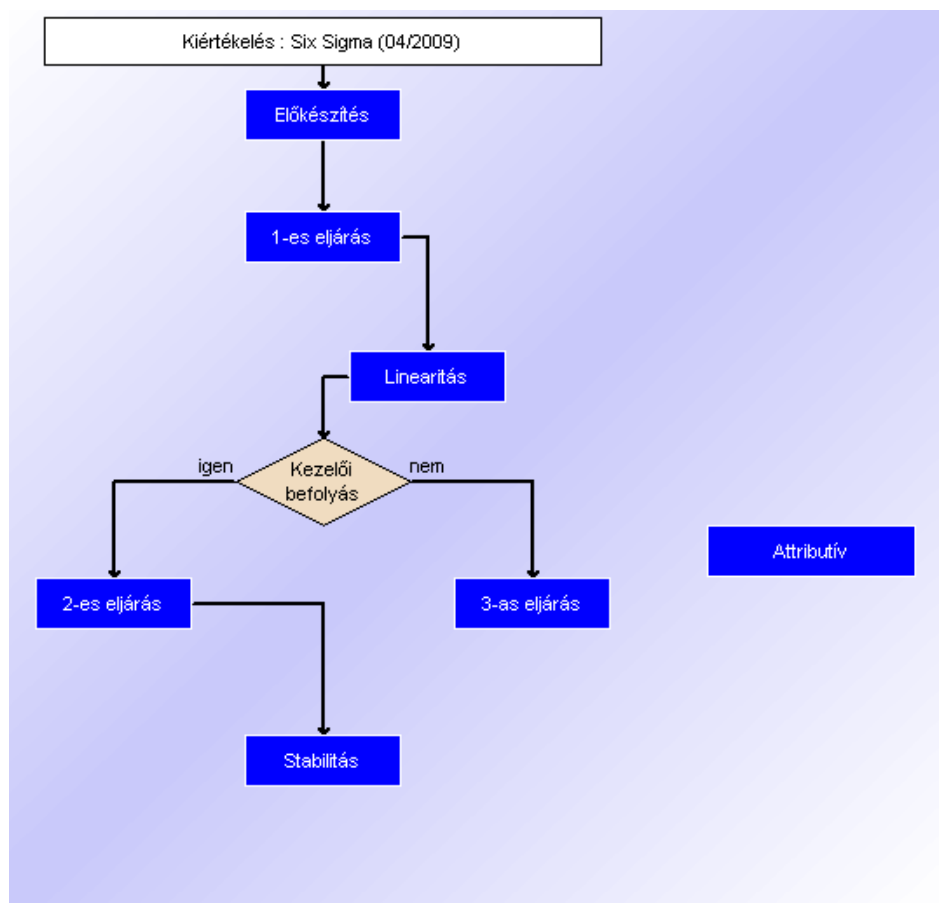
$$C_g = \frac{0,2 \cdot (FTH - ATH)}{4 \cdot s_g}$$

ahol,

s_g az ismételt mérések szórása.

A mérőeszköz képesnek, megfelelőnek mondható $C_g \geq 1,33$ esetében, és ez vonatkozik a középértéket figyelembe vevő korrigált mérőeszközképesség indexre is (C_{gk}).

Az autóipari gyakorlatban az egyes mérőeszköz-vizsgálati módszerek logikailag követik egymást, ezért folyamatábrán lehet a mérőeszközvizsgálati eljárások sorrendjét meghatározni, ahogy ez látható a következő ábrán (5. ábra).



5. ábra: Mérési rendszerek vizsgálata általánosságban (1-es eljárás: C_g vizsgálat, 2-es eljárás: R&R vizsgálat, 3-as eljárás: R&R vizsgálat egy személy esetén)



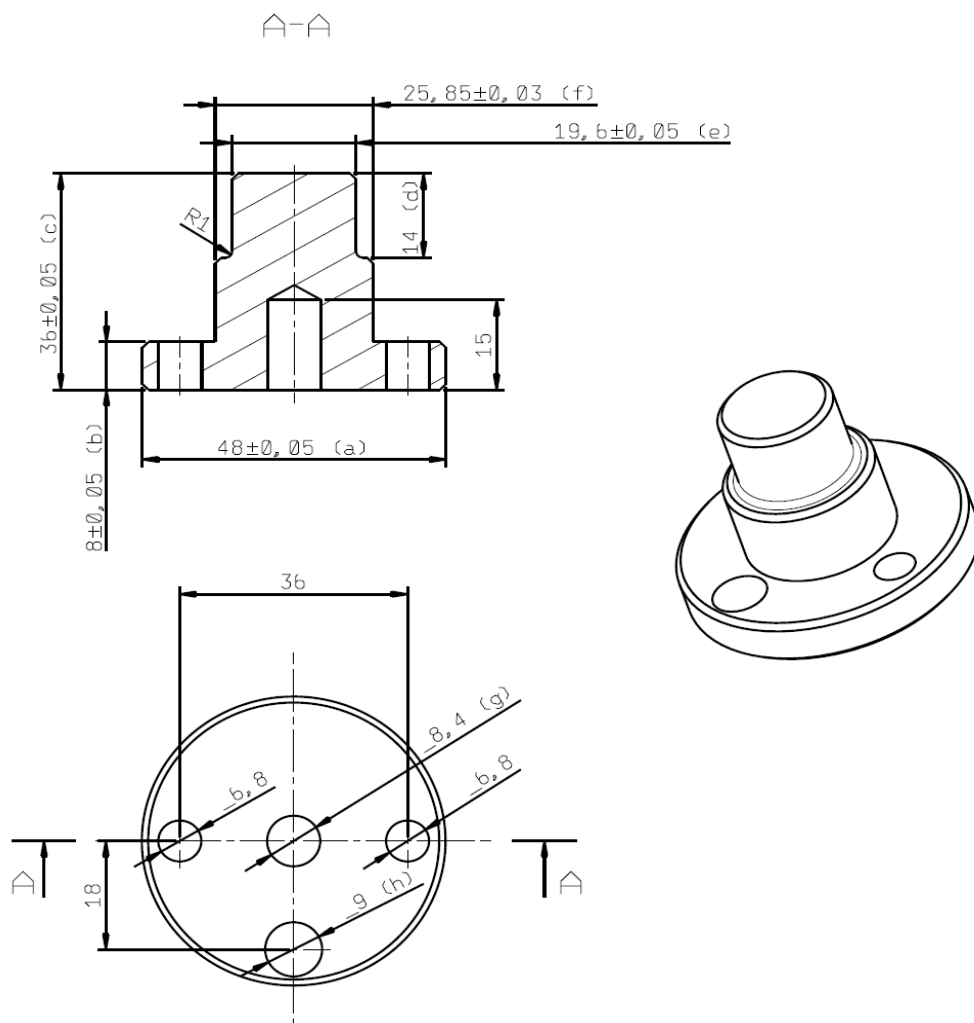
3. A mérési eredmények grafikus és analitikus kiértékelése

3.1.A vizsgálat során mért eredmények

A mérések során felhasznált alkatrészek szegmens ütközők voltak (6. ábra), melyeknek a felső legkisebb átmérőjét vizsgáltuk (7. ábra). Az alkatrészek egy multinacionális cégnek készültek az egyetem gépműhelyében.



6. ábra:A 10 munkadarab



Óbudai Egyetem	Műhelyrajz: EGV		
Megjegyzés:	Rajzszám: 07		
	Anyag: C45		
	Méretarány: M 1:1	Súly: -	Méret: A4

7. ábra: A munkadarab műhelyrajza



3.1. Kalibrálás akkreditált laboratóriumban

A metrológiai jellemzők kiszámításánál figyelembe kell venni az interferencia vonalak számát síklapúságnál és párhuzamosságnál, az adott mért hosszra a leolvasott ismételt mérések átlagát illetve a szórást. A mérési bizonytalanság kiszámításnál laboratóriumonként más-más értékeket vesznek figyelembe. Ilyen lehet például: hőtágulási együttható, mikrométer, etalon mérőhasábok hőmérsékletének az eltérése a 20°C-tól, különböző korrekciós tényezők. A külső szemrevételezés alapján az orsó forgása, mérőerő határoló szerkezet, mérőfelületek valamint a kijelzés, kijelző rendben voltak. A mérési eredményekből arra következtethetünk, hogy az általunk kalibráltatott mikrométer felületei nem voltak karcosak, korrodáltak, deformáltak és rendeltetésszerűen volt használva.

Az akkreditált laboratórium által mért értékek (1. táblázat):

- mérőfelületek síklapúsága: 0,3 μm
- mérőfelületek párhuzamossága: 0,6 μm

1. táblázat:Értékmutatás vizsgálata

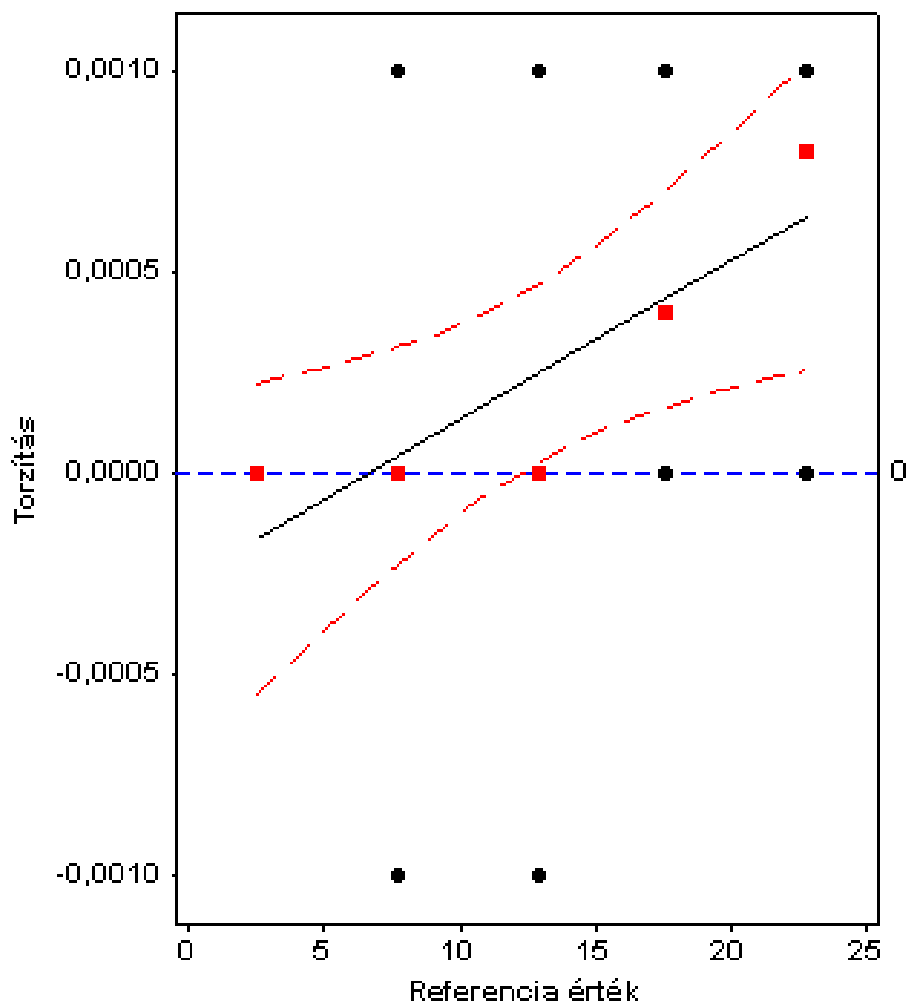
Helyes érték [mm]	Mért érték [mm]	Hiba [mm]	Mérési bizonytalanság [mm] (k=2)
0,0	0,000	0,000	0,003
2,5	2,500	0,000	0,003
5,1	5,100	0,000	0,003
7,7	7,700	0,000	0,003
10,3	10,300	0,000	0,003
12,9	12,900	0,000	0,003
15,0	15,000	0,000	0,003
17,6	17,600	0,000	0,003
20,2	20,200	0,000	0,003
22,8	22,800	0,000	0,003
25,0	25,001	0,001	0,004

Leírható az eredményekből, k=2 kiterjesztési tényezővel, annak 95% valószínűséggel az egyes mérési pontokon milyen bizonytalanságot kapunk. Ennek értéke egy pont kivételével 3 μm -nek adódott.



3.2. QS 9000 MSA

Linearitás vizsgálata:



8. ábra: Linearitás vizsgálat eredménye

A linearitás a kalibrált mérőeszköz hibájának, vagy eltérésének – a mért és a helyes értékkülönbségének – függése a mért értéktől. A linearitás vizsgálatát általában a méréstartománynak megfelelően egyenlő részekben kijelölt pontokon végezzük el. Az ábrán (8. ábra) jól látható, hogy a vizsgálat eredményei megfelelőek mivel az összes mérési pont a megengedhető értékeken belül vannak.

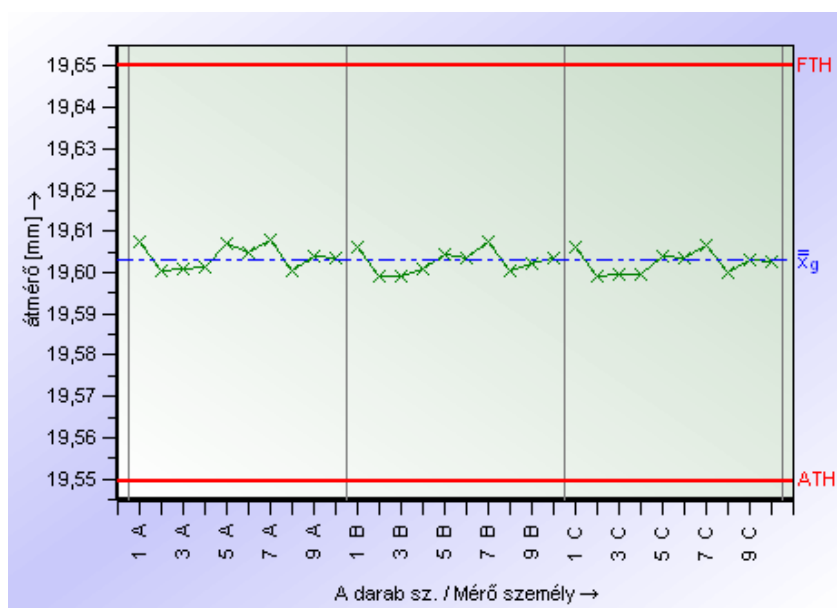


R&R vizsgálat

Az R&R vizsgálat során 10 alkatrészt (ld. 6. ábra), 3 személy (A, B, C) 3 ismételt méréssel határozott meg. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza, és a 9. ábra mutatja. Látható, hogy az ismételt mérések átlagaiban nincs nagy különbség a különböző mérőszemélyeknél, ugyanis szinte ugyanolyan a mérési eredmények grafikája.

2. táblázat: R&R vizsgálat eredményei

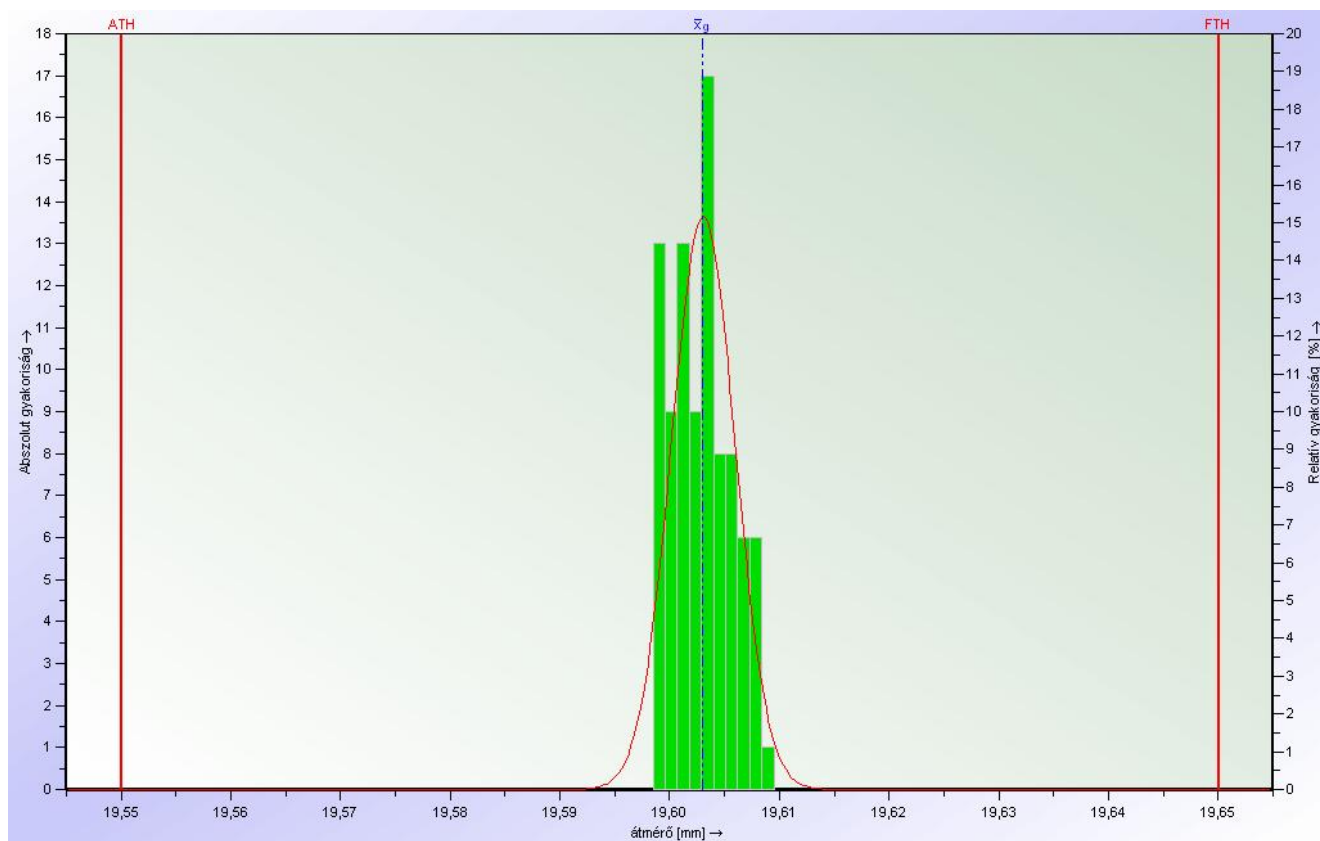
n	$\bar{x}_{A,1}$	$\bar{x}_{A,2}$	$\bar{x}_{A,3}$	$\bar{x}_g$	R_g	$\bar{x}_{B,1}$	$\bar{x}_{B,2}$	$\bar{x}_{B,3}$	$\bar{x}_g$	R_g	$\bar{x}_{C,1}$	$\bar{x}_{C,2}$	$\bar{x}_{C,3}$	$\bar{x}_g$	R_g
1	19,609	19,608	19,606	19,6077	0,003	19,606	19,606	19,606	19,6060	0,000	19,605	19,606	19,607	19,6060	0,002
2	19,601	19,599	19,601	19,6003	0,002	19,600	19,599	19,599	19,5993	0,001	19,599	19,599	19,600	19,5993	0,001
3	19,601	19,601	19,600	19,6007	0,001	19,599	19,599	19,599	19,5990	0,000	19,600	19,599	19,600	19,5997	0,001
4	19,602	19,601	19,601	19,6013	0,001	19,601	19,601	19,601	19,6010	0,000	19,601	19,599	19,599	19,5997	0,002
5	19,606	19,608	19,607	19,6070	0,002	19,605	19,603	19,605	19,6043	0,002	19,604	19,604	19,604	19,6040	0,000
6	19,604	19,605	19,606	19,6050	0,002	19,605	19,604	19,602	19,6037	0,003	19,603	19,605	19,602	19,6033	0,003
7	19,608	19,608	19,608	19,6080	0,000	19,608	19,607	19,607	19,6073	0,001	19,607	19,607	19,606	19,6067	0,001
8	19,602	19,599	19,600	19,6003	0,003	19,601	19,600	19,600	19,6003	0,001	19,600	19,601	19,599	19,6000	0,002
9	19,603	19,605	19,604	19,6040	0,002	19,603	19,601	19,602	19,6020	0,002	19,604	19,603	19,602	19,6030	0,002
10	19,602	19,604	19,605	19,6037	0,003	19,603	19,604	19,603	19,6033	0,001	19,604	19,602	19,602	19,6027	0,002



9. ábra: Mért értékek elhelyezkedése a tűrésmezőben



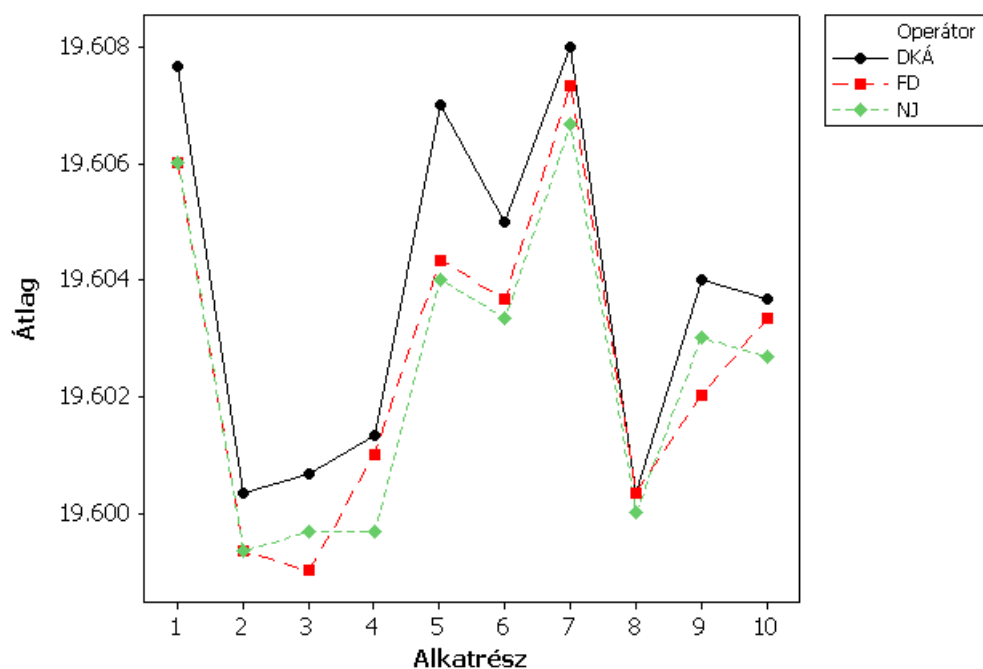
A mérések eredményeire készített hisztogram (10. ábra) mutatja a mért adatok eloszlását. A hisztogram olyan diagram, amelyben a gyakoriságot ábrázolhatjuk oszlopdiagram formájában. Grafikusan kimutatható a középérték, az átlag, a szórás és a terjedelem. A hisztogram szerkesztése gyakori, mert ezek hasznos képet adnak a változók eloszlásáról. Látható, hogy az alkatrészek méretei a tűrésmező közepén helyezkednek el, nem különböznek a méretben nagyon egymástól.



10. ábra: Hisztogram az R&R vizsgált eredményeiből

A 11. ábrán láthatóak az egyes mérőszemélyek átlagos mért értékei. Megfigyelhető, hogy közel hasonló menete van az egyes görbéknek, amely arra utal, hogy jól reprodukálható a mérés.

A mérési eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a különböző mérőszemélyek között nem volt nagy eltérés. Az általunk mért munkadarab névleges mérete $\varnothing 19,600$ mm volt a tűréshatára $\pm 0,05$ mm. A mért eredményekből jól látható, hogy a munkadarabok a tűréshatáron belül helyezkednek el, még hozzá a legtöbb esetben a mért érték pozitív eltérést mutat.



11. ábra: Mérőszemélyek mérési átlaga

A R&R vizsgálat kiértékelés számítás alapján:

EV = ismételhetőség vagy eszköztérítés

$EV = R \times K_1$ R: terjedelem átlag K_1 : konstans $K_1=0,5908$

$EV^2=0,0000009 \text{ mm}^2$ $EV = 9,49 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$

AV= mérőszemély eltérés

$$AV = \sqrt{(x_{diff} \cdot K_2) - \frac{EV^2}{n \cdot m}}$$

$X_{diff}=X_{max}-X_{min}$

$K_2= 0,5231$

n: darabok száma m: mérések száma

$AV^2= 0,0000005 \text{ mm}^2$ $AV = 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ mm}$

GRR = ismételhetőségi és reprodukálhatósági eltérés

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

$GRR^2=0,0000014 \text{ mm}$ $GRR = 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$



A teljes eltérést a tűrésmezőkből határoztuk meg:

$$TV = \frac{FTH - ATH}{6} \quad FTH - ATH = 19,65 - 19,55 = 0,1 \text{ mm}$$

$$TV = \frac{0,1}{6} = 0,01667 = 16,67 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 = \frac{1,183 \cdot 10^{-3}}{16,67 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 7,10\%$$

ndc= megkülönböztethető kategóriák száma

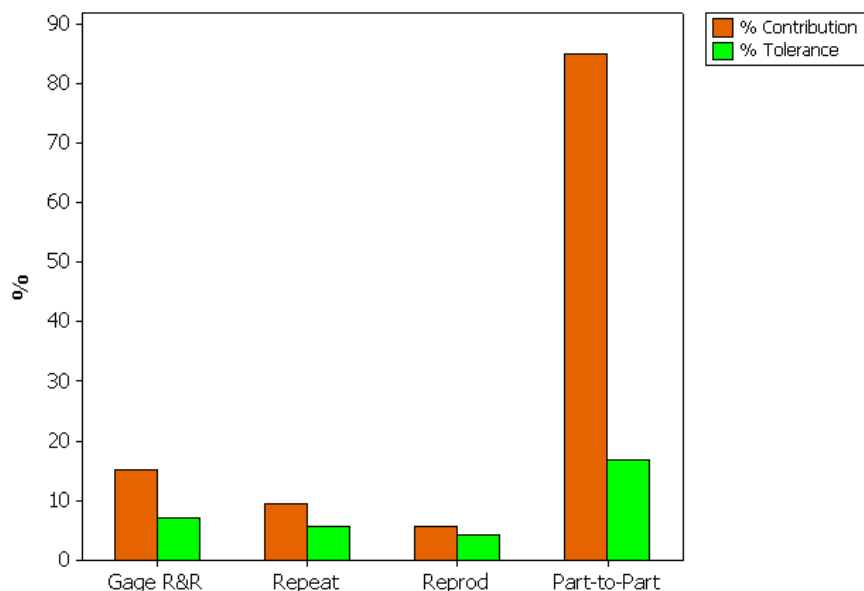
$$ndc = 1,41 \cdot \frac{PV}{GRR}$$

$$PV = \sqrt{(TV)^2 - (GRR)^2} = \sqrt{0,01667^2 - 0,0000014} = 0,0166 \text{ mm}$$

$$ndc = 1,41 \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-2}}{1,18 \cdot 10^{-3}} = 19,8$$

Mivel a $\%GRR < 10\%$ és $ndc \geq 5$, ezért a mérési rendszer megfelelő az alkatrész adott méretének meghatározásán. A $\%GRR$ értéknek kevesebbnek kellene lennie mint 30 % és az ndc értéknek nagyobbak mint 5, hogy megfelelő legyen a mérés.

Az alábbi ábrán a szórások megoszlását szemlélteti az összes szórásnégyzet és a tűrésmező arányában, mely alapján megerősíthető, hogy a mérési rendszer alkalmas.



12. ábra: Szórások megoszlása



3.3.VDA5 szerinti kalibrálás

3.3.1. Mérési rendszer elemzése

A német autóipari többletkövetelmény szerint megkülönböztetünk mérési rendszer illetve mérési folyamat alkalmasságot.

Az alábbi levezetésekben a rendszer alkalmasságot 3 féle megközelítésből vizsgáltuk:

- M_{PE} maximálisan megengedhető hiba értéke ismert és elfogadott
- M_{PE} értéke nem ismert és nem elfogadott, ebben az esetben U_{LIN} (linearitás eltérés) ismert,
- M_{PE} értéke nem ismert és nem elfogadott, ebben az esetben U_{LIN} nem ismert módszerrel számoltunk.

M_{PE} ismert és elfogadott:

$$M_{PE}=0,004\mu m$$

u_{MS} -rendszer mérési bizonytalansága:

$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}} = 2,31 * 10^{-3} mm$$

U_{MS} -Rendszer kiterjesztett mérési bizonytalansága:

$$U_{MS} = k * u_{MS} = 4,62 * 10^{-3} mm$$

$$k=2$$

Tűrésmező szélessége:

$$T = FTH - ATH = 0,1mm$$

$$FTH=19,650mm$$

$$ATH=19,550mm$$

Mérési rendszer alkalmasság értéke:

$$Q_{MS} = \frac{2 * U_{MS}}{T} * 100\% = 9,24\%$$

Mivel $Q_{MS} < 15\%$, ezért a mérési rendszer megfelelt.

M_{PE} nem ismert és nem elfogadott, u_{LIN} nem ismert:

Kiterjesztett kalibrálási bizonytalanság:

$$u_{CAL} = 0,001 + 1 * 10^{-6} * l = 1,025 * 10^{-3} mm$$

$$l=25mm$$



Kalibrálási bizonytalanság:

$$U_{CAL} = \frac{u_{CAL}}{2} = 5,12 * 10^{-4} mm$$

Ismételhetőség az etalonon:

- $u_{EVR} = 5,477 * 10^{-4} mm$, u_{EVR} -t a szoftver ANOVA analízissel számította ki.
- $u_{LIN} = 7,746 * 10^{-4} mm$, u_{LIN} -t a szoftver ANOVA analízissel számította ki.

Mérési bizonytalanság:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{EVR}^2 + u_{LIN}^2} = 1,4 * 10^{-3} mm$$

Kiterjesztett mérési bizonytalanság:

$$U_{MS} = k * u_{MS} = 2,79 * 10^{-3} mm$$

Mérési rendszer alkalmasság értéke:

$$Q_{MS} = \frac{2 * U_{MS}}{T} * 100\% = 5,5865\%$$

Mivel $Q_{MS} < 15\%$, ezért a mérési rendszer megfelelt.

MPE nem ismert és nem elfogadott, u_{LIN} ismert:

Kalibrálás bizonytalansága:

Az előzőekben ismerttetett, $U_{CAL} = 5,125 * 10^{-4} mm$

Ismételhetőség az etalonon:

$$u_{EVR} = \max(s_{gi}) = 1,22 * 10^{-3} mm$$

$$s_g = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Mérési bizonytalanság:

$$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{EVR}^2 + u_{LIN}^2} = 1,77 * 10^{-3} mm$$

Kiterjesztett mérési bizonytalanság:

$$U_{MS} = 2 * u_{MS} = 3,54 * 10^{-3} mm$$

Mérési rendszer alkalmasság értéke:

$$Q_{MS} = \frac{2 * U_{MS}}{T} * 100\% = 7,076\%$$



Mivel $Q_{MS} < 15\%$, ezért a mérési rendszer megfelelt.

3.3.2. Mérési folyamat elemzés

A mérési folyamat alkalmasságához elengedhetetlen követelmény a rendszer alkalmassága.

Fontos befolyásoló tényező a hőmérséklet:

Hőmérséklet különbség bizonytalansága

$$u_{TD} = \Delta T * \alpha * l * \frac{1}{\sqrt{3}} = 2,68 * 10^{-4} \text{ mm}$$

- α - hő tágulási együttható $= 9,3 * 10^{-6}$
- ΔT -hőmérséklet különbség
- l -méréendő méret

Hőtágulási együttható bizonytalansága (DIN ENV 15530-3 szerint becsülhető)

$$u_{TA} = (T - 20) * u * l = 3,5 * 10^{-2} \text{ mm}$$

$$u = 0,0007$$

$$u_T = \sqrt{u_{TD}^2 + u_{TA}^2} = 3,6 * 10^{-2} \text{ mm}$$

A folyamat mérési bizonytalansága:

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{EVO}^2 + u_{EVR}^2 + u_{AV}^2 + u_T^2 + u_A^2} = 3,6 * 10^{-3} \text{ mm}$$

A számításokban feltesszük, hogy a kölcsönhatás elhanyagolható, tehát $u_A = 0$.

Az alábbi bizonytalanság összetevők variancia (ANOVA) analízissel készültek:

- u_{EVO} -ismételhetőség a munkadarabon
 $u_{EVO} = 9,487 * 10^{-4} \text{ mm}$
- u_{AV} -személyek összehasonlíthatósága
 $u_{AV} = 7,07 * 10^{-4} \text{ mm}$

A folyamat kiterjesztett mérési bizonytalansága:

$$U_{MP} = 2 * u_{MP} = 2,5 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Mérési folyamat alkalmasság tényezője:

$$Q_{MP} = \frac{2 * U_{MP}}{T} * 100\% = 4,98\%$$



Mivel $Q_{MP} < 30\%$, ezért megfelelt.

A levezetett VDA5 számítások alapján a mérési rendszer, ill. folyamat megfelelőnek bizonyult. A levezetésekben feltűnő lehet, hogy a német autóiipari szabvány mennyire mélyen és aprólékosan végzi a számításait. Ahogyan az látható volt, sok bizonytalansági tényező esetében $10^{-3, -4, -5}$ szorzókat alkalmaztunk.

A rendszer alkalmasságnál 3 féle levezetést használtunk, és a végeredmények nem egyeznek. Ez egy nagyon fontos bizonyítás, hiszen az ember első gondolata az lenne, hogy mindegy melyik módszert választom úgyis ugyanaz lesz a végeredmény. Az eltérések az UMP ismert és nem ismert verziói között minden bizonnyal azon alapszanak, hogy az UMP egy, a gyártó által meghatározott nagyon kicsi érték, és amikor a mikrométert kalibrálják nagy valószínűséggel már találhatók rajta mikro elváltozások. A linearitás ismertsége az etalon ismételhetőségét befolyásolja, hiszen abban az esetben, amikor nem ismerjük, az etalon ismételhetősége egy a szoftver által varianciaanalízissel generált szám, ezzel szemben a másik esetben a mérő személyek mérési eredményeinek legnagyobb szórása befolyásolja, és mint tudjuk, az ember nem robot, hibázhat.



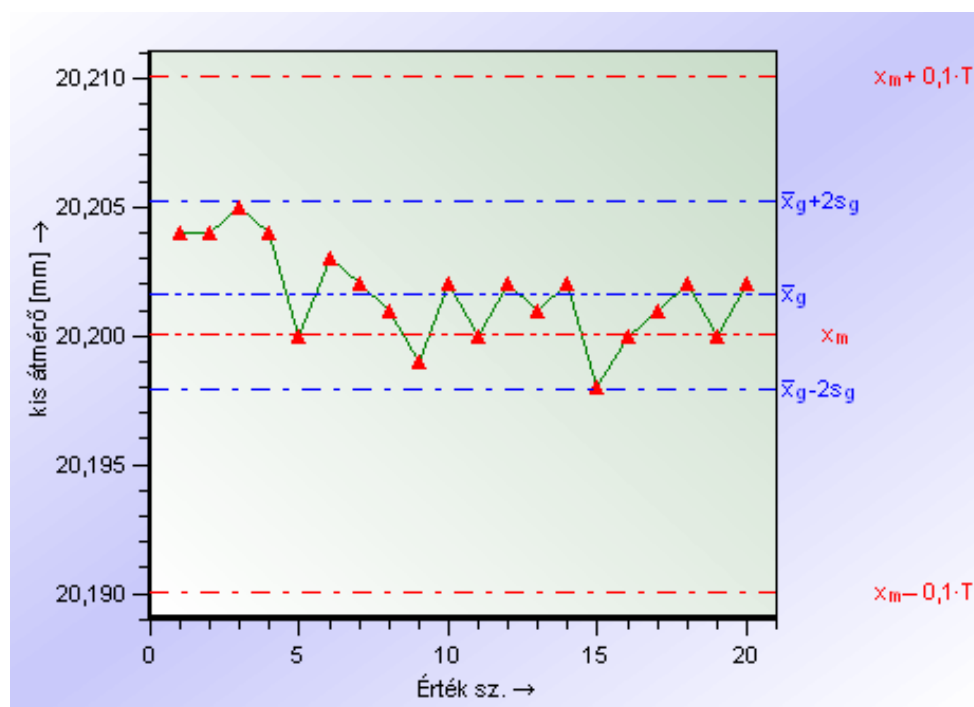
3.4. Képességvizsgálat (C_g)

Az egyes eljárás a C_g vizsgálatot jelenti, mely során egy etalont kell többször megmérni. Vizsgálatunkban 20 ismételt mérést végeztünk egy 20,20006 mm helyes értékkel rendelkező etalonnal.

Az általunk mért eredmények az alábbiak:

i	x	i	x	i	x	i	x
1	20,204000	6	20,203000	11	20,200000	16	20,200000
2	20,204000	7	20,202000	12	20,202000	17	20,201000
3	20,205000	8	20,201000	13	20,201000	18	20,202000
4	20,204000	9	20,199000	14	20,202000	19	20,200000
5	20,200000	10	20,202000	15	20,198000	20	20,202000

Az eredményeket grafikusán ábrázolva látható (13. ábra), hogy az etalon ismételt méréseinek eredményei az alkatrész tűrésének 20%-án ($\pm 0,1T$; piros vonalak) belül helyezkedik el. A mért értékek 95% valószínűséggel a kék szaggatott vonalakon belül helyezkednek el.



13. ábra: A C_g vizsgálat eredménye

A C_g képességszám meghatározása, amely csak a véletlen hibát (az ismételhetőségi pontosságot) veszi figyelembe. A mérőeszköz „képesnek” mondható ugyanis $C_g \geq 1,33$.

A C_g értéket az alábbi módszerrel tudjuk kiszámolni:



$$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{4 \cdot s_g}$$

Látható az eredményekből, hogy a mérőeszköz felbontása a tűrésmező 5%-án belül helyezkedik el (%RES), a C_g és a C_{gk} indexek értékei is megfelelnek az autóipari többletkövetelményeknek, tehát a mérőeszköz ismétlőképessége megfelelőnek mondható.

Darab sz.	2415		Megn.	Lépcsős tengely		
Jell.sz.			Jell. megn.	kis átmérő		
Rajzi értékek		Mért értékek		Statistikák		
$\bar{x}_m$	=	20,20006000		$\bar{x}_g$	= 20,20160000	
ATH	=	19,550000	$x_{min g}$	= 20,198000	s_g	= 0,0018180
FTH	=	19,650000	$x_{max g}$	= 20,205000	$ B = \bar{x}_g - \bar{x}_m $	= 0,0015400
T	=	0,100000	R_g	= 0,007000	n_{eff}	= 20
		$n_{mez.}$	= 20			
$C_g = \frac{0,2 \cdot T}{4 \cdot s_g}$		=	2,75			
$C_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - \bar{x}_g - \bar{x}_m }{2 \cdot s_g}$		=	2,33			
%RES		=	1,00%			
A mérőrendszer képes (RES, C_g , C_{gk})						
Six Sigma (04/2009): V1 Leitfaden vorhandene Messsysteme						

14. ábra: C_g vizsgálat során számított értékek

3.5. A különböző mérőeszköz és mérési rendszer vizsgálatok összevetése

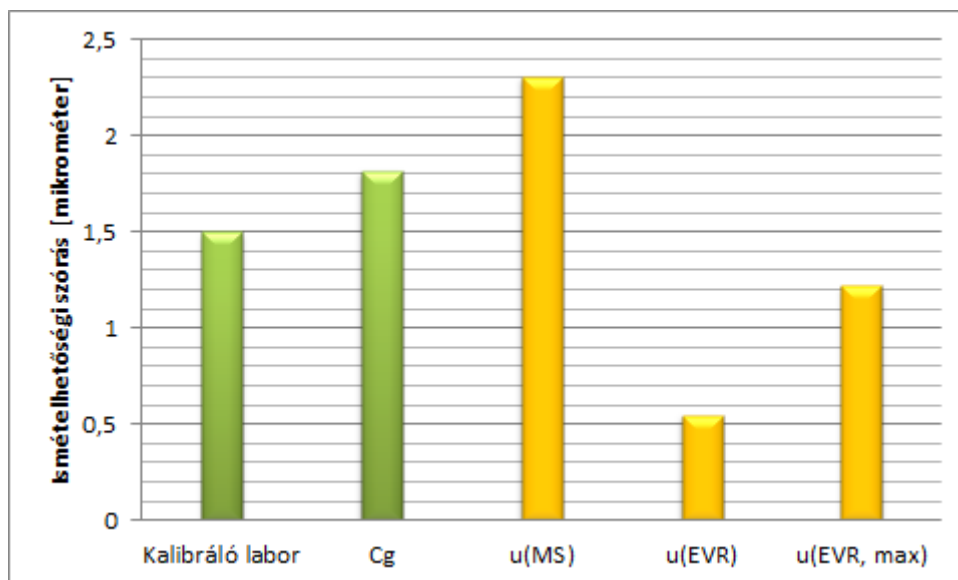
A mérőeszközök, mérési rendszerek elemzése a különböző eljárások esetén több helyen hasonlóságot mutatnak. Két szempont szerint szeretnénk összehasonlítani a módszereket. Az egyik az etalonon levő ismételtetőségi szórás, vagy ahhoz hasonló paraméter meghatározása a különböző eljárásoknál. A másik pedig az MSA R&R vizsgálatának, ill. a VDA5 mérési folyamat elemzése részének kritikai összehasonlítása.

Ismételtetőség az etalonon

Mint láttunk, többféleképpen kiszámítjuk az eljárások során az etalon ismételtetőségét, attól függően, éppen milyen beszállítónak készítjük a dokumentációs követelményeket. Az ismételtetőséget a hosszúságetalonon ötféleképpen számíthatjuk ki, határozhatjuk meg (15. ábra). Az ismételtetőségi szórások egy kissé eltérnek egymástól, de nem lényegesen. A



narancssárgával jelölt szórások közül a VDA 5 eljárása szerint az egyiket kell választani. A legnagyobb eltérést az u_{MS} módszer esetén látjuk, ahol az ismételhetőségi szórást tulajdonképpen nem mérjük, hanem a mérőeszköz dokumentációjában levő MPE, maximális megengedhető hibából becsüljük meg.



15. ábra: Az ismételhetőségi szórás értéke az etalonon mérve az egyes eljárások esetén

Általában ezeket párhuzamosan szokás az autóipari gyakorlatban végezni, fel szeretnénk hívni a figyelmet, hogy amennyiben történt kalibrálás, az esetben nem szükséges a további számítása, a kapott eredményekből meghatározhatók az egyéb kritériumok (C_g , Q_{MS}).

Mérési folyamat értékelésének összehasonlítása

A QS9000 MSA többletkövetelményének R&R vizsgálata során a minősítési kritérium azt mondja, hogy

$$\%GRR = \frac{GRR}{TV} \cdot 100 = \frac{\sqrt{EV^2 + AV^2}}{T/6} \cdot 100 \text{ legyen kisebb, mint } 10\%.$$

A VDA 5 mérési folyamatának kritériuma:

$$Q_{MP} = \frac{2 \cdot U_{MP}}{T} \cdot 100 = \frac{4 \cdot u_{MP}}{T} \cdot 100 = \frac{u_{MP}}{T/4} \cdot 100 \text{ legyen kisebb, mint } 30\%.$$

Matematikailag azonos jellegű információt tartalmaz a GRR és az u_{MP} értékek. Az összehasonlíthatóság miatt a fenti két egyenlőtlenséget alakítsuk át:

$$\frac{GRR}{T} \cdot 100 < \frac{10}{6} = 1,66\%$$



$$\frac{u_{MP}}{T} \cdot 100 < 7,5\%$$

A VDA 5 szerinti számolásnál az

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{EVO}^2 + u_{EVR}^2 + u_{AV}^2 + u_T^2 + u_A^2},$$

ahol a kölcsönhatás elhanyagolásával, és annak figyelembevételével, hogy

$$u_{EVO} = EV$$

$$u_{AV} = AV$$

azt kapjuk, hogy

$$u_{MP} = \sqrt{u_{CAL}^2 + EV^2 + u_{EVR}^2 + AV^2 + u_T^2} = \sqrt{GRR^2 + u_{CAL}^2 + u_{EVR}^2 + u_T^2}$$

Tehát a mérési folyamat bizonytalansága több mint az MSA szerinti GRR érték. A többletet a kalibrálási bizonytalanság, az etalonnal történő ismételhetőségi ingadozás és a hőtágulás okozta bizonytalanság jelenti. Megjegyeznénk, hogy az előbbi kettő bizonytalanságot már figyelembe vettük a mérési rendszer megfelelőségének értékelésekor (Q_{MS} számítás).

A számítások alapján látható, hogy a VDA 5. szerinti megfelelőség enyhébb követelményeket támaszt a mérési folyamattal szemben, mint az MSA követelménye.



5. Összegzés

Dolgozatunkban megpróbáltuk rávilágítani a hosszmeréstechnika számunkra legégetőbb kérdéseire. Vizsgálódásaink során 4 féle mérési rendszer kiértékelését vettünk alapul. Gyakorlatilag mindegyik egyfajta kalibrálást jelent, hiszen a kalibráló laboratóriumokban a mérőeszköz alkalmasságát igazolják, addig az ipari gyakorlatban ez a mérőeszköz segít meggyőződni a gyártás megfelelőségéről. Ezen feldolgozásunkkal megpróbáltunk rávilágítani arra a tényre, hogy az egyértelmű megfelelőség és nem megfelelőség igazolásához szükség lenne egy egységes minősítőrendszerre. A kalibrálás során a mérőeszköz ismétlőképességét és linearitását vizsgáljuk, a német és amerikai autóipari többletkövetelmény során vizsgáljuk ugyancsak a mérőeszköz ismétlőképességét, de előtérbe kerülnek a környezeti tényezők és az emberi tényezők is. Összehasonlítva a német illetve amerikai többletkövetelményt ugyanarra a tényre jutunk, mégpedig, hogy megfelel a mérőrendszer, de a német mérési kultúrában erre egy bonyolult és hosszadalmas, sokszor nehézkes úton jutunk el, míg az amerikai szabvány szerint egy egyszerű és letisztult alkalmasság vizsgálattal találkozunk. Érdekes azonban megemlíteni, hogy az amerikai többletkövetelmény szerint is vannak kiskapuk, a munkadarab szórásának növelése, mellyel tudják befolyásolni a végeredményt.

A VDA5 talán legszembetűnőbb kiskapuja az MPE értéke. MPE jelenti a maximálisan megengedhető hiba értékét melyet a mérőeszköz gyártó cég közöl az eladás során, számításaink során a QMP értéke ott volt a legnagyobb ahol ezt a fix, a cég által közölt értéket használjuk, tehát ha azt mondjuk, hogy nem ismert ez az érték jobb eséllyel lesz a teljes rendszer és folyamat megfelelő.

A dolgozat elkészítése során szembetűnő volt az a tény is, hogy a VDA5 elsiklik egy nagyon fontos jellemző felett, mégpedig a gyártott alkatrészek eltérésein. Az MSA-ban fix helyet tölt be a PV értéke, vagyis a munkadarab hibája, de a VDA5-ben nincs említés erről az eltérésről, csak a tűrésmezőt veszi alapul. Összegzésként leszűrhetjük azt a következtetést, hogy a VDA5 egy nagyon nehezen érthető és kezelhető mérési rendszer, míg az MSA egy sokkal inkább felhasználó barát kiértékelés. Egy dologról azonban nem feledkezhetünk meg, mégpedig, hogy a méréstechnika világában mind a mai napig további rengeteg kérdés merül fel, melyek megválaszolása több szálon indulhat el többféle eredményt produkálva.



6. Summary

In the XXI. century one of the most important factor of the production is the correct size of pieces. Nowadays there are some measurement system in the world. The measurement system used in Germany is VDA5, and in the USA is QS 9000 MSA. During our research we tried to compare VDA5 and QS 9000 MSA, because these are very different. In the QS9000 main factors are human factor and environmental factor even it is calculating wrong of piece part, but in the VDA5 just the human and environmental factors calculating. We used for our investigation digital micrometer and 10 piece part, and evaluated both by VDA5 and QS9000. At the end of calculations we diagnosed that QS 9000 is more comprehensive and usable than VDA5.



7. Irodalomjegyzék:

- [1] MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabvány: Vizsgáló- és kalibráló laboratóriumok felkészültségének általános követelményei
- [2] QS9600:Measurement Systems Analysis, ReferenceManual , FourthEdition, June 2010
- [3] VDA Qualitätmanagement in der Automobilindustrie 5, Prüfprozesseigung , 2. vollständigüberarbeiteteAuflage 2010