

## Mérőrendszer elemzés (MSA) optikai mérőeszkőzzel

### Measurement system analysis (MSA) with optical measurement device

*SZŰCS Soma*

Metrológus mérnök, Alap Inspektor Kft., H-8200 Veszprém, Kistó u. 27.  
telefon: +36306993149; soma.szucs@alapinspektor.com; http://alapinspektor.com

#### Abstract

*Thanks to the advancing manufacturing technologies, the producing of geometrically complex parts are more general nowadays. Complex geometric features often means complex datum criteria as well, which also generates a higher requirement in the measurement system. The spread of optical measurement devices allows that we are able to quickly measure these features. But determining if the device is suitable for the given characteristic, requires an applied procedure. This procedure is the so called measurement system analysis (MSA).*

#### Kivonat

*Az egyre korszerűbb gyártástechnológiáknak köszönhetően a bonyolultabb geometriájú alkatrészek előállítása is egyre általánosabbá válik. A bonyolult geometriai jellemzők egyúttal bonyolultabb bázis kritériumokat is előírhatnak, melyek növelik a szükséges mérőrendszerrel szemben felállított követelményeket. Az optikai mérőeszközök széles körű terjedése lehetővé teszi ezeknek az igen bonyolult geometriai jellemzőknek a gyors mérését. Azonban annak megállapítása, hogy egy mérőeszköz megfelel-e az adott jellemző hatékony mérésére, egy alkalmazott eljárást igényel. Ez az eljárás az úgynevezett mérőrendszer elemzés (MSA – Measurement System Analysis).*

**Kulcsszavak:** optikai mérés, elemzés, mérőrendszer, digitális projektor, MSA

#### 1. Bevezetés

Az általam bemutatott mérőrendszer elemzés alanyai látszólag közönséges szegecsek. Ezeket azonban esetünkben a repülőgépipar használja fel, ezért magasfokú minőséget igénylő kötőgépelemekről van szó (1. ábra). Méréstechnikailag legproblémásabb geometriai jellemző a szegecsek fejénél kialakított nyak-rádiusz, és a fejszög. Ezeknek a paraméterek a mérése célszerűen konturográffal, illetve optikai mérőeszkőzzel lehetséges, azonban a magas darabszám miatt a mérési sebesség az optikai mérőeszköz javára szól.



43. ábra „Hi-lok” lencsefejű szegecs

## 2. Optikai mérőeszközök

Az optikai mérőeszközöknek különböző típusai alakultak ki. A fontosabb csoportokat tekintve: mikroszkópok, projektorok és optikai finomtapintók (szkennerek). A mechanikai eszközökkel történő mérés során megszokhattuk, hogy a mérőfelület a munkadarab mérendő geometriai eleméhez érintjük, és így jutunk mérési információhoz. Optikai mérés során – kivéve az optikai finomtapintókat – nincs mérőfelület, a fény „nem ér hozzá” a munkadarabhoz. Ennek köszönhetően az optikai mérőeszközök előnyei szemben a mechanikai eszközökkel a következők [1]:

- Nem a méretet nagyítják, hanem magát a darabot, így megbízhatóbb eredményt kapunk.
- Precíz mechanikus mérőeszközök apró alkatrészeivel szemben a fény „nem kopik”, nem okoz szerkezeti hibát.
- A felnagyítás miatt könnyebben lehetővé teszi apró darabok ellenőrzését is.

Az apró darabok precíz mérésének igénye miatt tehát érthető okokból került a választás optikai berendezéssel való mérésre. A választott mérőeszköz egy úgynevezett digitális mérőprojektor (2. ábra), mely programozást követően a kívánt jellemzők automatizált mérésére is alkalmas. Azaz, a megfogóba történő felhelyezést követően gombnyomásra megméri és kiértékeli a fejszög és nyak-rádiusz értékeket.



44. ábra Keyence IM-6225 digitális mérőprojektor

## 3. Eljárások mérési rendszerek vizsgálatára

Egy mérési rendszer vizsgálat egyik célja, hogy információkat kapjunk az adott mérési rendszerrel kapcsolatos mérések eltéréseinek nagyságáról és típusáról, amikor a rendszer kölcsönhatásban van a környezetével. Ez értékes információ, mivel az átlagos gyártási folyamat számára sokkal észszerűbb az ismételhetőségi és kalibrálási torzítás felismerése és ezekre elfogadható határok felállítása, mint túl nagy pontosságú és ismétlési képességű mérőeszközök beszerzése.

Annak megállapítása, hogy egy mérőeszköz megfelel-e az adott jellemző hatékony mérésére, egy szabványosított eljárást igényel. Ez az eljárás az úgynevezett mérőrendszer elemzés (MSA – Measurement System Analysis), melynek lépéseit a *Measurement Systems Analysis Reference Manual* című szabványkötet ír elő. Ez részletesen definiálja milyen mérési rendszerrel kapcsolatos hibákat különböztetünk meg, és milyen módszer alkalmazható azoknak a vizsgálatára.

**a. Mérési rendszerrel kapcsolatos hibák**

A mérési rendszer hibáit öt osztályba sorolhatjuk: torzítás, ismételhetőség, reprodukálhatóság, stabilitás és linearitás. Ezek azok a mérési rendszerrel kapcsolatos jellemzők, amik segítenek leírni a mérési rendszerrel kapcsolatos hibák és eltérések típusait.

A mérési rendszer vizsgálat végrehajtásának megértéséhez tudni kell, hogy a szegecseket két különböző fejszöggel gyártják: lencsefejű, melynek megengedett fejszöge  $89,5^\circ$ - $90,5^\circ$ , és süllyesztett fejű, melynek pedig  $99,0^\circ$ - $101,0^\circ$ . A nyak lekerekítési rádiusza mindegyik esetén 0,4-0,6 mm.

**b. Mérési rendszer vizsgálat előkészítése és végrehajtásának módja**

Mint bármely vizsgálat vagy elemzések esetén, megfelelő tervezést és előkészítést kell végezni a mérési rendszer vizsgálat végrehajtása előtt. A vizsgálat végrehajtását megelőző tipikus előkészületek a következők:

1. Meg kell tervezni az alkalmazott megközelítési módot. Például meghatározni, hogy van-e a mérőszemélynek hatása a kalibrálásra vagy az eszköz használatára. Néhány mérési rendszer esetében a reprodukálhatóság hatását elhanyagolhatjuk – mint például esetünkben – mivel a mérésben a mérést végző személy szerepe pusztán egy gomb megnyomása.
2. Meg kell határozni a mérést végző személyek számát, a minta nagyságát és a mintavétel gyakoriságát.
3. Mérőszemélyek megválasztásánál célszerű azokat a személyeket kiválasztani, akik általában az eszközt használják, vagy használni fogják.
4. A mintadarabokat a gyártási folyamatból kell kiválasztani. Mivel minden darab többször lesz megmérve, minden darabot meg kell számozni az azonosíthatóság érdekében.
5. Az eszköznek olyan megkülönböztető képességgel kell rendelkeznie, amely lehetővé teszi, hogy a jellemző feltételezett folyamateltérésének legalább egy tizedét közvetlenül leolvassuk. Az esetünkben mind a sugár, mind a szög mérésére 4 tizedes leolvasási pontosság áll rendelkezésre, amely pont egy nagyságrenddel kisebb a legkisebb folyamateltérési értéknél (ezred).
6. Győződjünk meg arról, hogy a mérési módszer a jellemző méretet méri és a mérőszemély követi a meghatározott eljárást.

A vizsgálat végrehajtásának módja szintén nagyon fontos tényező. A félrevezető eredmények valószínűségének minimalizálására a következő lépéseket kell tenni:

1. A méréseket véletlen sorrendben kell végezni annak biztosítása érdekében, hogy bármi eltérés vagy változás véletlenszerűen fog eloszlani a vizsgálat teljes terjedelmében. Törekedni kell továbbá arra is, hogy a mérőszemélyek ne tudjanak róla, mely számozott darabot mérik, bármely lehetséges tudatos torzítás elkerülése érdekében.
2. Az eszköz leolvasásakor a névleges mérethez képest elérhető legközelebbi tizedesjegyig kell leolvasni a mérőeszközt. Ha lehetséges a legkisebb beosztás felével kell végezni a leolvasást. A digitális projektor digitálisan, számszerűen írja ki a mért adatokat, így ebben az esetben becsült leolvasás nem lehetséges.
3. A vizsgálatot figyelemmel kell kísérni egy személynek, aki tudatában van a mérés fontosságával.
4. Minden mérőszemélynek ugyanazt az eljárást kell alkalmaznia.

**i. Torzítás**

A torzítás a mérések megfigyelt átlaga és a referencia érték közötti különbség. A referencia érték egy olyan érték, ami megállapodott hivatkozásként szolgál a mért értékek számára. A referencia értéket meghatározhatjuk egy magasabb szintű mérő berendezés több mérésének átlagolásával [2].

A torzítást gyakran „pontosságnak” nevezik. Mivel a pontosságnak az irodalomban többféle jelentése van, használata a torzítás szinonimájaként nem ajánlott.

Meghatározására az alábbi módszer használható [2]:

1. Megmérünk a minták közül egyet, egy rendelkezésre álló magasabb szintű mérőeszközzel. Mivel ilyen eszköz nem áll rendelkezésre, a korábban alkalmazott kézi mérőprojektort használtam, mely azonos szintű mérőeszköznek minősül. 10 mérés átlaga alapján az alábbi referencia értékeket kaptam: fejszög= $100,57^\circ$ ; rádiusz= $0,55$  mm.
2. Megmértjük ugyanezt a darabot egy mérőszeméllyel legalább 10-szer a meghatározni kívánt mérőeszközzel.
3. Számítsuk ki a mérések átlagát. A referencia érték és a megfigyelt átlag közötti különbség jelenti a mérési rendszer torzítását. Az így kapott átlagok: fejszög= $100,529^\circ$ ; rádiusz= $0,5494$  mm.

Ha egy jelzőszámra van szükség, fejezzük ki a torzítást a folyamateltérés százalékában, megszorozva 100-zal és elosztva a folyamateltéréssel, avagy tűrésmezővel [2]:

$$\text{Torzítás}_{\text{szög}} = \text{Megfigyelt átlag} - \text{Referencia érték} = 100,529^\circ - 100,57^\circ = -0,041^\circ$$

$$\text{Torzítás}_{\text{sugár}} = \text{Megfigyelt átlag} - \text{Referencia érték} = 0,5494 \text{ mm} - 0,55 \text{ mm} = -0,0006$$

$$\text{Torzítás } \%_{\text{szög}} = 100 \cdot \left[ \frac{|\text{Torzítás}|}{\text{Folyamateltérés}} \right] = 100 \cdot \left[ \frac{0,041^\circ}{1^\circ} \right] = 4,1\%$$

$$\text{Torzítás } \%_{\text{sugár}} = 100 \cdot \left[ \frac{|\text{Torzítás}|}{\text{Folyamateltérés}} \right] = 100 \cdot \left[ \frac{0,0006}{0,2^\circ} \right] = 0,3\%$$

A szög százalékos torzításánál azért  $1^\circ$ -kal számoltam, mert ez a szigorúbb folyamat eltérés a két termék közül. Az R&R vizsgálatoknál az az eljárás, hogy 10% alatti eltérést elfogadhatónak tekintünk, 10-30% közötti eltérést feltételesen elfogadhatónak, 30% felett a mérési rendszer nem fogadható el [2]. Így tehát a mérőgép torzítás szempontjából megfelel.

## ii. Ismételhetőség

Az ismételhetőség az egy mérőeszkővel kapott mérések eltérése, amikor egy mérő személy többször méri ugyanazt a jellemzőt ugyanazon a darabon [2].

A mérési folyamat ismételhetősége magában foglalja, hogy a mérési rendszer ingadozása maga konzisztens. Az ismételhetőség meghatározására az alábbi módszer használható [2]:

1. Kiválasztunk a gyártási folyamatból néhány mintát, esetünkben 5 darabot.
2. Kiválasztunk néhány mérőszemélyt, akik általában a mérést végzik, esetünkben A és B, azaz kettőt.
3. Minden darabot, minden mérőszemély mérjen meg többször, az eredményeket pedig jegyezzük fel.
4. Kiszámoljuk minden egyes alcsoport átlagát (X) és terjedelmét (R).
5. Kiszámoljuk a terjedelem átlagot ( $\bar{R}$ ), amely az így kapott 30 darab mérés eredményéből:  $\bar{R}_{\text{szög}}=0,0092^\circ$  valamint  $\bar{R}_{\text{sugár}}=0,0022 \text{ mm}$ .
6. Válasszuk ki a  $D_3$  és  $D_4$  tényezőket az ellenőrző konstansok nevű táblázatból, a terjedelem határainak kiszámítására. Alcsoportonként 3 mérés esetén ezek az értékek:  $D_3=0$ ,  $D_4=2,575$ .

$$FBH_{R_{\text{szög}}} = \bar{R}_{\text{szög}} \cdot D_4 = 0,0092^\circ \cdot 2,575 = 0,0236^\circ$$

$$FBH_{R_{\text{sugár}}} = \bar{R}_{\text{sugár}} \cdot D_4 = 0,0022 \text{ mm} \cdot 2,575 = 0,00567 \text{ mm}$$

$$ABH_{R_{\text{szög}}} = \bar{R}_{\text{szög}} \cdot D_3 = 0,0092^\circ \cdot 0 = 0^\circ$$

$$ABH_{R_{\text{sugár}}} = \bar{R}_{\text{sugár}} \cdot D_3 = 0,0022 \text{ mm} \cdot 0 = 0^\circ$$

7. Ellenőrizzük, hogy az összes érték a határon belül mozog.

Fejszög mérésénél a legnagyobb terjedelmű alcsoport  $0,015^\circ$ , míg sugár esetén  $0,0032 \text{ mm}$ . Mivel minden méréshez tartozó átlagos szórás az ellenőrző határokon belül van, a mérési rendszer szabályozottnak tekinthető. Az ismételhetőség becsült standard szórása vagy mérőeszköz eltérése:

$$\sigma_{\text{eszög}} = \frac{\bar{R}_{\text{szög}}}{d_2^*} = \frac{0,0092^\circ}{1,72} = 0,0053^\circ$$

$$\sigma_{\text{esugár}} = \frac{\bar{R}_{\text{sugár}}}{d_2^*} = \frac{0,0022 \text{ mm}}{1,72} = 0,0013 \text{ mm}$$

Ahol  $d_2^*$  szintén táblázatos érték, függ a mérések számától (m) és a darabok és a mérőszemélyek számának szorzatától (g). Ennél a vizsgálatnál  $m=3$  és  $g=10$ , ennek megfelelően a választott értékünk  $d_2^*=1,72$ . Az ismételhetőség számszerű értéke, azaz a mérőeszköz eltérés normál eloszlást feltételezve:

$$5,15 \cdot \sigma_{\text{eszög}} = 5,15 \cdot 0,0053^\circ = 0,0273^\circ$$

$$5,15 \cdot \sigma_{\text{esugár}} = 5,15 \cdot 0,0013 \text{ mm} = 0,0067 \text{ mm}$$

Ahol 5,15 szintén táblázatos érték. Ennek lényege, hogy ezzel a számított értékkel, normál eloszlást feltételezve a mérések 99%-ára kapunk eredményt. Százalékos ismételhetőség:

$$\text{Ismételhetőség}\%_{\text{szög}} = 100 \cdot \frac{0,0273^\circ}{1^\circ} = 2,7\%$$

$$\text{Ismételhetőség}\%_{\text{sugár}} = 100 \cdot \frac{0,0067 \text{ mm}}{0,2 \text{ mm}} = 3,4\%$$

Ez a mértékű százalékos eltérés a mérések között elfogadható.

### iii. Reprodukálhatóság

A reprodukálhatóság különböző mérőszemélyek ugyanazon mérőeszköz használatával végzett mérési átlagának eltérése, amikor ugyanazt a jellemzőt mérik ugyanazon a darabon [2].

A mérési folyamat reprodukálhatósága magában foglalja, hogy a mérőszemélyek közötti ingadozás konzisztens. A mérőszemély ingadozás megközelítésének egy módja, hogy az járulékos torzítást jelent, ami minden egyes mérőszemélynek tulajdonítható. Ha ez a torzítás vagy mérőszemély ingadozás valóban létezik, az egyéni mérőszemélyek teljes átlaga különbözni fog.

Fontos megjegyeznünk, hogy egy automata berendezés esetén a mérést végző személytől nem függ a mért eredmény. Ebben az esetben a reprodukálhatóság vizsgálat szükségtelen, sőt könnyen lehet, hogy félrevezető lehet az elemzést végző számára. Így tehát a mérési rendszer vizsgálatunkból a reprodukálhatósági vizsgálatot kihagytuk, pontosabban vizsgálat nélkül megfelelőnek tekintettük.

### iv. Stabilitás

A stabilitás egy mérési rendszerrel kapott mérések teljes eltérése ugyanazon a mintán vagy darabokon, amikor egyelten jellemzőt mérnek hosszabb időtartam alatt [2].

A fő szempont ebben az esetben is azok a körülmények, amelyeknek a mérési rendszer ki van téve a használat ideje alatt. Jelen esetben a minták száma 1 db, a mérés gyakorisága pedig eleinte naponta (rövidtávú stabilitás), majd pedig hetente (hosszútávú stabilitás). A méréseket szándékosan különböző napszakokban és különböző műszakokban, különböző mérőszemélyekkel végeztem annak reprezentálása érdekében, ahogy azt ténylegesen használni fogják. Így a vizsgálat számot ad arról is, hogy viseli a rendszer a különböző környezeti és egyéb tényezőket, amik a nap folyamán változhatnak. Az átlag ellenőrző határainak számítása rövidtávú stabilitás esetén [2]:

$$FTH_{X_{\text{szög}}} = X_{\text{szög}} + A_2 \cdot R_{\text{szög}} = 100,4187^\circ + 1,023 \cdot 0,0188^\circ = 100,4379^\circ$$

$$FTH_{X_{\text{sugár}}} = X_{\text{sugár}} + A_2 \cdot R_{\text{sugár}} = 0,55857 \text{ mm} + 1,023 \cdot 0,00756 \text{ mm} = 0,5663 \text{ mm}$$

$$ATH_{X_{\text{szög}}} = X_{\text{szög}} - A_2 \cdot R_{\text{szög}} = 100,4187^\circ - 1,023 \cdot 0,0188^\circ = 100,3995^\circ$$

$$ATH_{X_{\text{sugár}}} = X_{\text{sugár}} - A_2 \cdot R_{\text{sugár}} = 0,55857 \text{ mm} - 1,023 \cdot 0,00756 \text{ mm} = 0,55084 \text{ mm}$$

Ahol  $A_2$  táblázatos érték, alsopontonként 3 mérés esetén 1,023. A hosszútávú stabilitás átlag ellenőrző határai szintén a fenti képletek alkalmazásával születtek meg. A terjedelem határokat pedig azonosan az ismételhetőségénél ismertett módon kaptuk meg. Az eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza (1 táblázat):

Stabilitás vizsgálat eredményei

1. táblázat

Rövidtávú stabilitás					Hosszútávú stabilitás			
Méret	Felső hat.	X max	X min	Alsó hat.	Felső hat.	X max	X min	Alsó hat.
Szög[°]	100,4379	100,4290	100,4093	100,3995	100,4463	100,4317	100,4067	100,3981
Sugár[mm]	0,56630	0,56283	0,55570	0,55084	0,56271	0,56053	0,55477	0,55163
Méret	Felső hat.	R max	X min	Alsó hat.	Felső hat.	R max	R min	Alsó hat.
Szög[°]	0,0484	0,025	0,010	0,0000	0,0608	0,049	0,007	0,0000
Sugár[mm]	0,01947	0,012	0,004	0,00000	0,01396	0,011	0,002	0,00000

Ha terjedelemben tapasztalunk szabályozatlanságot, akkor az az ismételhetőség instabilitását mutatja, ha pedig az átlagon tapasztaljuk a szabályozatlanságot, akkor a mérési rendszer már nem pontos, azaz a torzítás nem stabil. Az általam vizsgált mérőrendszer esetén mind az átlag- mind a terjedelem tekintetében

szabályozottságot állapíthatunk meg, hiszen az átlag és terjedelem értékek minden esetben a meghatározott felső és alsó határértékek között található. Tehát az idő múlása és a környezeti változások hatása nem befolyásolja jelentősen a mérőgép ismételtetését és torzítását.

#### v. Linearitás

A linearitás a torzítás értékei közötti eltérés a mérőeszköz feltételezett működési tartományban [2].

Minden egyes kiválasztott darabnál a torzítást meghatározza a referencia érték és a megfigyelt mérési átlag közötti különbséget. A regressziós egyenes meredeksége szorozva a darabokra vonatkozó folyamateltéréssel (vagy tőrésmezővel) ad egy mutatószámot, ami a mérőeszköz linearitását mutatja.

A linearitás meghatározása kérdéses a jelen mérőrendszer vizsgálat esetén, mivel a mérőgép mérési tartományához képest rendkívül kis tartományban kell a méréseket elvégezni. A jellemző kihasználtsága a legkisebb alkalmazható optikának az alábbi táblázatban látható (2. táblázat):

Mérési tartomány kihasználtsága				2. táblázat	
Méret	Legkisebb [mm/°]	Legnagyobb [mm/°]	Terjedelem [mm/°]	Mérési tartomány [mm/°]	Kihasználtság [%]
Szög	89,5	101,0	11,5	360,0	3,2%
Sugár	0,4	0,6	0,2	12,5	1,6%

Ekkora kihasználtság mellett a linearitás vizsgálatot szükségtelennek tekintettük.

## 4. Összefoglalás

A fenti hiba analízisekkel megállapítottam az optikai mérőgéppel történő mérési rendszer használhatóságát az általunk gyártott termékek ellenőrzésére.

Az adatokat felhasználva a későbbiekben összehasonlíthatóvá válik a mérési rendszer egy másik mérőeszköz használhatóságával. Az így szerzett eredményeknek köszönhetően a fejszög- és nyak-rádiusz mérés a továbbiakban a digitális mérőprojektorral történik.

## 5. Irodalmi hivatkozások

- [1] Szűcs Soma, *Optikai mérőberendezés üzembe helyezése*, Pannon Egyetem, Veszprém, 2015.
- [2] Ford, General Motors, DaimlerChrysler. *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, AIAG, Detroit, Michigan, 2010.