

**Óbudai Egyetem**  
**Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar**  
**Minőségirányítási és Technológiai Szakcsoport**



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT**

**Az MKEH koordináta mérőgépének a  
kalibrálási bizonytalanság  
meghatározásához alkalmazott szabvány  
hiányosságainak vizsgálata**

**Szerző:** **Kulanda Tímea**  
Minőségirányítási rendszerfejlesztő  
IV. évfolyam

**Konzulens:** **dr. Gregász Tibor**  
egyetemi docens

**Budapest, 2012.**

## Tartalomjegyzék

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A dolgozat céljának rövid ismertetése .....                                                            | 2         |
| <b>1 Bevezető .....</b>                                                                                | <b>3</b>  |
| 1.1 A kalibrálás .....                                                                                 | 3         |
| 1.2 Mérés .....                                                                                        | 3         |
| 1.3 Matematikai statisztikai alapfogalmak .....                                                        | 4         |
| 1.4 Mérési bizonytalanság .....                                                                        | 4         |
| <b>2 Koordináta mérőgép méréstechnikai sajátosságai.....</b>                                           | <b>6</b>  |
| 2.1 Koordináta méréstechnika .....                                                                     | 6         |
| 2.2 A háromdimenziós hosszúságmérés nemzeti etalonja.....                                              | 7         |
| 2.3 A kalibrálás és a megfelelőség értékelés értelmezése a koordináta<br>mérőgépek esetében .....      | 8         |
| <b>3 A megfelelőség értékelés elvégzéséhez szükséges mérési terv kidolgozása.....</b>                  | <b>11</b> |
| 3.1 A vizsgálathoz alkalmazott szabványok .....                                                        | 11        |
| 3.2 Mérési eljárás .....                                                                               | 11        |
| <b>4 Mérési eredmények kiértékelése, mérési bizonytalanság meghatározása.....</b>                      | <b>13</b> |
| 4.1 Kalibráló gömb mérésénél keletkezett eredmények kiértékeléséhez<br>használt összefüggések .....    | 13        |
| 4.2 Mérőhasábok mérésénél keletkezett eredmények kiértékeléséhez<br>használt összefüggések .....       | 14        |
| 4.3 Eredmények kiértékelése .....                                                                      | 17        |
| 4.4 A mérés megvalósításának összegző értékelése .....                                                 | 22        |
| <b>5 Az ISO/TS 23165:2006 szabványban tett elhanyagolások megalapozottságának<br/>vizsgálata .....</b> | <b>23</b> |
| 5.1 A mérési bizonytalanság összehasonlítása öt illetve három<br>tényező esetén.....                   | 24        |
| 5.2 A probléma vizsgálata modellezet értékekkel .....                                                  | 27        |
| <b>6 Összefoglalás.....</b>                                                                            | <b>30</b> |
| <b>7 Forrásjegyzék .....</b>                                                                           | <b>31</b> |
| <b>8 Mellékletek.....</b>                                                                              | <b>33</b> |

## A dolgozat céljának rövid ismertetése

A dolgozatban egy a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal (MKEH) tulajdonában lévő mérőgép szabvány szerint végzett megfelelőség értékelése kerül ismertetésre. Bár a címben kalibrálásként említjük, az erre vonatkozó magyarázatra később kerül sor. A megfelelőség értékelés során kiemelt jelentősége van a mérési bizonytalanság számításának. A mérési eredmények bizonytalanságát egyszerre több tényező okozhatja egy koordináta mérőgép esetében. A mérési bizonytalanság számítására vonatkozóan külön szabvány (ISO/TS 23165:2006) ad ajánlást.

A szabvány az egyes bizonytalansági tényezők megadásánál olyan tényezők elhanyagolását engedi meg, melyek az eredő mérési bizonytalanságot csökkentik, torzítva ezzel a vizsgálat során kapott eredményeket és esetleg a koordináta mérőgép állapotra vonatkozó döntést is. A dolgozat további részében tehát az alkalmazott szabvány hiányosságait mérjük fel, valamint a megengedett elhanyagolás mértékét mutatjuk ki, az elvégzett megfelelőség értékelés során kapott mérési eredmények felhasználásával. Továbbá modell értékek segítségével szemléltetjük, hogy milyen következményei illetve hatásai lehetnek ezeknek az elhanyagolásoknak, a döntésünk szempontjából.

## 1 Bevezető

### 1.1 A kalibrálás

A kalibrálás olyan műveletek összessége, amelyekkel adott körülmények között megállítható az összefüggés a mérőeszköz által mutatott érték és a mérendő mennyiség etalon által reprezentált helyes értéke között. A kalibrálás eredményét pedig dokumentumban kell rögzíteni, ezt nevezzük kalibrálási bizonyítványnak. [2.]

A mérőeszköz által mutatott értékének visszavezethetőnek kell lennie. Ez azt jelenti, hogy a mérőeszköz által szolgáltatott érték dokumentált összehasonlítások megszakítatlan láncolatán keresztül visszavezethető kell hogy legyen egy nemzeti etalonra (vagy egy mértékegység definíciójára). [24.]

Az etalonok visszavezethetőségét a termékek csereszabatosága iránti igény kényszerítette ki, ugyanis a beszállítónak, aki a terméket előállítja és a vevőnek, aki azt a terméket egy másik gyártmánnal összeépíti, azonos méreteket kell mérnie. [1.][24.]

### 1.2 Mérés

„A mérés oly művelet, melynek során valamely mennyiséget ( a mért mennyiséget) vele egyenmű másik mennyiséggel hasonlítunk össze.”<sup>1</sup> A mérés során kapott eredmény, pedig, egy mérőszám és egy mértékegység szorzata ként adódik.[2.]

---

<sup>1</sup> Dr. Ing. Paul Leinweber: Hosszméréstechnikai zsebkönyv a gépszerkesztés, a műhely, a mérőszoba és az ellenőrzés dolgozói részére

Bonyolultabb geometriájú testeknél (pl.: kúp) nem biztos, hogy tudunk egyből méretet meghatározni, hanem a vizsgálat során észlelt mennyiséget valamilyen ismert fizikai, matematikai vagy más összefüggésbe helyettesítve számítjuk ki. Természetesen amennyiben van lehetőségünk az adott munkadarabot koordináta mérőgép segítségével is megmérhetjük, ebben az esetben a gép végzi el a szükséges számításokat.

### 1.3 Matematikai statisztikai alapfogalmak

#### Véletlen jelenség

A véletlen jelenség a mérési folyamatnál úgy értelmezhető, mint ami a mérési eredményeket véletlenszerűen torzítja, minden mérésnél más és más mértékben, valamint irányban, a tényezők véletlenszerű kombinációjaként adódva. A mérési hibákra tipikusan ezen okokból illik rá a normál eloszlás.

A dolgozatban ismertetésre kerülő mérésnél véletlen jelenségnek tekinthető például a hőmérséklet vagy a megmért etalon mérőhasábok koordináta mérőgép által reprezentált értéke, melyet a későbbiekben részletesen részletesen is ismertetni fogunk. [5.][4.]

#### Sokaság és a minta

A mérések során a célunk az, hogy a sokaságot megismerjük. Azonban a sokaság teljes körű megismerése lehetetlen, vagy nem lenne célszerű, ezért a méréseket a sokaság egy részére, a mintára korlátozzuk. A minta statisztikai jellemzői alapján pedig az alapsokaságra következtethetünk.[5.]

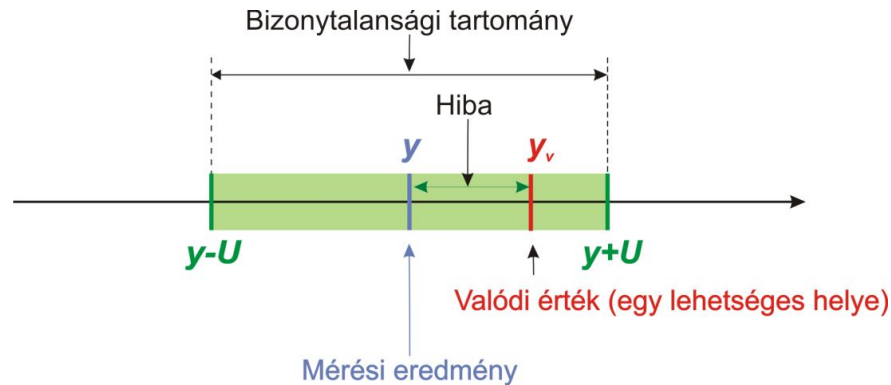
Jelen esetben a sokaság illetve a minta, nem értelmezhető, de mint fontos matematikai statisztikai alapfogalom érdemes tisztázni.

#### Valószínűségi változó

Azokat a mennyiségeket, amelyeknek értékét pontosan nem tudjuk meghatározni, mert azok esetről esetre változnak, de meg tudjuk adni azt, hogy mekkora valószínűséggel fognak egy adott értéktartományba kerülni, azokat valószínűségi változóknak nevezzük.[5.][6.]

### 1.4 Mérési bizonytalanság

A mérési bizonytalanság egy mérési eljárásra jellemző. A mérést egy a vizsgálati eredményhez társított mérési bizonytalansággal tudjuk jellemezni. A mérési bizonytalanság jele (u). A bizonytalanságot okozó tényezők közül számolt eredő bizonytalanság kiterjesztési tényezővel (k) megszorzott értéke adja a kiterjesztett mérési bizonytalanságot melynek jele U. A mért eredményünk a  $\pm$  kiterjesztett bizonytalansági tartományban pedig a keresett mennyiség valódi értéke 95%-os statisztikai biztonsággal megtalálható (ezt szemlélteti az 1. ábra). [10.]



**1. ábra A mérési eredmény, a hiba és a bizonytalanság [10.]**

A mérési folyamat során elvégzett minden műveletnek van egy elemi bizonytalansága és ezek előjeles összegződése következtében alakul ki a teljes mérési bizonytalanság. Az eredő mérési bizonytalanság általános képlete [10.]:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)} \quad \{1\}$$

$u_i$ : Az  $i$ -edik elemi bizonytalanság értéke.

Bizonytalanságot okozó tényezők lehetnek (a teljesség igénye nélkül):

- A mérés környezeti körülményei, mint például a hőmérséklet, amely egy acél mérőhasáb esetében a vizsgált méret alakulását befolyásolhatja, tovább ennek értéke véletlenszerűen alakul.
- A mérőműszer állapota is befolyásolhatja a mérési bizonytalanságot, attól függően, hogy milyen gyakran használják a mérőeszközt, milyen a környezeti hatások szélsőségességének mértéke.
- Az etalonoknak is van egy bizonytalansága, mely származhat az alakletérésből, vagy az etalon szerkezetének változásából (amennyiben az etalon kézzelfogható).
- A mérőeszköz tárolási körülményei is változhatnak, mely ugyancsak hatással van a mérésekre, ilyen változó paraméter lehet a hőmérséklet-ingadozás.
- A mérőeszközök valamint etalonok kiválasztásának problémái.
- A mérőeszköz véges felbontóképességéből adódó kerekítések ugyancsak hozzájárulnak a bizonytalansághoz.
- Az analóg műszerek esetében az érték leolvasás is egy bizonytalanságot okozó tényező, hiszen az értékleolvasás ilyen esetben egy a mérést végző személytől függő szubjektív lépés. Gondolhatunk itt olyan egyszerű példára is mint az analóg tolómérő által mutatott érték leolvasása.

- A mérési eljárás is lehet bizonytalansági tényező, mely az eljárásban leírt módszerek alkalmazásától függ (pl.: milyen pozícióban mérjük meg az etalont és hányszor, hogy készítjük elő a mérendő etalonokat, vagy munkadarabokat, stb.)
- A mérési eredmények kiértékelésénél alkalmazott becslések és kerekítések (pl.: hány tizedes pontossággal kerekítem a mérési eredményeket, az abszolút hibát, stb.) [7.] [8.] [9.] [10.]

Az előbb felsorolt bizonytalanságot okozó tényezők természetesen nem teljesen függetlenek egymástól. Ezen tényezők egymásra hatásának eredménye további bizonytalanságot eredményez.

A mérési bizonytalanság meghatározására két módszer ismert. Így tehát beszélhetünk A- és B-típusú bizonytalanságról. Ez a felosztás a bizonytalanságra vonatkozik és nem összekeverendő a rendszeres és véletlen hibákkal. Egy véletlen hiba mérésre gyakorolt bizonytalanságot okozó hatását egyes esetekben A-típusú kiértékeléssel, más esetekben pedig B-típusú kiértékeléssel tudjuk megállapítani. Ez a felosztás tehát nem azt jelenti, hogy bármilyen különbség is lenne a két értékelésből nyert eredmény között. [7.] [8.]

#### **1.4.1 Standard bizonytalanság A-típusú értékelés**

A bizonytalanság A-típusú kiértékelése a mérési eredmények statisztikai elemzésén alapuló módszerét jelenti. A standard bizonytalanságot ez esetben a középértékhez tartozó tapasztalati szórás jelenti, a középértéket pedig átlagolással vagy a megfelelő regresszió számítással határozzák meg. [7.]

#### **1.4.2 Standard bizonytalanság B-típusú értékelés**

A bizonytalanság B-típusú értékelésénél a mérési eredményeket nem statisztikai módszerekkel dolgozzuk fel, hanem ettől eltérő módon. Ebben az esetben a meglévő információk és tapasztalatokat kell felhasználni. [7.] [8.] A rendelkezésre álló információk lehetnek:

- kalibrálási bizonyítványból vett adatok;
- gyártótól származó adatok;
- kézikönyvből vett referenciaadatok bizonytalansága;
- korábbi mérések eredményei;
- az alkalmazott mérőeszköz viselkedésére és tulajdonságaira vonatkozó ismeretek és tapasztalatok. [7.] [8.]

## **2 Koordináta mérőgép mérés technikai sajátosságai**

### **2.1 Koordináta mérés technika**

Az iparban végbement nagymértékű fejlődés a mérési eljárások és a mérőeszközök területén egyre nagyobb pontosságot követelt meg. A fejlődés egyik jelentős iránya a mérőeszközök felbontóképességének növelése, a másik pedig a

koordináta mérés technika létrehozása és fejlesztése volt. A hagyományos mérés technikával szemben a koordináta mérés technika egy új szemléletet követel meg. [11.][12.]

A koordináta mérés technika a vizsgálandó darabokat 2D illetve 3D-s felületelemek halmazaként definiálja és ezeket mérési pontokkal helyettesíti a térben. „Az analitikus geometria és a numerikus analízis módszerével a mért pontokra kiegyenlítő görbéket, felületeket fektet és ezek paramétereit, egymástól való távolságukat határozza meg.”<sup>2</sup>

A háromdimenziós mérőgéppel tehát egy térben rögzített derékszögű koordináta-rendszerből kiindulva a vizsgálandó tárgy felületi pontjai tapinthatók le egy tapintó elem segítségével, mely legtöbbször gömb alakú. (Természetesen a háromdimenziós mérőgépek többféle koordináta-rendszerben is tudnak dolgozni pl.: Gömb-koordináta rendszerben, de a leggyakrabban a Descartes-féle, derékszögű koordinátarendszert használják a mérésekhez.) [11.][12.]

A munkadarab vizsgáló asztalon való pontos mechanikai beállítása nem szükséges, mert a munkadarab pontos helyzetét a felületén lévő pontok letapintásával határozzák meg. Az elmozdulás során megtett utakat nagy felbontású és pontosságú digitális mérőrendszerrel határozzák meg. A tapintó elem helyzetét a koordináta-tengelyek mentén hossz mérő-rendszer regisztrálja és ezekből a mérési eredményekből a vizsgálat munkadarab méretei matematikai számítások segítségével határozhatóak meg.[11.]

A koordináta mérőgépek mérés technikai tulajdonságai, valamint az alkalmazásához rendelkezésre álló szoftverek lehetővé tették a csaknem tetszőleges formájú és, a mérőgép mérési tartományának megfelelő méretű tárgyak mérését. Azaz a hagyományos módszerekkel nem mérhető geometriák is ellenőrizhetővé váltak. Továbbá a szoftveres vezérlésnek köszönhetően sikerült a szubjektivitásból eredő hibákat csökkenteni, valamint a mérés sebességét megnövelni. Azonban fontos megjegyezni, hogy a koordináta mérőgépek használata szakképzett munkaerőt igényel, valamint az egyszerű munkadarabok esetében lassúbb, mint a hagyományos módszerek és nem utolsósorban nagyon költségesek.[11.]

## 2.2 A háromdimenziós hosszúságmérés nemzeti etalonja

A háromdimenziós hosszúságmérés nemzeti etalonja, egy SIP gyártmányú speciálisan nagy pontosságú háromdimenziós mérőgép. A mérőgép olyan etalonok illetve mérőeszközök kalibrálását tette lehetővé, melyekre korábban nem volt lehetőség. A gép iparban alkalmazott etalonok, mesterdarabok, használati mérőeszközök visszavezettségét a nemzeti etalonra, a mérőgépen végzett mérésekkel biztosítják. A mérőgép szabályos geometriai és szabálytalan térbeli alakzatok letapogatására egyaránt alkalmas.[13.]

---

<sup>2</sup> Dr. Varga Gyula: Koordináta mérés technika –előadás prezentáció (Miskolci Egyetem – Gyártástechnológiai tanszék-2006)



**2. ábra A háromdimenziós hosszúságmérés nemzeti etalonja [13.]**

A koordináta mérőgépen az alábbi etalonok mérései fordulnak elő leggyakrabban:

- egyedi mesterdarabok, gépbeállító etalonok,
- tengelyek, alaketalonok,
- koordináta mérőgépek ellenőrző etalonjai,
- 200 mm-nél nagyobb átmérőjű beállító gyűrűk,
- lépcsős idomszerek (Step gauge),
- derékszögek és derékszög-ellenőrző készülékek, hengerek, hengerderékszögek,
- szöghasábok, egyéb szögetalonok,
- 700 mm × 700 mm-nél nem nagyobb síkok.[13.]

### **2.3 A kalibrálás és a megfelelés értékelés értelmezése a koordináta mérőgépek esetében**

A koordináta mérőgép által végzett méréseknél bizonytalanságot okozó tényezők forrásai:

- a koordináta mérőgép alkatrészeinek pontossága, a vezetékek, a skálák, és tapintó rendszer,
- a működési környezet, környezeti hőmérséklet, valamint a mérőgép tengelyeinek hőmérsékletváltozása, ebből a szempontból a Z tengely a legbizonytalanabb, hiszen a levegő rétegződése klimatizált helyiségben is megjelenik és mivel a Z tengely függőleges pozícióban van, így ez a jelenség hatással lesz rá;
- az alkalmazott mérési stratégia, a tapintó erő iránya és nagysága, a tapintófej típusa, és a mérési sebesség;
- a mérendő darab jellemzői, rugalmasság, felületi érdesség, keménység;
- a megmért pontok száma és relatív pozíciója valamint
- az ideális geometriai alaktól való eltérés nagysága. [14.]

A mérőgép 21 hibaparaméterrel rendelkezik, melyek az alábbi szempontok szerint különíthetők el:

- Tengelyek pozicionálási hibája:  $xtx$ ;  $yty$ ;  $ztz$ . (Pl.:  $xtx$  az „x” tengely pozicionálási hibája.)
- Tengelyek egyenességi eltérése:  $xtz$ ;  $xty$ ;  $ytx$ ;  $ytz$ ;  $ztx$ ;  $zty$ . (Pl.:  $zty$  a „z” tengely „x” irányú egyenessége.)
- Tengelyek szögeltérései:  $xry$ ;  $yrx$ ;  $zrx$ ;  $xrz$ ;  $yrz$ ;  $zry$ ;  $xrx$ ;  $yry$ ;  $zrz$ . (Pl.:  $xry$  az „x” tengely „y” körüli elfordulása)
- Tengelyek merőlegességi hibája:  $xwy$ ;  $ywz$ ;  $xwz$ . (Pl.:  $xwy$  az „x” illetve „y” tengely által bezárt szög merőlegességi eltérése.)

A tengelyek merőlegességi eltérései mindegyik mérésünket terheli. Ezek a keresztirányú elmozdulásokkal arányosan növekednek.[15.]

A tengelyek szögeltéréseiből származó hibaparaméterek két csoportra oszthatók. Egyrészt a mérési tartományban a mérőgép mozgó elemei billegnek, ebből adódnak a szomszédos tengelyekhez viszonyított szögeltérések. Ezek a mozgások a vezetékek egyenességi eltéréseiből, valamint a gép alap torzulásaiból adódnak. A mérőgép felépítéséből adódóan ezeket a hibákat szinte semmilyen módon nem tudjuk elkerülni. Másfelől a tengelyen önmaguk körül is el tudnak fordulni. Ennek mértéke nehezen becsülhető, mivel a mérési tartomány teljes szélességében bármilyen értéket felvehet. [15.]

A tengelyek egyenességi eltéréseiből származó hibák összetett módon torzítják a mért értékeket, mivel minimum két koordinátát mérünk és ezt nem egy koordináta-tengely mentén tesszük. Az eltérés mértéke attól függ, hogy milyen a mérendő munkadarab térbeli pozíciója, valamint attól hogy mennyire pontos maga a tengely. [15.]

A pozicionálási hibát skálahibának is szokták nevezni. [15.]

### 2.3.1 A mérőgép 21 hibaparaméterének kimérése

A koordináta mérőgép kalibrálása tulajdonképpen a 21 hibaparaméterének a kimérését valamint ezek korrekcióba vételét jelenti. A mérőgép használata során a mért értékeket visszavezethetővé kell tenni és a mérési bizonytalanságot meg kell hozzá határozni. Ez a folyamat a 21 hibaparaméter ismeretében speciális etalonok és szoftverek (pl.: a PTB által kidolgozott Virtual CMM) használatát követeli, melyek igen költségesek és bonyolultak, nem beszélve arról, hogy ennek az elvégzése nagyon hosszú idő. Ezt általában a gyártók szokták megcsinálni, viszont ennek az elvégzésére nincsen szabvány.

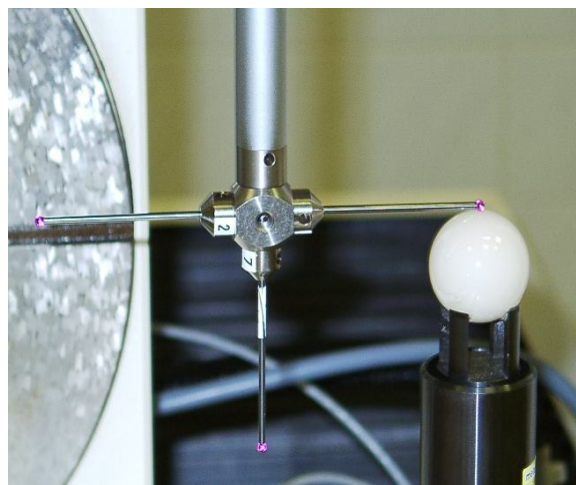
A „hétköznapi” gyakorlatban tehát a koordináta mérőgépek ilyen módon történő kalibrálása nem kivitelezhető.

### 2.4.1 Szabvány szerint végzett megfelelés értékelés

A szabvány szerint végzett megfelelés értékelés során azt ellenőrizzük, hogy a mérőgép megfelel-e a gyártói specifikációknak. Ez különösebb ráfordítások nélkül is elvégezhető. (Azaz speciális etalonok helyett mérőhasábokat, illetve kalibráló gömböt használunk.) A háromdimenziós mérőgépek megfelelés értékelésére vonatkozó szabványok (EN ISO 10360; ISO/TS 23165) azon alapulnak, hogy különböző méretű etalonok mérésével vizsgálják azt, hogy a mérőgép maximális megengedett hibája nem nagyobb a gyártó által megadottnál. Azaz a koordináta mérőgép gyári specifikációknak való megfelelését lehet vele igazolni.



3. ábra Etalon mérőhasábok a befogóban



4. ábra Kerámia kalibráló gömb

Mivel a 21 hibaparaméter kimérése és az így keletkezett értékek korrekcióba vétele jelen esetben nem volt végrehajtható, valamint a szervezet szempontjából nem lett volna túl gazdaságos, így az EN ISO 10360-2:2009; EN ISO 10320-5:2010 szabványok szerinti megfelelés értékelést végeztünk, valamint az ISO/TS 23165:2006 szabvány szerint meghatároztuk a mérési eredményekhez tartozó mérési bizonytalanságot. Ezzel a gyártói specifikációknak való megfelelést ellenőriztük. Természetesen ezen felül a mindennapi mérések során felhasználnak biztosítania kell a mérési eredmények visszavezettségét az országos etalonokra.

### 2.4.2 Ellenőrzés az egyes kalibrálások között

A mérőgépeket szokás ellenőrizni az egyes kalibrálási alkalmak között. Ezt ipari környezetben, gyártósorokon kalibrált használati mintával végzik. Azonban ez inkább annak az ellenőrzése, hogy a mérőgép alkalmas e az adott méretekkel és tűrésekkel rendelkező munkadarab mérésére vagy sem.

### 3 A megfelelőség értékelés elvégzéséhez szükséges mérési terv kidolgozása

#### 3.1 A vizsgálathoz alkalmazott szabványok

A mérés tervezésére és az eredmények kiértékelésére vonatkozóan az EN ISO 10360-5:2010, EN ISO 10360-2:2009 (Termékek geometriai követelményei (GPS). Koordinátamérő eszközök (CMM) elfogadási és gyári specifikációnak való időszakos ismétlő megfelelőségi vizsgálatai.) szabvány, illetve az ISO/TS 23165:2006 (Termékek Geometriai Követelményei (GPS). Ajánlás a koordináta mérőgép mérési bizonytalanságának meghatározásához.) szabvány által adott útmutatásokat alkalmaztuk az MKEH sajátosságainak figyelembevételével.

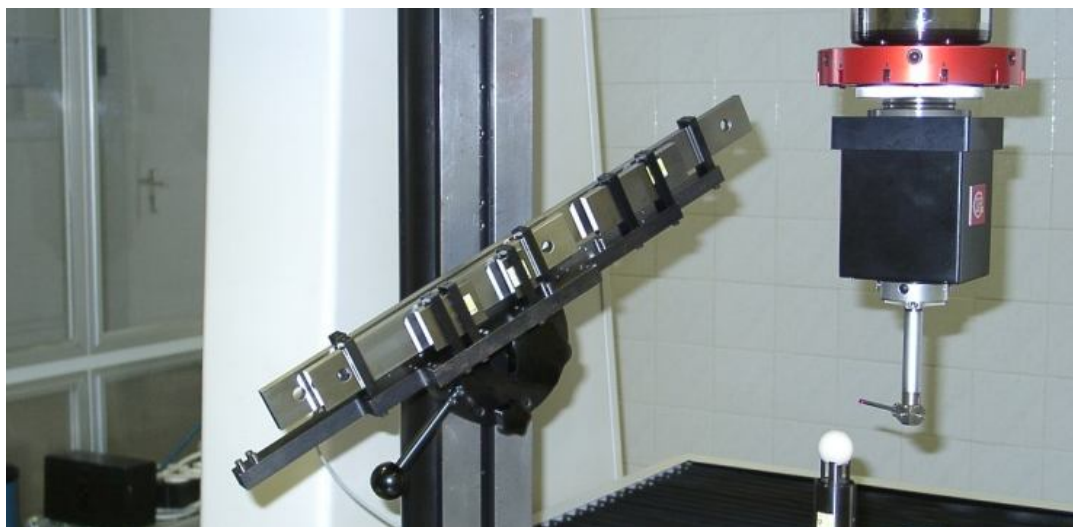
A vizsgálatok elvégzéséhez 5 különböző méretű mérőhasábot és egy kalibráló gömböt használtunk.

#### 3.2 Mérés eljárás

A 1. számú táblázatban a mérési terv elkészítéséhez szükséges alapadatok vannak feltüntetve. Ezt követően részletesebb ismertetésre kerül hogy milyen pozícióban mérjük az etalonokat, illetve, hogy a mérési eredményeinket hogyan értékeljük ki.

| Mérés célja                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SIP gyártmányú háromdimenziós mérőgép tapintási hibájának és mérési bizonytalanságának meghatározása.<br>Mérőgép mérési tartománya: 710 mm × 710 mm × 550 mm<br>Felbontása: 0,1 µm                                    |
| Mérés tárgya                                                                                                                                                                                                          |
| SIP 502 háromdimenziós mérőgép                                                                                                                                                                                        |
| Mérés környezeti feltételei                                                                                                                                                                                           |
| Hőmérséklet: 20± 0,5 °C<br>Páratartalom: kisebb, mint 80%<br>Rezgésmentesség: Épülettől elkülönített alacsony és magas frekvenciás rezgés csillapított alapon áll a mérőgép.                                          |
| Méréshez szükséges eszközök                                                                                                                                                                                           |
| <b>Kalibráló gömb:</b> SWIP gyártmányú kalibráló gömb<br>Átmérője: 29,9901 mm<br>Alakeltérése (F): 0,1 µm<br>Alakeltérés bizonytalansága (u(F)): 0,1 µm<br><b>Mérőhasábok:</b> 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm |

1. táblázat A mérési terv elkészítéséhez szükséges információk



**5. ábra Etalon mérőhasábok és egy kalibráló gömb**

A mérésekhez Mitutoyo 0501391 gyártmányú mérőhasábokat használtunk, melyeket a svájci mérésügyi hivatal kalibrált, az ISO 3650 szabvány szerint. Összesen 8 darab acél mérőhasábot tartalmaz a készlet, ebből mi összesen 4 darabot használunk (200 mm, 300 mm, 400 mm, 500mm). Továbbá egy darab Cary gyártmányú mérőhasáb is felhasználásra került (100 mm). (A figyelembe vett a lineáris hőtágulási együttható értéke a hasáboknál  $10,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K.}$  )

A kalibrálási bizonyítványban található mérési eredmények a következők:

| Névleges érték (mm) | Azonosító | Helyes érték (mm) és a mérési bizonytalanság (mm) |
|---------------------|-----------|---------------------------------------------------|
| 100                 | 11'27402  | $99,99995 \pm 0,00008$                            |
| 200                 | 040323    | $200,00000 \pm 0,00007$                           |
| 300                 | 040186    | $300,00000 \pm 0,00007$                           |
| 400                 | 040146    | $400,00013 \pm 0,00010$                           |
| 500                 | 030238    | $500,00031 \pm 0,00010$                           |

**2. táblázat A mérőhasábok kalibrálási bizonyítványból származó adatai**

A kalibrálási bizonyítványban közölt bizonytalansági adatok a kiterjesztett mérési bizonytalanságot (U) jelentik, azaz a standard bizonytalansági (u) érték  $k=2$  kiterjesztési tényezővel beszorzott értéke. A mért érték és a kiterjesztett mérési bizonytalanság által kijelölt tartomány 95 %-os valószínűséggel tartalmazza a mérési eredményt.<sup>3</sup>

### **Mérési pontok meghatározása:**

#### **Kalibráló gömb esetében:**

25 pontot mérünk, és ezek értékét rögzítjük. A kalibráló gömb felső félgömbjén a mérendő pontok pozícióját nagyjából egyenletesen elosztva kell kijelölni.

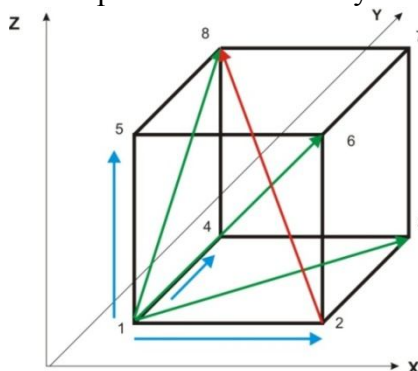
<sup>3</sup> Certificate of calibration No 111-04853

### Mérőhasábok esetében:

Az öt etalon mérőhasábot hét pozícióban mérjük, minden pozícionálásnál három mérést végzünk, azaz összesen 105 mérési eredményünk lesz. [18.]

Mérési pozíciók:

- 3 tengely menti pozíció: X,Y és Z irány —
- 3 síkátló menti pozíció: X-Y, X-Z és Y-Z irány —
- 1 térátló menti pozíció: X-Y-Z irány —



6. ábra A mérőhasábok mérési pozíciói

## 4 A mérési eredmények kiértékelése, mérési bizonytalanság meghatározása

### 4.1 Kalibráló gömb mérésénél keletkezett eredmények kiértékeléséhez használt összefüggések

Bár egy gömbről van szó, ahol elméletileg a gömb felszínének és középpontjának távolsága azonos, de az alakeltérés miatt az egyes pontok távolsága mégsem lesz azonos a középponttól.

#### 4.1.1 Tapintási hiba

A 25 mért adatból meghatározzuk a legkisebb ( $R_{min}$ ) és a legnagyobb ( $R_{max}$ ) letapintott pontot (ezek a gömb sugarára vonatkoznak). Ezek különbsége fogja adni a tapintási hibát ( $P$ ).

A tapintási hiba általános egyenlete:

$$P = R_{max} - R_{min}(\text{mm}) \{2\}$$

$P$ : A tapintási hiba (mm).

$R_{max}$ ,  $R_{min}$ : A legkisebb és a legnagyobb letapintott pont (mm).

#### 4.1.2 Tapintási hiba standard bizonytalansága

Ahhoz, hogy a mérési eredményeinket megfelelő módon tudjuk értékelni, szükség van a mérés bizonytalanságának meghatározására is. (A NAR-18-VIII elő írja, valamint az MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 szabványi is megköveteli, hogy a kalibrálási

bizonyítványokban feltüntetett eredményekhez társítani kell a mérési bizonytalanságot is.)

A tapintási hiba standard bizonytalansága a következő képlet szerint fog alakulni:

$$u(P) = \sqrt{\left(\frac{F}{2}\right)^2 + u^2(F)} \quad (\mu\text{m}) \{3\}$$

F: A kalibráló gömb alakeltérési hibája, mely a kalibrálási bizonyítványban van megadva.

u(F): Az alakeltérés bizonytalansága, mely a kalibrálási bizonyítványban van megadva.

Az u(P) egy állandó érték lesz, míg az egyes mért pontoknál adódó R értékek változni fognak.

A mérőgép megengedett tapintási hibája:

$$MPE_p = A \quad \{4\}^4$$

A: Pozitív konstans, melyet a gyártó ad meg ( $\mu\text{m}$ ).

#### 4.2 Mérőhasábok mérésénél keletkezett eredmények kiértékeléséhez használt összefüggések

A mérőhasábokkal végzett mérési eredmények mindegyikéhez meghatározzuk az abszolút hibát (összesen tehát 105 darab értékünk lesz).

$$E = [x_{\text{mért}} - x_{\text{helyes}}] \cdot 1000 \quad (\mu\text{m}) \{5\}$$

E: Az abszolút hiba ( $\mu\text{m}$ ).

$x_{\text{mért}}$ : Az etalon mérőgép által mért értéke (mm).

$x_{\text{helyes}}$ : Az etalon helyes értéke (mm).

Továbbá a gyártó által megadott specifikáció szerint pontonként kiszámítjuk a koordináta mérőgép megengedett hibáját ( $MPE_E$ ), melynek általános egyenlete a következő:

$$MPE_E = \pm \left( A + \frac{L}{K} \right) \quad (\mu\text{m}) \{6\}^5$$

A: Pozitív konstans, melyet a gyártó ad meg ( $\mu\text{m}$ ).

K: Pozitív konstans, melyet a gyártó ad meg (-).

L: Az etalon névleges mérete (mm).

<sup>4</sup> EN ISO 10360-1:2000-9.4.

<sup>5</sup> EN ISO 10360-1:2000-9.2.-b.

A fent összefüggést figyelem bevéve a megengedett hibára a gyári specifikáció szerint a képlet a következő képen fog alakulni:

$$MPE_E = \left(0,8 + \frac{L}{800}\right) (\mu\text{m}) \quad \{7\}$$

A megengedett hibát pozitív és negatív tartományra is kiszámítjuk a {7} képlet segítségével. Erre azért van szükség, hogy a diagramon ábrázolt abszolút hibákat, mint pontokat értékelni tudjuk, ugyanis az abszolút hiba lehet pozitív illetve negatív értékű is.

Mint ahogyan a kalibráló gömb esetében, úgy itt is meg kell határozni a mérési bizonytalanságot. Azonban a mérőhasábok esetében mért eredmények bizonytalanságának meghatározásánál már több tényezőt kell figyelembe venni.

Az eredő bizonytalanság általános egyenlete:<sup>6</sup>

$$u(E) = \sqrt{u^2(\varepsilon_{\text{cal}}) + u^2(\varepsilon_{\alpha}) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{\text{align}}) + u^2(\varepsilon_{\text{fixt}})} (\mu\text{m}) \quad \{8\}$$

#### Az etalon bizonytalansága

$$u(\varepsilon_{\text{cal}}) = \frac{U_{\text{cal}}}{k} \cdot 1000 (\mu\text{m}) \quad \{9\}$$

$U_{\text{cal}}$ : Az etalon kiterjesztett mérési bizonytalansága, mely a kalibrálási bizonyítványban van megadva (mm).

$k$ : Kiterjesztési tényező, melyet a kalibrálási bizonyítványban közölnek (szokás szerint  $k=2$ ).

#### Az etalon hőtágulási együtthatójának bizonytalansága

$$u(\varepsilon_{\alpha}) = [L \cdot (|t - 20^{\circ}\text{C}|) \cdot u(\alpha)] \cdot 1000 (\mu\text{m}) \quad \{10\}$$

$L$ : Az etalon mért hosszának névlege értéke (mm).

$t$ : Az etalon mérés során tapasztalt hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$20^{\circ}\text{C}$ : A referencia hőmérséklet.

$u(\alpha)$ : A hőtágulási együttható standard bizonytalanság ( $1/^{\circ}\text{C}$ ).

Ha az etalon hőtágulási együtthatójának bizonytalansága meg van adva a kalibrálási bizonyítványban, akkor azzal az értékkel kell számolnunk.

Azonban ha ez a kalibrálási bizonyítványban nincs benne, akkor a következő képlet segítségével kaphatjuk meg az etalon hőtágulási együtthatójának standard bizonytalanságát:

$$u(\alpha) = \Delta t_{\alpha} / \sqrt{12} \quad (1/^{\circ}\text{C}) \quad \{11\}$$

---

<sup>6</sup> ISO/TS 23165:2006(E) -6.1

$\Delta t_\alpha$ : A hőtágulási együttható névleges értéktől feltételezett maximális eltérési tartomány.

(Jelen esetben  $\Delta t_\alpha = 2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ )

A szabvány szerint amennyiben a mérőgép nem rendelkezne beépített hőmérővel, akkor ezt a tagot kihagyjuk az egyenletből, azaz  $u(\varepsilon_\alpha) = 0$ . Azonban a szabvány nem ad indoklást arra vonatkozóan, hogy ezt miért tehetjük meg.

Ha az eredő mérési bizonytalanságot a {8} egyenlethez képest kevesebb tényezőtől becsüljük, akkor ebből következően az értéke is kisebb lesz, vagyis egy hőmérséklet kompenzált mérőgépnek nagyobb lesz a bizonytalansága, mint egy nem hőmérséklet kompenzált mérőgépnek. Ennek ez eltérésnek a kimutatásával foglalkozunk a dolgozat 5. fejezetében, ahol azt vizsgáljuk, hogy a szabvány által javasolt elhanyagolás vajon megalapozott-e.

### **Az etalon hőmérséklete miatti bizonytalanság**

$$u(\varepsilon_t) = [L \cdot \alpha \cdot u(t)] \cdot 1000 \text{ (}\mu\text{m)} \{12\}$$

L: Az etalon mért hosszának névleges értéke (mm).

$\alpha$ : A hőtágulási együttható ( $10,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ).

$u(t)$ : A hőmérséklet standard bizonytalansága ( $^\circ\text{C}$ ).

Amennyiben a hőmérő standard bizonytalansága kalibrálási bizonyítványban meg van adva, akkor azzal az értékkel kell számolnunk.

Ha ez az információ nem áll rendelkezésünkre, akkor a hőmérséklet standard bizonytalanságának értékét az alábbi összefüggés segítségével adhatjuk meg:

$$u(t) = \frac{V_t}{\sqrt{3}} \text{ (}^\circ\text{C)} \{13\}$$

$V_t$ : A hőmérséklet mérésének bizonytalansága, ez jelen esetben  $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Az előző taghoz hasonlóan, ha a mérőgép nem rendelkezne beépített hőmérővel, akkor a szabvány iránymutatása szerint ezt a tagot kihagyhatjuk az egyenletből, azaz  $u(\varepsilon_t) = 0$ . A szabvány itt sem ad magyarázatot arra vonatkozóan, hogy ez a tag miért lenne elhanyagolható. Tehát itt is érdemes megvizsgálni azt, hogy vajon tényleg el lehet-e hagyni ezt a tagot abban az esetben, hogy ha a mérőgépünk nem hőmérséklet kompenzált.

### **Az etalon besabályozásából eredő bizonytalanság**

Az etalon besabályozásából eredő bizonytalanság értékének megadására becslést adunk, melynek:

$$u(\varepsilon_{align}) = 0,2 \text{ (}\mu\text{m)}$$

### **Az etalon befogásából származó bizonytalanság**

Az etalon befogásból származó bizonytalanság értékére, megint csak becslést fogunk adni:

$$u(\varepsilon_{fixt}) = 0,2 \text{ (}\mu\text{m)}$$

### 4.3 Eredmények kiértékelése

A NAR-18-VIII szerint a kalibrálás mérési bizonytalanságának meghatározásakor az egyes bizonytalansági tényezőket táblázatos formában kell bemutatni. Bár mi nem kalibrálást, hanem megfelelőség értékelést végzünk, de a mérési bizonytalanságot ebben az esetben is meg kell határozni. Ezért a jobb áttekinthetőség érdekében elkészítettünk egy táblázatot melyben, megadtuk a bizonytalanságot okozó tényezőket. A táblázatban feltüntetjük az adott mennyiség standard bizonytalanságát, a valószínűségi eloszlását, az érzékenységi tényezőjét és a bizonytalansági tényező értékét.[9.]

Az egyes tényezőkhez tartozó valószínűségi eloszlást a rendelkezésre álló információ alapján tudjuk meghatározni. Ha a kérdéses mennyiségről nem tudunk egyebet, csak a lehetséges határértékeit, akkor joggal tételezhetjük fel, hogy az adott mennyiség az intervallumon belül bárhol azonos valószínűséggel megtalálható. Továbbá nincsenek mérési adataink és nem tudunk eloszlás vizsgálatot végezni. Ebben az esetben egyenletes (folytonos) eloszlást feltételezünk. Ennek megfelelően a standard bizonytalanságot  $\sqrt{3}$  –mal <sup>7</sup> elosztjuk. [7.][23.]

Amennyiben van információnk az adott értéket illetően, akkor ennek megfelelően állapítjuk meg az eloszlást. A vizsgálat során ilyen információs forrás az etalonok esetében rendelkezésre álló kalibrálási bizonyítvány volt, ahol mindegyik esetben normál eloszlást adtak meg.

#### 4.3.1 Mérőhasábokhoz tartozó bizonytalansági táblázat

A mérési egyenletet a 4.2 fejezetben ismertet bizonytalansági tényezők ( $u(\mathcal{E}_{cal})$  ;  $u(\mathcal{E}_a)$ ;  $u(\mathcal{E}_t)$ ;  $u(\mathcal{E}_{align})$ ;  $u(\mathcal{E}_{fixt})$ ) ismeretében határoztam meg, ez alapján pedig elkészítettem a hozzá tartozó bizonytalansági táblázatot.

A mérőhasábok esetében adódó mérési egyenlet:

$$H_h = L_{mért} - L_{helyes} + [L \cdot (t - 20^\circ\text{C}) \cdot \alpha] + \frac{\delta L_{align}}{1000} + \frac{\delta L_{fixt}}{1000} \quad \{14\}$$

$H_h$ : A hiba értéke (mm).

$L_{mért}$ : Az etalon mérőgép által mért értéke (mm).

$L_{helyes}$ : Az etalon által reprezentált érték (mm).

$L$ : Az etalon mért hosszának néveleges értéke (mm).

$t$ : Az etalon hőmérséklete ( $^\circ\text{C}$ ).

$\alpha$ : Az etalon lineáris hőtágulási együtthatója ( $1/^\circ\text{C}$ ).

$\delta L_{align}$ : Az etalon beszabályozásából eredő korrekció (mm).

$\delta L_{fixt}$ : Az etalon befogásából eredő korrekció (mm).

---

<sup>7</sup> A  $\sqrt{3}$  –mal való osztás, az egyenletes eloszlás  $D^2(\xi)$  függvényének  $[a, b]$  intervallumon vett határozott integráljából ered. [21.]

A táblázatban szereplő érzékenységi tényezők értékei a mérési egyenlet egyes tényezőinek parciális deriváltjaként adódnak. A bizonytalansági tényező ( $u_i$ ) értékét pedig a standard bizonytalanság és az érzékenységi tényező szorzataként kapjuk meg.

| Mennyiség                 | Standard bizonytalanság                                                   | Valószínűségi eloszlás | Érzékenységi tényező - $c_i$                  | Bizonytalansági tényező ( $\mu\text{m}$ )- $u_i$             |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| $L_{\text{helyes}}$       | $u(\varepsilon_{\text{cal}}) = (U_{\text{cal}}/2) \cdot 10^3 \mu\text{m}$ | normális               | 1                                             | $(U_{\text{cal}}/2)$                                         |
| $\alpha$                  | $u(\varepsilon_{\alpha}) = 1/\sqrt{3} \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$   | egyenletes             | $L \cdot (t-20) (\text{mm}/^{\circ}\text{C})$ | $[1/\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot (t-20)] \cdot 10^3$ |
| $t$                       | $u(\varepsilon_t) = 1/\sqrt{3} \cdot 0,02^{\circ}\text{C}$                | egyenletes             | $L \cdot \alpha (\text{mm}/^{\circ}\text{C})$ | $(1/\sqrt{3} \cdot 0,02 \cdot L \cdot \alpha) \cdot 10^3$    |
| $\delta L_{\text{align}}$ | $u(\varepsilon_{\text{align}}) = 2 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$             | egyenletes             | 1                                             | $2 \cdot 10^{-2}$                                            |
| $\delta L_{\text{fixt}}$  | $u(\varepsilon_{\text{fixt}}) = 2 \cdot 10^{-2} \mu\text{m}$              | egyenletes             | 1                                             | $2 \cdot 10^{-2}$                                            |

**3. táblázat A mérőhasábokhoz tartozó bizonytalansági táblázat**

Az eredő mérési bizonytalanságot úgy kapjuk meg, hogy az egyes összetevők négyzetösszegéből négyzetgyököt vonunk ( $\{8\}$  egyenlet).

Mivel a kalibráló gömb esetében összesen két bizonytalansági tényezővel dolgozunk, illetve a dolgozat további részében nem használjuk a kapott értékeket, így a bizonytalansági táblázat megadásától eltekintettünk.

#### 4.3.2 Mért értékek minősítési módja a kalibráló gömb esetében

A mért értékeket táblázatban rögzítjük, majd a  $\{2\}$  egyenletnek megfelelően meghatározzuk a tapintási hibát ( $P$ ). Az így kapott értéket viszonyítjuk a koordináta mérőgép megengedett tapintási hibájához ( $MPE_P$ ) a következő reláció szerint:

$$P \leq MPE_P \quad ^8 \{15\}$$

#### 4.3.3 Mért értékek minősítési módja a mérőhasábok esetében

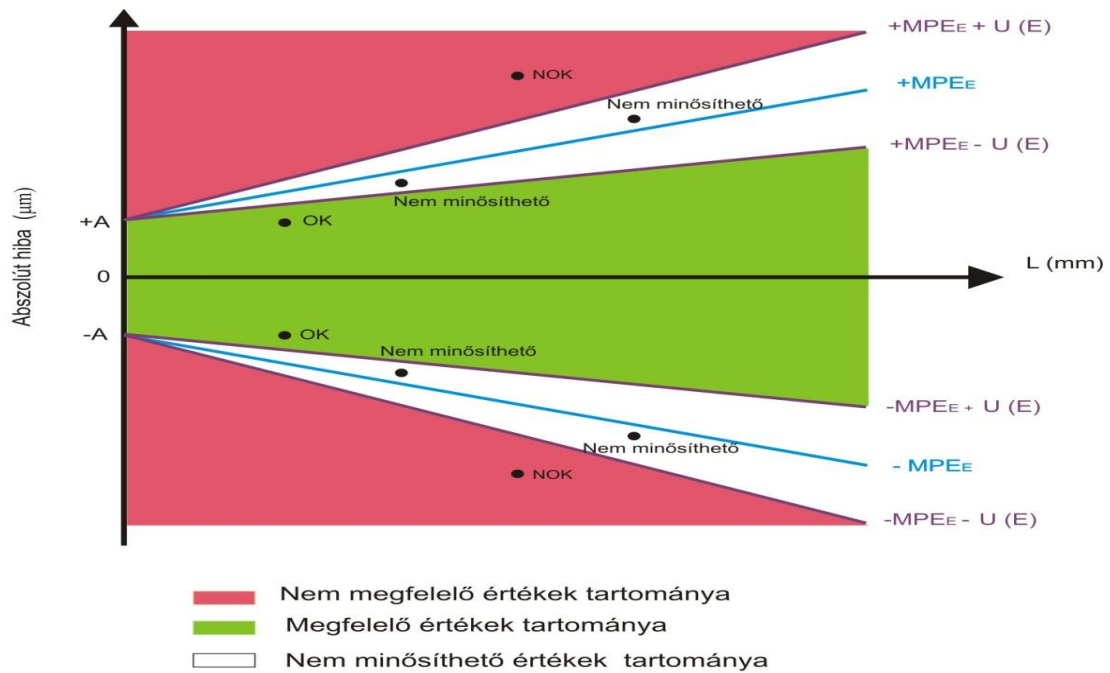
A mérőgép megengedett hibáját ( $MPE_E$ ) és ezekre az értékekre ültetett kiterjesztett mérési bizonytalanságot –pozitív és negatív irányban– diagramokon ábrázoljuk. A mért értékek abszolút hibáját a  $\{5\}$  egyenletnek megfelelően határozzuk meg és ezeket a mért hossz névleges értékének függvényében ( $L$ ) ábrázoljuk ugyancsak az előbb említett diagramon.

Az ISO/TS 23165:2006 szabvány az 8. ábra szerinti értékelést adja meg. Mivel a mérés során egy etalon, adott pozíciójában végzett mérésénél keletkezett három érték abszolút hibái nagyon közel estek egymáshoz, így a szabvány által javasolt ábrázolás áttekinthetetlen lett volna. Ezért ettől az ajánlástól eltérve jelenítettük meg a mérési eredményeket, a 7. ábrának megfelelő módon.

A pontokat a 7. számú ábrának megfelelően ábrázoljuk és minősítjük. Fontos, hogy a mért értékek abszolút hibája nem lehet nagyobb, mint a koordináta mérőgép megengedett hibája ( $MPE_E$ ), így ha ez az érték ennél kisebb, akkor a mért érték megfelelő. Amennyiben a mérőgép megengedett hibájára ültetett bizonytalansági

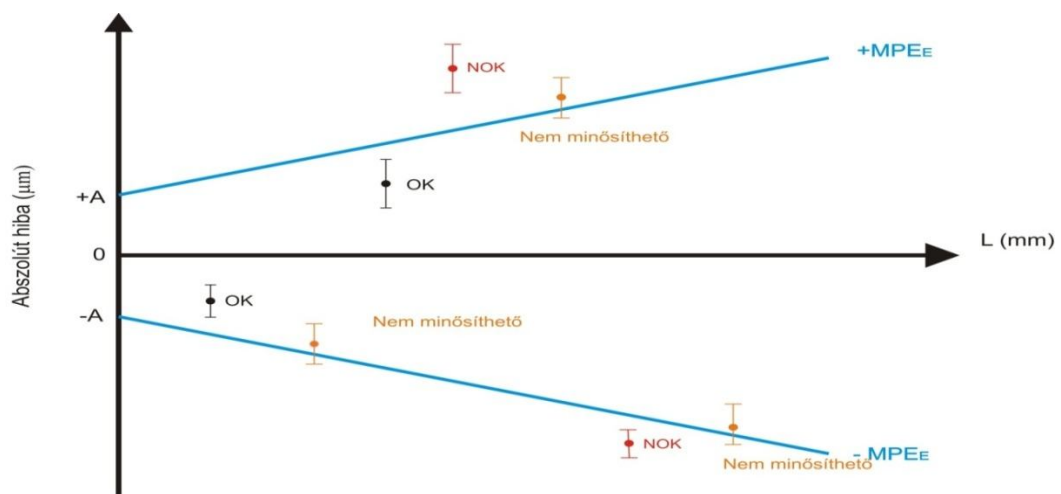
<sup>8</sup> EN ISO 10360-1:2000-9.3.

tartományba esik a pont akkor azt mondjuk, hogy nem minősíthető. A mérési bizonytalanság miatt lehet, hogy a pont valódi értéke a mérőgép megengedett hibája alatt lenne, ekkor tehát a mért érték is megfelelő, de ugyanígy előállhat az az eset is hogy a valódi érték már a megengedett hiba fölött van, ami azt jelentené, hogy a mért érték már nem megfelelő.



7. ábra A mért értékek hibája I.

Amennyiben a mért értékek abszolút hibájához tartozó mérési bizonytalanságot pontonként ábrázoljuk akkor a 8. ábrának megfelelő módon végezzük az értékelést. Fontos kihangsúlyozni, hogy a két féle minősítés között nincs különbség, azonban az áttekinthetőség érdekében a 7. ábrának megfelelően ábrázoljuk és értékeljük a kapott pontokat.[16.]



8. ábra A mért értékek hibája II.

#### 4.3.4 Döntés a mérés eredményét illetően

A mérőgép abban az esetben teljesíti a gyári specifikációkat, ha

- a mérőgép abszolút hibája, figyelembe véve a mérés bizonytalanságát, nem nagyobb, mint a mérőgép megengedett hibája ( $MPE_E$ ), melyet a gyártó specifikál és
- a tapintási hiba nem nagyobb, mint a mérőgép megengedett tapintási hibája ( $MPE_P$ ), amit úgy szintén a gyártó specifikál valamint itt is figyelembe vesszük a mérési bizonytalanságot.

Összesen 35 különböző mérést végzünk, mivel az öt etalont hét eltérő pozícióban mérjük meg. Egy pozícióban azonban háromszor ismétljük meg a mérést, így összesen 105 mérési eredmény adódik. Ezen megfontolás alapján maximum öt mért érték abszolút hibája eshet kívül a megfelelési tartományon, viszont mind az öt érték különböző mérésből kell, hogy származzon. Azaz a háromszori ismételésből maximum egy mérési eredmény abszolút hibája lehet nagyobb, mint az egyébként elfogadott. (Az elfogadási tartomány a 7. ábra és a 8. ábra alapján értendő.)

Amennyiben ez az eset áll fenn, akkor ezeket a méréseket meg kell ismételni 10-szer, a megfelelő pozícióban a megfelelő etalonnal.

Ha a megismételt mérések mindegyike megfelel, azaz az elfogadási zónába esik, akkor a mérőgép teljesíti a gyártói specifikációkat. [18.][19.][20.]

#### 4.3.5 A kalibráló gömbön végzett mérés során kapott mérési eredmények és azok értékelése

A táblázatok tartalmazzák a mérés során kapott koordinátákból számolt R értékeket, valamint az ebből meghatározott tapintási hibát, és annak mérési bizonytalanságát, továbbá mérés során tapasztalt hőmérsékletet.

|                                                |       |
|------------------------------------------------|-------|
| Munkadarab hőmérséklet a vizsgálat elején (°C) | 19,64 |
| Munkadarab hőmérséklet a vizsgálat végén (°C)  | 19,66 |

4. táblázat A vizsgálat során mért hőmérséklet értéke

|                                                      |          |
|------------------------------------------------------|----------|
| $R_{max}$ (mm)                                       | 14,99495 |
| $R_{min}$ (mm)                                       | 14,99484 |
| Tapintási hiba - P (mm)                              | 0,0001   |
| Mérőgép megengedett tapintási hibája - $MPE_P$ (mm)  | 0,0008   |
| Tapintási hiba mérési bizonytalansága(P) ( $\mu m$ ) | 0,22     |

5. táblázat A kalibráló gömb vizsgálata során kapott mérési eredmények kiértékelése

Mivel a koordináta mérőgép tapintási hibája (a mérési bizonytalansággal együtt is) kisebb, mint a mérőgép megengedett hibája, ezért a mért értékek megfelelőnek mondhatók.

#### 4.3.6 A mérőhasábokon végzett mérés során kapott mérési eredmények és azok értékelése

A közölt táblázatok valamint a diagram az X-Y-Z térátló menti pozícióban végzett mérések eredményeit és azok kiértékelését mutatják. A táblázatban a mérési

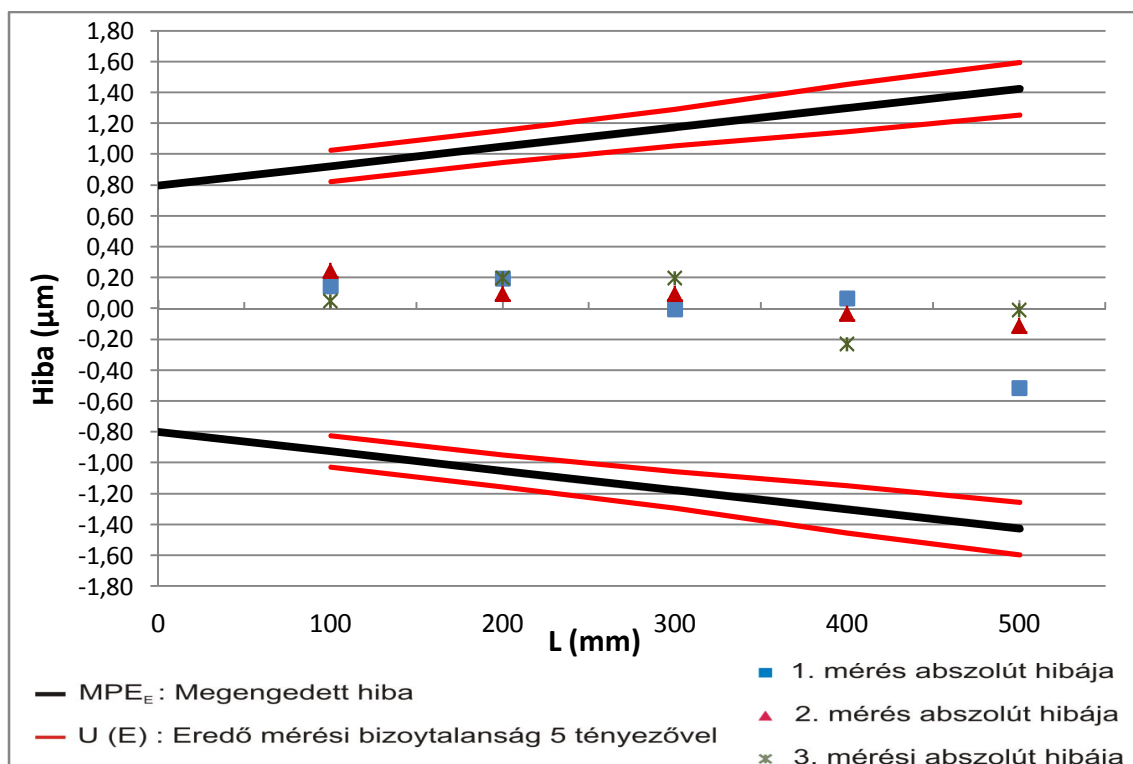
tervnek megfelelően elvégzett mérési eredmények és azok abszolút hibája, a mérőgép megengedett hibája, valamint a mérési bizonytalanság található. A diagramon pedig a mérőgép megengedett hibája, a kiterjesztett mérési bizonytalanság és a mért értékek abszolút hibája van ábrázolva. A többi pozícióban végzett mérések esetében is ugyan így értékeltük és ábrázoltuk az eredményeket.

|                                        | Etalon névleges mérete (mm) |            |            |            |            |
|----------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                        | 100                         | 200        | 300        | 400        | 500        |
| $U_{cal} \text{ (mm)}$                 | 0,00008                     | 0,00007    | 0,00007    | 0,0001     | 0,0001     |
| $u(\alpha) \text{ (1/}^\circ\text{C)}$ | 0,00000058                  | 0,00000058 | 0,00000058 | 0,00000058 | 0,00000058 |
| $u(t) \text{ (}^\circ\text{C)}$        | 0,01                        | 0,01       | 0,01       | 0,01       | 0,01       |

6.táblázat A mérőhasáb esetében a bizonytalansági összetevők meghatározásához szükséges standard értékek

| Mérés során tapasztalt hőmérséklet-t ( $^\circ\text{C}$ )                  | Mért értékek (mm)           |          |          | Abszolút hiba ( $\mu\text{m}$ ) |       |       | $MPE_E$ |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------|----------|---------------------------------|-------|-------|---------|
|                                                                            | 1                           | 2        | 3        | 1                               | 2     | 3     |         |
| 19,90                                                                      | 100,0001                    | 100,0002 | 100,0000 | 0,15                            | 0,25  | 0,05  | 0,925   |
| 19,95                                                                      | 200,0002                    | 200,0001 | 200,0002 | 0,20                            | 0,10  | 0,20  | 1,050   |
| 19,98                                                                      | 300,0000                    | 300,0001 | 300,0002 | 0,00                            | 0,10  | 0,20  | 1,175   |
| 20,02                                                                      | 400,0002                    | 400,0001 | 399,9999 | 0,07                            | -0,03 | -0,23 | 1,300   |
| 20,03                                                                      | 499,9998                    | 500,0002 | 500,0003 | -0,51                           | -0,11 | -0,01 | 1,425   |
| <b>Mérési bizonytalanság a mért etalon névleges értékének függvényében</b> |                             |          |          |                                 |       |       |         |
|                                                                            | Etalon névleges mérete (mm) |          |          |                                 |       |       |         |
|                                                                            | 100                         | 200      | 300      | 400                             | 500   |       |         |
| $u(E) \text{ (}\mu\text{m)}$                                               | 0,05                        | 0,05     | 0,06     | 0,08                            | 0,09  |       |         |
| $U(E) (+) \text{ (}\mu\text{m)}$                                           | 0,10                        | 0,10     | 0,12     | 0,15                            | 0,17  |       |         |
| $U(E) (-) \text{ (}\mu\text{m)}$                                           | -0,10                       | -0,10    | -0,12    | -0,15                           | -0,17 |       |         |

7. táblázat A mérőhasábok X-Y-Z térátló menti pozícióban mért eredményei



9. ábra A megengedett hiba az X-Y-Z térátló menti pozícióban

A mért értékek abszolút hibája egyik esetben sem haladta meg a koordináta mérőgép megengedett hibáját, valamint olyan érték sincs, amely a bizonytalansági tartományba esne, tehát a mérőgép által mért értékek megfelelőek.

A további hat pozíció esetében kapott eredményeket pedig diagramon ábrázoljuk, ezek a mellékletben találhatóak (M.1.ábra-M.6. ábra).

#### 4.4 A mérés megvalósításának összegző értékelése

Az elvégzett megfelelőség értékelés mind a kalibráló gömb, mind pedig a mérőhasábok esetében probléma nélkül zajlott.

A kalibráló gömb kapcsán végzett értékelésnél már a táblázatokból, valamint a számított értékekből könnyen megállapítható a mérési eredmények megfelelősége.

A mérőhasábok esetében a bonyolultabb értékelési módszer miatt a diagramok segítségével egyszerűbbé és gyorsabbá válik az értékelés. A diagramokról számos információt nyerhetünk a mérés esetleges eltéréseiről, hibáiról (jelen esetben erre nem volt példa). Ahogyan az a diagramokból is kiderül, az abszolút hiba még csak meg sem közelíti a mérőgép megengedett hibáját. Ezen értékelés szerint tehát a koordináta mérőgép megfelel a gyári specifikációknak.

## 5 Az ISO/TS 23165:2006 szabványban tett elhanyagolások megalapozottságának vizsgálata

Mint ahogyan az már korábban is említésre került az ISO/TS 23165:2006 az etalon mérőhasábok esetében az eredő mérési bizonytalanság meghatározásánál öt tényezőt vesz figyelembe. Viszont az etalon hőtágulási együtthatójának és hőmérsékletének bizonytalanságát nullának tekinti, abban az esetben, ha a mérőgép nem rendelkezik beépített hőmérővel. Ez abból a szempontból logikusnak tekinthető, hogy ha a mérőgép nem tudja az etalon hőmérsékletét mérni, akkor az előbb említett bizonytalansági tényezőket sem tudjuk kiszámítani, hiszen mind két esetben szükségünk van hőmérsékleti adatokra. Ez a {10} valamint a {13} egyenletekből kiderül.

Az előbb említett elhanyagolások figyelembevételéből pedig az következik, hogy az eredő mérési bizonytalanság ( $u(E)$ ) is csökkenni fog, hiszen kevesebb tényezőtől számítható ki  $u_m(E)$  értékét.

$$u_m(E) = \sqrt{u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_{align}) + u^2(\varepsilon_{fixt})} \cdot (\mu m) \quad \{16\}$$

$$u_m(E) \leq u(E) \quad \{17\}$$

$u(\varepsilon_{cal})$ : Az etalon bizonytalansága ( $\mu m$ ).

$u(\varepsilon_{align})$ : Az etalon beszabályozásából eredő bizonytalanság ( $\mu m$ ).

$u(\varepsilon_{fixt})$ : Az etalon befogásából származó bizonytalanság ( $\mu m$ )

$u_m(E)$ : Az eredő mérési bizonytalanság értéke három tényező figyelembevételével (az etalon bizonytalansága, az etalon beszabályozásából eredő valamint a befogásból származó bizonytalanság).

Az eredő mérési bizonytalanság ily módon történő "csökkentése" viszont ellenmondásban ütközik. Hiszen attól még, hogy nem tudom mérni az etalon hőmérsékletét és ebből adódóan a hozzá kapcsolódó bizonytalansági tényezőket sem tudom kiszámítani, attól az a bizonytalansági érték még jelen lesz a mérésben.

Továbbá Az ISO/TS 23165:2006 szabvány nem indokolja meg, hogy az említett két bizonytalansági tényező értékét, miért lehet nullának venni, abban az esetben, ha a mérőgép nem hőmérséklet kompenzált. Elképzelhető, hogy ez az elhanyagolás, arra vezethető vissza, hogy a mérőgépet eleve klimatizált környezetben kell működtetni, azaz egy szűk tartományon belül kell legyen a hőmérséklet értéke. Ezen a tartományon belül viszont ingadozhat a hőmérséklet, melynek hatása lehet a mérőhasáb méretének alakulására.

A következő lépésben tehát megvizsgáljuk azt, hogy hogyan alakultak volna az eredmények akkor, hogyha az eredő mérési bizonytalanság csak három tényező felhasználásával lett volna kiszámolva. (Ebben az esetben tehát úgy tekintünk a mérőgépre, mintha nem rendelkezne beépített hőmérővel.). Az így kapott eredményeket pedig a kalibrálás során keletkezett eredményekkel vetjük össze, és határozzuk meg az említett elhanyagolások mértékét. Az ismételt értékelést a módosító feltételek figyelembe vételével, csak a mérőhasábokra vonatkozóan végezzük el. Ennek az az oka,

hogy a tapintási hiba valamint annak standard bizonytalansága, a megadott összefüggésekből adódóan, nem függ a hőmérséklettől.

### 5.1 A mérési bizonytalanság összehasonlítása öt illetve három tényező esetén

A megfelelésértékelés során kapott eredményekből itt már csak a bizonytalansági értékeket fogjuk felhasználni és értékelni. A mérés során, mikor a hőmérsékletet is figyelembe vettük illetve az ebből eredő bizonytalanságokat, minden pozícióra vonatkozóan kiszámítottuk az eredő valamint a kiterjesztett mérési bizonytalanságot, és ezen értékek felhasználásával a diagramokon az egyes tartományokat meghatároztuk. Az öt bizonytalansági tényező közül az etalon hőtágulási együtthatójának bizonytalansága ( $u(\epsilon_a)$ ) az, ami minden pozícióban eltérő értéket ad hiszen az eredmény az etalon aktuális hőmérsékletétől függ.

Az eredő mérési bizonytalanság módosított értékeléséhez a {16} egyenletet használtuk fel. Az így kapott  $u_m(E)$  értékeket hasonlítottuk össze az előző vizsgálat során kapott eredményekkel a {8} összefüggés szerint.

$$\Delta u(E) = \frac{[u(E) - u_m(E)]}{u(E)} \cdot 100\% \quad (\%) \quad \{18\}$$

$\Delta u(E)$ : A mérési bizonytalanság változása (%).

$u(E)$ : Az eredő mérési bizonytalanság (az öt tényező figyelembevételével) ( $\mu\text{m}$ ).

A  $\Delta u(E)$  értéket mind az öt mérethez illetve mind a hét pozícióhoz tartozóan kiszámítjuk. Megjegyzendő hogy a változást annak a feltételnek a kikötésével határozhatjuk meg a {19} egyenlet segítségével, hogy az  $u(\epsilon_a)$  és az  $u(\epsilon_t)$  értékén kívül a többi értéket nem változtatjuk.

#### Az összehasonlítás során kapott eredmények értékelése

Az alábbi táblázatok és diagramok az értékelés eredményét mutatják az X tengely menti pozícióra vonatkozóan.

| Mérési bizonytalanság számítása 5 tényezővel |                             |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                              | Etalon névleges mérete (mm) |       |       |       |       |
|                                              | 100                         | 200   | 300   | 400   | 500   |
| $u(\epsilon_{cal})$ ( $\mu\text{m}$ )        | 0,040                       | 0,035 | 0,035 | 0,050 | 0,050 |
| $u(\epsilon_a)$ ( $\mu\text{m}$ )            | 0,010                       | 0,006 | 0,002 | 0,014 | 0,017 |
| $u(\epsilon_t)$ ( $\mu\text{m}$ )            | 0,013                       | 0,025 | 0,038 | 0,050 | 0,063 |
| $u(\epsilon_{align})$ ( $\mu\text{m}$ )      | 0,020                       | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 |
| $u(\epsilon_{fixt})$ ( $\mu\text{m}$ )       | 0,020                       | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 |
| $u(E)$ ( $\mu\text{m}$ )                     | 0,052                       | 0,052 | 0,059 | 0,078 | 0,087 |
| $U(E)(+)$ ( $\mu\text{m}$ )                  | 0,10                        | 0,10  | 0,12  | 0,16  | 0,17  |
| $U(E)(-)$ ( $\mu\text{m}$ )                  | -0,10                       | -0,10 | -0,12 | -0,16 | -0,17 |

8. táblázat Az eredő mérési bizonytalanság és azok összetevői 5 tényező figyelembevételével, az X tengely menti pozíció esetében

|                               | Mérési bizonytalanság számítása 3 tényezővel |              |              |              |              |
|-------------------------------|----------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                               | Eталон névleges mérete (mm)                  |              |              |              |              |
|                               | 100                                          | 200          | 300          | 400          | 500          |
| $u(\varepsilon_{cal})$ (μm)   | 0,040                                        | 0,035        | 0,035        | 0,050        | 0,050        |
| $u(\varepsilon_a)$ (μm)       | -                                            | -            | -            | -            | -            |
| $u(\varepsilon_t)$ (μm)       | -                                            | -            | -            | -            | -            |
| $u(\varepsilon_{align})$ (μm) | 0,020                                        | 0,020        | 0,020        | 0,020        | 0,020        |
| $u(\varepsilon_{fixt})$ (μm)  | 0,020                                        | 0,020        | 0,020        | 0,020        | 0,020        |
| $u_m(E)$ (μm)                 | <b>0,049</b>                                 | <b>0,045</b> | <b>0,045</b> | <b>0,057</b> | <b>0,057</b> |
| $U_m(E)(+)$ (μm)              | 0,01                                         | 0,09         | 0,09         | 0,11         | 0,11         |
| $U_m(E)(-)$ (μm)              | -0,10                                        | -0,09        | -0,09        | -0,11        | -0,11        |

9. táblázat Az eredő mérési bizonytalanság és azok összetevői 3 tényező figyelembevételével, az X tengely menti pozíció esetében

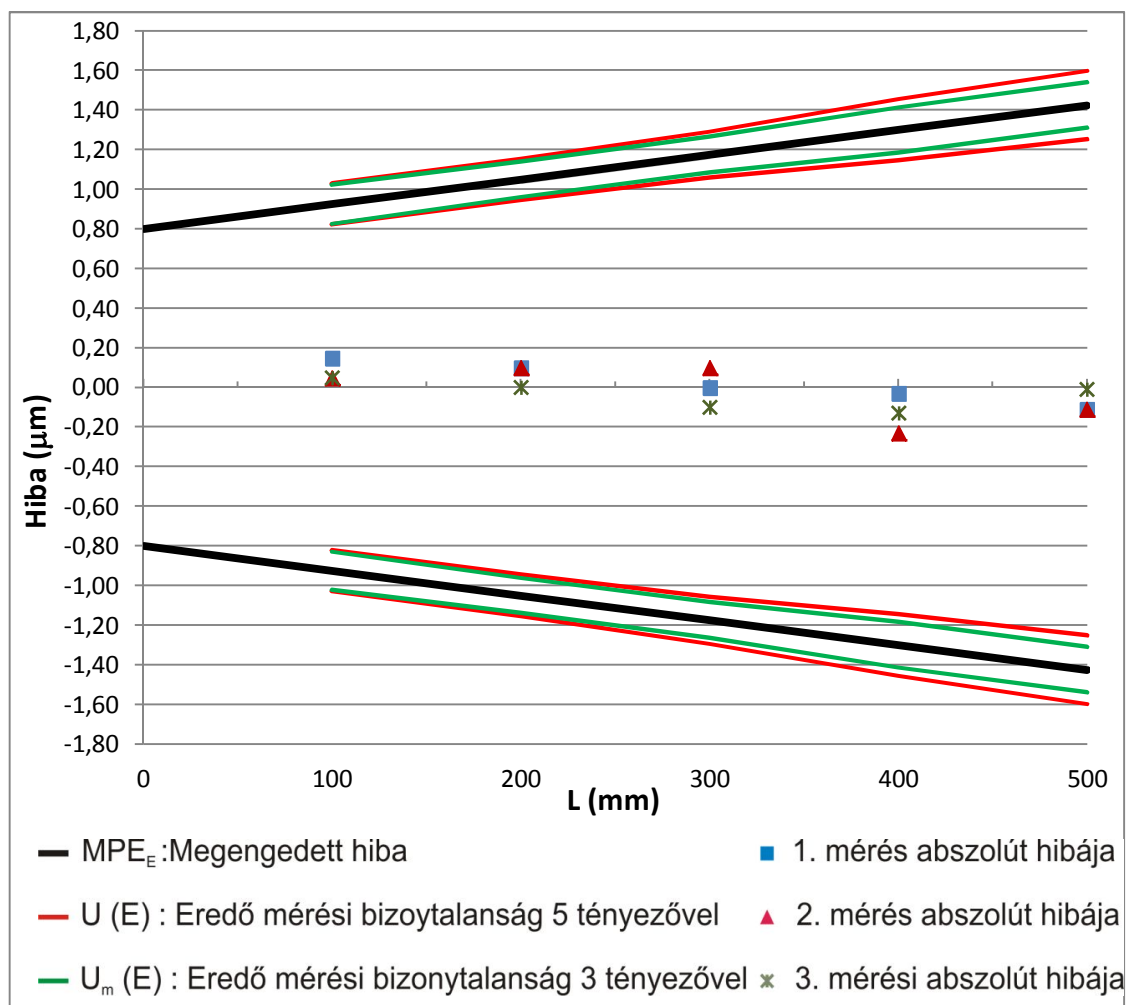
$U_m(E)$ : A kiterjesztett mérési bizonytalanság három tényező figyelembevételével (μm).

Mivel az etalonok bizonytalansága ( $u(\varepsilon_{cal})$ ) nem függ attól, hogy milyen pozícióban mérjük meg, illetve a beszabályozásból és a befogásból eredő bizonytalanság is állandó érték mind a hét pozícióban, így a 9. táblázatban ezek az adatok az egyes pozíciók esetében nem fognak változni.

| Eталон névleges mérete (mm) | Mérési bizonytalanság változása $-\Delta u(E)$ % |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| 100                         | 5,13%                                            |
| 200                         | 13,27%                                           |
| 300                         | 23,43%                                           |
| 400                         | 26,00%                                           |
| 500                         | 33,93%                                           |

10. táblázat A mérési bizonytalanság változása az X tengely menti pozícióban

A változás mértékét tekintve az mondhatjuk, hogy míg a 100 mm névleges értékű mérőhasáb esetében a mérési bizonytalanság változása csupán 5,13 %, addig az 500 mm-es névleges érték esetében ez az érték már 33,93 %. Ez azt jelenti, hogy ha a szabvány szerint a két hőmérséklettől függő bizonytalanság tényező értékével nem számolunk, akkor a táblázatban feltüntetett  $\Delta u(E)$  értékével csökken a bizonytalanság.



**10. ábra A bizonytalansági tartomány változása az X tengely menti pozícióban.**

A diagramon piros vonallal van jelölve az öt tényező figyelme bevételeivel meghatározott bizonytalansági tartomány, ehhez képest pedig a zöld vonalak szemléltetik, hogy mekkora lenne a bizonytalansági tartomány, ha a mérőhasábok vizsgálatoknál nem tudnánk mérni a hőmérsékletet, azaz csak három tényezőtől számolnánk mérési bizonytalanságot.

A diagramot nézve az így meghatározott mérési bizonytalanság változás nem tűnik jelentősnek. Az is észrevehető, hogy minél nagyobb a mért hossz, annál nagyobb az eltérés. Ha megnézzük, hogy a változás százalékos értékben mit jelent akkor viszont azt tapasztaljuk, hogy az 500 mm-es névleges hosszúság esetében ez közel 34 %-ot jelez, az X tengely menti pozícióban végzett mérések esetében. Ez az érték tehát százalékosan kifejezve már észrevehetőnek mutatkozik. Érdekes továbbá azt is figyelembe venni, hogy a méréseket laboratóriumi környezetben végeztük. Azaz a környezeti hatásokból eredő mérést befolyásoló tényezők mértéke jóval kisebb, mint mondjuk egy ipari környezetben.

A kiinduló gondolatához visszatérve, mely szerint az ISO/TS 23165:2006 szabvány jogosan hanyagolja el a hőmérséklet alakulásához kapcsolódó

bizonytalansági tényezőket, abban az esetben, hogyha a mérőgépünk nem rendelkezik beépített hőmérővel, nem tűnik megalapozottnak. A viszonylag stabil környezetben végzett mérési eredmények alapján kapott értékelés során is mutatkozik eltérés. Ha az előbb ismertetett értékelést egy kevésbé stabil környezetből származó eredményekkel végeztük volna, akkor valószínűleg a mutatkozó eltérési is nagyobb lett volna. (A kevésbé stabil környezet esetében, elsősorban a hőmérséklet ingadozás mértékére gondolunk.)

## 5.2 A probléma vizsgálata modellezett értékekkel

Ahogy az 5.1. fejezetben említettük a mérési bizonytalanság változása ( $\Delta u(E)$ ) egy kevésbé stabil környezetben nagyobbra adódott volna. Jelen fejezetben tehát ezt a változást fogjuk modellezni, illetve vizsgálni, hogy ez milyen hatással van az eredményeinkre.

Az értékelést az előbbihez hasonló módon fogjuk vizsgálni, azaz a modellezett értékekhez tartozó mérési bizonytalanságot meghatározzuk  $u(E)$ , illetve három tényező figyelembevételével ( $u_m(E)$ ). A számításokhoz a már korábban ismertetett összefüggéseket használtuk.

A megfelelőség értékelés során kapott eredményekhez képest két dolgot változtattunk:

- $V_t$ : A hőmérséklet mérésének bizonytalansága, melyet  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról  $0,04^{\circ}\text{C}$ -ra emeltünk,
- $L_{\text{mért}}$ : Az etalon mérőgép által mért értékei, melyeket minden mérésnél úgy változtattunk, hogy a kalibrálás során tapasztalt értékekhez képest "rosszabb" de még éppen megfelelőek legyenek.

A többi, mérést meghatározó paramétert változatlanul hagytuk, azaz ugyan azok az etalon mérőhasábok, a vizsgálati pozíciók valamint a mérőgép is, csak mindezt egy más környezetbe ültettük át.

| Modell értékek (mm) |          |          | Abszolút hiba ( $\mu\text{m}$ ) |       |       |
|---------------------|----------|----------|---------------------------------|-------|-------|
| 1                   | 2        | 3        | 1                               | 2     | 3     |
| 100,0005            | 100,0002 | 99,9995  | -0,55                           | -0,25 | 0,45  |
| 200,0009            | 200,0003 | 200,0009 | -0,90                           | -0,30 | -0,90 |
| 299,9995            | 300,0006 | 299,9990 | 0,50                            | -0,60 | 1,00  |
| 399,9991            | 399,9990 | 400,0003 | 1,03                            | 1,13  | -0,17 |
| 500,0015            | 500,0015 | 500,0014 | -1,19                           | -1,19 | -1,09 |

11. táblázat Az X tengely menti pozícióban a modell értékek és azok abszolút hibája

A eredő mérési bizonytalanság öt tényezős számításánál a modell környezetre vonatkoztatva, az etalon hőmérséklet miatti bizonytalansága változik meg. (lásd. 8. és 12. táblázat) A modell környezetben a három tényezővel számított eredő mérési bizonytalanság ugyan az lesz, mint amit a 9. táblázatban közöltünk. Ez azért van, mivel az eredeti mérési környezethez képest a modell környezet annyiban különbözik, hogy

nagyobb a hőmérséklet miatti bizonytalanság, a három tényezős mérési bizonytalanság számításánál viszont az etalon hőtágulási együtthatójának és hőmérsékletének bizonytalanságával nem számolunk. A három tényező ( $u(\varepsilon_{cal})$ ;  $u(\varepsilon_{align})$ ;  $u(\varepsilon_{fixt})$ ) pedig nem hőmérséklettől függő érték, ami a kiszámításukhoz szükséges képletekből is kiderül.

| Mérési bizonytalanság számítása 5 tényezővel |                             |       |       |       |       |
|----------------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                              | Etalon névleges mérete (mm) |       |       |       |       |
|                                              | 100                         | 200   | 300   | 400   | 500   |
| $u(\varepsilon_{cal})$ ( $\mu\text{m}$ )     | 0,040                       | 0,035 | 0,035 | 0,050 | 0,050 |
| $u(\varepsilon_a)$ ( $\mu\text{m}$ )         | 0,010                       | 0,006 | 0,002 | 0,014 | 0,017 |
| $u(\varepsilon_t)$ ( $\mu\text{m}$ )         | 0,025                       | 0,050 | 0,076 | 0,101 | 0,126 |
| $u(\varepsilon_{align})$ ( $\mu\text{m}$ )   | 0,02                        | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,02  |
| $u(\varepsilon_{fixt})$ ( $\mu\text{m}$ )    | 0,02                        | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,02  |
| $u_m$ (E) ( $\mu\text{m}$ )                  | 0,056                       | 0,068 | 0,088 | 0,117 | 0,139 |
| $U_m$ (E) (+) ( $\mu\text{m}$ )              | 0,11                        | 0,14  | 0,18  | 0,23  | 0,28  |
| $U_m$ (E) (-) ( $\mu\text{m}$ )              | -0,11                       | -0,14 | -0,18 | -0,23 | -0,28 |

12. táblázat A feltételezett modell környezetben az eredő mérési bizonytalanság és azok összetevői 5 tényező figyelembevételével, az X tengely menti pozíció esetében

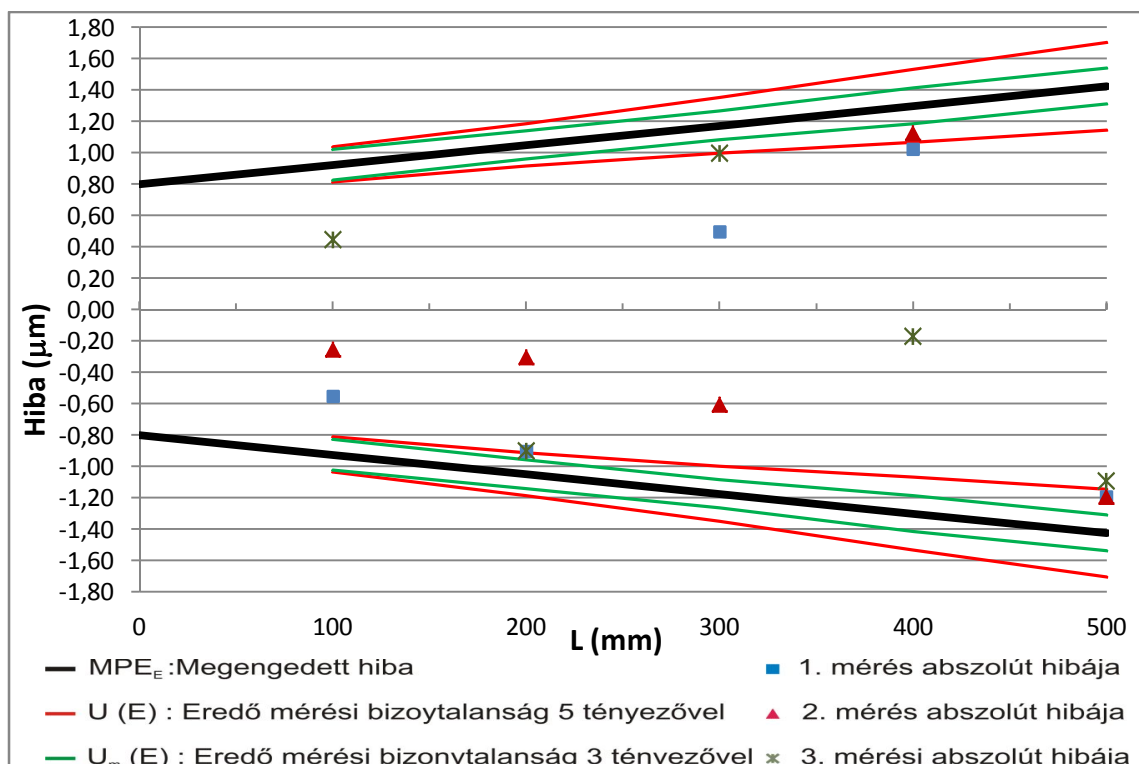
| Etalon névleges mérete (mm) | Mérési bizonytalanság változása % |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 100                         | 12,60%                            |
| 200                         | 33,60%                            |
| 300                         | 48,82%                            |
| 400                         | 50,80%                            |
| 500                         | 58,80%                            |

13. táblázat A feltételezett modell környezetben a mérési bizonytalanság változása, az X tengely menti pozícióban

A mérési bizonytalanság változása ( $\Delta u(E)$ ) a modell értékek tekintetében már nagyobb lett, mint amit a megfelelés értékelés során kapott értékeknél tapasztaltunk (12. táblázat). Ez logikusan következik abból, hogy a hőmérséklet mérése miatt keletkező bizonytalanságot megemeltük ebből következően a modell környezetben számított eredő mérési bizonytalanság is növekedett ( $u(E)$ ).

Azonban a mért értékeket is megváltoztattuk, feltételezve egy kevésbé stabil környezetet, valamint azt hogy a mérőgépünk nem tudja olyan pontosan reprezentálni az etalonok helyes értékét. Ebből pedig az következik, hogy a kiszámított abszolút hibák is nagyobbak lesznek, illetve a köztük lévő ingadozás is.

Az így megkapott adatokkal, és ezek diagramon történő ábrázolásával megvizsgáltuk, hogy a mérési bizonytalanság változása hogyan befolyásolná a koordináta mérőgép megfelelésére vonatkozó döntését.



**11. ábra A bizonytalansági tartomány változása az X tengely menti pozícióban, a modell környezetben**

A diagramot tekintve azt tudjuk mondani, hogy ha a három tényezős bizonytalansági tartomány szerint vizsgáljuk és minősítjük a mért értékek abszolút hibáját, akkor a 7. ábra szerint, mindegyik értékünk a megfelelőségi tartományba esik, vagyis a mért értékeinket is megfelelőnek tekinthetjük. Ha azonban az öt tényezős bizonytalansági tartomány szerint vizsgáljuk a mért értékek abszolút hibáját, akkor azt mondhatjuk, hogy 6 érték abszolút hibája a bizonytalansági tartományban van. (Ebből 3 érték pont a tartomány szélén van, de ez ugyanúgy nem minősíthető érték.) Ha a koordináta mérőgép megfelelőségére vonatkozóan a 4.3.4. fejezetben ismertetett feltételek figyelembe vételével akarunk döntést hozni, akkor nem mondhatnánk azt, hogy a gyári specifikációknak való megfelelés igazolt. Természetesen a másik hat pozícióra is elvégeztük az értékelést, ezek eredményéhez tartozó diagramokat a mellékletben lehet megtalálni (M.7. ábra-M.12. ábra).

A modellezett értékekkel végzett összehasonlítás eredménye tehát az, hogy ha a szabvány által megadott bizonytalansági tényezőket ( $u(\varepsilon_\alpha)$ ;  $u(\varepsilon_t)$ ) elhanyagoljuk, vagyis három tényezőt veszünk figyelembe az eredő mérési bizonytalanság számításánál, akkor eltérő véleményt fogunk mondani a koordináta mérőgép megfelelőségére vonatkozóan, mintha az öt tényezős bizonytalansági tartomány alapján értékeltünk volna. A jelen példát tekintve, míg a három tényezős bizonytalansági tartomány szerint megfelelőnek ítéltük a koordináta mérőgépet, addig az öt tényezős bizonytalansági tartomány alapján már kétségesse válhat ez a döntés. Vagyis a szabványban megengedett elhanyagolások a nem hőmérséklet kompenzált mérőgépeknél indokolatlanul kisebb bizonytalanságot

eredményez, növelve a gép állapotára vonatkozó döntést illetően a másodfajú hiba valószínűségét.

Megjegyzendő, hogy a jelen fejezetben közölt mérési eredmények a probléma vizsgálatához alkalmazott modell értékek, azzal a feltételezéssel élve, hogy a mérési környezetünk nem annyira stabil, mint a megfelelőség értékelés során elvégzett tényleges mérések esetében.

## 6 Összefoglalás

A dolgozatban az MKEH koordináta mérőgépének az EN ISO 10360 szabvány szerint végzett megfelelőség értékelését végeztük el. Az eredményekhez az ISO/TS 23165 szabvány szerint kiszámítottuk a mérési bizonytalanságot. Az eredményeink alapján azt mondhatjuk, hogy a koordináta mérőgép megfelel a gyári specifikációknak, ugyanis mind a gömb teszt, mind pedig a mérőhasábokkal végzett mérési eredmények megfelelőek. Ezt a vonatkozó táblázatokból, illetve elkészített diagramokból látni lehet.

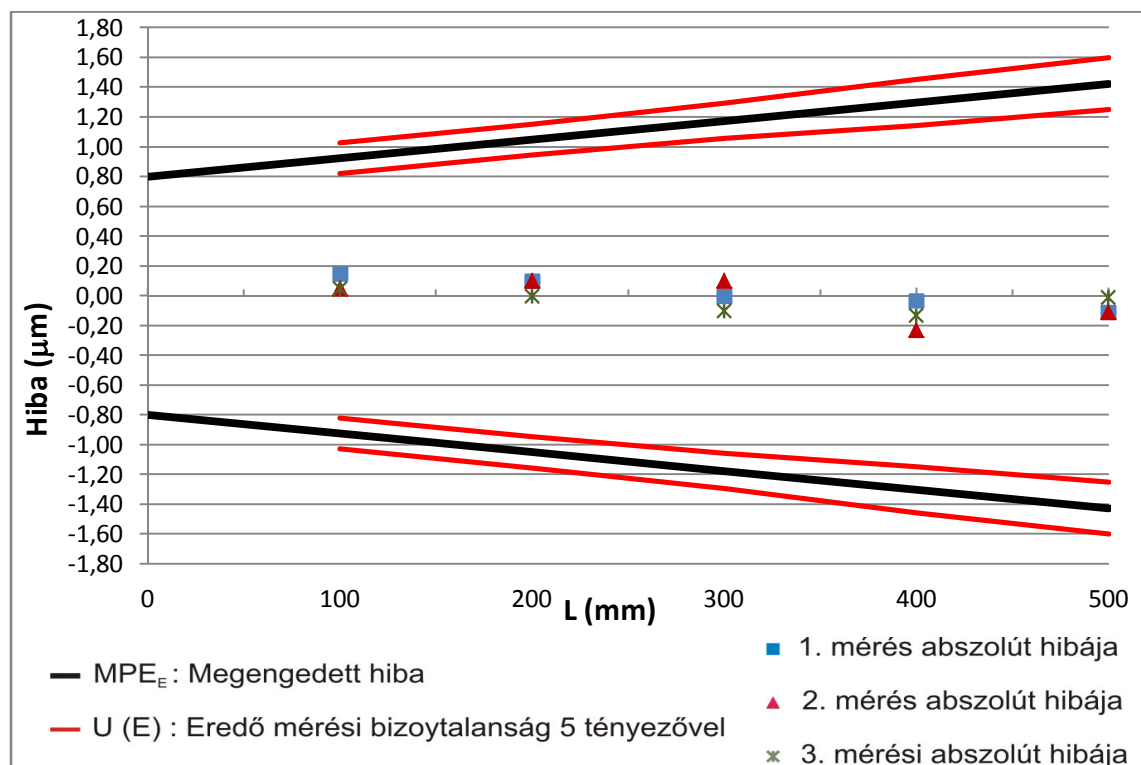
Továbbá megvizsgáltuk az ISO/TS 23165 szabvány által tett elhanyagolások megalapozottságát, a bizonytalansági tényezők vonatkozásában. Ehhez első lépésben a megfelelőségi értékelés során kapott eredményeket, használtuk fel, ahol megvizsgáltuk, hogy hogyan változik a mérési bizonytalanság, ha a szabvány által tett elhanyagolásokat figyelembe vesszük. Ezt követően pedig modell értékek segítségével határoztuk meg a mérési bizonytalanság változását. Mindkét esetben kiszámítottuk a változás mértékét, illetve ezt a saját készítésű diagramon is ábrázoltuk (lásd 7. ábra). Az eredmények alapján pedig elmondható, hogy viszonylag stabil környezetből származó adatok esetében, ha minimális mértékben is, de látható ez a különbség. Ha a modell értékekkel kapott eredményeket vizsgáljuk, akkor pedig már a diagramokból egyértelműen látszik az eltérés mértéke. Ez pedig akár a koordináta mérőgép megfelelőségére vonatkozó döntésünket is befolyásolhatja.

## 7 Forrásjegyzék

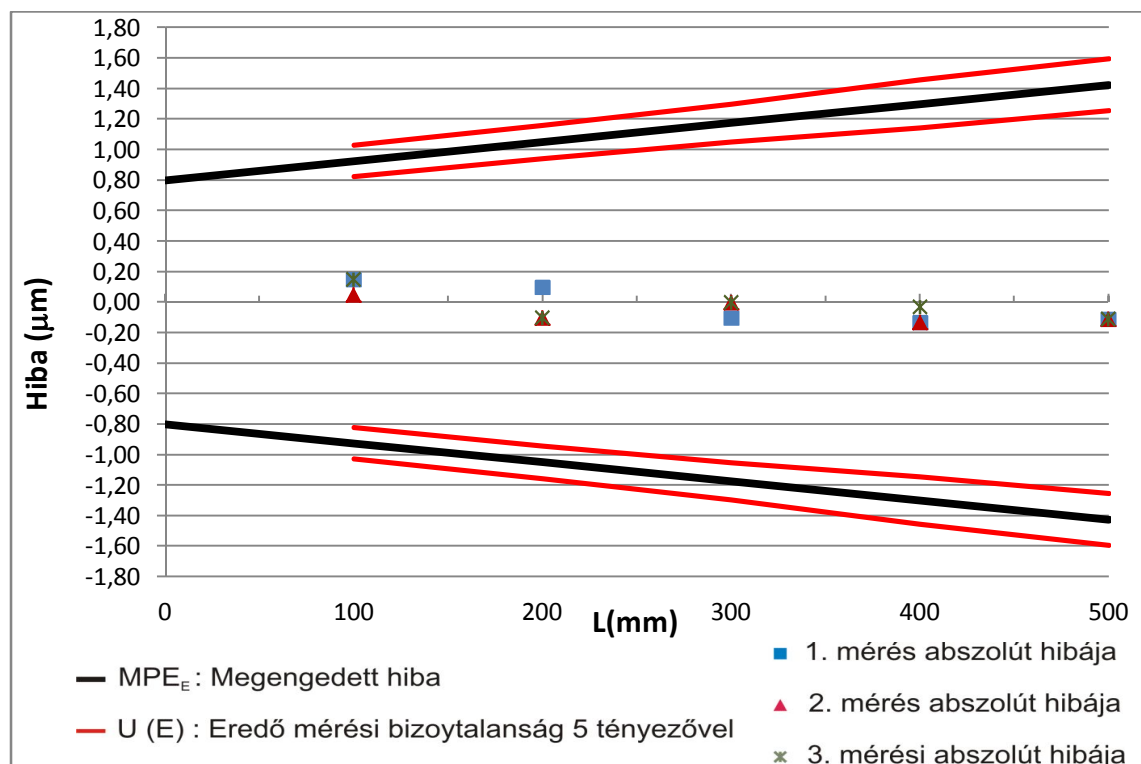
- [1.] <http://mkeh.gov.hu/meresugy> -2012.07.29.
- [2.] Dr. Ing. Paul Leinweber: Hosszméréstechnikai zsebkönyv a gépszerkesztés, a műhely, a mérőszoba és az ellenőrzés dolgozói részére (Műszaki Könyvkiadó, Budapest -1960)
- [3.] [http://www.meter.hu/kalibralni\\_pedig\\_kell](http://www.meter.hu/kalibralni_pedig_kell) - 2012.07.25.
- [4.] Kemény Sándor, Deák András: Kísérletek tervezése és értékelése (Műszaki Könyvkiadó, 2000)
- [5.] Kemény Sándor, Papp László, Deák András: Statisztikai minőség- (megfelelőség-) szabályozás (Műszaki Könyvkiadó - Magyar Minőség Társaság, 1999)
- [6.] Kemény Sándor, Deák András: Mérések tervezése és eredményeik értékelése (Műszaki Könyvkiadó, 1990)
- [7.] Útmutató a mérési bizonytalanság kifejezéséhez-magyar fordítás (kiadásért felelős: Dr. Pákay Péter-1995)
- [8.] [http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/04\\_1\\_22-24.pdf](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/04_1_22-24.pdf) - 2012.04.22.  
Dr. Koczor Zoltán – Göndör Vera – Gregász Tibor: A mérési tevékenység minőségirányítása (Anyagvizsgálók lapja-2004)
- [9.] <http://www.nat.hu/dokumentumok/nar-ea-4-02.pdf> 2012.07.22.  
NAR-EA-4/02: A mérési bizonytalanság meghatározása kalibrálásnál
- [10.] [http://www.vituki.hu/mecs/sites/default/files/docs/Szegeny\\_Zs\\_A\\_meresi\\_bizonytalansag\\_becslese.pdf](http://www.vituki.hu/mecs/sites/default/files/docs/Szegeny_Zs_A_meresi_bizonytalansag_becslese.pdf) – 2012.04.22.  
Szegegy Zsigmond: A mérési bizonytalanság becslése a vizsgálólaboratóriumok gyakorlatában
- [11.] Dr. Varga Gyula: Koordináta méréstechnika - előadás prezentáció (Miskolci Egyetem - Gyártástechnológiai tanszék-2006)
- [12.] [http://www.uni-miskolc.hu/~ggytmazs/tantargyak/szam\\_tam\\_lev\\_08/Merogep\\_eloadas.pdf](http://www.uni-miskolc.hu/~ggytmazs/tantargyak/szam_tam_lev_08/Merogep_eloadas.pdf) - 2012.08.02.  
Dr. Maros Zsolt: Koordináta méréstechnika – előadás prezentáció (Miskolci Egyetem - Gyártástechnológiai tanszék)
- [13.] [http://mkeh.gov.hu/Konyvtar?Search=1&topic\\_id=34&page=1&page=2&page=3](http://mkeh.gov.hu/Konyvtar?Search=1&topic_id=34&page=1&page=2&page=3) – 2012.07.22.  
Hosszúság és szögmérések
- [14.] [http://publications.npl.co.uk/npl\\_web/pdf/mgpg42.pdf](http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/mgpg42.pdf) - 2012.08.05.  
David Flack: Measurement Good Practice Guide No. 42- CMM Verification
- [15.] <http://www.muszeroldal.hu/MMK/nr72/barati.pdf> - 2012.08.05.  
Barati Róbert: Koordináta mérőgépek méréstechnikai problémái

- [16.] ISO/TS 23165 Geometrical product specifications (GPS) -- Guidelines for the evaluation of coordinate measuring machine (CMM) test uncertainty
- [17.] EN ISO 10360-1:2000-Geometrical Product Specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - - Part 1: Vocabulary
- [18.] EN ISO 10360-2:2001- Geometrical Product Specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - - Part 2: CMMs used for measuring size
- [19.] EN ISO 10360-2:2009- Geometrical Product Specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - - Part 2: CMMs used for linear dimension
- [20.] ISO 10360-5:2010 - Geometrical product specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) -- Part 5: CMMs using single and multiple stylus contacting probing system
- [21.] Reimann József, Tóth Julianna: Valószínűesszámítás és matematikai statisztika (Nemzeti Tankönyvkiadó, 1985)
- [22.] [http://minosegoktatas.hu/peldatar/index.php?option=com\\_sobi2&catid=7&Itemid=154](http://minosegoktatas.hu/peldatar/index.php?option=com_sobi2&catid=7&Itemid=154) – 2012.09.08.  
Czampa Miklós: Koordináta mérés technika alkalmazása
- [23.] [http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/03\\_02\\_42\\_47.pdf](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/03_02_42_47.pdf) - 2012.09.22.  
Klausz Gábor, Kulcsár Tibor: Roncsolás mentes vizsgálatok minősítéses módszereinek tervezett belső alkalmazása az AGMI Rt-ben (Anyagvizsgálók lapja-2003)
- [24.] <http://www.nat.hu/dokumentumok/nar-ea-4-07.pdf> 2012.08.10.  
NAR-EA-4/02: Mérő és vizsgáló eszközök visszavezethetősége nemzeti (országos) etalonokra

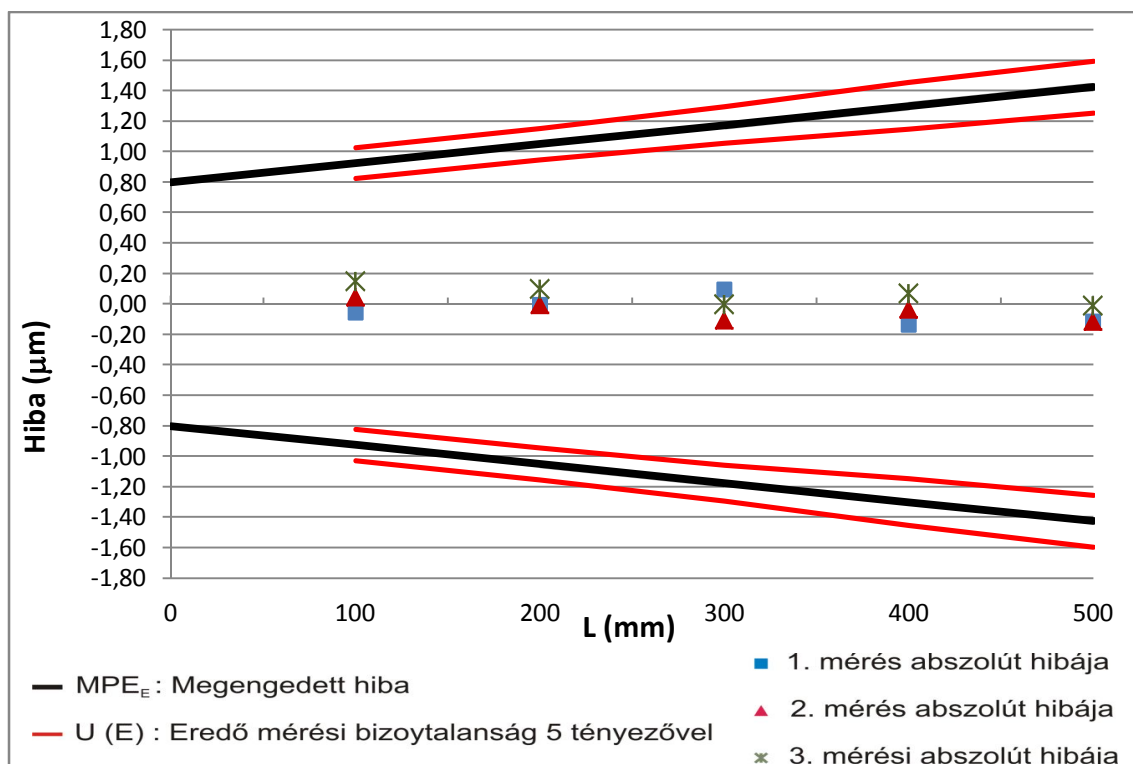
## 8 Mellékletek



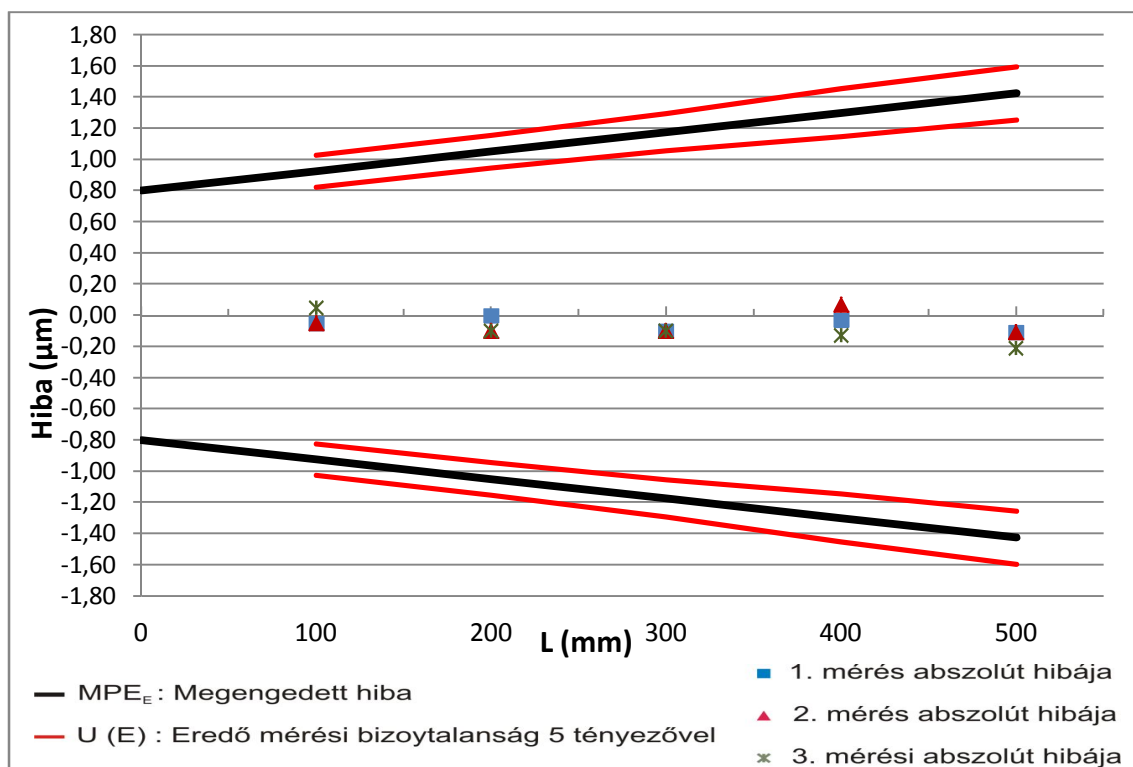
M.1. ábra A megengedett hiba az X tengely menti pozícióban



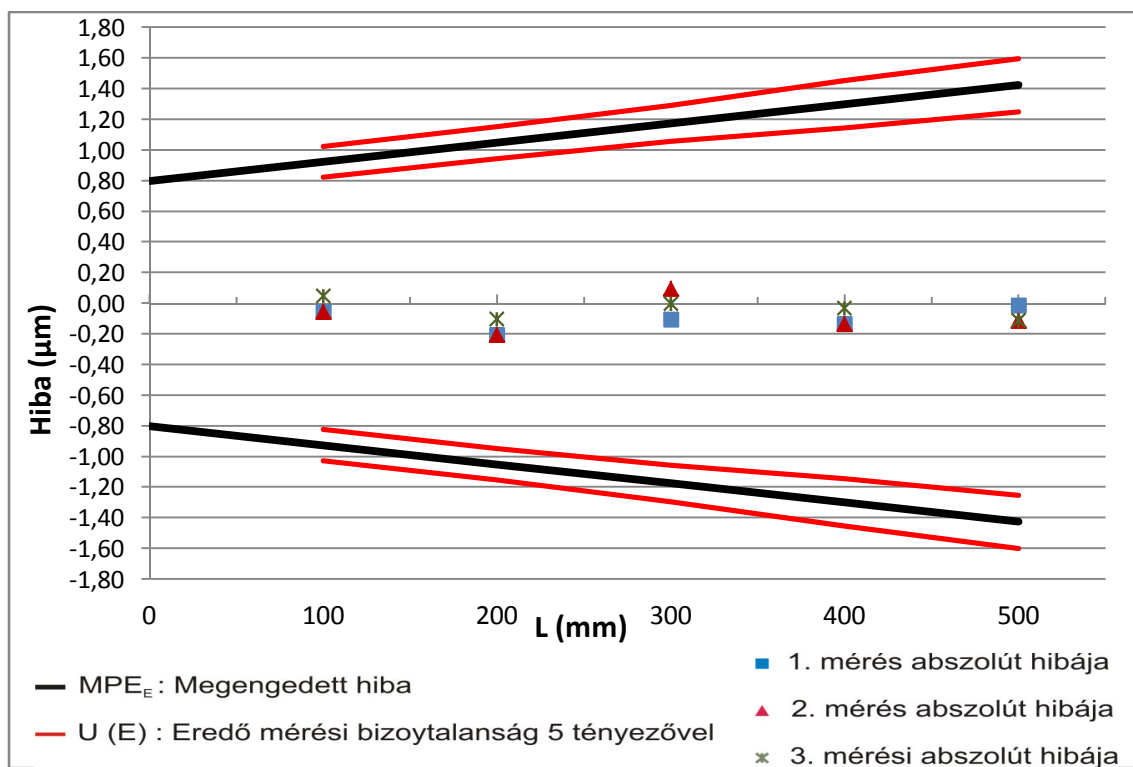
M.2. ábra A megengedett hiba az Y tengely menti pozícióban



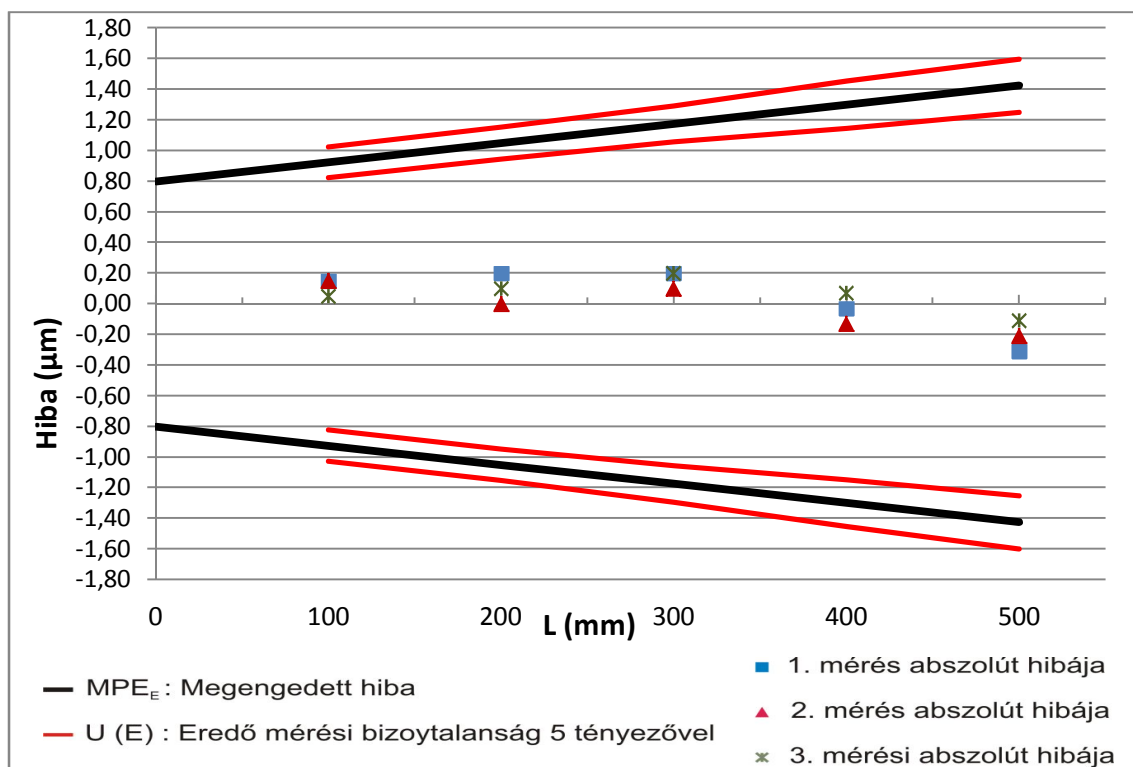
M.3. ábra A megengedett hiba a Z tengely menti pozícióban



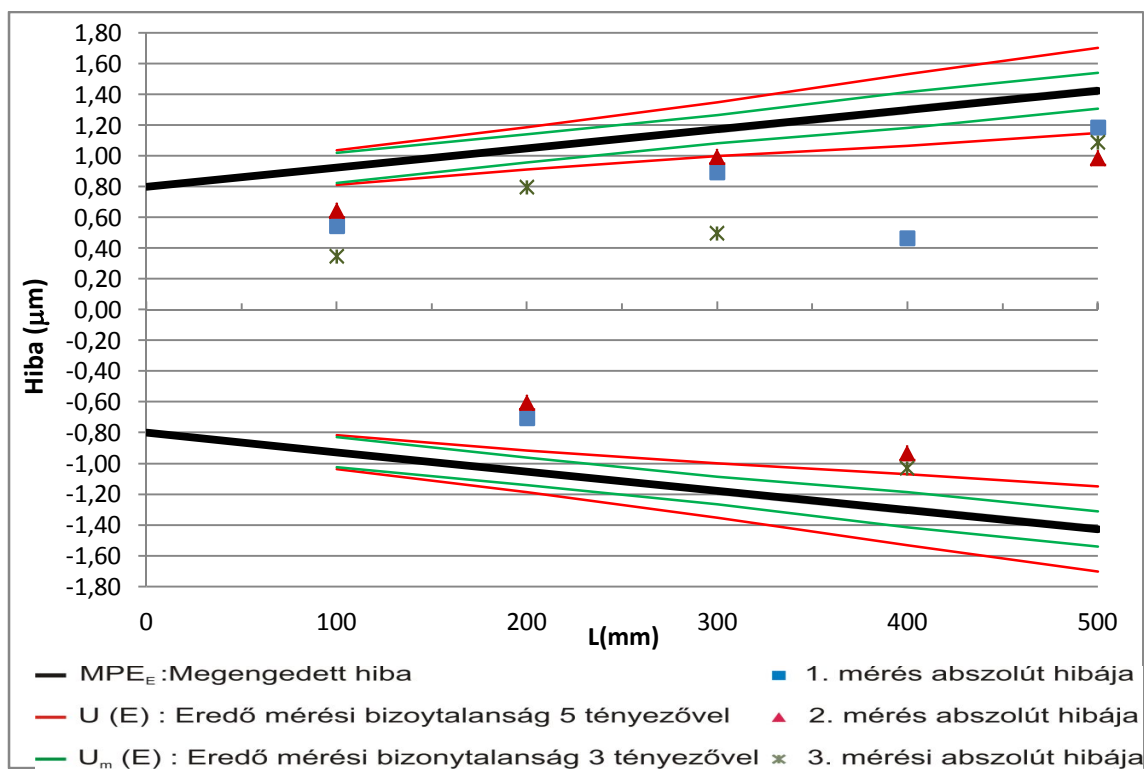
M.4. ábra A megengedett hiba az X-Y síkátló menti pozícióban



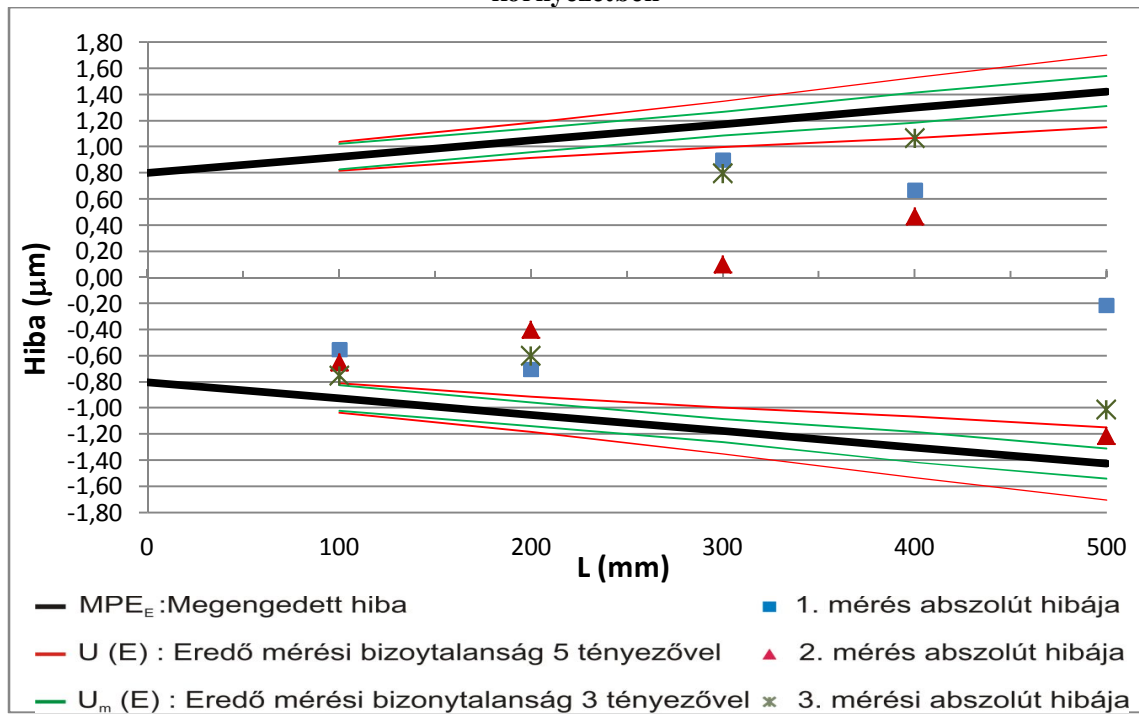
M.5. ábra A megengedett hiba az X-Z síkátló menti pozícióban



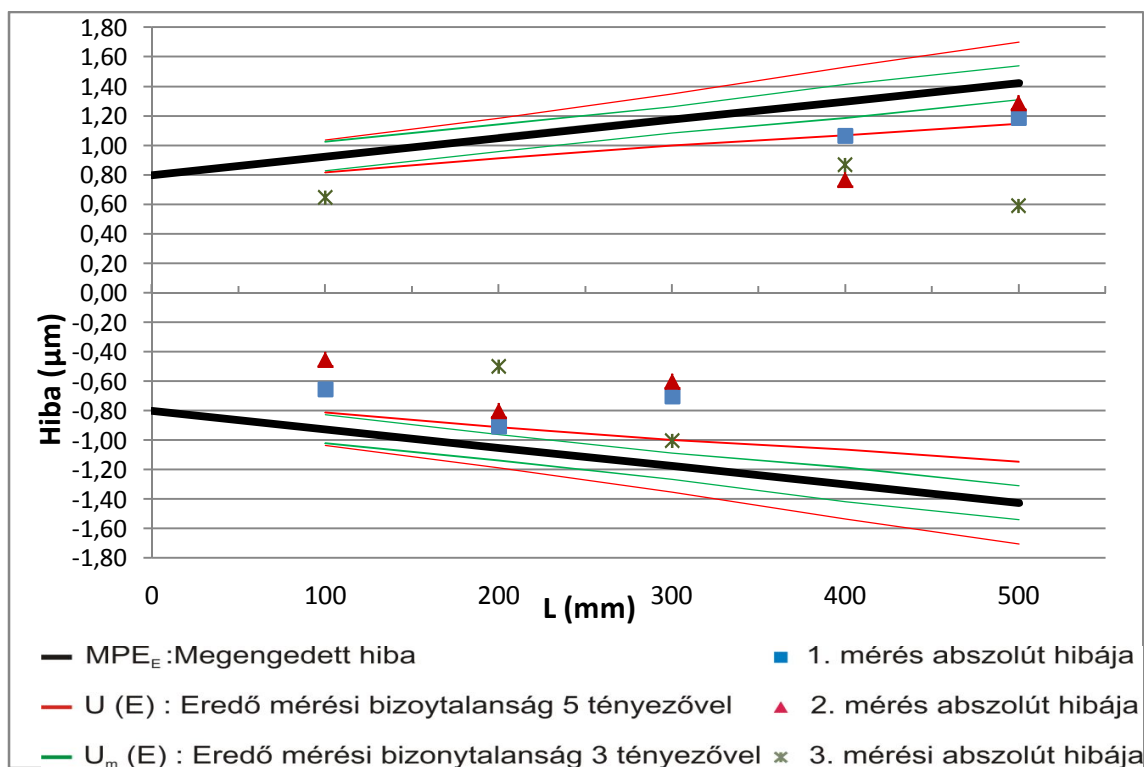
M.6. ábra A megengedett hiba az Y-Z síkátló menti pozícióban



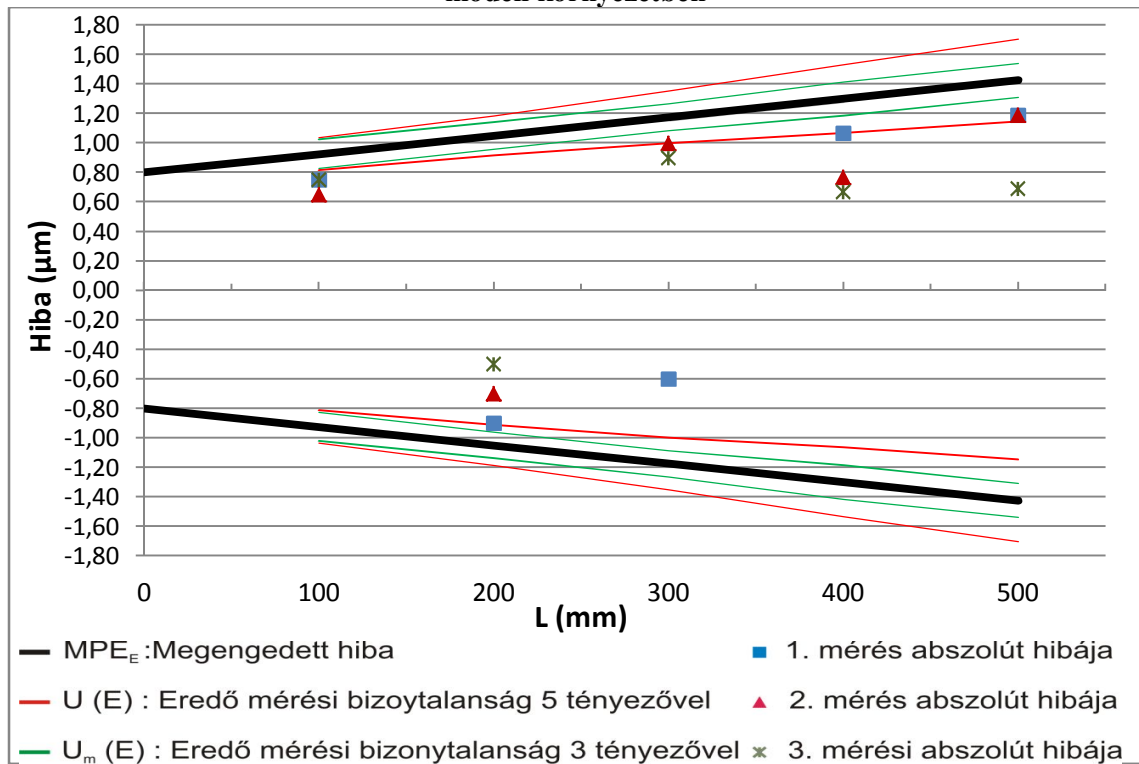
**M.7. ábra A bizonytalansági tartomány változása az Y tengely menti pozícióban, a modell környezetben**



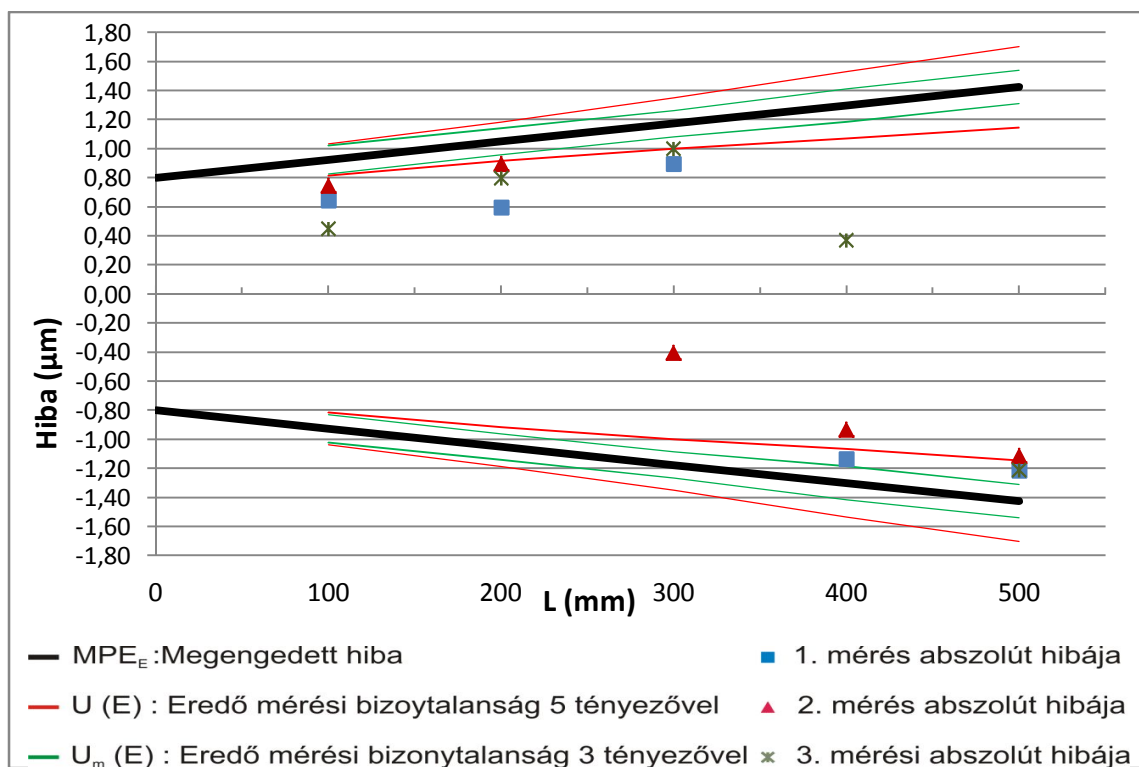
**M.8. ábra A bizonytalansági tartomány változása a Z tengely menti pozícióban, a modell környezetben**



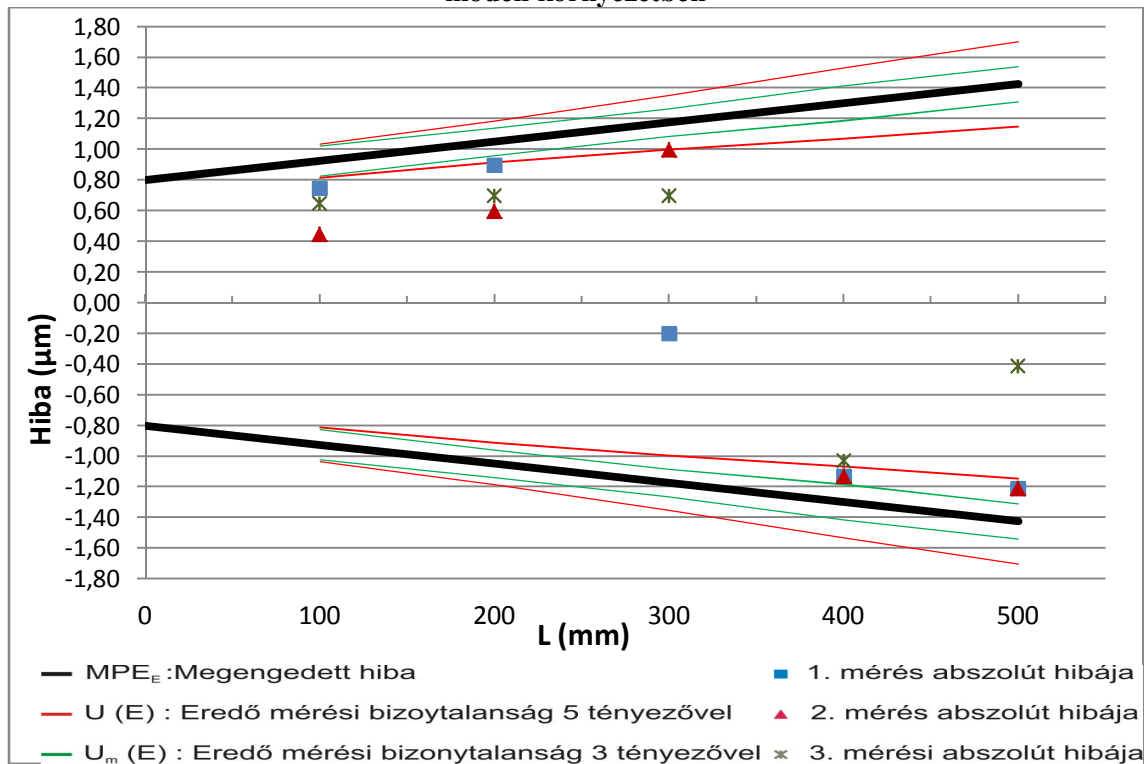
**M.9. ábra A bizonytalansági tartomány változása az X-Y síkátló menti pozícióban, a modell környezetben**



**M.10. ábra A bizonytalansági tartomány változása az X-Z síkátló menti pozícióban, a modell környezetben**



M.11. ábra A bizonytalansági tartomány változása az Y-Z síkátló menti pozícióban, a modell környezetben



M.12. ábra A bizonytalansági tartomány változása az X-Y-Z síkátló menti pozícióban, a modell környezetben