

## DIMENZIONÁLIS MÉRÉSEK IPARI CT BERENDEZÉSSSEL

## DIMENSIONAL MEASUREMENTS BY INDUSTRIAL CT

Drégelyi-Kiss Ágota

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és Gyártástudományi Intézet, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.; Telefon / Fax: +36-1-666-5480, [dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu](mailto:dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu)

### Abstract

More recently, the industrial CT equipment is used not only for non-destructive analysis but to perform geometrical evaluations. The three dimensional, optical dimensional measurements made by CT are popular because the measurement time is much more less than in case of traditional 3D measurement machines, furthermore the inner geometries can be determined by non-destructive manner. In this article the design and measurement plan of an aluminum test cube by industrial CT are described and the evaluation of the measurement data are evaluated.

**Keywords:** dimensional measurement, industrial CT, measurement uncertainty

### Összefoglalás

Az ipari gyakorlatban egyre elterjedtebben használják az ún. ipari CT berendezéseket roncsolásmentes anyagvizsgálatok mellett dimenzionális mérésekre. A CT-vel történő három dimenziós, optikai elven történő hosszúságmérések népszerűek, mivel a mérések ideje a 3D mérőgépekkel történő méret-meghatározáshoz képest lényegesen kisebb, valamint belső méretek is meghatározhatók roncsolásmentesen, amelyekre egyéb hosszsmérőeszközök elérhetőség hiányában nem adtak megoldást. Cikkemben egy alumíniumból készült tesztadarab dimenzionális mérésének tervezését, folyamatát mutatom be ipari CT-vel történő meghatározás során.

**Kulcsszavak:** hosszsmérések, roncsolásmentes vizsgálat, ipari CT, mérési bizonytalanság

### 1. Bevezetés

Az ipari CT berendezésekkel különféle forgácsolt alkatrészek geometriai mérése lehetővé vált az elmúlt évek fejlesztéseinek következtében [1,2]. A forgácsolt alkatrészek méreteinek tűrése a 0,01-0,003 mm tartományba esik, és ilyen méretekhez kell biztosítani, hogy a roncsolásmentes és gyorsan végrehajtható CT berendezésekkel tudjuk a méreteket meghatározni.

A méretek meghatározásának egyik feltevése, hogy a mérőeszköz mérési skálája visszavezetett legyen a nemzetközi etalonra, esetünkben a méter definícióra. A CT

berendezések esetén ez még nem teljes körűen megoldott, több kutató dolgozik ezen probléma megoldásán [3].

A CT-vel történő mérések során körbeforgatva a vizsgálati tárgyat a berendezésben 500-1500 2D röntgenfelvételt készítenek, amelyekből a rekonstrukció során 3D modellt alkotunk. Meg kell határozni a hátfelületet matematikai módon, hogy a későbbi hosszsmérétek egyértelműen meghatározhatóak legyenek. A threshold érték célszerű megválasztásával tudjuk a felületet meghatározni.

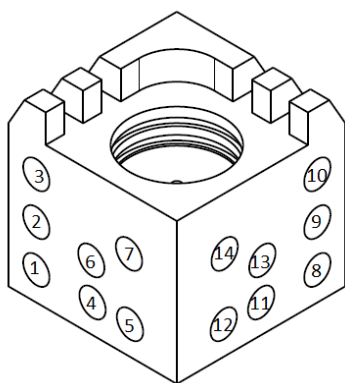
Munkám során egy alumíniumból készült kutatáshoz használt tesztadarab mérését

végeztem el ipari CT berendezéssel, és vizsgáltam a rekonstrukciós fázisban a beállítható paraméterek hatását a geometriai mérések alakulására.

## 2. Anyagok és módszerek

### 2.1. Vizsgálati darab és méretek

Az ipari CT berendezés metrológiai tulajdonságainak vizsgálatára terveztünk egy teszt munkadarabot, amely anyaga alumínium, befoglaló mérete 90mm x 90mm x 90mm (1. ábra).



1. ábra. Alumínium vizsgálati tesztadarab a furatok sorszámaival

Jelen kutatás során a tesztadarab geometriai formái közül az oldalfelületen levő 14 db 14 mm névleges átmérővel rendelkező furat sugarát határoztam meg úgy, hogy a furatokba Gauss módszerrel illesztettem hengert.

### 2.2. Mérés körülményei

A dimenzionális mérésekhez *GE phoenix v|tome|x m* mikro-CT berendezést használtam. 2024x2024 pixeles detektorral, max. 320 W, 320 kV-os röntgenső. A mérés során használt beállítások: 250 kV, 360  $\mu$ A, 330 ms-os képfelvétel, binning 1x1, szűrők: 0,5 mm Sn és 0,5 mm Cu, felvett képek száma 1440. Az így elért voxelméret 73,44  $\mu$ m.

A dimenzionális mérések alapja, hogy a mérések visszavezethetők legyenek, vagyis etalonhoz képest kell a méreteket meghatározni, beszámolni a kapott felvételeket. Az ipari CT berendezések esetén a kalibrálás még nem kidolgozott, közelítésekkel lehet csak élni. A jelenleg javasolt módszer, hogy lehetőség szerint a CT felvétel az adott testről egy etalonnal együtt történjen. A CT felvétel készítése során a tesztadarab közepén rögzítettük etalonként egy két rubingömböt tartalmazó ball bart, amely esetén a két rubin-gömb közötti távolság kalibrált értéke 15,9329 mm.

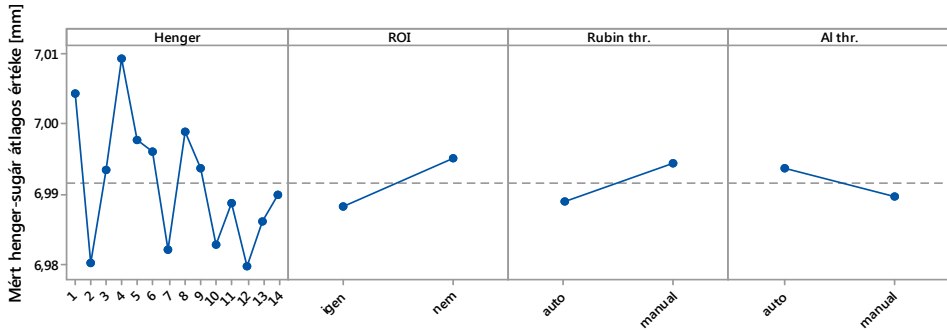
A rekonstrukcióhoz használt szoftver a VGStudio Max 2.2.2. A rekonstrukció és az illesztések során több paramétert lehet változtatni. Vizsgálataim során az egy adott beállítással elkészített CT felvétel rekonstrukcióját az alábbi faktorok változtatásaival hajtottam végre:

- szoftveres korrekció a háttér sugárzás figyelembevételére a forgatás során (az ún. *ROI* beállítás figyelembevétele vagy kikapcsolása);
- rubingömbök távolságának meghatározása automata vagy manuális threshold használatával (*Rubin auto thr.* vagy *man. thr.*);
- alumínium részeken levő méretek meghatározásához automatikus vagy manuális threshold használata (*Al auto thr.* vagy *man. thr.*);
- egy adott rekonstruált beállításokkal ismételt méret-meghatározásokat végeztem az illesztés bizonytalanságának meghatározására.

## 3. Eredmények és értékelésük

### 3.1. Etalon mérése

A CT-vel történő felvételek elkészítése után első lépésként a két rubingömb távolságát mértem meg. A mérés eredményei az 1. táblázatban találhatóak.



2. ábra. A mérési eredményekre vonatkozó főhatás-ábrák

1. táblázat. Rubingömbök távolságának meghatározása

	ROI-val		ROI nélkül	
	auto thr.	man. thr.	auto thr.	man. thr.
Mért érték [mm]	15,922	15,908	15,910	15,907
Helyes érték	15,9329 mm			

Eredményként elmondható, hogy a beállítások jelentősen befolyásolják az etalonra vonatkozó mérés eredményét. A ball bar referencia értékét nem kaptuk vissza, a legközelebbi érték 0,01 mm-re van, de 26  $\mu$ m-es torzítás is látható. A vizsgálatok megkezdése előtt a CT berendezés bemérése és korrekciója megtörtént egy etalonnal, elviekben vissza kellett volna kapni az etalon értékét.

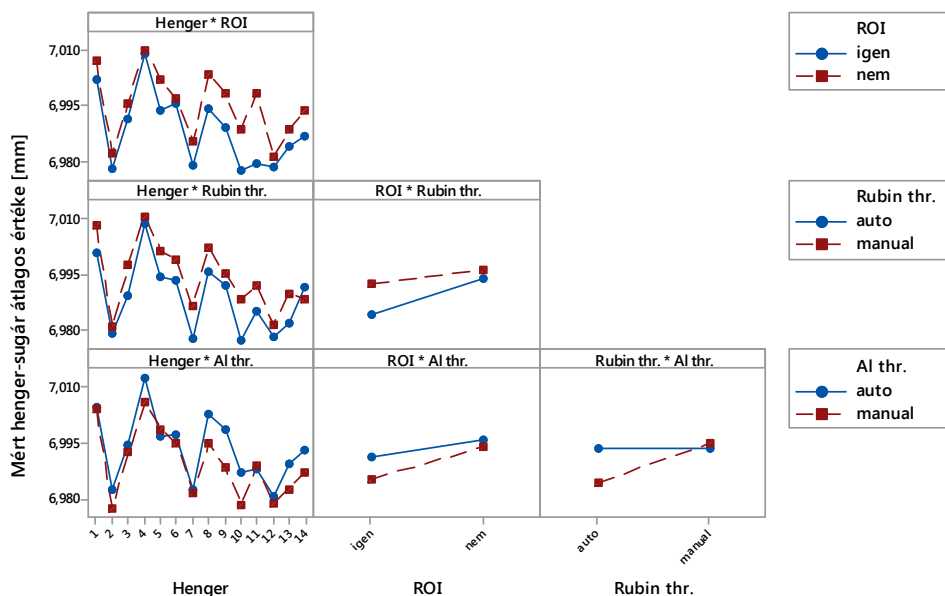
Szeretném hangsúlyozni, hogy egyetlen CT felvétel készült, és csupán az adatok feldolgozási módja adja a különböző mért értékeket a rubingömbök távolságának a meghatározására. Ha nem használjuk a ROI beállítás lehetőségét, vagyis azt, hogy korrigáljuk a mérési adatokat a háttérsugárzásra a forgatás során, akkor nem nagy különbséget tapasztalunk a kétfajta threshold módszer alkalmazott mérés között, az eltérés 3  $\mu$ m. A ROI figyelembevételekor a threshold módszerek különbözősége jelentősen befolyásolja a méret értékét.

### 3.2. Alumínium tesztadarab mérése

A mérési eredmények adott faktor szerinti átlagos értékei az 1. ábrán látható sorozozott furatok sugár értékeire a 2. ábrán jelennek meg. Megállapítható az ábráról, hogy átlagosan kisebb sugár értékeket kapunk mindhárom esetben, (i) ha a ROI beállítást használjuk a kiértékelés során, (ii) ha az automata threshold módszert használjuk a rubingömbök távolságának a meghatározására, valamint abban az esetben, (iii) ha az alumíniumra vonatkozó threshold beállítás kézi módszerrel történik.

Hasonló következtetéseket tudunk levonni a kölcsönhatás ábrák vizsgálatával (3. ábra). Látható, hogy az előbb említett következtetések nem csupán az összes mérés átlagára igazak, hanem közel az összes számozott furat esetén az egyik beállítás kisebb méretet ad, mint a másik beállítás (ld. első oszlop diagramjai). A ROI beállítás használata illetve negligálása esetén átlagosan 5,5  $\mu$ m eltérés, a rubin threshold két szintje alkalmazása esetén átlagosan 4,6  $\mu$ m eltérés adódik, valamint az alumínium tömb threshold beállításának változtatásával átlagosan 3,2  $\mu$ m eltérés jelentkezik.

Ezek az eltérések ANOVA módszerrel értékelve szignifikánsan jelentkeznek. Összehasonlításképpen az egyik kiértékelési beállítás (ROI-igen, Rubin thr.-manual, Al thr.-manual) ismételt vizsgálatát elvégeztem a 14 furat sugarának meghatározására.



3. ábra. A mérési eredményekre vonatkozó kölcsönhatás-ábrák

Eredményként azt kaptam, hogy az egyesített ismételt vizsgálat szórása 3,7  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Következtetések

Az ipari CT-vel történő hosszmerések bizonytalanságának meghatározása során számos tényezőt figyelembe kell venni. A faktorok, amelyek a mérés folyamatát befolyásolják nem csak a berendezés paramétereinek a beállításából adódnak, a röntgenfelvételek rekonstrukciója és az azt követő kiértékelés is jelentős hosszmeretbeli eltéréseket eredményez. Munkám során rávilágítottam arra, hogy egy elkészített vizsgálati darab geometriai méreteit mennyire befolyásolják a rekonstrukció beállítási paramétereit és számítási metódusok.

Jelen munkában nem vizsgáltam a mérési hiba, vagyis a sugár mért értékek és a hengerek helyes sugár értékének az eltérését. Ehhez a furatok méreteinek a meghatározását tervezem tapintós 3D méréstechnikai módszerrel, amely lényegesen kisebb bizonytalansággal rendelkezik, mint a vizsgálandó ipari CT-vel történő mérések.

#### Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki a Continental Hungary Kft. részére, amely biztosította számomra a kutatáshoz szükséges ipari CT berendezést, valamint Szabó Lénártnak a mérések elvégzésében nyújtott segítségét.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Cantatore, A., Müller, P.: *Introduction to computed tomography*, DTU Mechanical Engineering, Kgs.Lyngby, Denmark, 2011
- [2] Kruth J-P. et al.: *Computed Tomography for Dimensional Metrology*, CIRP Annals 60(2), 2011, pp. 821–842.
- [3] Claverley, J. D., Leach, R.K.: *A review of the existing performance verification infrastructure for micro-CMMs*, Precision Engineering 39, 2015. pp. 1-15.
- [4] S. Carmignato, A. Pierobon, P. Rampazzo, M. Parisatto, E. Savio: *CT for industrial metrology, Accuracy and structural resolution of CT dimensional measurements*, Proceedings of the Conference on Industrial Computed Tomography (ICT), 2012. pp. 161–172.